

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

А.М. Пищухин, Г.Ф. Ахмедьянова

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ СИСТЕМ. МЕТАСИСТЕМЫ

Учебное пособие

Рекомендовано ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки, входящим в состав направлений подготовки 27.04.03 – Системный анализ и управление и 27.04.04 - Управление в технических системах

Оренбург

2019

УДК 681.51(075.8)

ББК 32.965я73

П 36

Рецензент - доктор технических наук, профессор Н.А. Соловьев

Пищухин А.М.

П 36 **Общая теория систем. Метасистемы [Электронный ресурс] :**
учебное пособие/ А.М. Пищухин, Г.Ф. Ахмедьянова Оренбург.
гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 163 с.
ISBN 978-5-7410-2396-9

Учебное пособие содержит материал по дисциплинам «Теория систем», «Метасистемный подход в управлении». Пособие посвящено как общим вопросам системного анализа, так и особенностям метасистемного подхода. Рассмотрены основные понятия, показатели и аналитические зависимости. Приводятся традиционные методы анализа, расчета и синтеза организационно-технических систем.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по направлениям подготовки 27.04.03 Системный анализ и управление, 27.04.04 Управление в технических системах. Оно может быть так же полезно преподавателям, магистрантам, аспирантам и бакалаврам.

УДК 681.51(075.8)

ББК 32.965я73

ISBN 978-5-7410-2396-9

© Пищухин А.М.,
Ахмедьянова Г.Ф., 2019
© ОГУ, 2019

Содержание

Введение.....	6
1 Основные понятия и определения.....	7
1.1 Введение в системологию.....	7
1.2 Классификация систем.....	8
1.3 Свойства систем.....	10
1.4 Иерархия систем.....	14
1.5 Жизненный цикл систем.....	18
2 Уровни системного анализа и системные задачи.....	21
2.1 Объекты и системы объектов.....	21
2.2 Переменные и параметры.....	22
2.3 Исходные системы.....	27
2.4 Системы данных.....	30
2.5 Порождающие системы.....	32
2.5.1 Эмпирическое исследование.....	32
2.5.2 Системы с поведением.....	33
2.5.3 Методологические отличия.....	37
2.5.4 От систем данных к системам с поведением.....	39
2.6 Структурированные системы.....	43
2.6.1 Целое и части.....	43
2.6.2. Системы, подсистемы, суперсистемы.....	45
2.6.3. Структурированные исходные системы и системы данных.....	49
2.7 Сложность.....	59
2.8 Целенаправленные системы.....	60
2.9 Моделирование.....	69

3	Метасистемы.....	71
3.1	Метасистемность.....	73
3.2	Классификация метасистем	82
3.3	Определение границ диапазонов эффективного функционирования систем	91
3.3.1	Критерии эффективности функционирования системы на примере	91
	выбора методов лечения	91
3.3.2	Метод многомерной классификации элементного статуса организма	95
3.4	Траекторный метод построения стратегии переключения систем... ..	112
3.5	Оценка и управление готовностью системы	114
3.5.1	Общие соображения	114
3.5.2	Вероятностная модель согласования производственного процесса с региональным рынком	116
3.6	Сочетаемость систем	128
3.6.1	Общие соображения	128
3.6.2	Обеспечение сочетаемости элементов АСК	129
3.7	Оптимизация распределения ресурсов между системами.....	131
3.8	Порождение метасистемы.....	133
3.8.1	Постановка задачи	134
3.8.2	Выявление ограничений.....	139
3.8.3	Исследование альтернативы параллельности и последовательности.....	140
3.8.4	Алгоритм синтеза метасистемы	143
3.8.5	Программа, реализующая УРСЗ.....	147

Список использованных источников	151
ПРИЛОЖЕНИЕ А	155

Введение

Теория систем в настоящее время рассматривается как фундаментальная основа для всех дисциплин в высшем образовании любого направления подготовки. Происходит это в силу философского характера этой дисциплины, направленности ее на установление максимальной упорядоченности, ранжирования влияющих факторов для оптимального перераспределения ограниченных управленческих ресурсов с целью максимизации системной эффективности.

Эти вопросы рассматриваются в данном пособии на всех уровнях, выделенных системным аналитиком Дж. Клиром, а именно на уровне: системы объекта, исходной системы, системы данных, порождающей и структурированной систем. Более подробно рассмотрен метасистемный уровень, идеология которого разрабатывается авторами, начиная с 2002 года.

Подход, развиваемый в данной работе, отличается представлением основных системных понятий как отображений, что согласуется с представлением Дж. Клира, рассматривающего системный подход как совокупность компьютерных процедур, связанных с обработкой информации. Это позволяет выделить конкретные решаемые задачи и реализуемые функции на всех системных уровнях.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по направлениям подготовки 27.04.03 Системный анализ и управление и 27.04.04 Управление в технических системах при изучении дисциплин: «Метасистемный подход в управлении», «Теория систем», «Современные проблемы системного анализа и управления», «Корпоративные информационные системы», «Методология проектирования производственных систем». Оно может быть так же полезно преподавателям, магистрантам, аспирантам и бакалаврам.

Авторы признательны рецензенту, внимательно прочитавшему рукопись и сделавшему массу полезных исправлений.

1 Основные понятия и определения

1.1 Введение в системологию

Теория систем носит обобщающий характер и развитие свое получила в результате интеграции знаний многих наук. Такие понятия, как система, внешняя среда, структура, состояние, системный подход, системная задача приобрели статус общенаучных [1].

Обычно под системой понимают совокупность элементов, связанных с другими элементами, включенными в систему сильнее, нежели с элементами, не включенными в нее и относящимися к внешней среде. Поскольку, вообще говоря, всё в окружающем нас мире взаимосвязано, то вопрос о выявлении (порождении) системы не так прост. Это позволило ученому В. Гейнсу определить систему как то, что различается как система. И такое определение подходит *только* системе, поскольку это понятие стоит на самом вершине иерархии понятий.

С другой стороны, задаваясь вопросом, что же является диалектической противоположностью системности, мы неизбежно приходим к выводу, что это хаос. Хотя, согласно той же диалектике они не делимы и, следовательно, в любой системе присутствуют элементы хаоса, а в любом хаосе, даже, например, таком как внутри солнца с электронами и ядрами, носящимися и сталкивающимися с огромными скоростями, все же есть определенные элементы упорядоченности, связанные с внутренним давлением, что приводит к слоистой структуре.

С точки зрения теоретико-множественных понятий систему можно определить как упорядоченную пару

$$S=(A,R), \quad (1.1)$$

где A - множество элементов, а R – множество отношений между элементами множества A . Термин *отношение* понимается в самом широком смысле, включающем весь набор родственных понятий, таких как ограничение, структура, информация, организация, сцепление, связь, соединение, взаимосвязь, зависимость, корреляция и так далее.

Это определение может служить основанием для классификации систем по двум ортогональным признакам:

- а) по типам элементов;
- б) по типам отношений между ними.

Примером первого класса могут быть системы выделенные развитием науки и техники как дисциплины или специальности: механические, электротехнические, химические, биологические, политические, экономические, социальные и так далее. Примером второго класса систем, задаваемых определенным типом отношений, являются системы, представляющие различные уровни знания по Дж. Клиру. При этом каждый класс можно представлять одной системой, являющейся эталоном (стандартной системой). Таким образом, по Дж. Клиру «общая система – это стандартная система, выбранная в качестве представителя класса систем, эквивалентных (изоморфных) относительно некоторых практически существенных характеристик отношений между элементами системы».

1.2 Классификация систем

Каждая теория должна начинаться с классификации, сразу упорядочивающей весь материал. Один вид классификации уже представлен в предыдущем параграфе, рассмотрим другие классы систем и, поскольку каждая классификация обусловлена признаком, положенным в ее основу, будем называть вначале этот признак.

По происхождению системы разделяют на: естественные и искусственные. Примерами первого класса являются система кровообращения животных и человека, природный биоценоз, солнечная система, второго класса – самолет, подводная лодка, космический корабль.

По природе системы можно разделять на абстрактные, механические, химические, биологические абстрактные

По масштабу системы бывают малые и большие. Противоположные примеры: отдельное предприятие и отрасль страны, макромир и микромир, планета

и вся вселенная.

По формализованному аппарату, применяемому для описания систем на детерминированные, стохастические. Примером детерминированных систем может быть компьютер как техническое устройство, в котором в каждый момент должно быть известно, чем он занят, в качестве стохастических систем можно привести свободный рынок.

По степени сложности – простые, сложные, очень сложные. Примером простых служит электрический звонок, сложных – многопрофильное предприятие, очень сложных – человеческий мозг.

По функциональному назначению – производственные, военные, политические, информационные.

По степени организованности – хорошо организованные, плохо организованные (диффузные).

По отношению к внешней среде – открытые, закрытые.

По характеру выполняемых функций системы бывают специализированными, многофункциональными (универсальными).

По характеру развития: стабильные, превращающиеся, развивающиеся, причем в последнем случае они могут быть прогрессивными или деградирующими.

По степени организованности различают: хорошо организованные и плохо организованные (диффузные или плохоструктурированные, слабоформализованные).

По характеру поведения системы могут быть автоматическими, оптимальными, принимающими решения, прогнозирующими, адаптивными (самонастраивающимися и самоорганизующимися), а так же самообучающимися и самовосстанавливающимися.

По характеру структуры управления можно выделить централизованные и децентрализованные системы.

По назначению существуют производящие, управляющие, обслуживающие. К производящим относятся все производственные системы. Управляющие

системы универсальны, они сочетаются как с производственными, так и с обслуживающими системами.

Конечно, в дополнение ко всем перечисленным возможны и различные сочетания выбранных признаков.

1.3 Свойства систем

Эмерджентность

Система, независимо от способа порождения, должна обладать некоторым «системным» свойством, не возникающим от обычного сложения свойств составляющих ее элементов, то есть *эмерджентностью* (от английского слова *emerge* - появляться, возникать, выходить, всплывать, выясняться). Например, отдельные механические детали двигателя внутреннего сгорания с подсистемой подачи топлива и устройством для его зажигания являются пассивными элементами, а собранные вместе образуют активный элемент – двигатель, обладающий свойством совершать механическую работу – это и есть эмерджентное свойство технической системы под названием двигатель.

Точно так же сложились молекулы в человеческий организм, и возникло эмерджентное свойство – сознание, нарушатся системные связи в организме в случае его гибели – пропадает и сознание, поэтому системные аналитики не могут верить в какую-либо жизнь или сознание после смерти организма. Эмерджентность настолько важна, что позволяет утверждать – именно для достижения эмерджентного эффекта и создается, либо выделяется система.

В случае отсутствия эмерджентности нельзя говорить о системе, а только о комплексе, совокупности, множестве несвязанных или слабосвязанных элементов. Таким образом, эмерджентность присуща функционирующей системе с момента ее порождения и гибнет вместе с гибелью системы.

С другой стороны, эмерджентность зависит от степени координированности в пространстве, согласованности (синхронизации во времени и дозированнойности воздействий) при взаимодействии элементов функционирующей системы. И,

соответственно, увеличивая эту согласованность можно увеличить эмерджентный эффект.

Эмерджентность можно рассматривать как принцип противоположный редукционизму. Последний утверждает, что свойства целого необходимо изучать, расчлняя его на части и затем, изучив свойства частей, вернуться и выявить свойство целого, как продолжение свойств частей.

Целостность

К понятию эмерджентности близко понятие *целостности* систем (в общем случае они все же не совпадают). Общим для них является факт того, что и целостность и эмерджентность являются интегративными свойствами системы.

С другой стороны, под целостностью системы обычно понимают ситуацию, при которой каждый элемент системы вносит свой вклад в реализацию целевой функции системы, то есть выполняется принцип полноты и достаточности – не должно быть ничего лишнего. Эмерджентность же наблюдается и в избыточной системе, а иногда и при некоторых не функционирующих или плохо функционирующих частях системы, то есть для эмерджентности определяется свойство живучести системы.

Организованность

Сложное свойство систем, заключающиеся в наличии структуры и функционирования (поведения). Непременной принадлежностью систем являются их компоненты, а именно те структурные образования, из которых состоит целое и без чего оно невозможно. Признаком организованности обычно служат четко налаженные связи между этими компонентами. Соответственно размытые, плохо прослеживаемые взаимосвязи доказывают отсутствие организации.

Организованность обычно является следствием проведенной организации. А организация сложна еще и потому, что понимается и как организация людей, и как организация системы.

Функциональность

Это проявление системой определенных свойств (функций, качеств) при взаимодействии с внешней средой. Сочетание и изменение этих функций в зави-

симости от времени и обстоятельств будет говорить о поведении системы. Функциональность настолько тесно связана с внутренней структурой системы, что иногда говорят, что функциональность является внешним проявлением внутренней структурности системы.

Структурность

Упорядоченность системы, определенный набор и расположение, взаимоотношение элементов со связями между ними. Структуру можно описать связующими переменными. Между функцией и структурой системы существует взаимосвязь, как между философскими категориями содержанием и формой. Изменение содержания (структуры) влечет за собой изменение формы (функций), и наоборот.

Поведенческая природа

Важным свойством системы является наличие поведения — действия, изменений, функционирования и т.д.

Считается, что поведение системы проявляется в среде (окружающей), т.е. при взаимодействии с другими системами, с которыми она входит в контакт или вступает в определенные взаимоотношения и где проявляет свою внутреннюю природу.

«Процесс целенаправленного изменения во времени состояния системы называется поведением. В отличие от управления, когда изменение состояния системы достигается за счет дополнительных воздействий, поведение реализуется исключительно самой системой, исходя из собственных целей.»

Поведение каждой системы объясняется ее структурой, фундаментальной упорядоченностью первичных элементов, из которых состоит данная система. В соответствии с признаком равновесия (гомеостаза) система имеет определенное состояние (состояния), которое является для нее предпочтительным. Поэтому поведение систем описывается в терминах восстановления этих состояний, когда они нарушаются в результате воздействий внешней среды.

Еще одним свойством является свойство роста (развития). Развитие можно рассматривать как составляющую часть поведения (при том важнейшую).

Одним из первичных, а, следовательно, основополагающих атрибутов системного подхода является недопустимость рассмотрения объекта вне его развития (генезиса), под которым понимается необратимое, направленное, закономерное изменение материи и сознания. В результате возникает новое качество или состояние объекта. Отождествление (может быть и не совсем строгое) терминов «развитие» и «движение» позволяет выразиться в таком смысле, что вне развития немислимо существование материи, в данном случае — системы. В неоглядном множестве процессов, кажущихся на первый взгляд чем-то вроде броуновского (случайного, хаотичного) движения, при пристальном внимании и изучении вначале проявляются контуры тенденций, а затем и довольно устойчивые закономерности, как совокупное воздействие нескольких законов природы системы сразу. Ясно, что эти закономерности по описанному характеру порождения действуют объективно, т.е. не зависят от того, желаем ли мы их проявления или нет. Незнание законов и закономерностей развития — это блуждание в потемках. «Кто не знает, в какую гавань он плывет, для того нет попутного ветра» (Сенека)

Таким образом, поведение системы проявляется через реакции на внешние воздействия и отражает внутреннюю природу системы.

Устойчивость

Фундаментальным свойством систем является устойчивость, т.е. способность системы противостоять внешним возмущающим, разрушающим ее функционирование воздействиям. От способности быть устойчивой зависит продолжительность жизни системы — как только эта способность теряется, система гибнет.

Простые системы имеют легко оцениваемые формы устойчивости: прочность, сбалансированность, регулируемость, гомеостаз. А для сложных систем определяющими являются активные комплексно оцениваемые формы: надежность, живучесть и адаптируемость.

Если перечисленные формы устойчивости простых систем (кроме прочности) относятся к их поведению, то определяющая форма устойчивости сложных

систем связаны в основном со структурным строением системы.

Надежность

Под надежностью понимается свойство сохранения структуры системы, несмотря на гибель отдельных ее элементов с помощью их замены или дублирования, а живучесть — как активное подавление вредных качеств и воздействий. Таким образом, надежность является более пассивной формой, чем живучесть. Надежность обычно рассматривается в аспектах безотказности, ремонтпригодности, долговечности и сохраняемости.

Адаптируемость

Это свойство изменять поведение или структуру с целью сохранения, улучшения или приобретения новых качеств в условиях изменения внешней среды. Обязательным условием возможности адаптации является наличие обратных связей. При этом критерии согласованности с воздействиями внешней среды вырабатываются во время функционирования системы.

Всякая реальная система существует в среде. Связь между ними бывает настолько тесной, что иногда определять границу становится сложно. Поэтому выделение системы из среды связано с той или иной степенью идеализации. Можно рассматривать взаимодействие системы с внешней средой в двух аспектах:

- в аспекте обмена между системой и средой веществом, энергией, информацией;
- в аспекте внесения средой неопределенности в систему.

Воздействие среды может быть пассивным либо активным (антагонистическим, целенаправленно противодействующим системе).

Поэтому в общем случае среду следует рассматривать не только как безразличную, но и как антагонистическую по отношению к исследуемой системе.

1.4 Иерархия систем

Дж. Клир в своей работе о системологии [2] выявил, «что системы обра-

зуют иерархию эпистемологических уровней (эпистемология в данном случае – уровень знаний о системе). Эта иерархия опирается на несколько первичных понятий: *исследователь* (наблюдатель) и его среда, *исследуемый* (наблюдаемый) *объект* и его среда и *взаимодействие* между исследователем и объектом.

Самый нижний уровень в этой иерархии, обозначаемый как уровень 0 – это система, различаемая исследователем как система. Это означает, что исследователь выбирает способ, каким он хочет взаимодействовать с исследуемым объектом. В большинстве случаев этот выбор не является «произвольным». Частично он определяется целью исследования, частично условиями исследования (доступностью измерительных инструментов, финансовыми возможностями, временными рамками, юридическими ограничениями и так далее), а также имеющимися знаниями, относящимися к данному исследованию.

Система эпистемологического уровня 0 определяется через множество переменных, множество потенциальных состояний (значений), выделяемых для каждой переменной, и некий операционный способ описания смысла этих состояний в терминах проявлений соответствующих атрибутов данного объекта. Для порождаемых на этом уровне систем используется термин *исходная система*, указывающий на то, что подобная система является, по крайней мере, потенциально источником эмпирических данных.

Множество переменных обычно подразделяется на два подмножества, называемые *основными переменными* и *параметрами*. Совокупность состояний всех параметрических переменных образует *параметрическое множество*, при котором наблюдается изменение в состояниях отдельных основных переменных. Чаще всего в качестве параметров выступают время, пространство и различные совокупности объектов одного типа (социальные группы, группы стран, продукция одного типа и так далее).

Исходные системы можно классифицировать по различным критериям, по которым имеются методически существенные отличия в конкретных свойствах множеств переменных или множеств состояний. Согласно одному из таких критериев основные переменные могут быть разделены на *входные* и *выходные пе-*

ременные. При таком разделении состояния входных переменных рассматриваются как условия, влияющие на выходные переменные. Входные переменные не являются предметом исследования; считается, что они определяются неким фактором, не входящим в рассматриваемую систему. Этот фактор называют, как определено выше, внешней *средой* системы, в которую часто включают и исследователя.

Системы, в которых переменные разделены на входные и выходные,» «называют *направленными*; системы, в которых такое разделение не задано, называются *нейтральными*. Выделяют также ряд дополнительных отличий множеств состояний, связанных с введенными переменными (основными и параметрическими), что позволяет проводить более глубокую методологическую классификацию исходных систем. Это, например, отличия между четкими и нечеткими переменными, между дискретными и непрерывными переменными, между переменными с разными шкалами значений.

В системах более высокого эпистемологического уровня используются все знания соответствующих систем более низких уровней помимо того, что содержатся дополнительные знания, недоступные низшим уровням. Например, исходная система содержится во всех системах более высоких уровней.

После того как исходная система дополнена данными, то есть действительными состояниями основных переменных при определенном наборе параметров, мы рассматриваем новую систему (исходную систему с данными) как определенную на эпистемологическом уровне 1. Системы этого уровня называются *системами данных*. В зависимости от задачи данные могут быть получены из наблюдений или с помощью измерений, или определены как желательные состояния.

Более высокие эпистемологические уровни содержат знания о некоторых инвариантных параметрах характеристиках отношений рассматриваемых переменных, посредством которых можно генерировать данные при соответствующих начальных или граничных условиях. Генерируемые данные могут быть точными (детерминированными) или приближительными в каком-то определенном

смысле (стохастическими, нечеткими).

На уровне 2 инвариантность параметров представлена одной обобщенной характеристикой, задающей ограничение на множестве основных переменных при данном множестве параметров. В множество основных входят переменные, определяемые соответствующей исходной системой и, возможно, некоторые дополнительные. Каждая дополнительная переменная определяется конкретным *правилом преобразования* на множестве параметров, применимом или к «основной переменной исходной системы, или к гипотетической (ненаблюдаемой) переменной, введенной пользователем (составителем модели, проектировщиком). Эта переменная обычно называется *внутренней*. Правило преобразования обычно представляет собой взаимно однозначную функцию, присваивающую каждому элементу множества параметров другой (единственный) элемент того же множества.

Поскольку задачей параметрически инвариантного ограничения является описание процесса, при котором состояния основных переменных могут порождаться по множеству параметров при любых начальных или граничных условиях, системы уровня 2 называются *порождающими системами (generative system)*.

На эпистемологическом уровне 3 системы, определенные как порождающие системы (или иногда системы более низкого уровня), называются *подсистемами* общей системы. Эти подсистемы могут соединяться в том смысле, что они могут иметь некоторые общие переменные или взаимодействовать как-то иначе. Системы этого уровня называются *структурированными системами (structure system)*.

На эпистемологическом уровне 4 системы состоят из набора систем, определенных на более низком уровне, и некоторой инвариантной параметрам *мета-характеристики* (правила, отношения, процедуры), описывающей изменения в системах более низкого уровня. Требуется, чтобы системы более низкого уровня имели одну и ту же исходную систему и были определены на уровне 1, 2 или 3. Определенные таким образом системы называются *метасистемами*. На уровне

5 допускается, что метахарактеристика может изменять множество параметров согласно инвариантной параметрам характеристике более высокого уровня или мета-метахарактеристике. Такие системы называются *мета-метасистемами* или *метасистемами второго порядка*». Аналогично определяются метасистемы более высоких порядков, то есть выше метасистемного уровня только очередной метасистемный и так до бесконечности.

При постановке и решении системных задач, отображение системы объекта может производиться сразу на тот эпистемологический уровень, на котором ставятся и решаются задачи, позволяющие достичь цели исследования.

Для справок на рисунке 1 представлено упрощенное представление иерархии эпистемологических уровней систем.

1.5 Жизненный цикл систем

Одно из требований системного анализа – рассмотрение генезиса процессов и явлений, то есть прослеживание процессов порождения и развития систем. Так рассматривают деревья от корней до листьев.

Систему необходимо рассматривать, начиная с замысла - концепции, затем необходима ее реализация, включающая ее проектирование и изготовление, эксплуатация с поддержанием жизнеспособности, модернизация, в конце деградация и гибель системы. Таким образом, выделяются этапы жизненного цикла.

Порождение системы

Система может порождаться двумя способами – анализом и синтезом. При анализе системный исследователь, имея в голове цель, выявляет главные элементы и взаимосвязи системы, обрывая многочисленные не связанные с целью связи и относя их вместе с элементами, к которым они ведут к внешней среде.

Так образуются системы, предназначенные, в первую очередь, для теоретических исследований.

При синтезе преследуются более практические цели, то есть порождаемая



Рисунок 1 – Иерархия эпистемологических уровней систем

искусственная система должна удовлетворять некоторую потребность человеческого общества, исходя из чего, и определяется ее структура и функции.

Прогрессивное развитие

Сразу после порождения система начинает активно и расширенным образом использоваться или функционировать. При этом обеспечиваются все условия вывода ее на уровень потенциальных показателей, заложенных в нее при проектировании, отладка, оптимизация, согласование элементов и так далее.

Стабильное функционирование

Система, доказавшая свою полезность на начальных этапах своего существования, выходит на этап удовлетворения потребности в ней и постепенно масштаб ее использования стабилизируется. На этом этапе решаются задачи поддержания ее жизнеспособности, экономичности и так далее

Модернизация

Продлить существование системы помогает модернизация, насколько она возможна. Для программных систем она проводится наиболее легко и называется update.

Модернизация часто позволяет улучшить показатели функционирования системы, осовременить ее. Ее целесообразность легко определяется сравнением получаемого результата с затратами на создание или покупку новой системы.

Деграция

Максимально расширившись, система демонстрирует не только свои достоинства, но и недостатки, над ними задумываются и с началом попыток их устранения начинает уменьшаться потребность в данной системе. Как только на сцене появляется новая система, начинается деграция прежней. Деграция не всегда связана с физическим износом системы, но очень часто с моральным. Системе грозит неминуемая гибель, если она не успеет перейти в ранг раритета или антиквариата, но тогда у нее меняется предназначение.

Гибель

Поскольку это неизбежный этап, необходимо заранее ее планировать, предусматривать утилизацию ценных элементов, годных для создания новых систем и особенно устранение вредных. Поэтому этап утилизации прописывается в наше время для всех систем массового производства.

2 Уровни системного анализа и системные задачи

2.1 Объекты и системы объектов

Объектом называют процесс или явление, выделенные из окружающей среды, как единое целое, в течение конечного отрезка времени.

Выделенные объекты обладают бесконечным числом свойств, любое из которых можно включать в исследуемую систему и изучать. Но в этом случае понятно, что любой объект непознаваем за конечный отрезок времени. В таком случае к выбору свойств, включаемых в исследуемую систему необходимо подходить довольно утилитарно. Понятно в этом случае, что следует выбрать только те свойства, которые находятся в соответствии с целью исследования.

«При единичном наблюдении свойство имеет одно конкретное проявление. Для определения возможных изменений его проявлений требуется множество наблюдений этого свойства. Для этого, однако, необходимо, чтобы отдельные наблюдения свойства, осуществляемые с помощью одной и той же процедуры наблюдения, каким-то образом отличались одно от другого. Любое существенное свойство, *на самом деле используемое* для определения различий в наблюдениях одного и того же свойства, будем называть *базой (backdrop)*. Выбор этого термина объясняется тем, что всякая различающая особенность, какой бы она ни была, является своего рода базой, с которой наблюдается свойство.

Типичной базой, пригодной практически для любого свойства, является *время*. В этом случае разные наблюдения одного свойства отличаются друг от друга тем, что они сделаны в разные моменты времени.»

«В некоторых случаях разные наблюдения одного и того же признака по времени неразличимы (то есть либо сделаны одновременно, либо время вообще не имеет значения), зато отличаются положением в *пространстве*, в которых сделаны наблюдения. Например, различные свойства, характеризующие качество акустики, можно наблюдать в один и тот же момент времени в разных точках концертного зала.

Множественные наблюдения одного и того же свойства могут различаться друг от друга представителями какой – либо *группы (population)*, на которой определено данное свойство. Это может быть социальная группа, набор производимых товаров определенного типа, множество слов в каком-то стихотворении или рассказе, множество стран, популяция лабораторных мышей и так далее.

Базы трех основных типов – время, пространство, группа – можно комбинировать.»

В результате *система объекта* задается совокупностью целесообразных свойств, изменения которых исследуются на выбранных базах

$$O = (a_i \in A_i, b_j \in B_j), i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m. \quad (2.1)$$

К основным задачам на данном эпистемологическом уровне относятся соответственно:

- 1) постановка цели системного исследования;
- 2) определение совокупности целесообразных свойств;
- 3) назначение баз, на которых необходимо производить наблюдение за изменениями выбранных свойств.

2.2 Переменные и параметры

Далее необходимо определиться как измерять (наблюдать) каждое из выбранных свойств. Соответственно оператор измерения становится оператором отображения свойства в абстрактную переменную. Поэтому «*переменной* называется операционное представление свойства, то есть образ свойства, определяемый конкретной процедурой наблюдения или измерения. Каждая переменная имеет определенное имя (метку), отличающее ее от других, и связывается с определенным множеством величин, через которые она себя проявляет. Эти величины обычно называют *состояниями* (или значениями) переменной, а все множество – *множеством состояний*.

Аналогично *параметром* называется операционное представление базы.

Каждый параметр имеет уникальное имя, и с ним связывается некое множество. Оно называется *параметрическим множеством*, а его элементы – *значениями параметра*».

Шкалы измерений

Одним из отличий при вводе шкалы измерений является *«отсутствие математических свойств у множества состояний или соответствующего параметрического множества*. Такие, например, переменные, как семейное положение (одинокий, женатый, разведенный, вдовец), политическая принадлежность (демократ, республиканец, независимый), группа крови (А, В, О, АВ) или пол (мужской, женский), заданные на элементах какой – либо общественной группы, демонстрируют существенность этого отличия.»

Другим свойством множеств состояний и значений параметров «является *упорядоченность*. Методологически следует различать два типа упорядоченности – частичную и линейную.

Частичная упорядоченность – это бинарное отношение на множестве, являющееся рефлексивным, антисимметричным и транзитивным. *Линейная упорядоченность* сильнее частичной, так как под ней понимается частичная упорядоченность, обладающая свойством связности (то есть любая пара элементов множества так или иначе упорядочена).»

«Примерами переменных с частично упорядоченным множеством состояний являются служебное положение или образование человека (определенные, например, на группе государственных служащих). Примерами переменных с линейно упорядоченными множествами состояний являются шкала твердости Мооса, высота как характеристика звука или экзаменационные оценки, определенные на группе студентов. Прекрасным примером упорядоченности параметрического множества является время. Хотя в большинстве случаев такое упорядочение линейно, имеют смысл и частично упорядоченные временные множества, например при исследовании отдельных пространственно-разделенных процессов (таких, как распределенные вычислительные машины, которые обмениваются друг с другом информацией и для которых задержка при передаче сообщения

сравнима со временем изменения состояний переменных из отдельных процессов). Полезно определить упорядочение и для некоторых групп. Например, группа людей может быть упорядочена по таким отношениям, как “быть старше”, “быть потомком”, “занимать более высокое положение по работе”. Обычно частичные упорядочения и их существенность зависят от характера группы и всего контекста задачи. Переменные с линейно упорядоченными множествами состояний называются *переменными с упорядоченной шкалой*.»

«Кроме частичных или линейных упорядочений существуют и другие математические свойства, определение которых для множеств состояний или параметрических множеств оказывается во многих случаях очень полезным. Одним из наиболее существенных свойств является расстояние между парой элементов изучаемого множества. Эта мера определяется функцией, сопоставляющей любой паре элементов этого множества число, определяющее, на каком расстоянии друг от друга находятся эти элементы с точки зрения некоторого фундаментального упорядочения.» «Метрическое расстояние можно, разумеется, определить как на множестве состояний, так и на параметрическом множестве.

Примерами переменных с выраженными и существенными метрическими расстояниями являются почти все переменные в физике, например длина, масса, давление, электрическая проводимость, напряжение, сила звука, однако и помимо физики есть множество примеров таких переменных, скажем, количество денег, объемы производства, число дефектов, число несчастных случаев и так далее. Совершенно очевидно, что и пространство, и время – это параметры, к которым вполне естественно применимо понятие метрического расстояния. Однако редко удается определить метрическое расстояние на группах. Одним из таких примеров является группа студентов, линейно упорядоченная по показателям их успеваемости. При этом расстояние для каждой пары студентов определяется как абсолютное значение разницы между их позициями в упорядоченном списке. Переменные, с множеством состояний которых связано метрическое расстояние, обычно называются *метрическими переменными*.»

«Еще одним свойством множеств состояний и параметрических множеств,

имеющим большое значение как отличие процедур измерений, является *непрерывность*. Это понятие хорошо известно из математического анализа, и нет необходимости рассматривать его здесь подробно.

Необходимым условием непрерывности множества является его упорядоченность. Так как линейная упорядоченность является частным случаем частичной упорядоченности, то предпочтительнее определить непрерывность через частичную упорядоченность. Это можно сделать несколькими способами. Одно из определений непрерывного частичного упорядочения опирается на понятие разреза частично упорядоченного множества: *разрез частично упорядоченного множества*, скажем множества V_i , это разделение этого множества на два непустых подмножества, например X и $Y = V_i - X$, такое, что или никакой элемент X не является предшественником (согласно частично упорядочению, определенному на V_i) никакого элемента из Y и некий элемент Y является предшественником какого-либо элемента X , или никакой элемент из X не является преемником никакого элемента из Y и некоторый элемент Y является преемником некоторого элемента X . *Непрерывное частичное упорядочение V_i* определяется как частичное упорядочение, для которого любой разрез X, Y множества V_i характеризуется неким элементом из X , являющимся предшественником элемента из Y , такого, что или наибольшая верхняя граница X принадлежит Y , или наименьшая нижняя граница Y принадлежит X .»

«Наилучшим примером непрерывного частичного упорядочения является отношение “меньше или равно”, определенное на множестве действительных чисел или на его декартовых произведениях. Фактически само понятие *непрерывной переменной* (или *непрерывного параметра*) опирается на требование, чтобы соответствующее множество состояний (или параметрическое множество) было изоморфно множеству действительных чисел.

Из этого следует, что множество состояний любой непрерывной переменной или параметрическое множество любого параметра бесконечно и несчетно. Тем самым альтернативой непрерывным переменным и параметрам являются

переменные и параметры, заданные на конечных множествах или, возможно, на бесконечных счетных множествах. Последние называются *дискретными переменными или параметрами.*»

«Такие свойства, как упорядоченность, метрическое расстояние и непрерывность множеств состояний и параметрических множеств, представляют основу для определения наиболее существенных методологических отличий на уровне переменных и параметров. Приведем список перенумерованных альтернатив для этих свойств:

Упорядоченность:	0 – упорядоченности нет
	1 – частичная упорядоченность
	2 – линейная упорядоченность
Расстояние:	0 – не определено
	1 – определено
Непрерывность:	0 – дискретно
	1 – непрерывно

Статус любой переменной (или параметра) для этих трех свойств может быть однозначно охарактеризован триплетом - упорядоченность, расстояние, непрерывность, в котором каждое свойство представляется его определенным значением (или его идентификатором).»

«Назовем *каналом наблюдения* любую операцию, вводящую конкретную переменную как образ свойства. Канал наблюдения, с помощью которого свойство a_i представляется переменной \dot{v}_i , реализуется функцией

$$o_i : A_i \rightarrow \dot{V}_i. \quad (2.2)$$

Эта функция гомоморфна относительно предполагаемых свойств множеств A_i и \dot{V}_i . Аналогичная функция

$$\omega_j : B_j \rightarrow \dot{W}_j \quad (2.3)$$

задает представление базы b_j параметром \dot{w}_j , она также должна быть гомоморфной относительно соответствующих свойств базы (например, времени) и свойств множества \dot{W}_j .»

«Обозначим через Q четкий полный канал наблюдения. Тогда

$$Q = \left\{ \left(A_i, \dot{V}_i, o_i \right) \mid i \in N_n, o_i \right. \quad (2.4)$$

определяется уравнением (2.2) и должны быть гомоморфны относительно свойств A_i и \dot{V}_i }, $\left\{ \left(B_j, \dot{W}_j, \varpi_j \right) \mid j \in N_m, \varpi_j \right.$ определяются уравнением (2.3) и должны быть гомоморфны относительно свойств B_j и \dot{W}_j }), где все символы имеют тот же смысл, что и в разделе 2.1.

Нечеткий полный канал наблюдения, скажем \tilde{Q} , можно получить, заменив \tilde{o}_i из (Б.10) на \tilde{o}_i , определенное совместно со степенью достоверности. Функции ϖ_j также можно было бы заменить на функции $\tilde{\varpi}_j$, также определенные с некоторой степенью достоверности».

2.3 Исходные системы

Система объекта, свойства, отображенные в переменные и базы, отображенные в параметры, являются компонентами *исходной системы*

$$I = (O, Q, E), \quad (2.5)$$

где Q – множество каналов наблюдения свойств, а E – множество каналов наблюдения баз.

На рисунке 2 изображены взаимосвязи при отображении системы объекта в исходную систему и системы более высоких эпистемологических уровней. «Рисунок также дает представление об основных понятиях, связанных с исходной системой:

1. С одной стороны, исходная система представляет связи с реальным миром. Они проходят через систему объекта O и канал наблюдения Q . С другой стороны, исходная система связана с универсальным решателем системных задач (УРСЗ) через общую представляющую систему I и канал конкретизации / абстрагирования E . Эти два компонента (I и E) представляют интерфейс между конкретной предметной областью и УРСЗ. Данный интерфейс, находящийся на самом нижнем эпистемологическом уровне, очень важен, поскольку любой ин-

терфейс на более высоком уровне опирается на него.

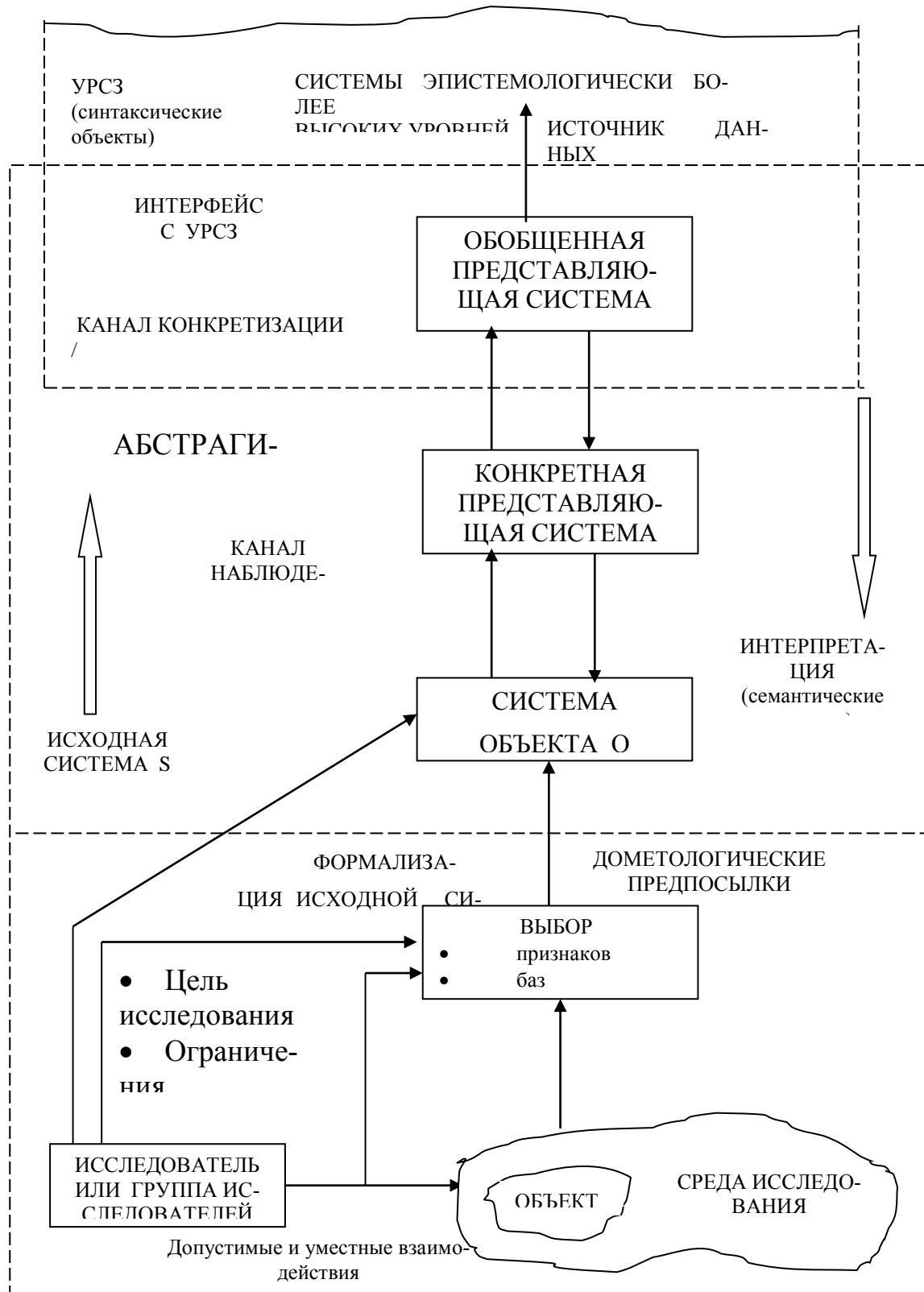


Рисунок 2 – Концептуальные элементы, используемые для определения исходной системы

2. По существу концептуальная схема УРСЗ – это специальный язык для описания важных системных задач. Область УРСЗ ограничена *синтаксическими аспектами* решения системных задач. Эти аспекты представляются через разные методологические отличия общих представляющих систем и их эпистемологически более высоких аналогов. Таким образом, реализация УРСЗ может быть разработана и описана только в терминах общих представляющих систем и их развития на более высоких эпистемологических уровнях.»

«*Прагматические аспекты* вводятся на дометодологическом уровне. К ним относятся цель и ограничения на определенные действия (научные исследования, системное проектирование и так далее). Некоторые из этих прагматических аспектов находят свое отражение в формулировках языка УРСЗ.

3. Исходная система называется исходной по двум причинам. С одной стороны, например, для научных исследований она является *источником эмпирических данных*, то есть источником описанных на языке УРСЗ абстрактных представлений явлений реального мира. С другой стороны, для таких работ, как инженерное проектирование, она является *источником интерпретации абстрактных данных*, которые или определяются пользователем, или выводятся УРСЗ.

Дихотомия входных и выходных переменных возникла из практических соображений. Она отражает в основном точку зрения пользователя, которая, в свою очередь, повлияла, а в некоторых случаях и определила цель, с которой задавалась система. *Выходные переменные* исходной системы рассматриваются пользователем как переменные, значения которых при соответствующих значениях параметров определяются внутри системы, в отличие от *входных переменных*, значения которых задаются извне. Все факторы, влияющие на определение входных переменных, обычно называются *средой системы*.

Системы с входными и выходными переменными будем называть *направленными системами*. А системы, у которых переменные не классифицированы таким образом, *нейтральными*.»

Для исходных систем актуальны задачи:

- 1) выбор каналов наблюдения свойств;

2) выбор каналов наблюдения баз;

3) Задачи, решаемые методами алгебры и функционального анализа при рассмотрении их в формальном виде, то есть без конкретных значений переменных и параметров.

2.4 Системы данных

Значения переменных и параметров рассматриваются соответственно на данном уровне и мы имеем дело с системой, демонстрирующей реальные значения своего состояния при конкретных значениях параметров.

«В УРСЗ всегда предполагается, что данные должны быть представлены как обобщенные параметры и переменные. Следовательно, при формализации понятия данных мы можем ограничиться рассмотрением только обобщенной направленной системы I , как она определена в (1.5). Пусть

$$W = W_1 \times W_2 \times \dots \times W_m,$$

$$V = V_1 \times V_2 \times \dots \times V_n.$$

Тогда четкие данные представляются функцией

$$d : W \rightarrow V. \quad (2.6)$$

Функция d любому значению полного параметра ставит в соответствие одно полное состояние переменных.

В то время как представляющая система I описывает только потенциальные состояния переменных, функция d дает информацию об их действительных состояниях при неограниченном параметрическом множестве. Система I в соединении с функцией d можно рассматривать как систему более высокого эпистемологического уровня (уровня 1). Будем называть такую систему *системой данных* и обозначать D .» Тогда

$$D = (I, d). \quad (2.7)$$

«В зависимости от рассматриваемой задачи функция d на самом деле может быть определена по крайней мере тремя разными способами. Во-первых, она может быть результатом наблюдений или измерений, как это бывает при всевоз-

можных эмпирических исследованиях. Во-вторых, ее можно породить в системах более высоких уровней. В-третьих, она может быть из каких-то соображений определена самим пользователем, как это бывает в задачах проектирования систем.»

«Данные могут быть представлены в самом разном виде. Пусть стандартной формой представления дискретных переменных и параметров будет матрица

$$d = [v_{i,w}], \quad (2.8)$$

элементами которой $v_{i,w}$ являются состояния переменных v_i , наблюдаемые при соответствующих значениях полного параметра w .»

«Каждый столбец матрицы d задает полное состояние, наблюдаемое при данном w , а каждая строка – все наблюдения одной переменной на параметрическом множестве W . Если W линейно упорядочено, то и столбцы в матрице d должны быть упорядочены точно таким же образом. Если используются несколько параметров, например группа – время, пространство нескольких измерений или пространство – время, то может оказаться удобнее использовать другие формы представления.»

Например, в компьютере имеет место статическое и динамическое выделение памяти. В первом случае имеем описанное выше матричное представление, во втором - данные с целью экономии памяти представляются связанным списком, в каждом узле которого имеется адрес следующего узла. При этом задается голова списка, а в хвосте отсутствует указание на следующий узел.

Кроме того, при задании нечетких данных, они должны дополнительно снабжаться значением функции принадлежности.

Таким образом, системы данных отображают систему объекта в статистическое исследование. Поэтому задачи этого уровня:

- 1) выбор способа представления информации;
- 2) задачи интеллектуального анализа данных, а именно задачи: классификации, регрессии, прогнозирования, кластеризации, определения взаимосвязей или по-другому поиска ассоциативных правил, распознавания образов, корреляции, анализа последовательностей, анализа отклонений.

2.5 Порождающие системы

2.5.1 Эмпирическое исследование

Для того, чтобы любое опытное исследование было содержательным необходимы три составляющих. «Во-первых, должен быть определен объект исследования; во-вторых, должна быть известна цель исследования этого объекта; в третьих, должны быть определены ограничения, при которых проводится исследование.»

«Объект исследования определен выше как часть мира, различаемая как единое целое в течение достаточно длительного периода времени и подходящая для какого-либо конкретного исследования.

Цель исследования можно представить как набор вопросов об объекте, на которые исследователь (или его заказчик) хотят получить ответы. Если, например, объектом исследования является г. Нью-Йорк, то целью исследования могут быть ответы на такие вопросы: каким образом можно сократить преступность в городе или как улучшить движение транспорта. Если объектом исследования является вычислительный комплекс, то целью исследования может быть поиск ответов на вопросы: каковы узкие места в комплексе, что можно сделать для повышения его производительности – и тому подобное. Если исследуется больница, то возможны такие вопросы: как повысить готовность оказать срочную помощь в опасных случаях, как сократить среднее время пребывания пациента в больнице или что можно сделать для сокращения платы за лечение при сохранении его качества?»

«Ограничения в эмпирическом исследовании представляют ограниченные возможности выбора инструментов, ограниченные финансовые возможности и время, людские ресурсы и мощность вычислительной техники, правовые, моральные и другие нормы, которых должен придерживаться исследователь.»

Основные этапы эмпирического исследования представлены на рисунке 3. «Вся процедура эмпирического исследования систем, согласно рисунку 3, может быть теперь описана следующим образом:

- 1) дан объект, цель и ограничения эмпирического исследования; на объекте определяется исходная система (подробности см. на рисунке 3);
- 2) для данной исходной системы собираются данные и представляются в удобном виде, обычно в виде массива данных;
- 3) данные обрабатываются с целью определения неких представляющих их параметрически инвариантных свойств;
- 4) полученные параметрически инвариантные свойства интерпретируются в соответствии с целью исследования и делаются окончательные выводы или исследование начинается снова с этапа 3, 2 или 1.»

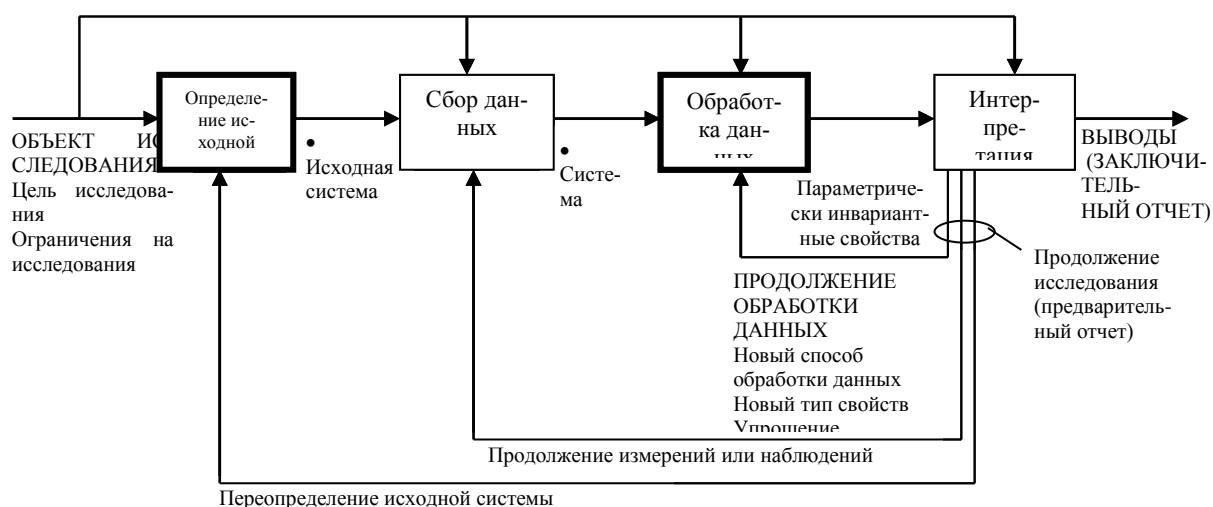


Рисунок 3 – Основные этапы эмпирических исследований систем

2.5.2 Системы с поведением

Будем рассматривать функционирование исходной системы при условии, что на ее переменные наложено, не зависящее от значений параметров ограничение. «Так как описание параметрически инвариантного ограничения на рассматриваемые переменные может быть использовано для порождения состояний переменных при данном параметрическом множестве, системы, содержащие такие ограничения, называются *порождающими* системами. Поведение представляет собой одну из форм задания этого ограничения.»

«Если параметрическое множество упорядочено, состояния переменных могут ограничиваться не только другими состояниями, но и состояниями выбранного *соседства* для каждого конкретного значения параметра.»

«Соседство на упорядоченном параметрическом множестве обычно называется *маской* (почему, будет объяснено ниже) и определяется через переменные, параметрическое множество и набор правил сдвига на параметрическом множестве. Правило сдвига, скажем правило r_j , - это однозначная функция

$$r_j : W \rightarrow W, \quad (2.9)$$

которая каждому элементу W ставит в соответствие другой (причем единственный) элемент W .»

«Для полностью упорядоченных параметрических множеств маска может быть изображена в виде вырезки из матрицы, представляющей декартово произведение $V \times R$. Это показано на рисунке 4а, на котором строки помечены идентификаторами i переменных из множества V , а столбцы – целыми константами ρ , связанными с правилами сдвига вида. Элементы матрицы или пусты, или представляют собой идентификаторы k выборочных переменных, приписанные парам (i, ρ) ; пустые элементы матрицы соответствуют элементам $V \times R$, не входящим в маску. В визуальном представлении становится ясно, почему мы используем термин «маска».»

«В любой маске один столбец соответствует тождественному правилу сдвига ($\rho = 0$). Этот столбец имеет особое значение, поскольку связанные с ним выборочные переменные идентичны базовым переменным заданной исходной системы. Будем этот столбец в масках называть *справочником*. Если маска помещена на матрицу данных таким образом, что справочник совпадает с определенным значением t , то маска выделит только некоторое подмножество элементов, а именно элементы, представляющие полное состояние выборочных переменных при данном значении t . Так, например, на рисунке 4б изображена маска (определенная на рисунке 4а), помещенная на матрицу данных d при $t = 7$ (справочник маски совпадает с $t = 7$). Полное состояние выборочных переменных для этого положения маски показано на рисунке 4в.» Необходимо обратить «внимание на то, что состояния справочника выборочных переменных $s_2, s_3, s_7, s_9, s_{10}$ в точности те же (доля любого t), что и состояние базовых переменных

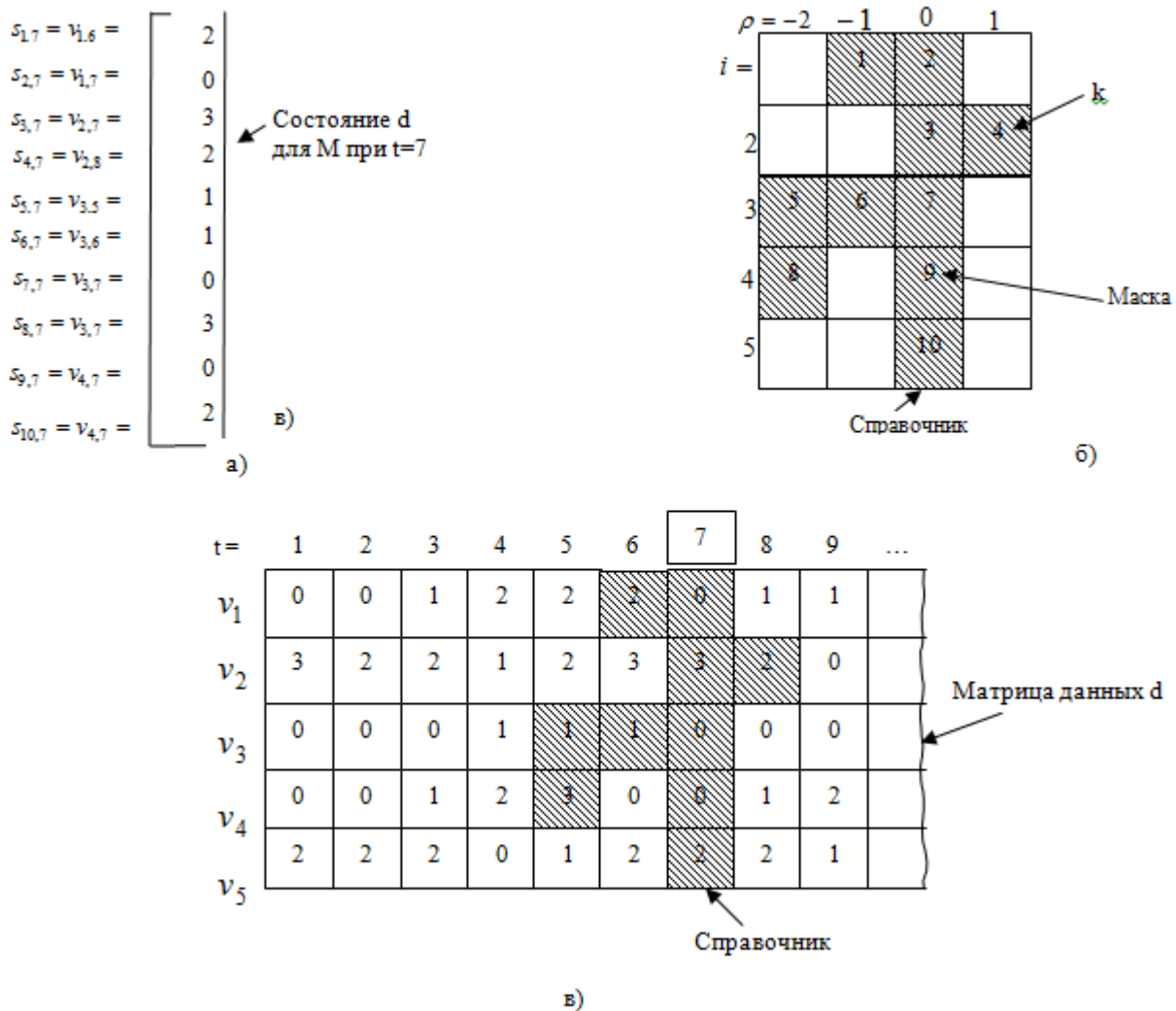


Рисунок 4 – Пояснение понятия маски для полностью упорядоченных параметрических множеств

соответственно v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 . Остальные выборочные переменные представляют собой состояния из параметрического соседства в t . Для любой маски при любом t схема соседства сохраняется. Если t – время, то переменная s_4 будет представлять будущее (относительно рассматриваемого значения t) состояние переменной v_2 , а переменные s_5 и s_4 будут представлять, например, прошлые состояния переменной v_3 .

Любая маска представляет определенную точку зрения, в соответствии с которой представляются ограничения на базовые переменные. Самый простой способ задания определенной маски – это перечисление всех полных состояний соответствующих выборочных переменных. В общем виде подобный перечень является подмножеством декартова произведения S , то есть многомерным от-

ношением, определенным на C . Это отношение определяется функцией такой, что $f_B(c) = 1$, если состояние c входит в перечень, и $f_B(c) = 0$ в противном случае. Таким образом, функция f_B – это типичная функция выбора. Она выбирает состояния выборочных переменных из множества всех потенциальных состояний (из декартова произведения C). Так как подобный выбор дает по крайней мере некоторые сведения о поведении этих переменных, функцию f_B обычно называют *функцией поведения (behavior)*.

$$f_B : C \rightarrow \{0,1\}, \quad (2.10)$$

Функция, определяемая уравнением (1.10), задает только один из существующих типов функций поведения, разными способами описывающих ограничения на переменные. В следующем разделе вводятся разные функции поведения, которые рассматриваются как методологические отличия. В этом разделе мы ограничимся выбирающей функцией поведения, определяемой (1.9).»

«Функция f_B определяет реально встречающиеся состояния c , но не определяет значение параметра, при котором они имеют место. Таким образом, эта функция является параметрически инвариантной. Обратите также внимание на область определения f_B . Она одинакова для всех типов функций поведения и определяется через маску, которая, в свою очередь, определяется через переменные и параметры представляющей системы. Отсюда следует, что некоторая система, скажем система F_B , характеризующая параметрически инвариантное ограничение на множество переменных через функции поведения, определяется тройкой

$$F_B = (I, M, f_B), \quad (2.11)$$

где I – исходная система; M - маски, определенная на I ; f_B - функция поведения, определенная через M и I . Будем такую систему называть *системой с поведением*.»

Первое состояние переменных «определяется пользователем как подходящее *начальное условие*. Однако после этого все полностью определяется самим процессом порождения. При этом предполагается, что значения t должны на

следующем этапе изменяться в соответствии с порядком, заданным на множестве T . Таким образом, значения t заменяются или на $t+1$, или на $t-1$. В первом варианте начальное условие должно быть определено для наименьшего возможного значения t , а во-втором – наибольшего возможного значения t .» Таким образом, порождение данных может происходить в одном из двух порядков.

2.5.3 Методологические отличия

Хотя функция выбора является, вероятно, наиболее подходящим формальным аппаратом для задания ограничений в детерминированных системах, в которых порождение данных удобно описывать с помощью функции (2.11), для работы с недетерминированными системами функции выбора не годятся.

Традиционно с недетерминированными системами работают в теории вероятностей. Несмотря на то, что это наиболее развитый и важнейший математический инструмент, в настоящее время вероятностная мера рассматривается только как частный случай более общего класса мер, называемого нечеткими мерами.

В нашем случае меры определяются на подмножествах декартового произведения S . Отсюда мера определяется функцией

$$\mu: P(S) \rightarrow [0,1], \quad (2.12)$$

где $P(S)$ – мощность множества S . Чтобы функция являлась мерой, она должна обладать следующими свойствами нечетких мер:

$$\begin{aligned} (\mu_1) \quad & \mu(\emptyset) = 0; \quad \mu(S) = 1; \\ (\mu_2) \quad & \text{если } X_1 \subseteq X_2, \quad \text{то } \mu(X_1) \leq \mu(X_2); \\ (\mu_3) \quad & \text{если } X_1 \subseteq X_2 \subseteq \dots \quad \text{или } X_1 \supseteq X_2 \supseteq \dots, \\ & \text{то } \lim_{i \rightarrow \infty} \mu(X_i) = \mu(\bigcap_{i=1}^{\infty} X_i). \end{aligned}$$

Требование (μ_1) очевидно. Требование (μ_2) , обычно называемое свойством монотонности, не допускает, чтобы подмножество другого подмножества S обладало большей мерой, чем включающее подмножество. Согласно требованию (μ_3) , называемому непрерывностью, предел мер бесконечной монотонной последовательности. К дискретным системам, в которых S всегда является конечным множеством, требование непрерывности, естественно, неприменимо.

В литературе описаны самые разные классы нечетких мер, имеющих разные свойства. На рисунке В.5 приведена диаграмма, изображающая отношение включения для некоторых мер. Так, например, класс вероятностных мер входит в класс мер правдоподобия и в класс мер доверия, но не пересекается с классами мер возможности или необходимости.

Классы нечетких мер рассматриваются как методологические отличия. Они используются в порождающих системах и во всех системах более высоких эпистемологических уровней.

Далее будут рассматриваться только два класса мер (см. рисунок 5). Первый - классический и хорошо разработанный класс вероятностных мер, второй – это класс возможностных мер. Необходимо отметить, что возможные меры приложимы только к конечным множествам и к некоторым частным случаям бесконечных множеств; в общем случае эти меры не удовлетворяют требованию непрерывности. Таким образом, они наверняка применимы к дискретным, но не к непрерывным системам.

Из теории вероятностей хорошо известно, что любая вероятностная мера p , однозначно определяется функцией распределения

$$f_B : C \rightarrow [0,1], \quad (2.13)$$

которая должна удовлетворять соответствующим требованиям согласно формуле

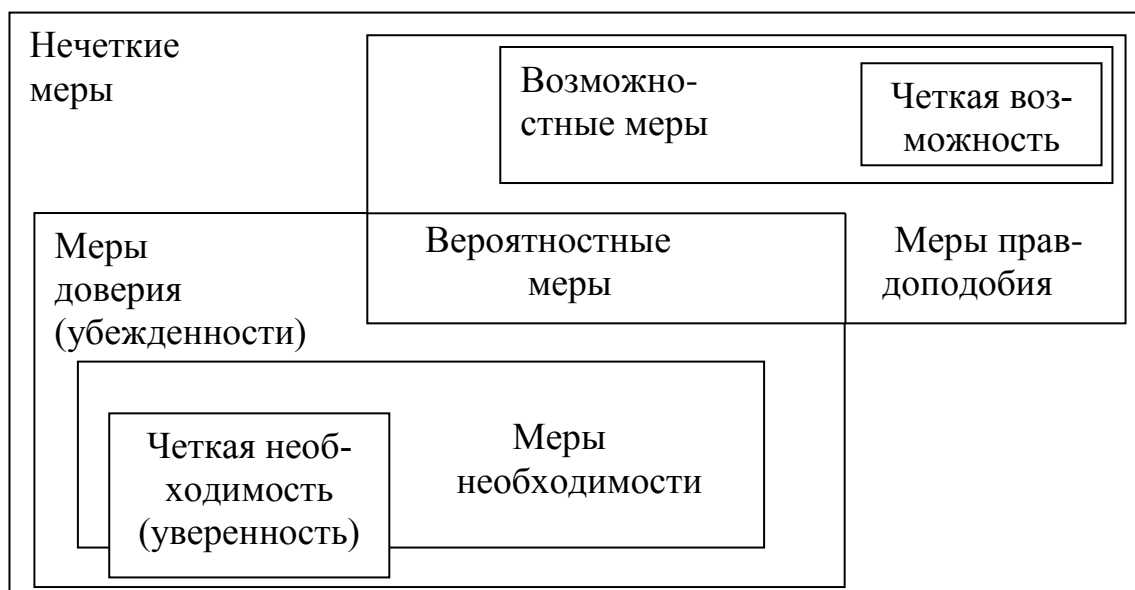


Рисунок 5 – Некоторые классы нечетких мер

$$p(X) = \sum_{c \in X} f_B(c), \quad (2.14)$$

где $X \in P(C)$. Здесь применен тот же индекс B , что и в описании функции поведения, определенной в (B1), так как плотность вероятности также будет использоваться в качестве функции поведения.

Мера возможностей – это функция

$$\pi : P(C) \rightarrow [0,1], \quad (2.15)$$

удовлетворяющая следующим требованиям:

$$(\pi 1) \quad \pi(0) = 0; \pi(C) = 1;$$

$$(\pi 2) \quad \pi(\cup_i X_i) = \max \pi(X_i)$$

Хорошо известно, что мера возможности π однозначно определяется функцией распределения возможностей f_B , имеющей вид (2.12) и определяемой формулой

$$\pi(X) = \max_{c \in X} f_B. \quad (2.16)$$

2.5.4 От систем данных к системам с поведением

Важный класс системных задач, часто называемый *индуктивным моделированием систем*, может быть описан в первом приближении как множество задач, связанных с подъемом по эпистемологической иерархии систем. Все задачи этого класса характеризуются следующим общим описанием: дано

Конкретная система, скажем x определенного эпистемологического уровня;

Множество всех конкретных систем некоего более высокого эпистемологического уровня, совместимых с системой x (то есть основанных на той же представляющей системе, с теми же методологическими отличиями), скажем множество Y ;

Набор соответствующих требований Q относительно неких свойств систем из множества Y , причем одним из этих требований является требование, чтобы данная система x была аппроксимирована как можно более точно системой более высокого уровня и требуется определить Y_Q – подмножество Y , такое, чтобы

любая система из Y_Q удовлетворяла всем требованиям, определенным в наборе Q .

Для демонстрации в данном разделе задачи определения систем с поведением, представляющих заданную систему данных и обладающих некими подходящими дополнительными свойствами, будем считать, что x – это система данных с номинальными переменными (переменными с номинальной шкалой), Y – множество всех систем с поведением, описываемым вероятностными или возможностными функциями поведения, совместимыми с x , а набор Q состоит из:

1) подмножества Y_r – множества Y , определенного пользователем или УРСЗ (как выбор по умолчанию);

2) требования, чтобы несогласованность между соответствующими переменными заданной системы данных и системы с поведением из Y_Q была как можно меньшей;

3) требования, чтобы степень неопределенности при порождении данных системой с поведением из множества Y_Q была как можно меньшей;

4) требования, чтобы система из подмножества Y_Q была как можно более простой;

5) предпочтения требования 2 требованиям 3 и 4.

В этой общей формулировке требование 1 сводится к определению множества допустимых масок. Если параметрическое множество не упорядочено, то понятие параметрического соседства не определено, и, следовательно, существует только одна осмысленная маска. Эта маска, определяемая тождественным правилом сдвига; она называется *маской без памяти*. Эта задача сводится к определению для имеющихся данных функции распределения вероятностей или возможностей, удовлетворяющих требованию 2. Она решается полным перебором данных с помощью маски без памяти (в данном случае порядок выбора не важен) и определения для каждого состояния выборочных переменных c (в данном случае они совпадают с основными переменными) числа $N(c)$ их появлений в данных. Числа $N(c)$ для всех $c \in C$ обычно называются *частотами состояний c* . Они используются для вычисления по некоторым правилам соответствующих

функций вероятностей или возможностей.

Вычислять распределение вероятности или возможности по частотам можно разными способами. Выбор способа зависит от того, какой смысл придает пользователь этим вероятностям или возможностям. Так, например, если вероятности рассматриваются как характеристики данных, то обычно вычисляются *относительные частоты*, то есть отношения $N(\mathbf{c})$ к общему числу имеющихся выборок из данных по используемой маске. Отсюда

$$f_B(\mathbf{c}) = \frac{N(\mathbf{c})}{\sum_{\alpha \in C} N(\alpha)}. \quad (2.17)$$

Если, однако, вероятности рассматриваются как оценки частот по уже имеющимся результатам наблюдения, то они вычисляются по формуле

$$f_B(\mathbf{c}) = (N(\mathbf{c}) + 1) / \left(\sum_{\alpha \in C} N(\alpha) + |C| \right). \quad (2.18)$$

Поскольку распределения возможностей менее ограничены, чем их вероятностные аналоги (например, к ним не надо добавлять 1), существует еще больше возможных правил для вычисления их по частотам $N(\mathbf{c})$. Естественный способ вычислений распределения возможностей, который можно считать аналогом формулы (42) – это считать значение возможности равной отношению частоты $N(\mathbf{c})$ к максимальной зафиксированной частоте, то есть

$$f_B(\mathbf{c}) = N(\mathbf{c}) / \max_{\alpha \in C} N(\alpha). \quad (2.19)$$

По другой формуле распределение возможности вычисляются по соответствующим вероятностям. Пусть $f_B(\mathbf{c})$ и $f'_B(\mathbf{c})$ – это соответственно возможность и вероятность состояния \mathbf{c} ($\mathbf{c} \in C$).

Тогда

$$f_B(\mathbf{c}) = \sum_{\alpha \in C} \min[f'_B(\mathbf{c}), f'_B(\alpha)]. \quad (2.20)$$

По этой формуле распределение возможностей выражается через верхние границы значений вероятностей.

Предположим теперь, что параметрическое множество полностью упорядочено. В этом случае из одной и той же системы данных можно получить мно-

жество систем с поведением, отличающихся масками. Если для заданных данных они определены достаточно корректно, то они одинаково хорошо отвечают требованию согласованности. Точнее, выражение «достаточно корректно» означает, что функция поведения хорошо согласуется с данными (и, возможно, с некоторой дополнительной информацией) с точки зрения маски и типа выбранных ограничений.

Всякая маска представляет собой некоторое окно, через которое отбираются рассматриваемые данные из матрицы данных (или из массива более высокого порядка). При движении этого окна вдоль всей матрицы данных частоты состояний соответствующих выборочных переменных определяются подсчетом того, как часто наблюдается каждое состояние.

Число столбцов в маске называют *глубиной маски* и обозначают ΔM . Есть по крайней мере два соображения, по которым применение масок с большой глубиной в общем случае не желательно. Во-первых, если маска используется для порождения данных, то чем больше ее глубина, тем большее требуется начальное условие. Это, вообще говоря, не желательно. Во-вторых, если маска используется для выборки данных, то число неполных выборок равно $2(\Delta M - 1)$. Это означает, что с ростом глубины маски все меньше имеющихся данных используется для определения функции поведения. Следовательно, с увеличением глубины маски сужается эмпирическая основа, на которой строится функция поведения.

Как выяснено выше, любая система определяется таким образом, что она хорошо согласуется с заданной системой данных и дополнительной информацией по маске и принятому типу описания ограничений. Таким образом, требование согласованности имеет более высокий приоритет, чем остальные требования. Теперь остается только применить условия 3) и 4) обычно называемые *условием детерминированности* и *условием простоты*, для вывода подмножества решений Y_Q ограниченного множества Y_r .

Несмотря на то, что в формулировках конкретных типов задач возникают и дополнительные требования, условия детерминированности и простоты имеют

всеобщее значение. Поэтому обычно они не опускаются. Часто сначала определяется множество решений, удовлетворяющих этим условиям (и, разумеется, условию согласованности), а затем входящие в это множество системы с поведением изучаются исследователем. Он может использовать их в качестве вспомогательного представления базовых переменных. Однако, если необходимо дальнейшее сокращение множества решений, исследователь производит их оценку и сравнение согласно некоторым вспомогательным критериям. Эти критерии могут определяться как контекстом, так и вкусами исследователя.

На данном уровне решаются следующие задачи:

- 1) выбора наиболее подходящей маски;
- 2) упрощения/усложнения маски;
- 3) выявления функции поведения системы.

Кроме того, имеются две задачи, которые решаются на любом уровне иерархии:

- 4) задача исследования систем;
- 5) задача проектирования систем.

2.6 Структурированные системы

2.6.1 Целое и части

Структурированная система представляет собой набор исходных систем, систем данных или порождающих систем, имеющих общее параметрическое множество. Системы, образующие структурированную систему, обычно называются ее *элементами*. Некоторые переменные у них могут быть общими. Общие переменные обычно называются *связывающими переменными*. Они представляют взаимодействия между элементами. Естественно называть эти три типа систем *структурированными исходными системами*, *структурированными системами данных* и *структурированными порождающими системами*. Для некоторых задач удобно также выделить более частные типы структурированных систем,

например *структурированные представляющие системы или структурированные системы с поведением*

Для заданной структурированной системы одного из этих типов существует связанная с ней система, определяемая *всеми* переменными, входящими в ее элементы. Эта система (предполагается, что она того же типа, что и элементы структурированной системы) рассматривается как некая *полная система*, то есть система, представляющая в виде некоторого целого все входящие переменные. С этой точки зрения элементы любой структурированной системы интерпретируются как *подсистемы* соответствующей полной системы, а полная система — как *суперсистема* этих элементов. При этом структурированные системы становятся, по существу, представлениями полных систем в виде различных подсистем.

Статус системы как полной системы или подсистемы не является, разумеется, абсолютным. Например, некая система с поведением в одном контексте может рассматриваться как элемент структурированной системы (и, следовательно, как подсистема полной системы с поведением), а в другом — может рассматриваться как полная система, подсистемы которой образуют структурированную систему. Любая исходная система, система данных или порождающая система существует как бы в двух «лицах». В одном контексте она имеет статус подсистемы, а в другом — статус суперсистемы. Можно, таким образом, говорить не только о том, что «часть — это ампула целого» (как предполагает Р. Гленвилл), но и о том, что целое — это ампула части. Подобная двойственность дает возможность представить любую полную систему как *иерархию структурированных систем*, то есть как структурированную систему, элементами которой являются структурированные системы, элементами которой также являются... и так далее вплоть до элементов, состоящих из отдельных переменных.

Со структурированными системами связана одна из самых спорных философских проблем — проблема взаимоотношения между *целым* и *частями*. Эта проблема рассматривается не только в древнегреческой философии, но и в значительно более древней китайской философии, в частности в книге *И Цзин* и более поздних работах. Это хорошо описывается в статье А. Бама [3].

Нет проблемы более важной для понимания природы существования, знания, ценностей или логики, чем проблема природы целого и его частей и их взаимоотношений.

Со структурированными системами связаны некоторые наиболее важные типы системных задач. Это типы задач, имеющие в основном операционные формулировки на языке УРСЗ, и связанные с вопросами взаимоотношений между целым и частями. Некоторые из них относятся к исследованию, а некоторые к проектированию систем: одни возникли из практики, другие имеют теоретическое значение или затрагивают определенные философские вопросы. В этой главе определяются структурированные системы различных типов и рассматриваются некоторые связанные с ними ключевые задачи.

2.6.2. Системы, подсистемы, суперсистемы

Требования *совместимости* и *включенности*, видимо, адекватно описывают самую суть отношения часть-целое. Чтобы как можно более общим образом определить смысл этого отношения никаких добавочных требований не нужно. Остается, разумеется, определить отношение часть-целое для исходных систем, систем данных и порождающих систем так, чтобы оба этих требования выполнялись.

Введем сначала соответствующую терминологию и обозначения. Пусть система x рассматривается как часть системы y . Будем x называть *подсистемой* y , а y — *суперсистемой* x . Формально будем обозначать, что x является подсистемой y (а y — суперсистемой для x), следующим образом: $x \prec y$.

Пусть теперь xS и yS — исходные системы. Для определения отношения «подсистема» (и обратного отношения «суперсистема») необходимо выполнить условие совместимости исходных систем. Это значит, что они должны быть одного методологического типа (т. е. иметь одни и те же методологические отличия) и должны быть определены для одних и тех же параметров, как и для соответствующих баз.

Требование включенности для исходных систем выражается в виде

нескольких отношений включения: xS рассматривается как *исходная подсистема* yS (предполагается, что xS и yS – сравнимые исходные системы) тогда и только тогда, когда множества переменных (и обобщенных, и конкретных) и множество свойств системы xS являются подмножествами соответствующих множеств системы yS и, соответственно, множества состояний и проявлений свойств, а также множества наблюдений и каналы конкретизации системы xS являются подмножествами соответствующих систем yS . Данный набор отношений включения, которые должны выполняться, чтобы выполнилось отношение «подсистема», удобно представить через отношения одного индексного множества. Элементы этого множества идентифицируют отдельные сущности разных множеств (переменные, свойства, каналы), причем предполагается, что соответствующие друг другу обобщенные переменные, конкретные переменные и свойства помечаются одним и тем же элементом индексного множества (так же, как в формальном определении исходных систем). Пусть переменные, свойства и другие характеристики систем xS , yS помечены (идентифицированы) соответственно индексными множествами xJ , yJ . Тогда отношение xS – подсистема yS «полностью» описывается отношением включения

$${}^xJ \subseteq {}^yJ \quad (2.21)$$

для их индексных множеств. Обычно считается, что

$${}^yJ \subseteq N_n \quad (2.22)$$

Пример 1. Пусть 1S — исходная система (например, состояние деловой древесины [2]). Тогда ${}^1J = N_7$. Пусть 2S — исходная система, определенная как подсистема 1S (${}^2S \prec {}^1S$) с помощью индексного множества ${}^2J = \{1, 2, 3, 7\}$. Тогда 2S будет состоять из всех элементов, входящих в 1S , за исключением $v_i, V_i, \dot{v}_i, \dot{V}_i, a_i, A_i, o_i, e_i$ при $i = 4, 5, 6$.

Для направленных исходных систем отношение «подсистема» находит отражение и в соответствующих идентификаторах входов-выходов. Пусть xS , yS – направленные исходные системы, такие, что ${}^xS \prec {}^yS$, и пусть

$${}^x u = ({}^x u(j) | j \in {}^x J),$$

$${}^y u = ({}^y u(j) \mid j \in {}^y J)$$

– идентификаторы их входов-выходов. Тогда ${}^x u(j) = {}^y u(j)$ для всех $j \in {}^x J$.

Для отслеживания значений, связанных с отдельными компонентами ${}^x u$ и ${}^y u$, удобно считать, что для любого идентификатора входа-выхода элементы $u(j)$ упорядочены в порядке возрастания значений j .

Определенное для исходных систем отношение «подсистема» легко может быть распространено на системы данных. Понятно, что для двух сравнимых систем данных ${}^x D$, ${}^y D$, которым соответствуют исходные системы ${}^x S$, ${}^y S$, ${}^x D$ является подсистемой данных ${}^y D$, то есть ${}^x D \prec {}^y D$, тогда и только тогда, когда ${}^x S \prec {}^y S$ и ${}^x D$ содержит только данные, содержащиеся в ${}^y D$ и относящиеся к переменным, входящим в ${}^x S$. Существенно, чтобы массивы данных были помечены таким образом, чтобы для каждого элемента можно было однозначно определить, к какой конкретной переменной он относится.

Теперь остается только определить отношение «подсистема» для двух вариантов порождающих систем и систем с поведением. Пусть

$$\begin{aligned} {}^x F_B &= ({}^x S, {}^x M, {}^x f_B) \\ {}^y F_B &= ({}^y S, {}^y M, {}^y f_B) \end{aligned}$$

- сравнимые системы с поведением и пусть ${}^x J$, ${}^y J$ — множества идентификаторов переменных, соответствующих исходным системам ${}^x S$, ${}^y S$.

Тогда ${}^x F_B$ является подсистемой системы с поведением ${}^y F_B$, то есть

$${}^x F_B \prec {}^y F_B$$

тогда и только тогда, когда выполнены следующие три условия:

1) ${}^x J \subseteq {}^y J$, так что ${}^x S \prec {}^y S$;

2) ${}^x M \subseteq {}^y M$, так что $(v_i, r_j) \in {}^x M$ тогда и только тогда, когда $(v_i, r_j) \in {}^y M$ и $j \in {}^x J$;

3) ${}^x f_B = [{}^x f_B \downarrow {}^x K]$, где ${}^x K$ – множество идентификаторов выборочных переменных, соответствующих ${}^x M$, т. е. ${}^x f_B$ является проекцией ${}^y f_B$ для выборочных переменных системы ${}^x F_B$.

Пример 2. Рассмотрим отношение подсистема-суперсистема для двух систем с поведением, изображенных на рисунке 6. Обе системы определены на одном и том же полностью упорядоченном параметрическом множестве. Их представляющие системы 1I , 2I содержат соответственно переменные v_1, v_2, v_3, v_4 и v_1, v_4 , каждая из которых имеет два состояния.

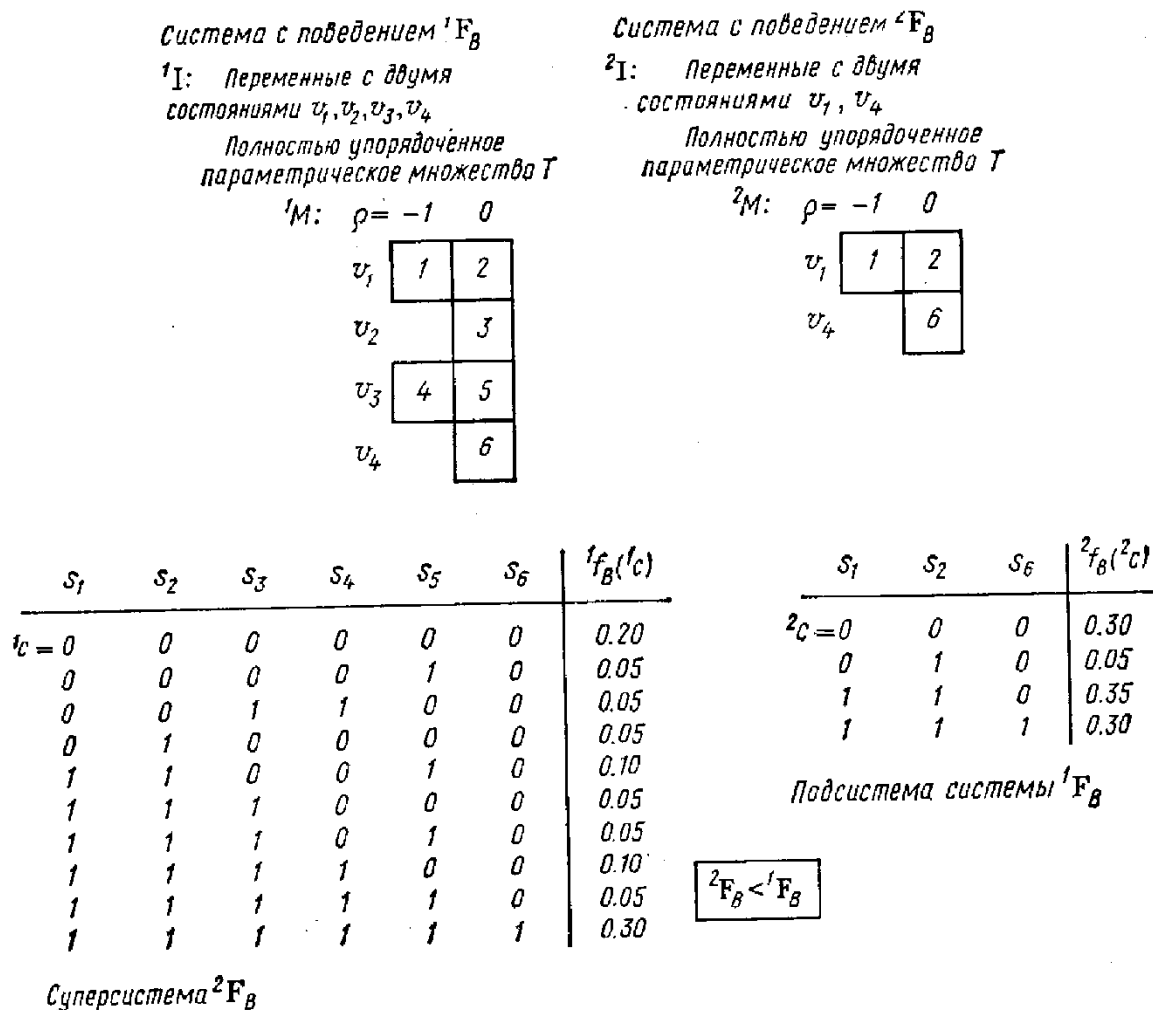


Рисунок 6 – Пример отношения подсистема с поведением/суперсистема с поведением (пример 2)

Им может быть дана некоторая интерпретация (каналы конкретизации и наблюдения), однако в данном примере эта интерпретация несущественна. Функциями поведения систем являются распределения вероятностей. Система 2F_B удовлетворяет трем условиям, определяющим, что 2F_B является подсистемой

системы 1F_B , то есть ${}^2F_B < {}^1F_B$. Поскольку эти системы вероятностные, то при проецировании $[{}^1f_B \downarrow \{1,2,6\}]$ в качестве агрегирующей функции используется сумма. Например, значение для ${}^2f_B(000)$ получается суммированием первых трех вероятностей из таблицы для 1f_B .

Понятия подсистемы с поведением достаточно легко распространить и на другие типы порождающих систем (порождающие системы с поведением, направленные системы с поведением и так далее). Нужно только подходящим образом идентифицировать порождающие, порождаемые и входные переменные для обеих рассматриваемых систем.

2.6.3. Структурированные исходные системы и системы данных

Как уже указывалось выше, структурированные системы — это множества исходных систем, систем данных или порождающих систем. Они нужны для объединения нескольких систем в большие. Для того чтобы такое объединение было осмысленным, необходимо, чтобы отдельные системы — элементы структурированной системы, были совместимы, т. е. были одного типа и определены на одном и том же параметрическом множестве. По существу, это то же условие *совместимости*, выполнение которого требуется для отношения «подсистема».

Кроме условия совместимости нужно еще потребовать, чтобы никакой элемент не был подсистемой другого элемента той же структурированной системы. Выполнение этого требования позволяет избежать перемешивания уровней отдельных структурированных систем для того, чтобы они были иерархически упорядочены. Более того, в структурированной системе подсистемы, состоящие из любых элементов, полностью избыточны в том смысле, что любая содержащаяся в них информация также может быть выведена из элементов их суперсистем. Таким образом, в структурированных системах они бесполезны. Назовем это требование *требованием неизбыточности*.

Избыточные элементы часто используются в технических системах для обнаружения и коррекции ошибок. Как показано выше, требование неизбыточности никоим образом не исключает из рассмотрения системы такого типа.

Для формального определения структурированных систем предположим, что нейтральная структурированная система состоит из q элементов (нейтральных систем того же типа), удовлетворяющих требованиям совместности и избыточности. Элементы идентифицируются индексом x , где $x \in N_q$. Пусть, кроме того,

$$V = \{v_i \mid i \in N_n\} \quad (2.23)$$

является множеством всех переменных, входящих в элементы системы, и пусть xV - множество переменных элементов x ($x \in N_q$). Тогда

$$V = \bigcup_{x \in N_q} {}^xV. \quad (2.24)$$

Будем для удобства обозначений переменные из множеств xV идентифицировать с помощью того же индекса i , что и переменные из полного множества V . Тогда любой элемент однозначно идентифицируется множеством своих переменных xV .

Различные типы структурированных систем будем обозначать стандартным для этого типа символом с префиксом S . Так, через SS , SD , SF_B обозначены структурированные системы, элементами которых являются соответственно нейтральные исходные системы, направленные системы данных и нейтральные системы с поведением. Таким образом, префикс S используется как оператор, показывающий, что несколько систем определенного типа объединено в большую систему.

Элементами структурированных систем простейшего типа являются нейтральные исходные системы. Системы этого типа определяются как множество

$$SS = \{({}^xV, {}^xS) \mid x \in N_q\}, \quad (2.25)$$

где xS для каждого $x \in N_q$ – нейтральная исходная система (элемент SS); через xV обозначено множество переменных, входящих в xS ; это обозначение удобно использовать как идентификатор элементов структурированной системы. Разумеется, исходные системы xS из (Г.3) должны удовлетворять требованиям совместности и избыточности, но только этим требова-

ниям.

Если два элемента SS , скажем элементы, идентифицированные как $x, y \in N_q$, имеют общие переменные, то есть

$${}^xV \cap {}^yV \neq 0, \quad (2.26)$$

то эти элементы соединены. Будем это множество общих переменных называть *соединением* элементов x и y , а переменные из этого множества — *соединяющими переменными*. Соединения — это важные характеристики структурированных систем, так как они определяют взаимодействия между их элементами. Понятно, что для нейтральных структурированных систем соединения симметричны, то есть не зависят от порядка, в котором рассматриваются элементы. Для удобства соединение между нейтральными элементами x и y структурированной системы будем обозначать как

$$C_{x,y} = V. \quad (2.27)$$

Пример 4. Рассмотрим с точки зрения садовника структурированную исходную систему, определенную для розового куста в горшке (см. рисунок 7). Эта система задается для того, чтобы определить пути повышения ежегодного урожая.

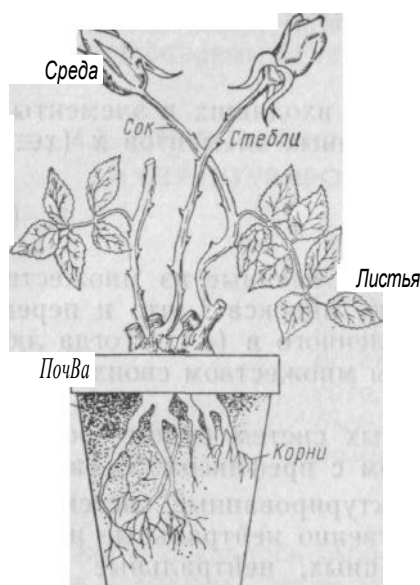


Рисунок 7 – Части розового куста, являющиеся элементами структурированной системы, определенной в примере 4

Все переменные этой системы имеют два одинаковых параметра: группу изучаемых розовых кустов и время. На самом деле параллельно исследуется несколько групп, причем каждая характеризуется определенными свойствами, такими, как тип почвы, удобрения и заболевания растения, частота срезания цветов и так далее. Необходимо, чтобы наблюдения делались для каждого члена группы раз в два дня в течение одного года; если нужно, то исследование может быть продлено еще на несколько лет.

В объекте исследования – розовом кусте в горшке – можно выделить шесть частей: почва, корни, стебель, сок растения, листья и цветы (рисунок 7). Исходная система определена для каждой из этих частей через следующий набор из 19 переменных (для простоты мы опускаем описание наблюдений и каналов конкретизации):

V_1 (влажность почвы) – низкая, средняя, высокая;

V_2 (способность корней поглощать влагу) – низкая, средняя, высокая;

V_3 (способность корней поглощать минеральные вещества) – низкая, средняя, высокая;

V_4 (способность стебля переносить сок) – хорошо, плохо;

V_5 (частота расположения цветов на стебле) – малая, средняя, большая;

V_6 (частота расположения листьев на стебле) – малая, средняя, большая;

V_7 (характеристики цвета сока) – плохие, средние, хорошие;

V_8 (характеристики запаха сока) – плохие, средние, хорошие;

V_9 (характеристики выработки сока) – плохие, средние, хорошие;

V_{10} (количество листьев) – небольшое, нормальное, избыточное;

V_{11} (цвет листьев) – плохой, хороший;

V_{12} (развитие листьев) – задержанное, нормальное;

V_{13} (окраска цветка) – бледная, обычная, интенсивная;

V_{14} (запах цветка) – слабый, обычный, интенсивный;

V_{15} (размер цветка) – небольшой, нормальный, огромный;

V_{16} (количество цветов) – небольшое, большое, огромное;

V_{17} (температура воздуха по Фаренгейту) – ниже 60, 60 - 69, 70 - 79, 80 -

89, 90° и выше;

V_{18} (осадки) – ниже нормы, норма, выше нормы;

V_{19} (среднее число солнечных часов за день) – меньше 3, 3-6, больше 6.

Шесть элементов структурированной системы определяются следующими подмножествами полного множества переменных:

$x = 1$ (почва) – v_1, v_{17}, v_{18} ;

$x = 2$ (корни) – v_1, v_2, v_3 ;

$x = 3$ (стебли) – $v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_{17}, v_{19}$;

$x = 4$ (сок) – $v_2, v_3, v_4, v_7, v_8, v_9, v_{17}, v_{19}$;

$x = 5$ (листья) – $v_6, v_{10}, v_{11}, v_{12}, v_{17}, v_{18}, v_{19}$;

$x = 6$ (цветы) – $v_5, v_{13}, v_{14}, v_{15}, v_{16}, v_{17}, v_{18}, v_{19}$;

Соединения отдельных элементов легко получить, взяв пересечения этих множеств. Например,

$$C_{1,2} = \{v_1\}, \quad C_{2,5} = 0,$$

$$C_{3,4} = \{v_2, v_3, v_4, v_{17}, v_{19}\} \quad \text{и так далее.}$$

Определим структурированную систему SS , элементами которой являются направленные исходные системы, как множество

$$SS\hat{S} = \left\{ \left({}^x X, {}^x Y, {}^x \hat{S} \mid x \in N_q \right) \right\}, \quad (2.28)$$

где ${}^x X, {}^x Y$ – множества входных и выходных элементов соответственно.

Понятно, что

$${}^x X \cup {}^x Y = {}^x V. \quad (2.28a)$$

Если не считать выделения входных и выходных переменных, то множество (2.28) совершенно аналогично определенному формулой (2.25) множеству для нейтральных структурированных систем SS . Однако элементы ${}^x \hat{S}$ любой направленной структурированной системы $SS\hat{S}$ должны удовлетворять еще одному требованию, связанному с идентификаторами входов-выходов: ни одна из переменных из множества V , определенного уравнением (2.24), не может быть объявлена как выходная более чем для одного элемента. Это требование обеспечивает согласованность состояний всех переменных при любом значении пара-

метра. В самом деле, если переменная объявлена как выходная для более чем одного элемента структурированной системы, то ее состояния будут определяться (контролироваться) при любом значении параметра всеми этими элементами, что, как правило, будет приводить к несогласованности (к заданию нескольких различных состояний переменной при одном и том же значении параметра). Избежать этой несогласованности можно только тогда, когда все элементы влияют на эту переменную одинаково, что является исключительным, очень редким случаем. При этом, однако, ничто не будет потеряно, если потребовать, чтобы только один из этих элементов (любой) был объявлен управляющим этой переменной элементом. Это требование, которое должно выполняться для всех направленных структурированных систем, назовем требованием *однозначности управления*. Классификация переменных каждого элемента направленной системы на входные и выходные и требование однозначности управления имеют важные следствия для понятия соединения элементов. Для двух заданных элементов x , y направленной структурированной системы можно определить два *направленных соединения*. Одно из этих соединений, ведущее из x в y , обозначается $\widehat{C}_{x,y}$ и определяется как

$$\widehat{C}_{x,y} = {}^x Y \cap {}^y X. \quad (2.29)$$

Второе ведет из y в x , обозначается $\widehat{C}_{y,x}$ и определяется как

$$\widehat{C}_{y,x} = {}^y Y \cap {}^x X. \quad (2.30)$$

Поскольку

$${}^x Y \neq {}^y Y \text{ для } x \neq y$$

(из-за требования однозначности управления), понятно, что

$$\widehat{C}_{x,y} \neq \widehat{C}_{y,x} \quad (2.31)$$

для разных элементов x , y .

Кроме соединений элементов направленной структурированной системы, имеются также соединения элементов со средой системы. Будем для удобства рассматривать среду как отдельный элемент с уникальной меткой $x=0$. Не-

смотря на то, что на самом деле среда не является элементом структурированной системы (как это следует из (2.28)), такой подход позволяет нам определить направленные соединения $\widehat{C}_{0,x}$ и $\widehat{C}_{x,0}$ ($x \in N_q$) среды с элементами структурированной системы точно так же, как и соединения элементов.

Если переменная объявлена выходной переменной некоего элемента x направленной структурированной системы, то эта переменная не управляется средой (из-за требования однозначности управления) и, следовательно, не входит ни в какое соединение $\widehat{C}_{0,x}$. Однако если некая переменная не объявлена как выходная ни для какого элемента, то остается только рассматривать ее как переменную, управляемую средой. Следовательно, такая переменная должна быть включена в некое соединение $\widehat{C}_{0,x}$. Поэтому все переменные в любом xX , не объявленные ни в каких элементах как выходные, образуют соединение среды с элементом x . Формально

$$\widehat{C}_{0,x} = {}^xX \cap \left(V - \bigcup_{y \in N_q} {}^yY \right) \quad (2.32)$$

для любого $x \in N_q$

Для описания соединений $\widehat{C}_{x,0}$ ($x \in N_q$) рассмотрим переменные из множества xY , не объявленные как входные ни для какого элемента направленной структурированной системы. По определению, эти переменные не входят ни в какие соединения элементов структурированной системы. Таким образом, их надо рассматривать как соединения со средой, то есть как входящие в соединение $\widehat{C}_{x,0}$. Остальные переменные также могут быть включены в $\widehat{C}_{x,0}$. Вопрос о том, рассматривать ли их как соединения со средой или нет, остается в компетенции пользования. Формально

$${}^xY \cap \left(V - \bigcup_{y \in N_q} {}^yX \right) \subseteq \widehat{C}_{x,0} \subseteq {}^xY \quad (2.33)$$

для любого $x \in N_q$.

Пример 5. Определим направленную структурированную систему, состоящую из пяти исходных систем. Система предназначена для изучения дея-

тельности высших судебных инстанций шт. Нью-Йорк (США) по делам, рассматриваемым в уголовном суде. Система описывает прохождение дела через уголовный суд и суды высших инстанций, утверждающие приговор. Эта система определяет структуру сбора и обработки данных.

Параметром в системе является время. В зависимости от конкретных целей наблюдения делаются ежемесячно, еженедельно или даже каждый день, начиная с некоторой фиксированной даты, скажем с 1 января 1970 г. В систему включены следующие переменные (множество V):

v_1 – общее число исков, поступивших в уголовный суд (в течение конкретного периода наблюдения — месяц, неделя или день);

v_2 – число исков, прекращенных в результате соглашения сторон;

v_3 – число отклоненных исков;

v_4 – число задержанных дел;

v_5 – число дел, по которым вынесены оправдательные приговоры;

v_6 – число дел, переданных на утверждение высших инстанций;

v_7 – число дел, не переданных на утверждение (это дела, в которых единственным наказанием является штраф или возмещение убытков);

v_8 – число дел, в которых нарушены условия утверждения;

v_9 – число дел, приговоры по которым отмечены судом высшей инстанции;

v_{10} – число дел, приговоры по которым отмечены учреждениями уголовного суда.

Рассматриваемая структурированная система состоит из пяти элементов (рисунок 8). Их множества входных и выходных переменных приведены в таблице 2.1 Прямоугольниками, которым даны условные названия, на схеме показаны элементы структурированной системы и ее среды. Связи между блоками представляют переменные, соединяющие элементы (а также среду). Полное множество соединений $\widehat{C}_{x,y}$ ($x, y=0, 1, \dots, q$) представлено матрицей

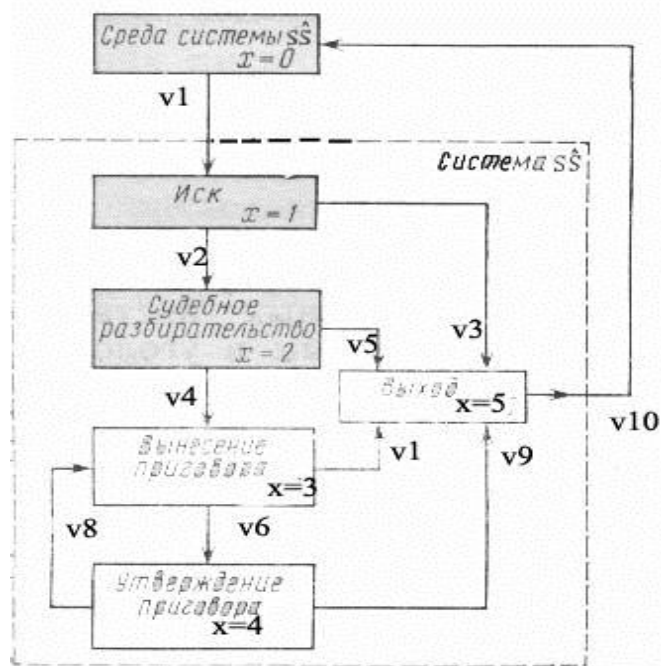


Рисунок 8 – Схема структурированной системы из примера 5

Таблица 2.1 – Определение элементов направленной структурированной системы из примера 5 (эквивалентно схеме на рисунке 8)

x	${}^x X$	${}^x Y$
1	$\{v_1\}$	$\{v_2, v_3\}$
2	$\{v_2\}$	$\{v_4, v_5\}$
3	$\{v_4, v_8\}$	$\{v_6, v_7\}$
4	$\{v_6\}$	$\{v_8, v_9\}$
5	$\{v_3, v_5, v_7, v_9\}$	$\{v_{10}\}$

Таблица 2.2 – Матрица соединений структурированной системы, описанной в примере 5

$\hat{C}_{x,y}$	0	1	2	3	4	5
0	\emptyset	$\{v_1\}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset
1	\emptyset	\emptyset	$\{v_2\}$	\emptyset	\emptyset	$\{v_3\}$
2	\emptyset	\emptyset	\emptyset	$\{v_4\}$	\emptyset	$\{v_5\}$
3	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	$\{v_6\}$	$\{v_7\}$
4	\emptyset	\emptyset	\emptyset	$\{v_6\}$	\emptyset	$\{v_9\}$
5	$\{v_{10}\}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset

(таблица 2.2), обычно называемой *матрицей соединений*. Аналогично структурированным исходным системам определяются и *структурированные системы данных*;

$$SD = \{(^xV, ^xD) \mid x \in N_q\}, \quad (2.34)$$

$$S\hat{D} = \{(^xX, ^xY, ^x\hat{D}) \mid x \in \}. \quad (2.35)$$

Поскольку любая система данных содержит исходную систему, структурированные системы данных должны удовлетворять всем условиям, которым должны удовлетворять исходные системы (совместимости, избыточности, однозначности управления). Кроме того, обычно требуется, чтобы они удовлетворяли *локальной согласованности данных*, определяемой следующим образом: для всякой соединяющей переменной соответствующие ей данные должны быть одинаковыми во всех элементах, в которые входит эта переменная.

Формально, если

$$v_i \in C_{x,y} \text{ (или } v_i \in \hat{C}_{x,y}\text{),}$$

то $^xv_{i,w} = ^yv_{i,w}$ для всех $w \in W$, где $^xv_{i,w}$ и $^yv_{i,w}$ — подмножества данных, соответствующих переменной v_i в элементах x и y .

Обычно предполагается, что структурированные системы данных локально согласованы. Однако если множества данных, связанных с разными элементами, собираются независимо друг от друга, например разными группами экспериментаторов, то полученные множества данных могут и не удовлетворять требованию локальной согласованности данных. Нарушение этого условия ведет к аналогичным противоречиям и на более высоких эпистемологических уровнях, поэтому необходимо на некотором этапе исследования разрешить их. Процедуры разрешения локальных противоречий до сих пор должным образом не разработаны. Представляется, однако, что в общем случае более удобно и осмысленно противоречия разрешаются на уровне структурированных порождающих систем, а не на уровне структурированных систем данных. Поэтому задача разрешения локальных противоречий рассматривается

именно на уровне структурированных порождающих систем.

В зависимости оттого порождаем мы структуру или выбираем из некоторого множества наиболее подходящую на уровне структурированных систем решаются задачи:

- 1) проектирования систем;
- 2) реконструкции систем;
- 3) индентификации систем.

2.7 Сложность

В соответствии с системологией Дж. Клира выделяются два принципа оценки сложности. По первому принципу сложность должна быть пропорциональна объему синтаксической информации, необходимой для описания системы. Эта сторона сложности названа дескриптивной и оценивается числом элементов, входящих в систему.

Второй принцип утверждает, что сложность систем должна быть пропорциональна объему информации, необходимому для разрешения любой нечеткости.

В качестве примера рассмотрим сложность микрохирургической операции, излечивающей глаз человека. Сложность в этом случае будет пропорциональна количеству простейших подопераций, на которые можно разбить всю операцию в целом. С другой стороны, выделенная подоперация тем сложнее, чем менее расплывчатый рез скальпелем можно допускать. Если допустимый диапазон безвредности реза обозначить через Δ , то можно оценить общую сложность операции дробью

$$K = \frac{N}{\Delta}, \quad (2.45)$$

где Δ в данном случае относится к самой сложной подоперации. Как видим, Чем меньше допустимый диапазон и больше количество подопераций, тем выше коэффициент сложности операции. Недостаток этого определения в неучете, диапазонов допустимого реза в других подоперациях. Его можно преодолеть

введением среднего диапазона или учитывая опасность малых диапазонов весовыми коэффициентами.

Конечно, система может быть бесконечно сложной, но для проектировщиков систем необходимо оценивать технически достижимую сложность, которую нельзя преодолеть. При таком подходе интересен предел Бреммермана (1962 г). К нему можно подойти следующим образом.

Для передачи компьютеру информация должна быть закодирована. Пусть она кодируется самым экономным способом – энергетическими уровнями в интервале $[0, E]$, где E – количество энергии, технически считываемое на данный момент. Предположим, что точность считывания ΔE , тогда весь интервал можно разбить на $N=E/\Delta E$ равных подынтервалов. Максимальное число битов, представимых с помощью энергии E равно $\log_2(N+1)$. Единица добавляется потому, что когда не занят ни один уровень энергии – это тоже код передающей информацию. Максимальная точность, которую можно достигнуть ограничена принципом неопределенности Гейзенберга $\Delta E \Delta t \geq h$. Здесь $h=6.625 \times 10^{-27}$ эрг/с - постоянная Планка, а Δt – длительность измерения. Это означает, что $N \leq E \Delta t / h$. Далее энергию можно представить по формуле Эйнштейна $E = mc^2$, где c – скорость света равная примерно 3×10^{10} см/с. Теперь можно оценить верхний предел $N=mc^2 \Delta t / h$. Подставив значения, получим $N=1.36m \Delta t \times 10^{47}$ или для массы 1 г и времени 1 с имеем $N=1.36 \times 10^{47}$.

Полученный результат позволил Бреммерману вычислить число бит, которые могла бы обработать компьютерная система, имеющая массу Земли за период равный ее возрасту. Это предел называется пределом Бреммермана и равен приблизительно 10^{93} бит. Задачи, требующие обработки бит более, чем это число называются *трансвычислительными*.

2.8 Целенаправленные системы

Система управления играет ключевую роль в автоматизации. Именно она заменяет человека в операциях управления, и именно она должна обеспечивать

должное быстроедействие, точность, запас устойчивости системы, другими словами, эффективность процесса автоматизации. Для этого ей необходима достоверная информация, которую должны обеспечивать многочисленные датчики, ее управленческие решения должны реализовывать соответствующие исполнительные устройства. Общая структурная схема процесса управления приведена на рисунке 13.

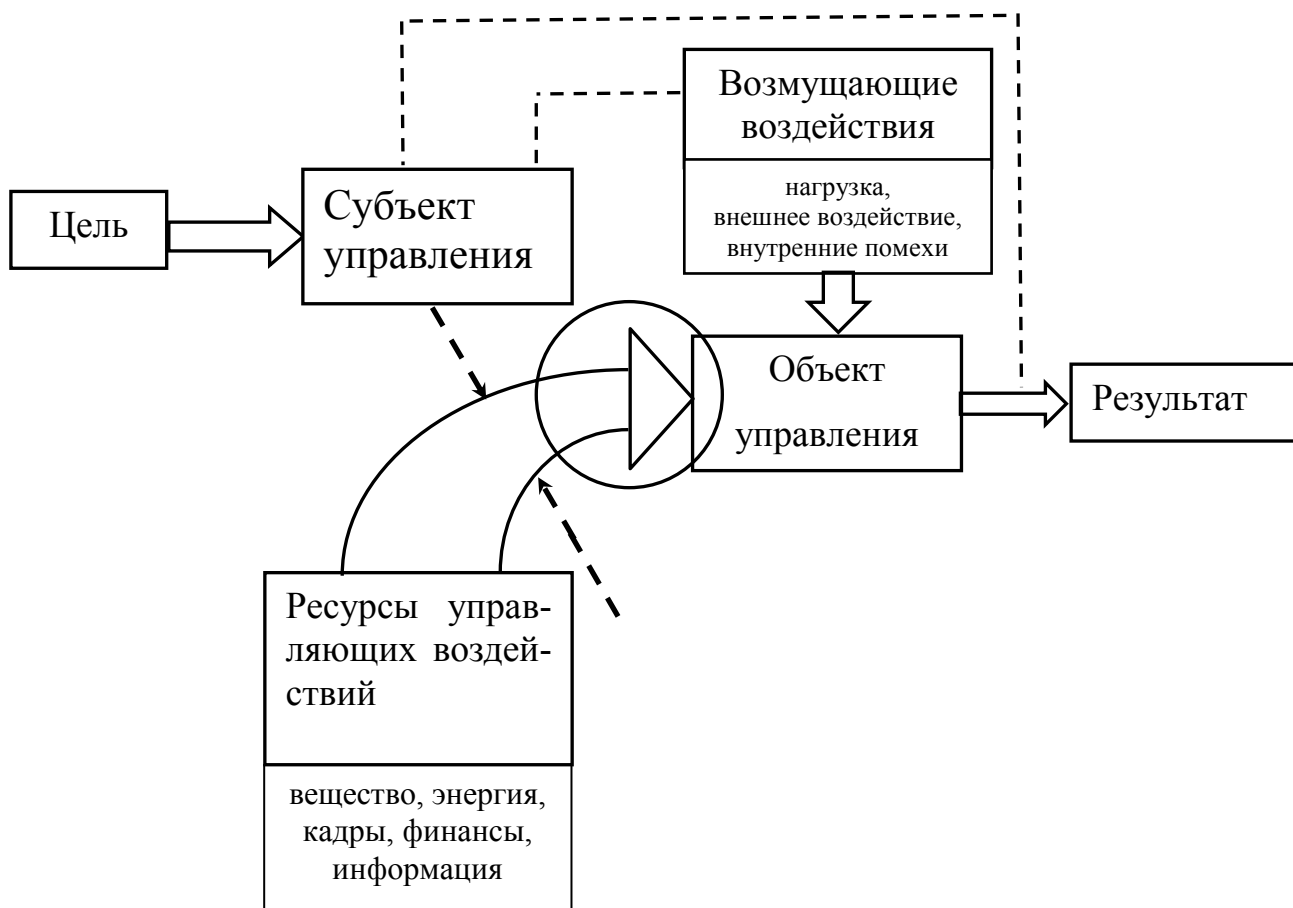


Рисунок 13 – Схема процесса управления

Управление начинается с цели (бесцельным оно просто не бывает). Под целью понимают идеальный мысленный, конечный, желаемый результат. Аспект идеальности говорит о том, что реально можно цели и не достигнуть, а, значит, необходимо определяться со степенью ее достижения. Мысленный означает, что цель находится в мыслях человека, субъекта управления и только он может оценить степень достижения цели. Это, с одной стороны, означает, что не может быть полностью автоматической системы, потому что последняя операция срав-

нения все равно останется за субъектом управления. С другой стороны, цели не может быть в голове животного, разве что гуманоида. Конечность достижения цели означает, что иногда, особенно при управлении людьми, только в конце управления становится ясно, кто субъект, а кто объект управления. Последнее свойство цели очевидно.

После постановки цели субъект управления ищет средства ее достижения. Самое главное из средств достижения цели является объектом управления. Природа объекта управления задает средства воздействия на него: вещество, энергия, информация, финансы и др. Получается цепочечная зависимость: объект неявно содержится в цели, а природа объекта определяет средства воздействия на него. Непосредственное воздействие, а, стало быть и управление, происходит в зоне обведенной на рисунке 31 окружностью. Именно здесь должен выполняться алгоритм подачи управляющих воздействий в отношении координации, синхронизации и дозирования.

Управление могло быть довольно простым процессом, если бы не вмешивались возмущающие воздействия. Единственное, что мы можем, это контролировать их (измерять и следить). На схеме пунктирными линиями показаны соответствующие информационные связи: обратная связь (верхняя) и контроль возмущений.

Точность функционирования этой схемы в первую очередь зависит от точности измерений выходной величины и величин возмущающих воздействий. Поэтому, если необходимо повысить точность схемы необходимо менять измерительные датчики на более точные.

Быстродействие схемы в первую очередь обусловлено скоростью и величиной подачи управляющих воздействий, поэтому если встает вопрос о повышении быстродействия системы, необходимо применять исполнительное устройство, обеспечивающее управляющие воздействия большей величины на единицу сигнала управления им.

Наконец, необходимо заметить, что главным возмущающим воздействием в системе является полезная нагрузка на нее, то есть степень выполнения той за-

дачи, ради которой и создается система.

Очень часто можно услышать выражения управление качеством образования, готовностью ракеты к старту, техническим состоянием автомобиля, бизнес-процессом и так далее. Однако, когда задаются вопросы чем воздействовать на такой объект управления, чтобы изменить его состояние, как определить текущее значение этого состояние, какие факторы и условия возмущают состояние объекта сразу сталкиваемся с противоречием: такой объект не поддается никакому влиянию и определить его состояние тоже невозможно, поскольку объект абстрактный, оторванный от реальности. В каком же смысле здесь можно говорить об управлении?

Все перечисленные выше абстрактные объекты имеют общее свойство: для них существует материальный носитель, некоторый аспект которого они отображают. Так материальным носителем качества образования, являются обучающиеся или выпускники образовательного учреждения, материальным носителем готовности ракеты является сама ракета, стартовый комплекс и космонавты, находящиеся в стартующем корабле, материальным носителем технического состояния автомобиля является сам автомобиль со всеми его системами, а бизнес-процесс реализуется на конкретном предприятии и в определенных условиях.

Можно сделать вывод, что абстрактный объект является отображением конкретного объекта в определенных условиях. «Математически это отображение можно выразить оператором отображения.

Материальный носитель и абстрактный объект должны рассматриваться вместе, как единое целое, образуя единый контур управления [4,5]. Только в этом случае и можно говорить об управлении абстрактным объектом. При этом возникает несколько вопросов.

Первый вопрос связан с оценкой управляемой величины, в данном случае она же отражает состояние абстрактного объекта. Эта оценка будет простой, если оператор детерминированный, например функционал от детерминированных величин. Представителем такого оператора может служить оператор оценивания себестоимости изготовления продукта (для удобства его вычисления представ-

лять его можно в многомерном пространстве [6]). Материальным носителем в этом случае будет конкретное производство с заданными технологическими операциями.

Если состояние абстрактного объекта оценивается вероятностью, то встает вопрос – как управлять вероятностью? Повышать вероятность некоторого события возможно только созданием условий, благоприятствующих его появлению, и устранением причин его неоявления. Примером является управление готовностью производства к запуску новой продукции. Оценить готовность можно вероятностью того, что в данный момент можно начать производство. Для повышения этой готовности необходимо разработать технологию, обеспечить производство всеми материалами, комплектующими, наконец, подготовить кадры [7]. В этом случае управление в значительной мере становится организационным. При этом под организационным управлением будем понимать «развернутую во времени совокупность процедур, позволяющую сформировать определенную целенаправленную систему деятельности. Каждая такая процедура вмешивается в налаженный или случайный ход событий, увеличивая вероятность возникновения целевого события. Основу процесса организационного проектирования составляет разработка формально-логической модели предприятия, отвечающей целевым установкам» [8].

Для поиска аналогий обратимся к классической теории оптимального управления. В этом случае оператором отображения является интегральный оператор, который отображает состояние объекта управления в функциональное пространство [9]. Структурная схема представлена на рисунке 14.

Схема на рисунке 14 имеет два уровня и два контура. При этом в первом контуре осуществляется реальное управление, а во втором контуре осуществляется оценка результата, которая получается взятием интегрального оператора от текущего состояния объекта, меняется состояние, изменяется значение интегрального оператора $\bar{Z}(t)$. Если существует математическая зависимость воздействий и оценки их результатов (уравнение объекта) можно задачу оптимального управления сначала решить теоретически, а затем следовать найденным законам

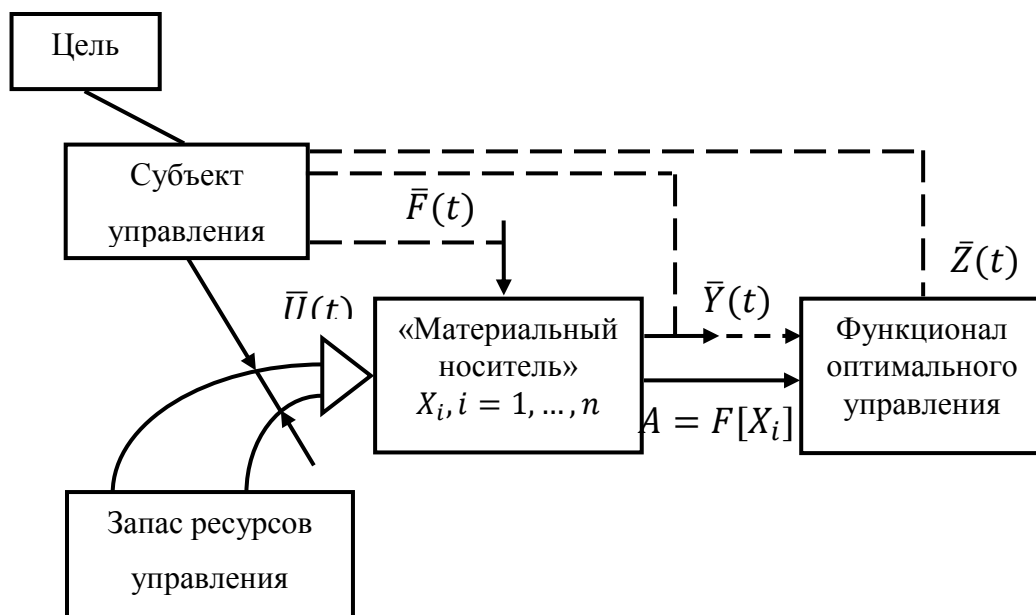


Рисунок 14 – Абстрактный объект – значение функционала

управления. Но можно представить и адаптивную систему, которая находит оптимальное значение функционала путем проб и ошибок и постепенного улучшения.

«Алгоритмы управления коренным образом меняются, когда объект управления полностью абстрактен. Схема управления в этом случае изменяется, как показано на рисунке 15. Поскольку абстрактный объект есть отображение материального, у него всегда имеется материальный носитель, на который уже можно подавать реальные управляющие воздействия, реализуя, тем самым, косвенное управление. Состояние абстрактного объекта является в этом случае гомоморфным отображением (образом) [10] каких-то качеств или свойств, показателей материального носителя, и в этом его принципиальное отличие от модели объекта, которая должна реализовывать и все процессы, протекающие в моделируемом объекте».

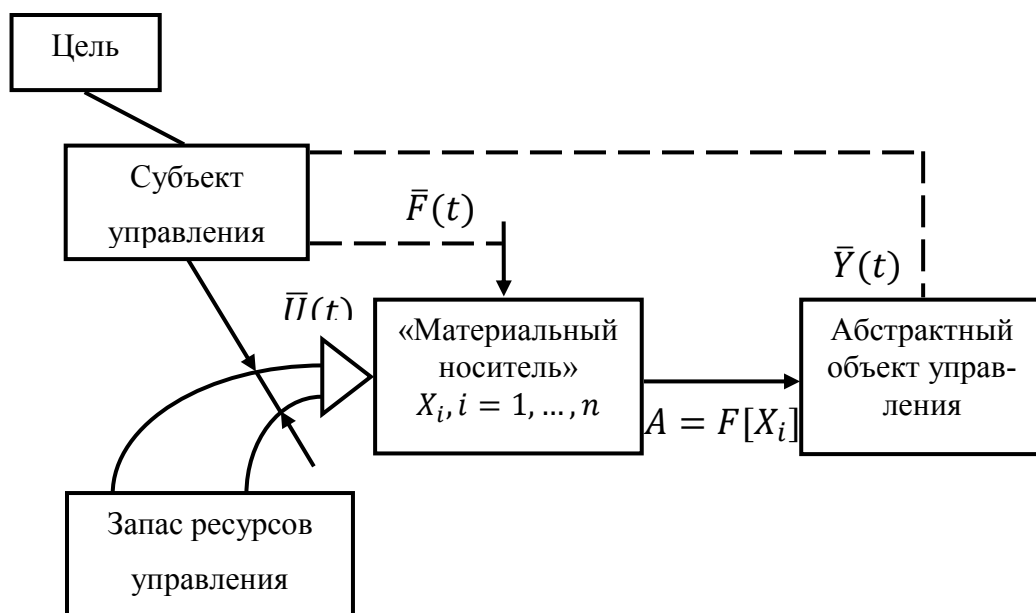


Рисунок 15 – Схема системы управления абстрактным объектом

«Гомоморфизм – это приближительный изоморфизм (изоморфизм – взаимно-однозначное соответствие между элементами двух абстрактных множеств, сохраняющее все свойства элементов этих систем и все отношения между ними). Изоморфизм означает тождество, подобие, одинаковость строения. Такое подобие предполагает равночисленность, так как если исследуемые совокупности имеют разные мощности, то они будут иметь и разное строение [11, 12]. Гомоморфный образ содержит не большее число элементов, чем оригинал, но элементами его могут быть классы индивидов, являющихся элементами прообраза. Основная цель гомоморфного преобразования состоит в том, чтобы «свернуть» всю доступную информацию об исследуемых объектах (явлениях, процессах) в более компактную, удобно обрабатываемую форму. Универсальных алгоритмов такого преобразования в настоящее время нет» [10]. Математически это отображение можно выразить оператором отображения, как показано на схеме рисунка 15.

Таковы структурные схемы управления в случае управления объектом. При управлении процессами, важны показатели процесса (например, технологические режимы), логика его протекания (стадии или этапы), погрешности и отклонения. Абстрактный объект в классической теории управления появляется

над системой управления, как представлено на рисунке 14. Математически подобная задача сводится к задачам оптимального управления.

Особые алгоритмы необходимы при управлении некоторым процессом, схема которого представлена на рисунке 15а. При этом количество отображающих операторов возрастает за счет разбиения основного процесса на части: этапы, стадии, подпроцессы, процедуры, операции. Кроме того, основной задачей верхнего уровня при управлении процессом становится задача оптимального перераспределения ресурса между частями этого процесса и прогнозирования [13]. Разумеется, и логика следования частей процесса, кроме последовательной, может быть разветвленной, а так же с параллельной реализацией некоторых частей и последующим их схождением. При реализации схождения, параллельно идущих частей процесса, необходимо дополнительно решать задачу синхронизации, а иногда дополнять иерархией.

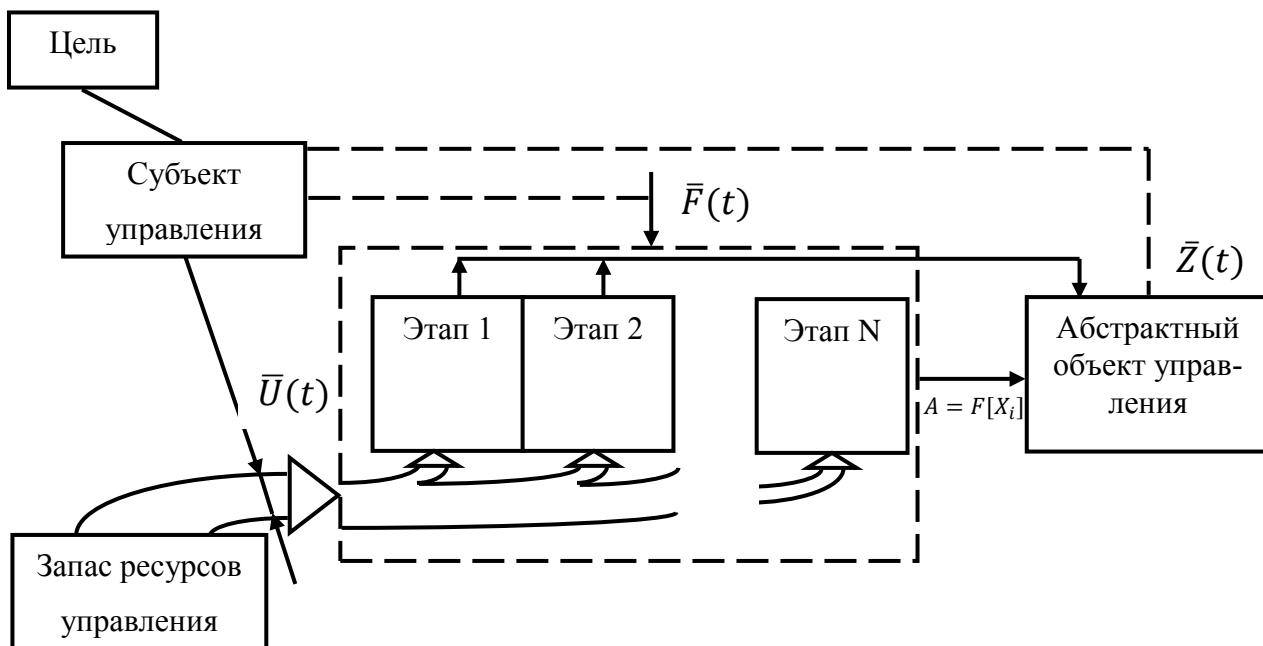


Рисунок 15а – Управление процессным абстрактным объектом

Подводя итог теоретическому исследованию, введем определение: управление абстрактным объектом будем понимать как применение управленческих алгоритмов к материальному носителю, отображением (образом) которого является состояние абстрактного объекта, изменяющих это состояние в направлении

цели управления. Чаще всего встречается именно управление состоянием системы: самочувствием организма, развитостью компетенций, техническим состоянием автомобиля, готовностью ракеты к старту и так далее. Схема формирования системы управления подобным абстрактным объектом изображена на рисунке 48. Большая стрелка указывает отображение состояния функционирующей системы, представленной в нижней части рисунка, в управляемый объект.

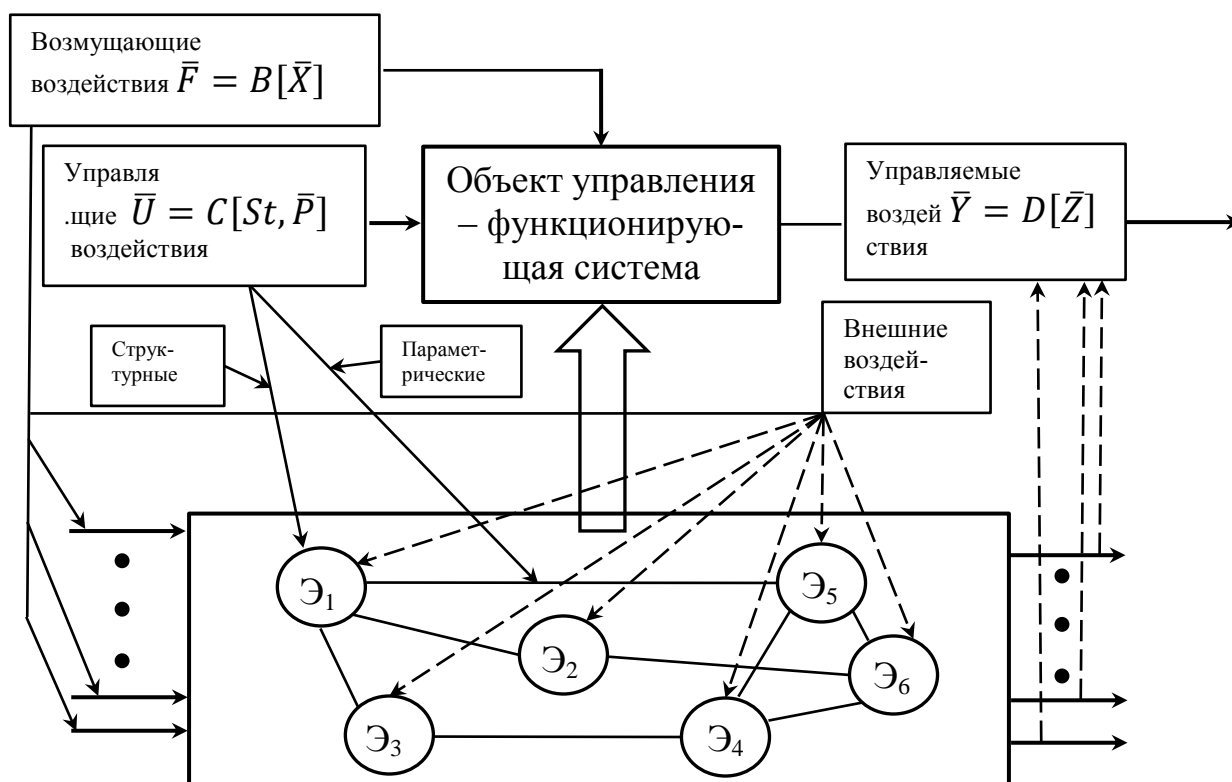


Рисунок 16 – Схема формирования системы управления абстрактным объектом

Управляемые величины формируются оператором преобразования D и включают в основном результирующие показатели, демонстрируемые системой во время функционирования. Эти величины являются для системы управления предметом главного контроля и позволяют оценить степень достижения поставленной перед системой цели.

Управляющие воздействия здесь могут быть многообразными. Они включают как структурные преобразования системы, параметрические изменения в элементах и режимах их функционирования, так и изменения различных усло-

вий, как внешних, так и внутренних. Этот факт изображается на рисунке оператором преобразования S .

Наконец, возмущающие воздействия можно разделить на два класса. Первый класс связан с входными воздействиями по объемам, качеству другим технологическим требованиям. Поскольку существует принцип, описанный выше, что самое большое возмущение исходит от полезной нагрузки, в этом случае он так же действует. Ко второму классу относятся все внешние и внутренние воздействия на элементы системы и взаимосвязи между ними.

Как видим, после проведения операторных преобразований появляется классическая схема управления объектом.

2.9 Моделирование

Моделирование является главным инструментом системного анализа, поскольку он занимается выявлением взаимосвязей, а последние очень часто скрыты от исследователя. Моделирование, в соответствии с системологией Дж. Клира, является аспектом более общего отношения подобия.

Две системы, если они сохраняют некоторые общие характеристики и могут быть преобразованы друг в друга соответствующими преобразованиями, примененными к другим характеристикам.

Целесообразность моделирования обосновывается по-разному, например, большой стоимостью реального эксперимента – проще провести компьютерное моделирование новой модели автомобиля, чем разбить дорогой прототип при проведении краш-теста.

Другим соображением в пользу моделирования может служить недостижимость объекта, например «черные дыры», которые исследуются пока только модельным способом.

Быстрое протекание процесса тоже может стать основанием для моделирования. Например, взрывные процессы, при протекании которых очень

трудно провести какие-либо измерения и реализовать классический системный анализ.

Когда объект имеет огромные размеры, без его моделирования никак не обойтись. Например, речь идет о солнечной системе или даже о всей видимой вселенной. Кстати для моделирования развития вселенной возникла потребность в самых мощных суперкомпьютерах, посредством которых было еще раз подтверждено существование темной материи.

Наконец, моделирование необходимо, когда речь идет об очень малых или даже невидимых невооруженным глазом объектах: атомах или объектах подтверждающих теорию струн.

В отношении классификации моделей Клир предлагает очень простую схему, рассматривающую всего два вида моделей и объектов: физические и абстрактные. Тогда получается четыре типа моделирующих отношений:

Таблица 2.3 – Типы моделирующих отношений

Подлинная система	Моделирующая система	Тип
Физическая	Абстрактная	I
Абстрактная	Физическая	II
Физическая	Физическая	III
Абстрактная	Абстрактная	IV

К первому типу относятся все математические модели. Они основываются на законах природы, техники, общества, экономики, медицины и т.д. и позволяют решать задачи для совершенствования и управления физическими системами на основе математических формул и логики.

К моделям второго типа относятся в первую очередь компьютеры. Сюда же можно отнести технические системы, решающие дифференциальные уравнения определенного вида и т.д.

Самым простым примером моделей третьего типа являются масштабные модел, например уменьшенная копия самолета, подводной лодки или корабля, используемые для оценки обтекаемости форм. Другим примером являются

тренажеры, моделирующие реальные объекты или обстановку для обучения пилотов, хирургов. Наконец, модели почки, сердца и других органов так же являются представителями этого класса.

Труднее найти представителей четвертого типа отношений. Они связаны с различными типами математических преобразований (преобразования Фурье, Лапласа, Ганкеля и так далее). Такие преобразования имеют обычно удобные свойства – например, превращать дифференциальное уравнение в алгебраическое, которое потом легче решать.

3 Метасистемы

В соответствии с системологией Джорджа Клира существует два способа интегрирования систем в нечто целое: порождение структурированной системы или порождение метасистемы. В первом случае система собирается из подсистем, которые в свою очередь могут включать подсистемы второго уровня, третьего уровня и так далее. Во втором случае система формируется на основании правила замены, когда из некоторого набора систем в каждый момент выбирается одна или некоторая группа функционирующих систем.

Структурированная система порождается с соблюдением следующих принципов:

- между элементами существует сильная и стабильная взаимосвязь;
- в каждый момент времени функционируют все элементы системы.
- число элементов системы определяется по свойствам полноты и достаточности (все нужные элементы присутствуют, а лишних нет);

В метасистеме не соблюдается ни один из этих принципов.

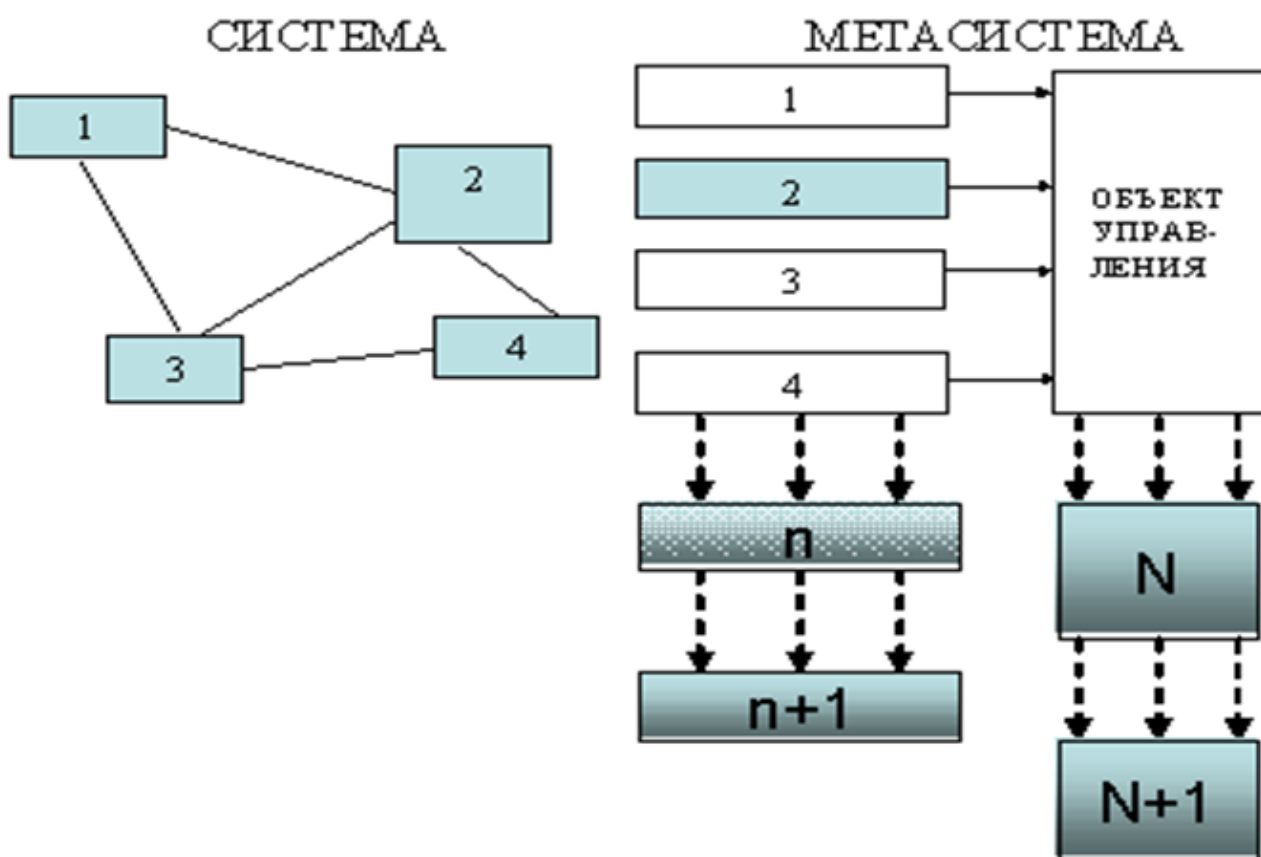
Порождение метасистемы характеризуется тремя существенными особенностями, коррелирующими с указанными выше принципами и отличающими его от традиционного системного.

Во-первых, элементы метасистемы в большой степени самодостаточные и независимые друг от друга системы.

Во-вторых, в метасистеме в любой момент времени функционируют не все элементы, а лишь выбранные - один, либо некоторая группа.

Наконец, в метасистеме общее количество элементов удовлетворяет совсем другим критериям и должно быть оптимальным в соответствии с ними.

Эти отличия структурированной системы от метасистемы графически иллюстрируются рисунком 17. Поэтому, чтобы в практической задаче доказать наличие метасистемности необходимо в первую очередь отыскать данные отличительные признаки.



ОТЛИЧИЯ

- 1 ПО ПРИНЦИПАМ СИНТЕЗА
- 2 ПО СТЕПЕНИ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ
- 3 ПО ВРЕМЕНИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Рисунок 17 – Различия между способами интеграции систем

Например, предприятие, представленное как совокупность нескольких технологий изготовления продукции и выбирающее для реализации в каждый момент времени технологию изготовления продукции, наиболее востребованной на рынке, поликлиника, как совокупность методов лечения, выбирающая метод лечения в соответствии с пришедшим на прием пациентом и так далее.

3.1 Метасистемность

Сложные системы управления характеризуются явно выраженной иерархией и на верхних уровнях неизбежно включают некоторое множество функционально специализированных локальных систем управления. Поскольку это множество все же объединено общей целью, оно функционирует как единое целое и образует метасистему. Поэтому в сложных системах всегда можно выявить метасистему – достаточно лишь подняться выше по иерархическим уровням управления.

Как показано выше Дж. Клир постулирует в системологии для каждого уровня систем свой, характерный именно для него набор решаемых задач.

Система объекта ставит задачи, связанные с выделением свойств объектов и баз для наблюдения их изменений в соответствии с целью исследования.

Исходные системы требуют определиться с каналами наблюдения свойств и баз, основанными на различных процедурах их измерения.

Поскольку исходные системы являются всего лишь схемой, в случае систем данных возникают задачи сопоставления реальных данных переменным и параметрам, а также степени уверенности в их значениях в случае нечетких каналов измерения. Кроме того, добавляются задачи осмысления и получения этих данных, определения их полноты и представления.

Большим разнообразием отличается множество задач уровня порождающих систем, которые, по сути, моделируют процесс порождения данных. Здесь и задачи выбора масок, их упрощения и задачи оценки поведения систем и поиска

систем с подходящим поведением, то есть задачи исследования и проектирования систем.

Структурированные системы требуют решения задач проектирования систем, идентификации и реконструкции их структуры, а так же порождение и упрощение структур.

При метасистемном подходе необходимо решить следующие типовые задачи [14]:

- выявление диапазонов эффективного функционирования систем;
- разработка стратегии переключения отдельных или групп одновременно функционирующих систем;
- оценка и управление готовностью систем к использованию;
- выявление и обеспечение сочетаемости систем;
- оптимальное перераспределение ограниченных общесистемных ресурсов;
- оптимальное порождение метасистемы.

Метасистемный анализ удобнее всего начинать с выявления диапазонов оптимального функционирования систем, поскольку на их основе в дальнейшем удобно разрабатывать стратегию выбора, задавать необходимую готовность систем к использованию.

При решении этой задачи важно помнить, что метасистемность возникает там и тогда, где и когда диапазон решаемой задачи настолько велик, что он не перекрывается использованием одной системы, либо эта система функционирует неэффективно в некоторых частях общего диапазона. Поэтому и возникает задача о наборе систем и выявлении границ, разделяющих поддиапазоны эффективного их функционирования.

Универсальная гибкая производственная система (ГПС) имеет в своем арсенале значительный набор производственного оборудования. И хотя при ее эксплуатации стараются применить метод групповой технологии [15], имеется оборудование не участвующее в производственном процессе, что плохо отражается на коэффициенте загрузки (на отношении времени занятости к общему вре-

мени функционирования ГПС). Эту проблему решают составлением оптимального расписания [16] при жесткой централизации его выполнения, однако при достаточно большой загрузке появляется очень много его вариантов и трудно подобрать метод оптимизации, обеспечивающий достаточное быстродействие. С другой стороны, при возрастающей сложности можно перейти к децентрализованному управлению и использовать имитационный метод моделирования производственной обстановки [17-19], такой например, как агент-ориентированное программирование. Однако при этом исключается возможность оптимизации там, где она возможна. Исследуем вопрос сочетания централизации и децентрализации за счет своевременных переключений. Теоретической основой для решения вопросов о переключениях и их своевременности может служить метасистемный подход к управлению, развиваемый с начала 2000 годов [14].

Как сказано выше, в соответствии с системологией Дж. Клира [2] существует два способа интеграции систем: создание структурированной системы и создание метасистемы. Каждая система описывается множеством переменных, изменения которых рассматриваются на множестве параметров. В структурированных системах интегрирование осуществляется по множествам переменных в предположении, что все они имеют одно и то же параметрическое множество. Таким образом, элементами структурированных систем являются системы с разными множествами переменных, но с одинаковыми параметрическими множествами. В метасистемах, напротив, интегрирование систем осуществляется по параметрическим множествам независимо от того, имеют эти системы одно множество переменных или нет.

Как следствие из этого определения различие двух способов интегрирования систем, еще и в том, что структурированная система реагирует на внешние воздействия изменением величин переменных в связях между элементами, метасистема, (которая работает как слайдер) кроме этого, может вообще заменить функционирующую систему, то есть реагирует более кардинально. К тому же, в структурированной системе все элементы функционируют одновременно, поэтому при выходе из строя хотя бы одного элемента вся система перестает функционировать. В метасистеме функционирующая система выбирается правилом замены и при выходе из

стройка может быть заменена на другую, способную функционировать. По этим причинам метасистема обладает большей живучестью априори. Под живучестью здесь следует понимать более длительную работоспособность за счет лучшей адаптивности [20].

Метасистема определяется как тройка:

$$\mathbf{MS} = (\mathbf{W}, S, r) \quad (3.1)$$

где \mathbf{W} – параметрическое множество; S – может быть множеством любых систем, в данном случае – это множество структурированных систем, чьи параметрические множества являются подмножествами \mathbf{W} ; r - процедура замены, реализующая определенную функцию вида

$$r: \mathbf{W} \rightarrow S \quad (3.2)$$

Эта формула определяет функцию замены.

Подойдем теперь к рассмотрению ГПС и представим ее в виде метасистемы, на которую поступает поток заявок на обслуживание, как это сделано в работе [21], состоящей из структурированных систем, которые в свою очередь состоят из систем данных

$$\mathbf{MSD} = (\mathbf{W}, SD, r) \quad (3.3)$$

с правилом замены технологического процесса

$$r: \mathbf{W} \rightarrow SD. \quad (3.4)$$

Множество параметров в этом случае \mathbf{W} будет представлено ассортиментом производимых изделий. Например, для механообрабатывающей ГПС это могут быть: корпуса изделий, валы, шестерни, рычаги, втулки и так далее. Тогда множество SD представляет множество технологических процессов для изготовления перечисленного ассортимента, поскольку структурированные системы сами являются интегрированными как следует из выше рассмотренной теории, будем считать составляющими структурированных систем - системы данных. Каждая из этих систем данных включают в себя описание операций технологического процесса (режимы резания, типы оборудования, инструмента, приспособлений). Таким образом, каждый из технологических процессов включает набор взаимосвязанных операций (структуру). Например, $SD_i = \{(^xV, ^xD)/x \in N_q\}$, где xV – множество связующих

переменных для системы данных x , ${}^x D$ – множество систем данных, q – количество элементов в структурированной системе, а N – количество систем данных в j -ом элементе структурированной системы.

Применительно к ГПС структурированную систему будет моделировать технология, включающая связанные системы данных задающих оборудование, конструкцию изделия с указанием методов обработки поверхностей, технологические режимы обработки. Метасистема соответственно будет находится на верхнем уровне управления, в ее ведении будут все ресурсы ГПС в виде технологического, транспортного и складского оборудования.

Кроме того, решение шести вышеупомянутых задач метасистемного подхода позволит структурировать оптимизацию производственного процесса в ГПС. При решении первой задачи важно помнить, что метасистема возникает там и тогда, где и когда диапазон решаемой задачи настолько велик, что он не перекрывается функционированием одной системы, либо эта система функционирует неэффективно в некоторых частях общего диапазона. Поэтому и возникает задача выявления границ, разделяющих поддиапазоны эффективного функционирования систем. Например, в ГПС одна и та же поверхность может обрабатываться по различным технологиям. Эти поддиапазоны можно выявить с помощью многомерного пространства признаков.

Вторая задача связана с тем, что имеется промежуток времени, в котором неиспользуемые системы простаивают и, стало быть, теряют готовность к использованию. Для технологий, включенных в ГПС, потеря готовности связана с неисправностью оборудования, отсутствием заготовок, сырья, материалов, используемых при данной технологии. Готовность можно оценивать вероятностью того, что система будет функционировать к моменту переключения на нее. Управлять же этой вероятностью можно только создавая благоприятные условия для появления желаемого события, или устраняя причины его неоявления.

Третья задача метасистемного подхода является прогностической и связана в ГПС с составлением производственного расписания [22,23].

Четвертая задача предусматривает некоторую взаимосвязь систем, например

на структурном уровне, когда сочетания некоторых систем при функционировании дают больший эффект, чем другие их сочетания. Например, функционирование технологии изготовления какого-либо продукта на рынок и технологии, использующей возникающие при этом отходы, или функционирование двух близких технологий с резко меняющимся спросом на каждый вид продукции, изготавливаемый с их помощью – «выбросы» рынка можно умело сглаживать, гибко управляя объемами выпуска.

Пятая задача, возникает только при использовании в ГПС метода групповой технологии, при этом на первый план выходит потребность в их координации, оптимизации ресурсов, направляемых на каждую систему, с целью добиться наибольшей эффективности метасистемы. При этом общесистемные ресурсы направляются в большей мере в ту систему, которая больше всего увеличивает метасистемный эффект.

Наконец, шестая задача связана с оптимизацией набора систем в метасистеме. В качестве критерия можно выбрать коэффициент удельного эффекта, то есть отношение эффекта от включения данной технологии в портфель метасистемы к затратам, связанным с ее приобретением и освоением и тогда в портфель включаются в первую очередь системы с самым большим коэффициентом удельного эффекта. Эта задача, в первую очередь связана с оптимизацией набора оборудования в ГПС.

При планировании загрузки ГПС, представляемой как метасистема, необходимо правило замены подбирать таким образом, чтобы коэффициент загрузки оборудования был максимальным. Причем в данном случае необходим некий обобщенный коэффициент загрузки поскольку он должен учитывать загрузку многих единиц оборудования. Его можно принять в виде:

$$K_z = \frac{\sum_1^N k_i}{N \cdot T}, \quad (3.5)$$

где N – количество единиц оборудования, T – общее время работы ГПС, k_i – коэффициент загрузки i -ой единицы оборудования.

В качестве примера взята ГПС с шестью единицами оборудования, разбитого

на три группы (токарная, фрезерная, шлифовальная) по два станка в каждой группе. Технологий так же шесть с шестью операциями каждая, для выполнения которых необходимы три вида оборудования соответственно.

В данной работе применяется агент-ориентированная модель планирования стратегии загрузки оборудования, как обладающая рядом преимуществ [24-26]:

- непрерывный поток событий на входе позволяет системе автоматически реагировать на изменения состояния заказов и ресурсов в реальном времени;

- каждый заказ и каждый ресурс (в данном случае оборудование) предприятия, получает своего программного агента в виртуальном пространстве, который инициируется происходящими событиями, для улучшения своих текущих показателей;

- агенты каждого заказа и ресурса строят свои собственные, но связанные в общую сеть расписания, в такой сети расписание может содержать сотни тысяч взаимосвязанных операций;

- основой подхода к планированию становится не полный или частичный комбинаторный перебор вариантов, а выявление и разрешение конфликтов путем переговоров агентов и достижением компромиссов - так, как это делают люди в реальной жизни;

- созданный план запускается на исполнение, в ходе которого система следит за выполнением и инициирует перепланирование в случае обнаружения расхождений между планом и фактом.

Многоагентные (или мультиагентные) системы – это перспективное направление имитационного моделирования, рассматриваемое как самостоятельное примерно с 1990г, когда Иов Шохем [27] сформулировал основные концепции этой новой парадигмы решения сложных задач.

Однако такой подход означает полностью децентрализованное управление, при котором может быть упущен глобальный минимум управленческих затрат на получаемый результат. Предлагается применить мультиагентный (агент-ориентированный) подход, при котором в виртуальном пространстве существу-

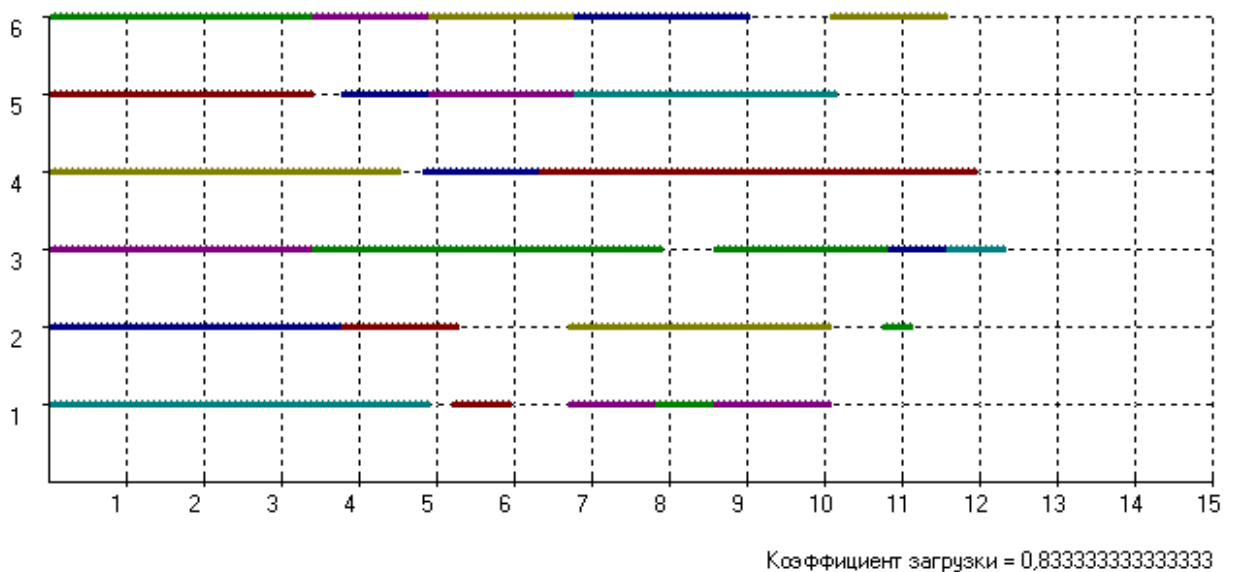
ют активные агент-технологии, имеющие своей целью непрерывную оценку уровня своей готовности к запуску и метасистема, следящая за непрерывностью процесса производства и заменяющая функционирующую технологию по мере освобождения производственных ресурсов. Метасистема в штатном случае руководствуется заранее разработанной стратегией переключения технологий. Агенты-технологии также готовят и запускают свою технологию в соответствии с этой стратегией, а так же в случае приказа со стороны метасистемы.

Реализация описанной модели проводилась с помощью соответствующей компьютерной программы. Для упрощения в ней моделировались только штатные переключения для шести технологий. При этом обычное мультиагентное управление ГПС, при котором подготовка и запуск технологии в производство начинались децентрализованно, сравнивалось с мультиагентным, при котором метасистема сначала разрабатывала оптимальную стратегию в виртуальном пространстве и сочетала ее при управлении с производственной обстановкой.

Каждый агент-технология следит за освободившимися станками и за невыполненными в своей технологической карте операциями. В случае обнаружения таких условий она поднимает «флаг». Метасистема следит за оборудованием и не допускает простоев ни одного станка. Как только операция на каком-либо станке заканчивается, происходит поиск агента-технологии с поднятым «флагом». Так метасистема функционирует в обычном режиме при поступлении потока заказов. Если же заказы известны заранее, она пытается моделировать в виртуальном пространстве коммуникацию агентов-оборудования и агентов-технологий. При небольшом количестве заказов, как в рассматриваемом в данной работе случае при шести станках и шести технологиях с шестью операциями каждая имеется 720 вариантов перестановок, поэтому задачу можно оптимизировать методом полного перебора.

Результаты отражены на рисунке 18, на котором разными цветами изображены функционирующие технологии и их переключения с одного оборудования на другое. По вертикальной оси отложены шесть видов оборудования реализующих данные технологии – отсутствие цвета на горизонтальной линии означает

простой оборудования. По горизонтальной оси отложено время. Как видим на рисунке приведен рядовой пример производственного расписания с коэффициентом загрузки – 0.83. Предварительная оптимизация производственного процесса в виртуальном пространстве методом полного перебора позволяет довести коэффициент загрузки до 0.917. На рисунке разные технологии отображаются разным цветом, номера оборудования с первого по шестой отложены по вертикали.



По вертикали 1-6 – номер оборудования, по горизонтали – время

Рисунок 18 – Схема переключения технологий по группам оборудования

Таким образом, метасистемный подход позволяет сконцентрировать внимание исследователей на оптимизации процесса на стратегическом уровне, освобождая от рутинного оперативного управления, предоставляя свободу децентрализованному управлению с использованием активных агентов в виртуальном пространстве на тактическом уровне. Механизм метасистемных переключений, предоставляет при этом аппарат описания ГПС как метасистем, состоящих из структурированных систем, описывающих технологии, фигурирующие в заказах. Полученные экспериментальные результаты позволяют сделать вывод о работоспособности и преимуществе агент-ориентированного метода,

сочетаемого с метасистемным подходом к управлению ГПС в отношении повышения ее коэффициента загрузки.

Дальнейшие исследования могут быть связаны с детальной разработкой методик оценки готовности технологий к функционированию и управлением в нештатных ситуациях, что повысит точность предложенного метода и внедрением его в практику машиностроительных предприятий.

3.2 Классификация метасистем

Метасистемность позволяет расширить круг объектов управления в сторону возрастания сложности за счет включения в состав метасистемы управления даже разнородных регуляторов и адекватного применения процедур их замены. При этом в зависимости от природы явления, могут всякий раз выбираться либо одна система, либо некоторая группа параллельно функционирующих. Это обстоятельство разделяет метасистемы на два больших класса метасистемы: последовательного и параллельного действия.

Метасистемы последовательного действия (верхняя часть рисунка 19) являются классическими, функционируют на правиле замены и именно их описывал Дж. Клир. При этом существует подсистема распознавания, как показано на рисунке, которая анализируя внешнюю обстановку и внутреннее состояние метасистемы, выбирает всякий раз наиболее подходящую сложившимся обстоятельствам систему, заменяя ей, функционирующую в данный момент. Это означает, что в любой момент времени функционирует только одна система, все ресурсы управляющих воздействий направляются ей.

Метасистема параллельного действия выбирает группу систем (см. нижнюю часть рисунка 19), наиболее соответствующую обстоятельствам и заменяет ей предыдущую группу. Например, в случае поликлиники: пришел пациент с простудным заболеванием, последнее необходимо лечить с применением нескольких технологий – ингалятора, таблетки, иногда насыпав в носки горчицы и

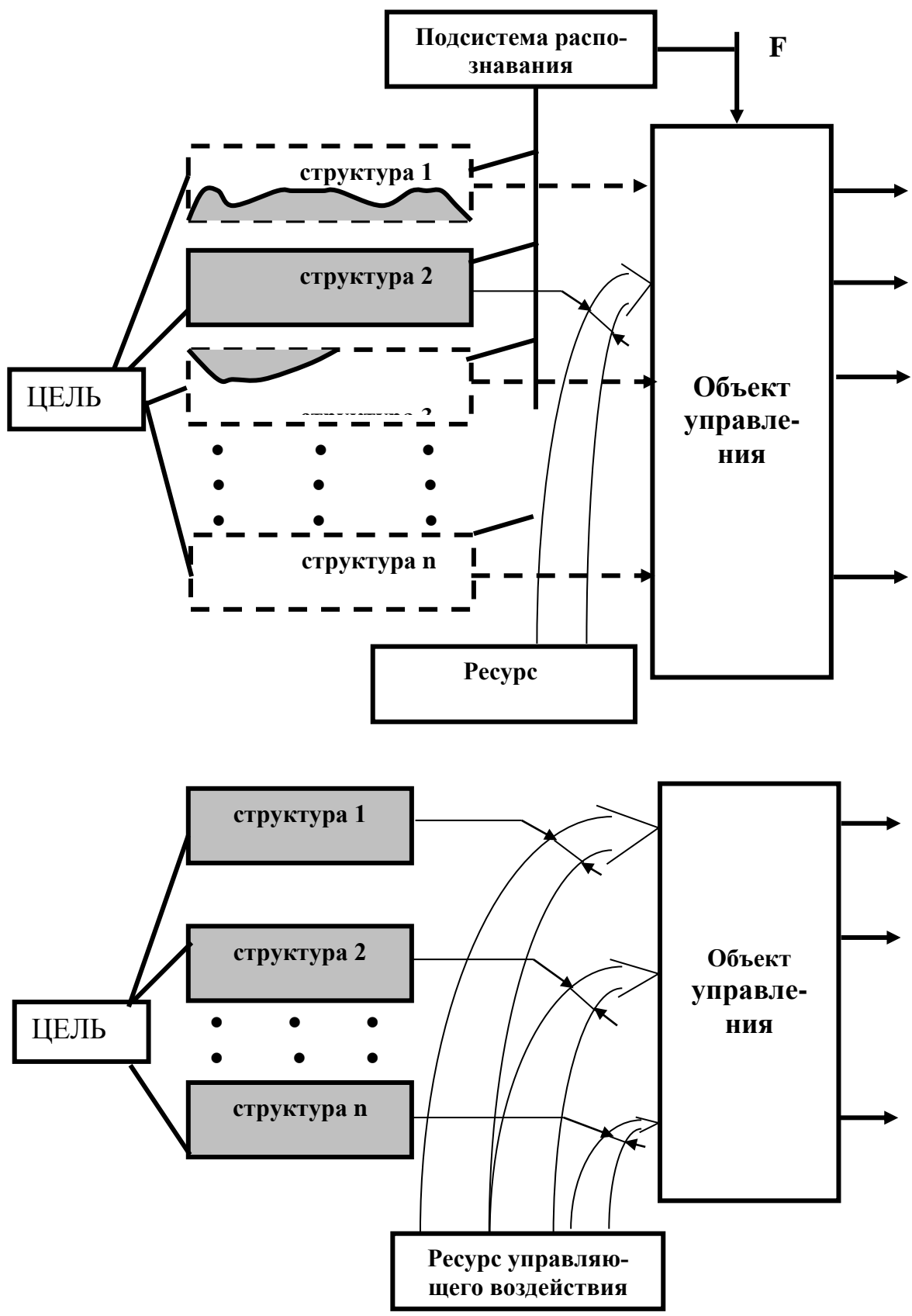


Рисунок 19 – Схемы метасистем последовательного и параллельного действия

так далее. Одновременное применение нескольких технологий имеет преимущество за счет более широкого спектра воздействия, а так же из-за того факта, что иногда соседствующая технология усиливает эффективность других технологий в группе.

Существует и третий класс метасистем – комбинированный. В этом случае метасистема функционирует как музыкальный инструмент, у которого то звуки солируют по одному, то сменяются аккордами.

Метасистемы последовательного действия могут пользоваться структурными элементами своих соседей, так как те все равно простаивают – это называется перекрытием структур. Нетрудно выяснить, что при стопроцентном перекрытии, появляются две параллельно работающие системы и метасистема превращается в метасистему параллельного действия и наоборот, если в метасистеме параллельного действия все ресурсы отдать одной системе, она превращается в метасистему последовательного действия.

Метасистема должна выбирать системы для начала их функционирования на основе некоторой модели. Существующая модель, при которой оценивается внешний процесс и на основе этой оценки принимается решение о выборе, не учитывает внутренние процессы, проходящие в самой метасистеме. Из-за этого и возникают основные проблемы неточности срабатывания метасистемы. Рассмотрим этот аспект подробнее.

Концепция двух процессов при функционировании метасистемы

Метасистема, как подчеркнуто выше, интегрирует несколько систем. В ней и в каждой из входящих в нее систем протекают процессы управления. Они являются ведомыми, поскольку всегда имеется другой процесс (протекающий во внешней среде или в объекте управления), который является ведущим для метасистемы, как изображено на рисунке 20. Для большей общности разрабатываемых методов будем рассматривать данные процессы как стохастические.

Главная задача метасистемы, заключается в согласовании этих двух процессов (то есть по сути метасистема является следящей системой управления). С одной стороны, она может выбирать (включать) одну из систем, максимизирующую

некоторый критерий качества. С другой стороны, пользуясь другим критерием, перераспределять общесистемные ресурсы управления между одновременно выброванными функционирующими параллельно системами.

Данный подход является концептуальным, поскольку он используется и для классификации метасистем и для оптимизации набора, входящих в метасистему систем и для оптимального управления ими при функционировании.

В условиях рынка стратегические аспекты деятельности предприятий (планирование пакета технологий, объемов производимой продукции, используемых ресурсов) приобретают особую актуальность. Очень часто предприятие не может специализироваться только на одной технологии (при условии, что она не является в этой отрасли монополистом), ввиду наличия конкурентов, а также крайней неравномерности и неоднородности поступающих заказов. Оно вынуждено решать задачу об оптимальной специализации в области производимой на конкретный рынок продукции.

Каждую технологию можно представить в виде некоторой системы довольно независимой от других систем (технологий), освоенных предприятием. Следовательно, совокупность технологий (пакет технологий), образует метасистему.

Выбор и функционирование конкретной технологии для реализации в каждый момент времени в этой метасистеме диктует рынок работ и услуг посредством заявок или заказов. Технологии, используемые для производства продукции, не пользующейся спросом, убыточны для предприятия и наоборот, востребованные на рынке технологии должны быть срочно освоены предприятием, при условии наличия у нее необходимых ресурсов.

Для качественного и эффективного производства необходимо наличие производственно-технической базы, квалифицированного персонала, способности ведения больших объемов работ и возможности вложения значительных средств и ресурсов. И поскольку любое производство часто сопряжено со значительными вложениями средств, имеется немалая доля риска. В этой связи правильная стратегия предприятия приобретает принципиальное значение:

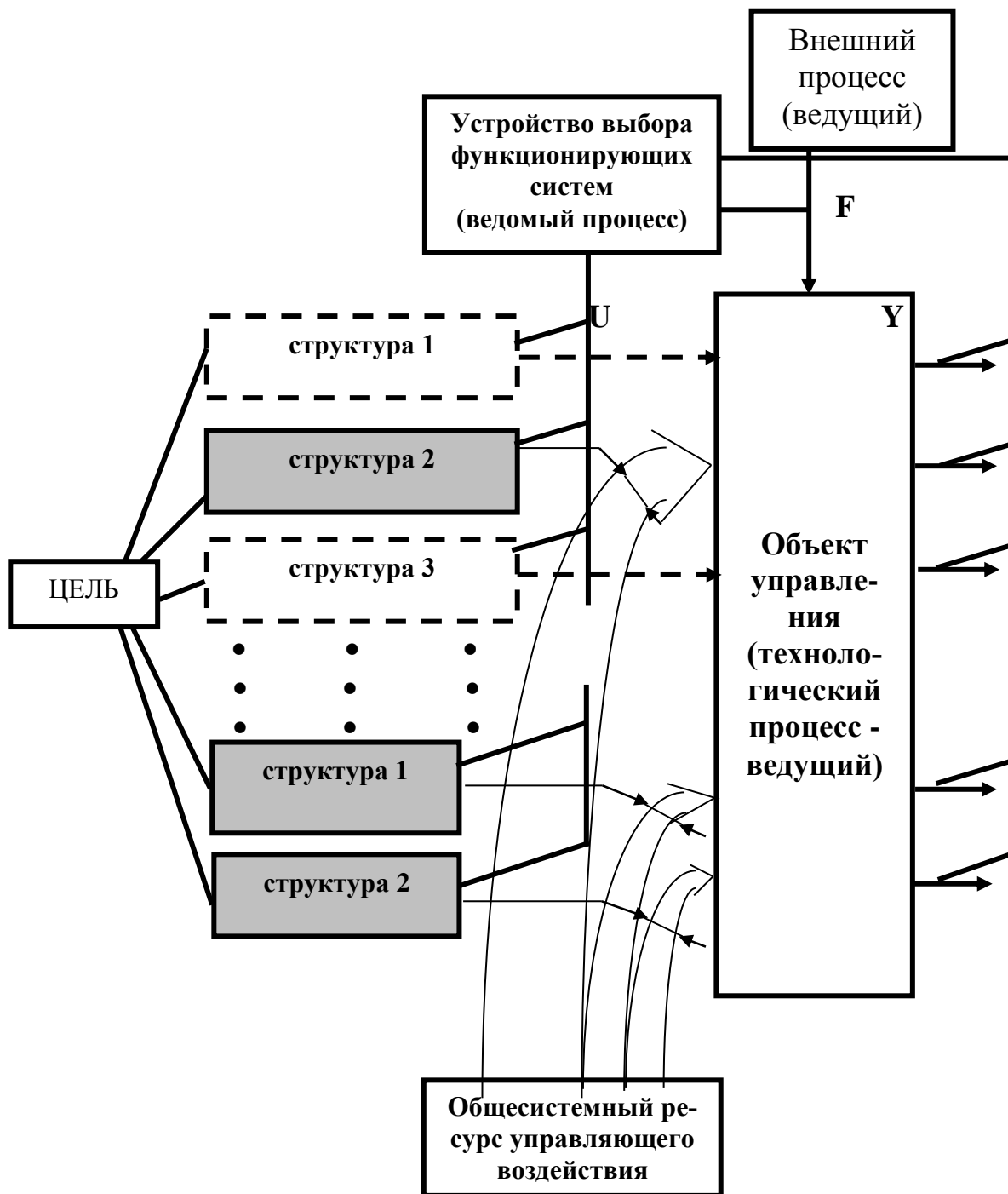


Рисунок 20 – Схема взаимодействия согласуемых метасистемой процессов

от эффективности действия той или иной модели, используемой для выработки этой стратегии, зависит функционирование и развитие предприятия в целом, расширение его деятельности на рынке. Правильно выбранная модель улучшает экономические показатели работы, поэтому при выборе ее типа требуется строгое обоснование.

Математическую модель в первом приближении можно построить при условии подчинения поступающих заказов требованию марковости (рисунок 21, на котором S – объемы спроса, T – период поступления заказов), описываемые уравнениями Колмогорова.

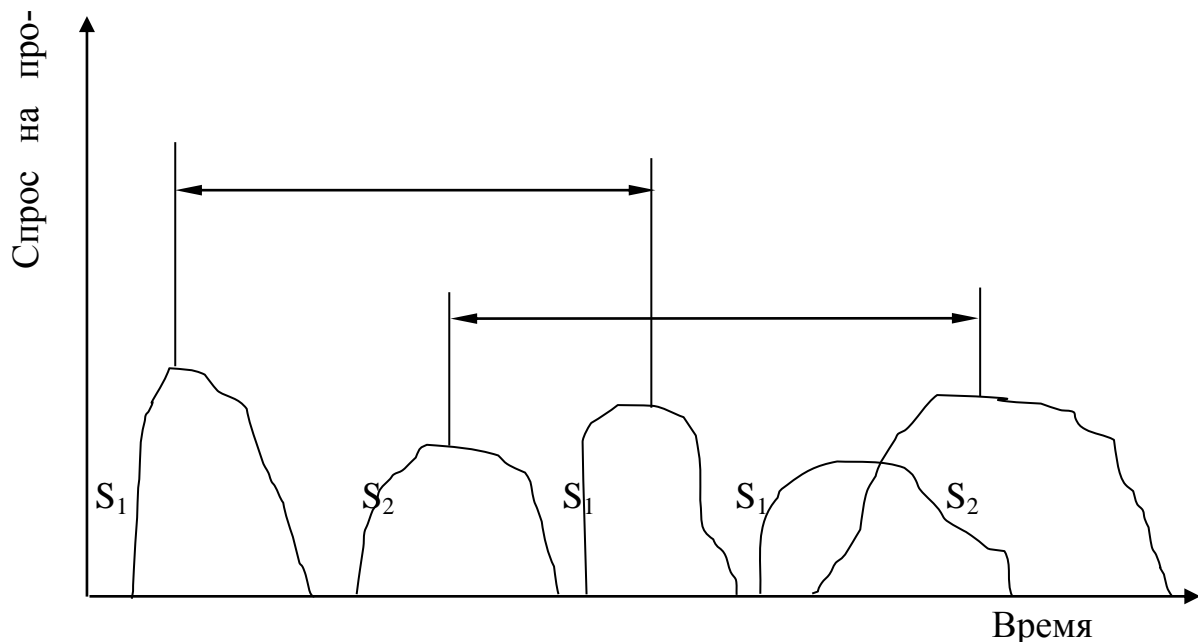


Рисунок 21 – Схема превышения спросом уровня целесообразности

Доход предприятия от выпуска n видов продукции за время T составит:

$$D = \left(\frac{c_1 v_1}{t_1} + \frac{c_2 v_2}{t_2} + \dots + \frac{c_n v_n}{t_n} \right) T \quad (3.6)$$

Используя статистическую информацию о поведении рынка, можно математически оценить (для каждого вида продукции либо услуг) среднее время между всплесками спроса (t_i), среднюю «высоту» всплесков и их среднюю длительность по формулам случайных процессов [28].

Модель функционирования метасистемы как системы массового обслуживания

Управление производственным предприятием – сложный экономический процесс [30], который требует системного моделирования и анализа.

Предприятие на верхнем уровне представления можно рассматривать, как совокупность совместно или порознь функционирующих технологий. Поскольку

каждая технология является завершенной системой, при моделировании предприятия необходимо рассмотреть вопрос о комплексировании систем в нечто целое. Теория такого комплексирования может быть построена на идеологии метасистемного подхода [31], в то время как принципы функционирования могут быть заимствованы от систем массового обслуживания.

Метасистемный анализ удобнее всего начинать с выявления поддиапазнов оптимального функционирования систем, поскольку на их основе в дальнейшем удобно разрабатывать стратегию выбора систем. При решении этой задачи важно помнить, что метасистема возникает там и тогда, где и когда диапазон решаемой задачи настолько велик, что он не перекрывается использованием одной системы, либо эта система функционирует неэффективно в некоторых частях общего диапазона. Поэтому и возникает задача выявления границ, разделяющих поддиапазоны эффективного функционирования систем. Эти поддиапазоны можно выявить с помощью многомерного пространства признаков.

Для предприятия, представленного как совокупность технологий, указанными признаками могут служить: цена на продукцию, изготавливаемую по конкретной технологии, себестоимость этой продукции, спрос на данный вид продукции, объем ее выпуска и другие. В этом пространстве строятся поверхности, при пересечении которых изображающей точкой, отражающей состояние рынка и предприятия, необходимо переключать технологию.

Вторая задача связана с тем, что имеется промежуток времени, в котором неиспользуемые системы простаивают и, стало быть, теряют готовность к использованию. Для технологий, включенных в портфель предприятия, потеря готовности связана с неисправностью простаивающего оборудования, отсутствием заготовок, сырья, материалов, используемых при данной технологии, неготовностью, по тем или иным причинам, кадров.

Готовность можно оценивать вероятностью того, что система будет функционировать к моменту переключения на нее. Управлять же этой вероятностью можно только создавая благоприятные условия для появления желаемого события, или устраняя причины его неоявления [32].

Третья задача метасистемного подхода является прогностической. Если каким-то образом удастся разработать стратегию переключения систем, то будут известны моменты начала функционирования каждой системы. К этим моментам можно будет их готовить, оптимально расходуя ресурсы, так как поддержание постоянной готовности всех систем требует неоправданно много затрат.

Проектировать названную стратегию можно в упомянутом в первой задаче многомерном пространстве на основе прокладывания прогностической траектории движения точки, изображающей состояние рынка и предприятия [33].

Четвертая задача предусматривает некоторую взаимосвязь систем, например на структурном уровне, когда сочетания некоторых систем при функционировании дают больший эффект, чем другие их сочетания. Например, функционирование технологии изготовления какого-либо продукта на рынок и технологии, использующей возникающие при этом отходы, или функционирование двух близких технологий с резко меняющимся спросом на каждый вид продукции, изготавливаемый с их помощью – «выбросы» рынка можно умело сглаживать, гибко управляя объемами выпуска.

Пятая задача, возникает только при одновременном функционировании нескольких систем, при этом на первый план выходит потребность в их координации, оптимизации ресурсов, направляемых на каждую систему, с целью добиться наибольшей эффективности метасистемы. При этом общесистемные ресурсы направляются в большей мере в ту систему, которая больше всего увеличивает метасистемный эффект.

Наконец, шестая задача связана с оптимизацией набора систем в метасистеме. В качестве критерия можно выбрать коэффициент удельного эффекта, то есть отношение эффекта от включения данной технологии в портфель метасистемы к затратам, связанным с ее приобретением и освоением и тогда в портфель включаются в первую очередь системы с самым большим коэффициентом удельного эффекта.

Метасистемы, как показано выше, можно разделить на два больших класса: последовательного и параллельного действия [34]. В первом случае функци-

онирует только одна – выбранная система, во втором – выбранная группа систем.

Модель предприятия представляется в виде системы массового обслуживания, работающей по потоку заявок на изготовление того или иного вида продукции, поступающего с рынка и обусловленного спросом [35] – рисунок 24.

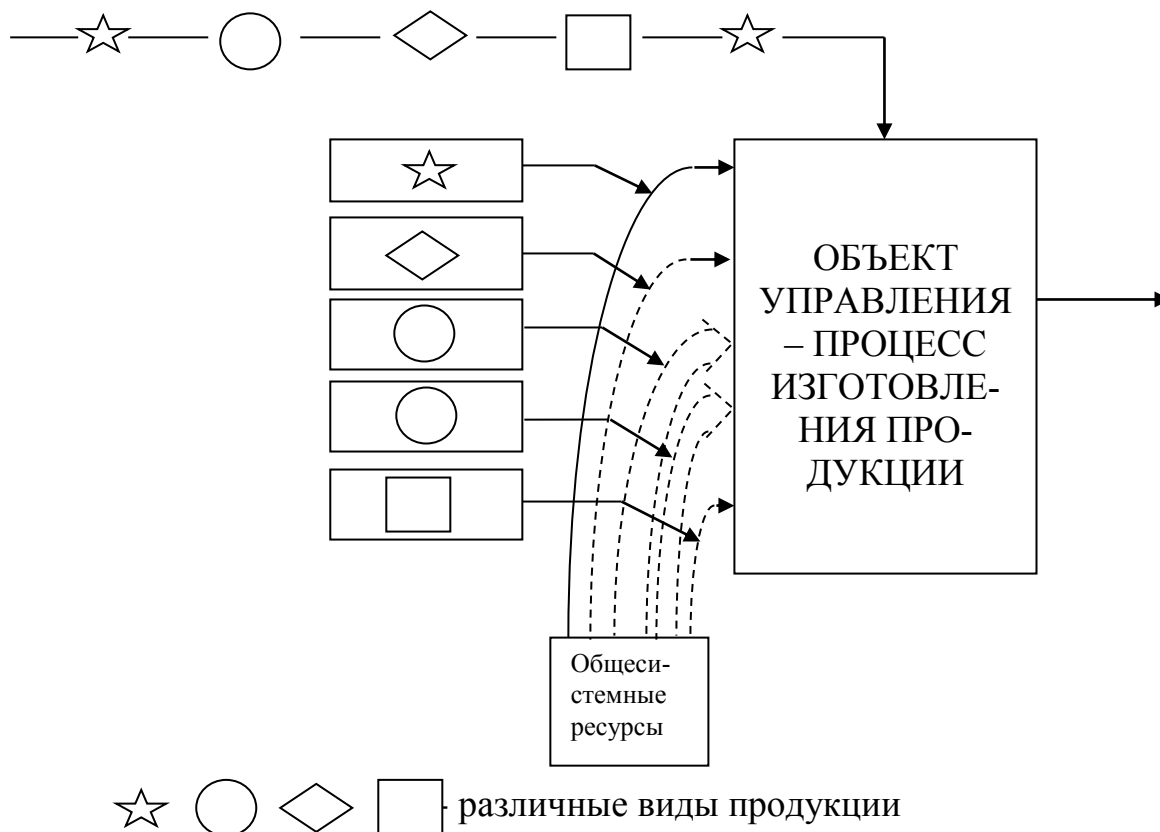


Рисунок 24 – СМО – модель предприятия

На рисунке в данный момент функционирует верхняя технология, остальные простаивают и помечены пунктирной линией, причем третья и четвертая технологии должны работать параллельно и поэтому требуют оптимального перераспределения ресурсов между ними.

Из предложенной модели функционирования предприятия следует необходимость быстрого уравнивания вероятностей включений для всех технологий, входящих в портфель предприятия с соответствующей вероятностью изменений спроса на рынке на соответствующий вид продукции. Исходя из управляемости предприятия, можно ввести главную обратную связь, которая будет следить за

реальной частотой включений каждой структуры, запоминать ее и уравнивать с требуемой рынком вероятностью. Причем срабатывать эта связь должна только в случаях наибольшей неопределенности, то есть на границах между классами управленческих ситуаций. Экспериментальное исследование было посвящено оценке точности включений технологий, которую должна резко повысить указанная обратная связь.

Таким образом, метасистемный подход является необходимым инструментом для моделирования процесса функционирования производственного предприятия. Управление в такой модели предусматривает поддержание на определенном уровне вероятности функционирования входящих в структуру технологий. Исследование показало, что описанный подход позволяет на научной основе оптимизировать набор технологий, диапазоны их функционирования, стратегию переключения, а также процесс перераспределения общесистемных ресурсов, максимизируя «метасистемный эффект» интеграции.

3.3 Определение границ диапазонов эффективного функционирования систем

3.3.1 Критерии эффективности функционирования системы на примере выбора методов лечения

Знакомство с методами определения границ диапазонов начнем с рассмотрения практического примера.

В качестве координат многомерного пространства выбраны острота зрения, рефракция, объем абсолютной аккомодации, запас относительной аккомодации, порог электрочувствительности, электролабильность (то есть обычный набор показателей, определение которых не требует сложной аппаратуры и доступно в стандартных поликлинических условиях). В таком многомерном пространстве состояние глаза отмечается точкой.

Для определения эффективности лечения необходимо рассматривать три состояния глаза: до лечения, после лечения и состояние здорового глаза. Соеди-

нив эти три точки, можно получить два вектора, изображенные на рисунке 28 (для упрощения изображены лишь две координатные оси из шести), с началом в точке, описывающей исходное состояние больного глаза (точка А). Первый вектор направлен в точку, характеризующую состояние здорового глаза (точка С) и задает направление скорейшего излечения. Второй вектор направлен в точку, описывающую состояние глаза после лечения (точка В) и отражает реальные изменения, наблюдающиеся при лечении тем или иным методом. В качестве критериев оценки эффективности лечения можно выбрать угол между этими векторами (косинус этого угла – $\cos \alpha$), величину изменений при лечении (длину второго вектора - АВ), а также величину изменений в направлении скорейшего излечения (длина проекции вектора реального изменения на направление скорейшего излечения -AD).

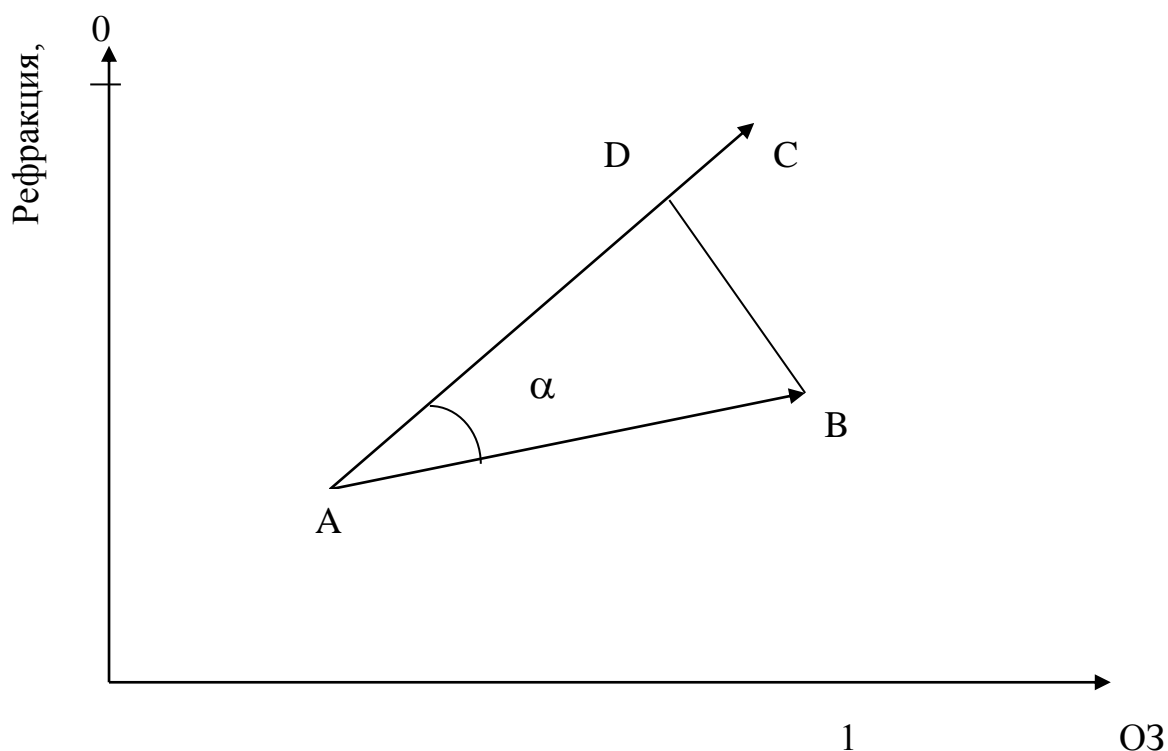


Рисунок 28 – Расположение векторов в многомерном пространстве

Например, лечение проводилось на всех группах пациентов методами видеокомпьютерной коррекции, чрезкожной электростимуляции и сочетанием этих методов.

Критерии вычислялись по формулам:

$$K_1 = \cos \alpha = \frac{V_{11} * V_{21} + V_{12} * V_{22} + \dots + V_{1n} * V_{2n}}{\sqrt{V_{11}^2 + V_{12}^2 + \dots + V_{1n}^2} * \sqrt{V_{21}^2 + V_{22}^2 + \dots + V_{2n}^2}}, \quad (3.14)$$

$$K_2 = \sqrt{V_{11}^2 + V_{12}^2 + \dots + V_{1n}^2} * K_1 = \sqrt{V_{11}^2 + V_{12}^2 + \dots + V_{1n}^2} * \cos \alpha, \quad (3.15)$$

$$K_3 = \sqrt{V_{11}^2 + V_{12}^2 + \dots + V_{1n}^2} / \sqrt{V_{21}^2 + V_{22}^2 + \dots + V_{2n}^2}, \quad (3.16)$$

где V_{11}, \dots, V_{1n} - нормированные безразмерные компоненты вектора изменений состояния глаза, обусловленные методом лечения; V_{21}, \dots, V_{2n} - нормированные безразмерные компоненты вектора необходимых изменений до нормального состояния глаза.

При использовании направляющего косинуса величина изменений при углах, меньших 45° , всегда ведет к улучшению зрительных функций и приближает их к показателям нормального глаза. При углах, больших 45° , «побочные» влияния слишком велики и, следовательно, данный метод не эффективен. А при углах, больших 90° , метод лечения даже вреден пациенту, так как уводит показатели зрительных функций в сторону от нормальных.

На втором месте по значимости находится критерий, связанный с величиной проекции реальных изменений на направление скорейшего излечения.

Положительное значение проекции и ее величина отражают степень улучшения функций, а отрицательное значение этой проекции говорит о вредности метода. Его недостатком является отсутствие сведений о «побочных» изменениях.

Критерий эффективности в виде длины вектора реальных изменений лишь говорит о степени влияния метода на пациента и ничего не говорит о направлениях изменений состояния глаза при его использовании.

Простое деление замкнутой области, включающей точки, описывающие состояния глаз до лечения, на элементарные объемы не позволяет провести достоверных исследований ввиду большого количества координат многомерного пространства. Даже при делении координатных диапазонов пополам в шестимерном пространстве получится 128 элементарных объемов. Очевидно, что имеющийся статистический материал не позволит сделать достоверные выводы о дисперсии.

На рисунке 33 схематично изображено многомерное пространство параметров со сканирующим элементарным объемом.

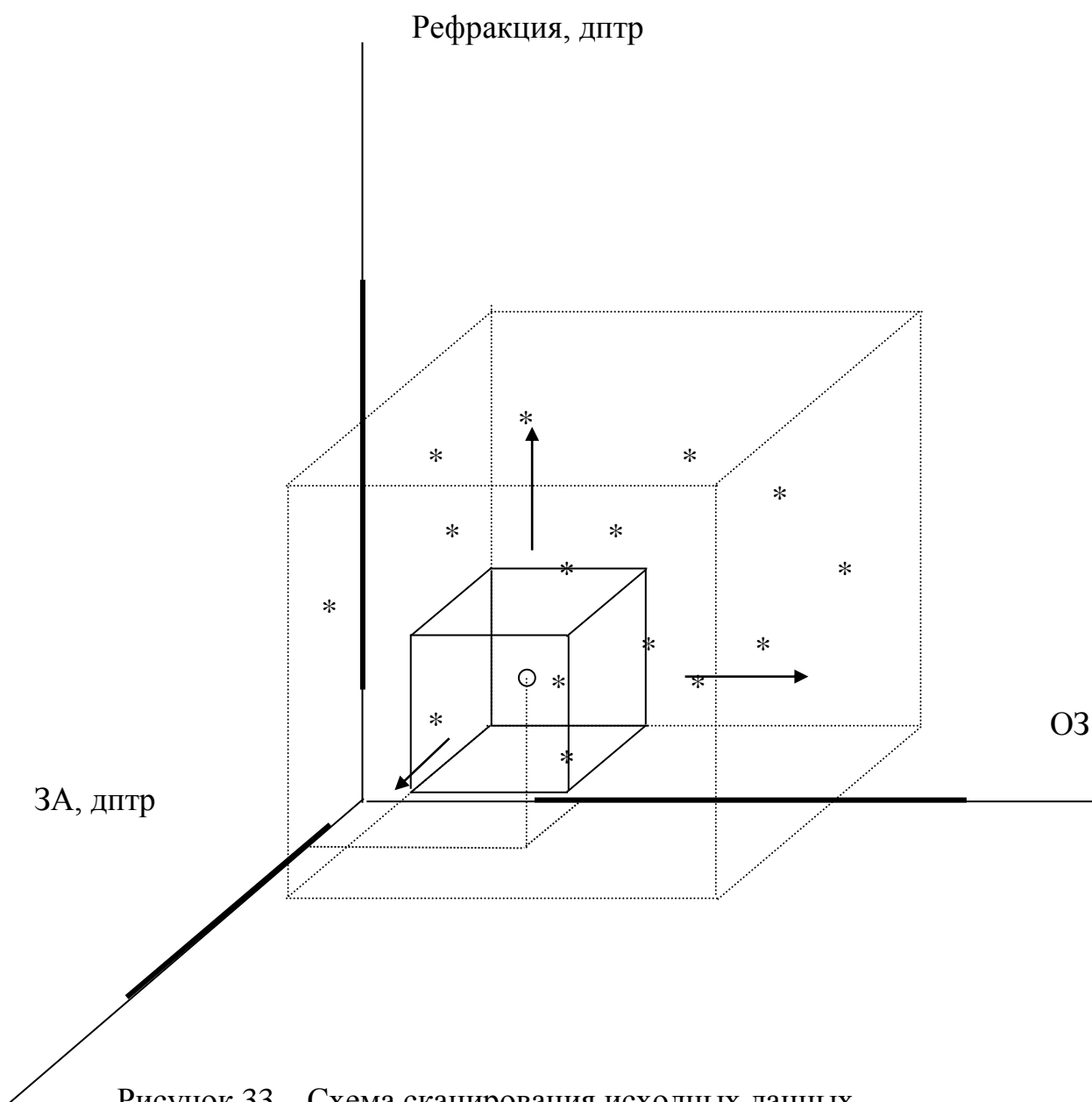


Рисунок 33 – Схема сканирования исходных данных.

Для упрощения рассмотрены лишь три параметра из шести.

3.3.2 Метод многомерной классификации элементного статуса организма

Использование многомерного пространства, как способа представления большого количества информации, используемой для диагностики элементного статуса дает много преимуществ. В многомерном пространстве определяется целевая область "здорового организма" и текущее состояние обследуемого, что позволяет как оценить положение так и целенаправленно формировать стратегию восстановительного лечения для конкретного пациента. Применение данного способа делает возможным в оценке состояния здоровья человека опираться на накопленные данные об элементном статусе - одном из фундаментальных показателей здоровья [36,37,38]. Для этого, в многомерном пространстве по осям координат откладываются величины, оценивающие весовое содержание каждого из химических элементов, точкой представляется элементный статус конкретного пациента, становится возможным выделение локальных областей, отражающих адаптированность коренного населения к условиям конкретной биогеохимической провинции.

Идеи многомерного пространства высказывались еще в XVIII веке И. Кантом и Ж. Д'Аламбером, а многомерная геометрия построена А. Кэли, Г. Грасманом и Л. Шлефли в прошлом веке [39]. Достоинством метода при малой размерности является наглядность. Даже трехмерное пространство можно иллюстрировать на двумерных картинах, рисунках и чертежах, что значительно помогает исследованию. Однако при большем количестве измерений наглядность данного метода теряется. Тем не менее, многомерное представление, дополненное например агент-ориентированным подходом, при котором пациент, метод лечения и врач играют активную роль имеют большие перспективы.

Для правильного функционирования организму важно соотношение между элементами, поэтому в основу классификации логично положить именно эту информацию. Это означает, что по каждой из координат многомерного пространства необходимо откладывать отношение содержания каждой пары химических элементов. Конечно, можно осреднить значения всех этих отношений по

массиву пациентов и найти среднюю норму по каждому отношению. Однако такой подход заведомо будет неточным, из-за того, что не учтена масса человеческого тела.

Исследуя данную постановку задачи, замечаем, что точки с одинаковой суммой координат располагаются на гиперплоскости, описываемой уравнением

$$\sum_{i=1}^n x_i + D = 0 \quad (3.20)$$

Отличительным свойством этой формулы являются единичные коэффициенты при всех координатах.

При двух координатах таким свойством обладает прямая линия, проходящая под углом 45 градусов к осям координат. На такой прямой для каждой точки увеличение одной координаты приводит к равному уменьшению другой, так что сумма будет сохранена.

Аналогичные рассуждения в трехмерном пространстве приводят к плоскости, наклоненной под одинаковыми углами ко всем координатным плоскостям.

С другой стороны, геометрическим местом точек, имеющих одинаковое соотношение между координатами, будет луч, исходящий из начала координат, описываемый уравнением

$$x_i = tx_{Ai} \quad (3.21)$$

где x_{Ai} – компоненты радиуса вектора, задающего луч, t – произвольный параметр, позволяющий пробегать по этому лучу.

Чтобы провести классификацию заданной точки B , то есть ответить на вопрос относится ли данная точка к классу заданному лучом (2), необходимо сначала построить плоскость с такой же суммой координат, как у точки B .

Для этого подставляем ее координаты в уравнение (1) и находим параметр D . Окончательно уравнение плоскости [5]

$$\sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n x_{Bi} = 0 \quad (3.22)$$

Теперь необходимо найти точку C пересечения заданного луча с определенной таким образом плоскостью, для чего подставляем координаты (2) в уравнение (3) и определяем искомую точку C через параметр t

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n x_{Bi}}{\sum_{i=1}^n x_{Ai}} \quad (3.23)$$

Теперь, кажется можно просто ввести в качестве критерия принадлежности заданному классу степень близости заданной точки к точке пересечения (или вхождения точки в круг заданного радиуса с центром в точке пересечения), и тем самым решить вопрос о принадлежности ее к заданному классу. Однако такой метод работает только при близких друг к другу значениях всех координат. В том случае, когда имеется хотя бы одна координата с малым абсолютным значением, круг на рисунке перестает быть кругом.

Казалось бы, эту проблему можно решить масштабированием, однако при этом нарушится ограничение (1), в котором коэффициенты при всех координатах должны быть единичными. Выходом из создавшегося положения может стать только покоординатный критерий отнесения заданной точки к выбранному классу.

В этом случае берем координаты точки пересечения и для каждой из них задаем степень близости, причем последняя должна зависеть от абсолютного значения координаты, например линейным образом. Конечно, диапазон вхождения тем больше, чем больше абсолютное значение координаты.

Критерий вхождения точки в заданный класс приобретет вид системы n нестрогих неравенств типа

$$|x_{Bi} - x_{Ci}| \leq \alpha x_{Ci}, \text{ при } i=1, \dots, n \quad (3.24)$$

Вопрос о вхождении точки в заданный класс решается положительно только при выполнении всех этих нестрогих неравенств.

Другая часть исследования связана с нахождением эталона класса в виду того, что он является не точкой, как в чаще всего бывает, а лучом. Объекты, принадлежащие заданному классу, обычно образуют облако точек и возможны два способа построения искомого луча.

Первый основан на том или ином осреднении и проведении луча из начала координат в полученную осредненную точку.

$$x_{Ai} = \frac{\sum_{j=1}^m x_{ij}}{m} \quad (3.25)$$

Второй подразумевает проведение луча через облако точек с использованием метода наименьших квадратов, то есть так, чтобы сумма квадратов расстояний от точек до луча была минимальной.

Пусть луч описывается уравнением (3.23). Тогда для каждой j -ой точки из облака необходимо найти кратчайшее расстояние до этого луча в плоскостях равного веса для каждой точки. Сначала строим плоскость одинаковой суммы координат, проходящую через эту точку

$$\sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n x_{ij} = 0 \quad (3.26)$$

Находим точку пересечения луча с плоскостью, задаваемую значением параметра t из уравнения (3.23)

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{Ai}} \quad (3.27)$$

Теперь можно найти расстояние между j -ой точкой и точкой пересечения

$$d_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(x_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{\sum_{k=1}^n x_{Ak}} x_{Ai} \right)^2} \quad (3.28)$$

Тогда сумма квадратов расстояний до всех m точек облака будет равна

$$F(x_{Ai}) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left(x_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{\sum_{k=1}^n x_{Ak}} x_{Ai} \right)^2 \quad (3.29)$$

Дифференцируя эту сумму по каждой из компонент вектора, образующего луч и приравнивая производную к нулю, получим n уравнений для определения всех компонент.

$$-2 \sum_{j=1}^m \left(x_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{\sum_{k=1}^n x_{Ak}} x_{Ai} \right) \times \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij} (\sum_{k=1}^n x_{Ak} - x_{Ai})}{(\sum_{k=1}^n x_{Ak})^2} = 0, \quad i = 1, \dots, n \quad (3.30)$$

Сокращая дробь на сумму всех координат, заведомо нулю неравную и учитывая, что в нуль обратить эту производную может числитель, получаем

$$\left(\sum_{j=1}^m x_{ij} \sum_{k=1}^n x_{Ak} - x_{Ai} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} \right) (\sum_{k=1}^n x_{Ak} - x_{Ai}) = 0, \quad i = 1, \dots, n \quad (3.31)$$

Раскрывая скобки получим

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m x_{ij} (\sum_{k=1}^n x_{Ak})^2 - x_{Ai} \sum_{k=1}^n x_{Ak} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} - x_{Ai} \sum_{j=1}^m x_{ij} \sum_{k=1}^n x_{Ak} + \\ + x_{Ai}^2 \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} = 0 \end{aligned} \quad (3.32)$$

Частично раскрывая сумму во втором слагаемом

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} (\sum_{i=1}^n x_{Ai})^2 - x_{Ai}^2 \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} - x_{Ai} \sum_{k \neq i, k=1}^n x_{Ak} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} -$$

$$-x_{Ai} \sum_{j=1}^m x_{ij} \sum_{k=1}^n x_{Ak} + x_{Ai}^2 \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} = 0 \quad (3.33)$$

Видим, что второе и последнее слагаемые сокращаются, теперь частично раскрываем сумму в первом слагаемом

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^m x_{ij} \sum_{k=1}^n x_{Ak} \sum_{k \neq i, k=1}^n x_{Ak} + x_{Ai} \sum_{j=1}^m x_{ij} \sum_{k=1}^n x_{Ak} - \\ & - x_{Ai} \sum_{k \neq i, k=1}^n x_{Ak} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} - x_{Ai} \sum_{j=1}^m x_{ij} \sum_{k=1}^n x_{Ak} = 0 \end{aligned} \quad (3.34)$$

Второе и предпоследнее слагаемые сокращаются

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \sum_{k=1}^n x_{Ak} \sum_{k \neq i, k=1}^n x_{Ak} - x_{Ai} \sum_{k \neq i, k=1}^n x_{Ak} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} = 0 \quad (3.35)$$

Наконец, еще раз частично раскрывая сумму в первом слагаемом и объединяя подобные члены, имеем систему

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} (\sum_{k \neq i, k=1}^n x_{Ak})^2 + x_{Ai} \sum_{k \neq i, k=1}^n x_{Ak} (\sum_{j=1}^m x_{ij} - \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij}) = 0, i = 1, \dots, n \quad (3.36)$$

Очевидно, что данные уравнения при большой размерности в силу их нелинейности можно решить только численно. Для решения системы нелинейных уравнений (17) можно воспользоваться методом последовательных приближений Ньютона, используя (6) как начальное приближение.

Описанный выше метод не отличается особой чувствительностью к коллапсирующим или антагонистическим элементам. Рассмотрим в связи с этим другой способ многомерного представления информации по элементному статусу.

Из теории очевидно, что важно не только количественное содержание элементов, но и их отношения друг к другу. Логично поэтому составить следующую матрицу соотношений

$$A = \begin{pmatrix} 1 & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & 1 & \alpha_{23} & \dots & \alpha_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \dots & \dots & 1 \end{pmatrix}, \text{ где } \alpha_{ij} = x_i/x_j \quad (3.37)$$

В матрице (18) независимую информацию представляют только около половины составляющих, поскольку под диагональю расположены элементы, являющиеся обратными по отношению к элементам, расположенным над диагональю. Тем не менее, и независимых элементов достаточно много. Например, при $n=25$ координатных осей уже 300.

Переход к новым координатам можно осуществить, умножая эту матрицу на вектор-столбец и решая полученную систему уравнений

$$\begin{pmatrix} 1 & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & 1 & \alpha_{23} & \dots & \alpha_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \dots & \dots & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p/x_1 \\ p/x_2 \\ \dots \\ p/x_n \end{pmatrix}, \text{ где } p = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2} \quad (3.38)$$

Полученные уравнения необходимо разрешить относительно неизвестных координат. Предложенный метод обладает несколькими полезными свойствами. Например, если элементы в организме пациента не совместимы - антагонистичны, тогда в линейном случае 10% процентное увеличение одного, приведет к 10% уменьшению другого, например

$$\alpha_{ij} = \frac{1}{2}, \text{ тогда } \frac{1 + 0.1}{2 - 0.2} = 0.61$$

Из этой арифметики следует, что соответствующая координата изменяется на 22%. Такое же соотношение, но в обратную сторону имеет место в случае коллаборирующих элементов.

С другой стороны, значительно упрощается классификация пациентов, она становится классической - по удаленности изображающей пациента точки от эталона класса, который в свою очередь так же является точкой, в то время как в методе, описанном в теории эталон класса является лучом.

Сравнительный эксперимент основывается на обширной базе данных, сформированной в результате комплексного клинико-физиологического обследования и определения элементного состава биосубстратов 910 лиц различного пола и возраста.

Определение содержания химических элементов в биосубстратах, осуществлялось методами атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии. С использованием масс-спектрометра Elan 9000 (Perkin Elmer, США) определялось содержание As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Si, Sn, Ti, V, а атомно-эмиссионный спектрометр Optima 2000 V (Perkin Elmer, США) использовался для определения Ca, Mg, P, Zn, K, Na. В общей сложности, были получены данные о содержании 24-х химических элементов.

Оценка физического развития проводилась по рекомендациям, принятым ВОЗ и единым антропометрическим методикам (Бунак В.В., 1941; Ставицкая А.Б., Арон Д.И., 1959; Мартиросов Э.Г., 1982; Клиорин А.И., 1989) с использованием стандартных измерительных приборов [7]. Антропометрические данные оценивались по центильным таблицам, разработанным для данной возрастной категории (Кузнецова М.В., 2005) [8] и использовались для подсчета индекса массы тела (ИМТ). Полученные результаты интерпретировались согласно разработанным нормативам.

Для наглядности результаты представлены на рисунке 34 в относительных единицах.

На рисунке 35 представлены аналогичные результаты в новом пространстве, для удобства сравнения они так же отнесены к норме. При этом норма отражается единичной линией для всех элементов.

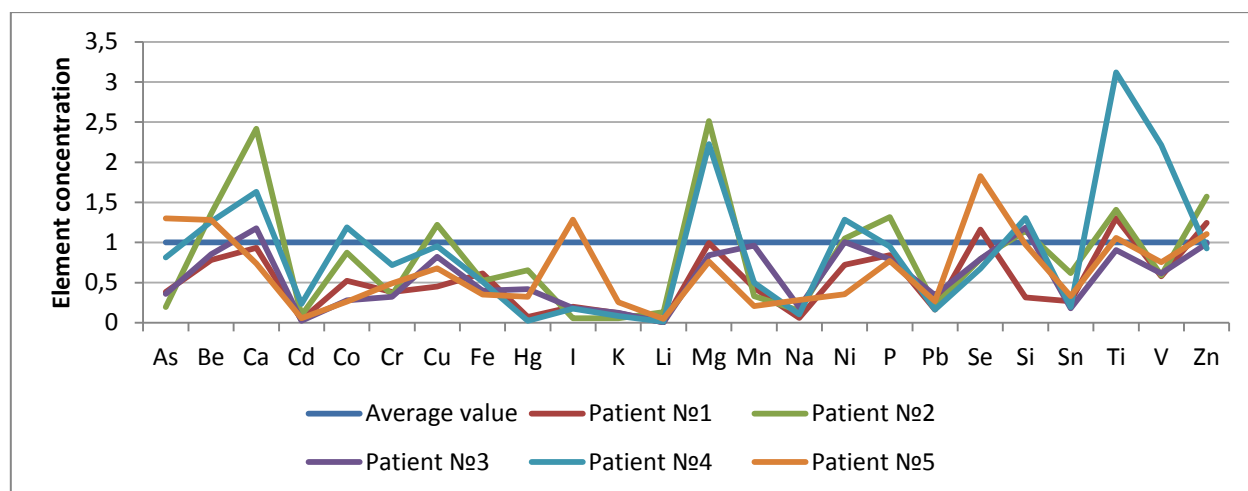


Рисунок 34 – График относительной концентрации элементов для пяти пациентов (в пространстве с осями в виде содержания элементов)

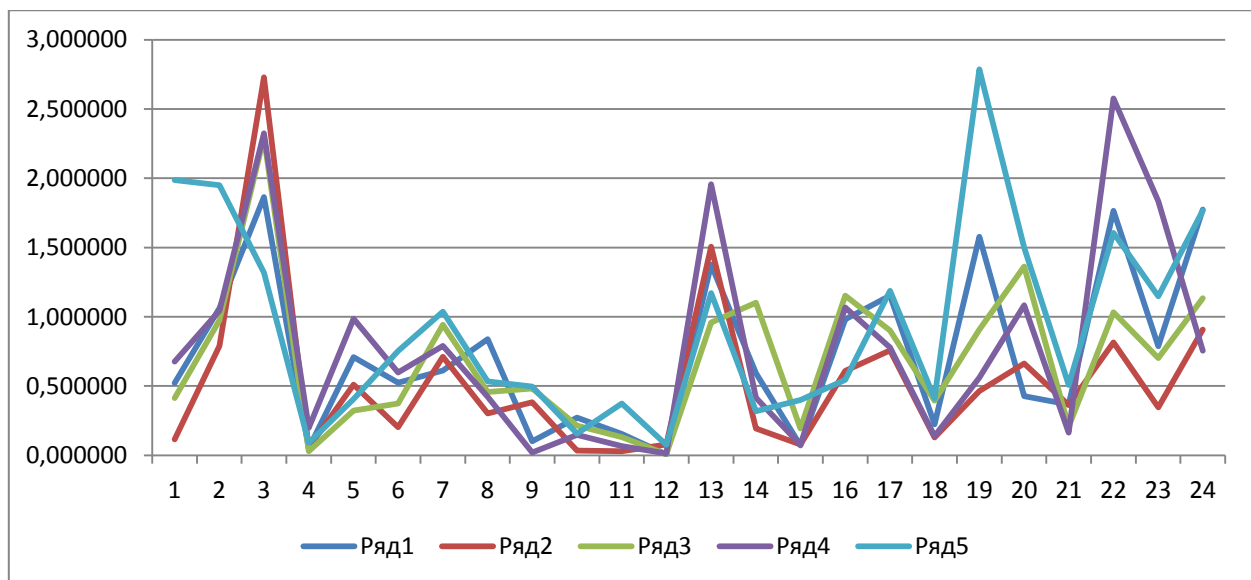


Рисунок 35 – График относительной концентрации элементов для пяти пациентов (в пространстве с осями в виде отношения содержания элементов)

Полученные результаты достаточно наглядно показывают, что второе представление информации об элементном статусе коррелирует с первым, но превосходит его по диапазону размаха информации, в результате чего повышена взаимная разнесенность графиков каждого из пациентов.

Второй способ представления информации позволяет легко анализировать динамику коррекции элементного статуса простым сравнением двух графиков до принятия препаратов и после.

Для получения более целостного представления об общих закономерностях накопления или потери химических элементов в организме можно ввести дополнительные оси в многомерном пространстве, по которым откладываются значения физиологических, антропометрических, метаболических и др. показателей. Тогда оценивая дисперсию концентраций элементов можно найти дополнительные симптомы важные для врача-диагноста. Например, малая дисперсия физиологического показателя по каким-либо элементам у определенной группы пациентов может указывать на сильную корреляцию.

Таким образом, представление информации об элементном статусе организма в виде многомерного пространства с отношениями элементов в качестве

координат имеет следующие достоинства:

- представляет эталон класса в виде точки, поэтому становятся применимы классические методы распознавания;
- позволяет диагностировать элементный статус при любом весе пациента;
- более чувствительно к коллаборирующим и антагонистическим элементам
- повышает взаимную разнесенность графиков каждого из пациентов.

Результаты данного исследования позволяют создать систему поддержки процесса оценки элементного статуса организма, с учетом эколого-физиологической адаптации. Соответствующие алгоритмы и их программная реализация позволяют максимально снизить влияние личностного фактора на точность диагностики и формирование наиболее эффективной стратегии лечения. Тем самым труд врача переводится на другой уровень с быстрой ориентацией в большом объеме информации о пациенте и обоснованным выбором стратегии коррекции элементного статуса.

3.2.3 Многомерная модель оценки погрешности диагностики элементного статуса организма

Существует несколько методов оценки результатов такой диагностики элементного статуса. У каждого метода есть свои преимущества и недостатки, по которым осуществляется выбор наиболее адекватного метода. Но каждый метод при этом будет иметь свои погрешности. Важно оценить эти погрешности и провести сравнение методов в соответствии с ними. При этом необходимо разработать соответствующую модель представления самих методов. Для создания такой модели воспользуемся подходом, известным в космической навигации, когда векторы задаются направляющими косинусами наклона осей соответствующих гироскопов.

Для правильного функционирования организму важно соотношение между элементами, поэтому в основу классификации логично положить именно эту информацию. По каждой из координат многомерного пространства необходимо откладывать содержание каждого из химических элементов для одного пациен-

та. С другой стороны, можно осреднить значения по массиву пациентов и найти среднюю норму по каждому. Однако такой подход заведомо будет неточным, из-за того, что при усреднении не учтена масса человеческого тела, равная в данном представлении сумме всех координат.

Примем следующую систему обозначений

x_i – координаты многомерного пространства размерностью n , по каждой из которых откладываются содержания каждого из элементов;

D – параметр, определяющий плоскость пациентов с равным весом (плоскость равных сумм координат);

x_{Ai} – координаты радиуса-вектора, задающего луч норм для групп пациентов;

t – параметр, обеспечивающий скольжение точек по лучу;

x_{Bi} – координаты классифицируемого пациента;

x_{Ci} – координата эталона класса;

α – коэффициент, ограничивающий диапазон изменения содержания заданного элемента в классе;

m – количество пациентов в оцениваемой группе;

x_{ij} – i -ая координата, j -ого пациента из оцениваемой группы;

d_j – расстояние от точки, описывающей j -ого пациента до луча норм;

$F(x_{Ai})$ – минимизируемая сумма квадратов отклонений точек, изображающих элементный статус пациентов от луча норм.

Исследуя данную постановку задачи, замечаем, что точки с одинаковой суммой координат располагаются на гиперплоскости, описываемой уравнением

$$\sum_{i=1}^n x_i + D = 0 \quad (3.39)$$

Отличительным свойством этой формулы являются единичные коэффициенты при всех координатах.

При двух координатах таким свойством обладает прямая линия, проходящая под углом 45 градусов к осям координат. На такой прямой для каждой точки увеличение одной координаты приводит к равному уменьшению другой, так что сумма будет сохранена.

Аналогичные рассуждения в трехмерном пространстве приводят к плоскости, наклоненной под одинаковыми углами ко всем координатным плоскостям.

С другой стороны, геометрическим местом точек, имеющих одинаковое соотношение между координатами, будет луч, исходящий из начала координат, описываемый уравнением

$$x_i = tx_{Ai} \quad (3.40)$$

где x_{Ai} – компоненты радиуса вектора, задающего луч, t – произвольный параметр, позволяющий пробегать по этому лучу.

Чтобы провести классификацию заданной точки B , то есть ответить на вопрос относится ли данная точка к классу заданному лучом (7), необходимо сначала построить плоскость с такой же суммой координат, как у точки B .

Для этого подставляем ее координаты в уравнение (1) и находим параметр D . Окончательно уравнение плоскости [5]

$$\sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n x_{Bi} = 0 \quad (3.41)$$

Теперь необходимо найти точку C пересечения заданного луча с определенной таким образом плоскостью, для чего подставляем координаты (2) в уравнение (3) и определяем искомую точку C через параметр t

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n x_{Bi}}{\sum_{i=1}^n x_{Ai}} \quad (3.42)$$

Теперь, кажется можно просто ввести в качестве критерия принадлежности заданному классу степень близости заданной точки к точке пересечения (или вхождения точки в круг заданного радиуса с центром в точке пересечения), и тем самым решить вопрос о принадлежности ее к заданному классу. Однако такой метод работает только при близких друг к другу значениях всех координат. В том случае, когда имеется хотя бы одна координата с малым абсолютным значением, круг на рисунке перестает быть кругом.

Казалось бы, эту проблему можно решить масштабированием, однако при этом нарушится ограничение (1), в котором коэффициенты при всех координатах должны быть единичными. Выходом из создавшегося положения может стать

только по координатный критерий отнесения заданной точки к выбранному классу.

В этом случае берем координаты точки пересечения и для каждой из них задаем степень близости, причем последняя должна зависеть от абсолютного значения координаты, например линейным образом. Конечно, диапазон вхождения тем больше, чем больше абсолютное значение координаты.

Критерий вхождения точки в заданный класс приобретет вид системы n нестрогих неравенств типа

$$|x_{Bi} - x_{Ci}| \leq \alpha x_{Ci}, \text{ при } i=1, \dots, n \quad (3.43)$$

Вопрос о вхождении точки в заданный класс решается положительно только при выполнении всех этих нестрогих неравенств.

Другая часть исследования связана с нахождением эталона класса в виду того, что он является не точкой, как в чаще всего бывает, а лучом. Объекты, принадлежащие заданному классу, обычно образуют облако точек и возможны два способа построения искомого луча.

Первый основан на том или ином осреднении и проведении луча из начала координат в полученную осредненную точку.

$$x_{Ai} = \frac{\sum_{j=1}^m x_{ij}}{m} \quad (3.44)$$

Второй подразумевает проведение луча через облако точек с использованием метода наименьших квадратов, то есть так, чтобы сумма квадратов расстояний от точек до луча была минимальной.

Пусть луч описывается уравнением (2). Тогда для каждой j -ой точки из облака необходимо найти кратчайшее расстояние до этого луча в плоскостях равного веса для каждой точки. Сначала строим плоскость одинаковой суммы координат, проходящую через эту точку

$$\sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n x_{ij} = 0 \quad (3.45)$$

Находим точку пересечения луча с плоскостью, задаваемую значением параметра t из уравнения (2)

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{Ai}} \quad (3.46)$$

Теперь можно найти расстояние между j -ой точкой и точкой пересечения

$$d_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{\sum_{k=1}^n x_{Ak}} x_{Ai})^2} \quad (3.47)$$

Тогда сумма квадратов расстояний до всех m точек облака будет равна

$$F(x_{Ai}) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{\sum_{k=1}^n x_{Ak}} x_{Ai})^2 \quad (3.48)$$

Дифференцируя эту сумму по каждой из компонент вектора, образующего луч и приравнивая производную к нулю, получим n уравнений для определения всех компонент.

$$-2 \sum_{j=1}^m (x_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{\sum_{k=1}^n x_{Ak}} x_{Ai}) \times \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij} (\sum_{k=1}^n x_{Ak} - x_{Ai})}{(\sum_{k=1}^n x_{Ak})^2} = 0, \quad i = 1, \dots, n \quad (3.49)$$

Сокращая дробь на сумму всех координат, заведомо нулю неравную и учитывая, что в нуль обратить эту производную может числитель, получаем

$$(\sum_{j=1}^m x_{ij} \sum_{k=1}^n x_{Ak} - x_{Ai} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij}) \times (\sum_{k=1}^n x_{Ak} - x_{Ai}) = 0, \quad i = 1, \dots, n \quad (3.50)$$

Раскрывая скобки получим

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m x_{ij} (\sum_{k=1}^n x_{Ak})^2 - x_{Ai} \sum_{k=1}^n x_{Ak} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} - \\ - x_{Ai} \sum_{j=1}^m x_{ij} \sum_{k=1}^n x_{Ak} + x_{Ai}^2 \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} = 0 \end{aligned} \quad (3.51)$$

Частично раскрывая сумму во втором слагаемом

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m x_{ij} (\sum_{i=1}^n x_{Ai})^2 - x_{Ai}^2 \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} - x_{Ai} \sum_{k \neq i, k=1}^n x_{Ak} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} - \\ - x_{Ai} \sum_{j=1}^m x_{ij} \sum_{k=1}^n x_{Ak} + x_{Ai}^2 \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} = 0 \end{aligned} \quad (3.52)$$

Видим, что второе и последнее слагаемые сокращаются, теперь частично раскрываем сумму в первом слагаемом

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m x_{ij} \sum_{k=1}^n x_{Ak} \sum_{k \neq i, k=1}^n x_{Ak} + x_{Ai} \sum_{j=1}^m x_{ij} \sum_{k=1}^n x_{Ak} \\ - x_{Ai} \sum_{k \neq i, k=1}^n x_{Ak} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} - x_{Ai} \sum_{j=1}^m x_{ij} \sum_{k=1}^n x_{Ak} = 0 \end{aligned} \quad (3.53)$$

Второе и предпоследнее слагаемые сокращаются

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \sum_{k=1}^n x_{Ak} \sum_{k \neq i, k=1}^n x_{Ak} - x_{Ai} \sum_{k \neq i, k=1}^n x_{Ak} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} = 0 \quad (3.54)$$

Наконец, еще раз частично раскрывая сумму в первом слагаемом и объединяя подобные члены, имеем систему

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m x_{ij} (\sum_{k \neq i, k=1}^n x_{Ak})^2 + x_{Ai} \sum_{k \neq i, k=1}^n x_{Ak} (\sum_{j=1}^m x_{ij} - \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij}) = 0, \\ i = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (3.55)$$

Очевидно, что данные уравнения при большой размерности в силу их нелинейности можно решить только численно. Для решения системы нелинейных уравнений (17) можно использовать метод последовательных приближений Ньютона [6].

Как следует из теории, погрешность классификации зависит от точности построения луча норм. В описанном выше способе он определяется из условия минимизации суммарного расстояния до точек облака, определенного в плоскостях равного веса.

С другой стороны, луч можно определять через точку какого-либо осреднения, проводя его из начала координат непосредственно в эту точку.

Определять же осредненную точку можно по-разному. Как правило, для определения средней точки используют среднее арифметическое взвешенное, вычисляемое по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.56)$$

где n – это количество измерений.

Недостаток расчета средней точки по данной формуле заключается в том, что среднее арифметическое сильно зависит от вида кривой распределения и адекватные результаты показывает, только в случае, если данные подчиняются нормальному закону распределения.

Методами, непривязанными к нормальности распределения являются мода и медиана. Моду можно определить по формуле:

$$Mo = x_0 + h \frac{m_h - m_{h-1}}{(m_h - m_{h-1}) + (m_h - m_{h+1})} \quad (3.57)$$

где x_0 – минимальное значение модального интервала,

h – размер (диапазон) модального интервала,

m_h – количество значений, попавших в модальный интервал,

m_{h-1} – количество значений, попавших в интервал перед модальным,

m_{h+1} – количество значений, попавших в интервал после модального.

Для нахождения медианы общее количество данных необходимо предварительно ранжировать по возрастанию. В полученном ранжированном ряду дан-

ных необходимо найти значение $n/2$ или $(n+1)/2$ в случаях, когда в массиве количество данных представлено нечетным числом.

В практической деятельности иногда возникают ситуации, когда экспериментальные статистические данные по объективным или субъективным причинам оказываются засоренными резко выделяющимися, аномальными наблюдениями (выбросами).

Существуют ряд методов, позволяющих специальным образом обработать выбросы, один из них критерий Смирнова-Граббса.

Критерий Смирнова-Граббса (критерий разногласий) предназначен для исключения одного выброса - резко выделяющегося максимального или минимального наблюдения из нормально распределенной выборки.

Статистика критерия Смирнова-Граббса основана, соответственно, на величине

$$T_N = \frac{\max x_i - \bar{x}}{\sigma}, \quad (3.58)$$

или

$$T_N = \frac{\bar{x} - \min x_i}{\sigma}. \quad (3.59)$$

где x_1, x_2, \dots, x_n - результаты наблюдений,

Величина статистики критерия сравнивается с критическим значением, точное распределение которого дается формулой

$$G_N = \frac{N-1}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{t_{a/N, N-2}^2}{t_{a/N, N-2}^2 + N-2}}. \quad (3.60)$$

где $t_{a/N, N-2}^2$ - значение обратной функции t-распределения с параметрами a/N и $N-2$, a - заданный уровень значимости, обычно 0,05.

При величине статистики, большей критического значения, наблюдение исключается.

Однако правомерность применения всех перечисленных методов нахождения средней точки в многомерном пространстве в настоящее время научно не обоснована, и вопрос их применимости остается дискуссионным. Потому воз-

никает острая необходимость в создании универсального многомерного метода определения средней точки.

Наконец, точность построения луча однозначно связана с его направляющими косинусами. Поэтому задавая систему координат, где по осям откладываются направляющие косинусы лучей, построенных разными методами, получаем столько же точек в этом пространстве, сколько методов. Наконец, определяя расстояние между этими точками, получаем относительные оценки точности.

Вычисления основываются на обширной базе данных, сформированной в результате комплексного клинико-физиологического обследования и определения элементного состава биосубстратов 910 лиц различного пола и возраста.

Определение содержания химических элементов в биосубстратах, осуществлялось методами атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии. С использованием масс-спектрометра Elan 9000 (Perkin Elmer, США) определялось содержание As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Si, Sn, Ti, V, а атомно-эмиссионный спектрометр Optima 2000 V (Perkin Elmer, США) использовался для определения Ca, Mg, P, Zn, K, Na. В общей сложности, были получены данные о содержании 24-х химических элементов.

Оценка физического развития проводилась по рекомендациям, принятым ВОЗ и единым антропометрическим методикам (Бунак В.В., 1941; Ставицкая А.Б., Арон Д.И., 1959; Мартиросов Э.Г., 1982; Клиорин А.И., 1989) с использованием стандартных измерительных приборов [7]. Антропометрические данные оценивались по центильным таблицам, разработанным для данной возрастной категории (Кузнецова М.В., 2005) [8] и использовались для подсчета индекса массы тела (ИМТ). Полученные результаты интерпретировались согласно разработанным нормативам.

Результаты представлены на рисунке 36.

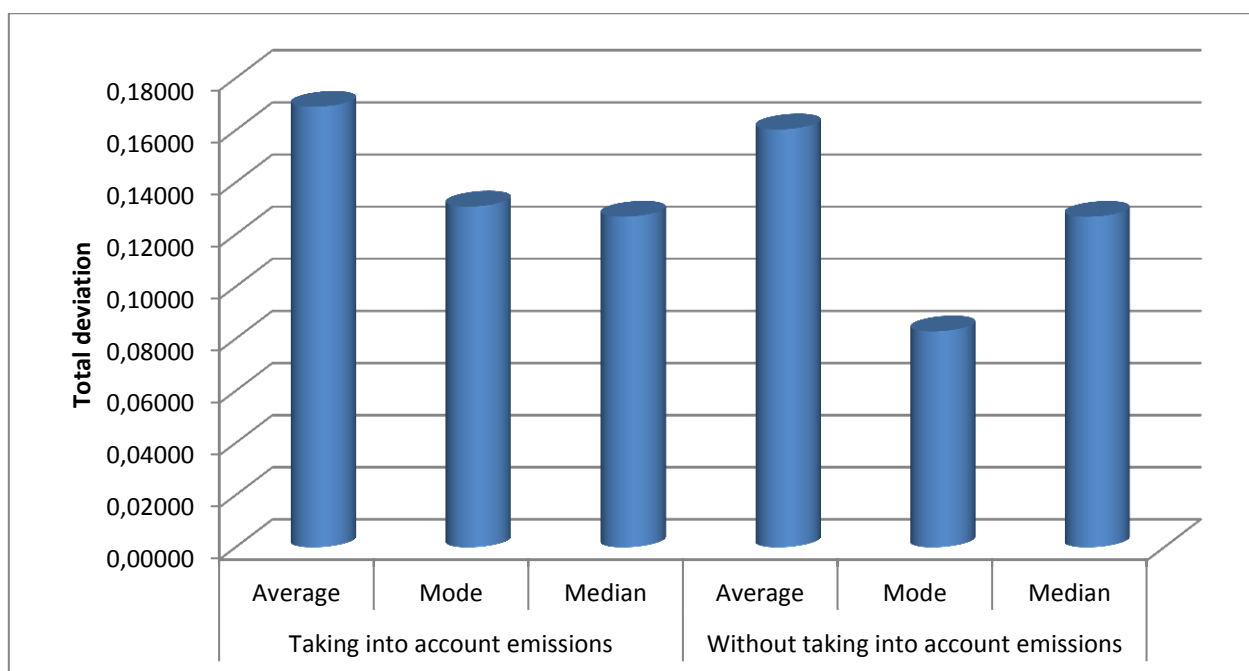


Рисунок 36 – Результат сравнения методов в многомерном пространстве

Полученные результаты достаточно наглядно показывают разделение результатов на две группы – с учетом выбросов и без учета выбросов, при этом вторая группа методов более точная по отношению к первой.

Многомерное представление позволяет провести интегральное сравнение методов по всем координатам сразу.

Метод оценки должен быть привязан к к искомой модели – в данном случае для сравнения лучей-моделей наиболее удобны направляющие косинусы

Самой близкой к заявленному методу является метод моды без учета выбросов, самым далеким – метод среднего с учетом выбросов.

Оценивая абсолютные значения, можно сделать вывод о работоспособности заявленного метода оценки элементного статуса организма и, что заявляемый метод находится между методом моды и медианы без учета выбросов.

Таким образом, разработанная многомерная модель оценки погрешности диагностики элементного статуса организма, основанная на пространстве направляющих косинусов, позволяет оценить работоспособность и относительные положения различных методов. На основании

Результаты данного исследования могут быть легко распространены на сравнение других методов. Соответствующие алгоритмы и их программная реализация позволяют максимально снизить влияние личностного фактора на точность оценки.

3.4 Траекторный метод построения стратегии переключения систем

При решении первой задачи в многомерном пространстве параметров определяются границы областей эффективности функционирования систем в метасистеме. Отражая положение метасистемы в этом пространстве изображающей точкой, координаты которой определяются на основе текущих значений параметров, описывающих движение этой точки, можно прогнозировать будущие ее положения. На основе прогноза можно разработать последовательность или по-другому стратегию переключения функционирующих систем.

За некоторый промежуток времени изображающая точка перемещается на малый вектор. По этому вектору можно осуществить прогноз первого самого грубого уровня. Тем не менее, этот прогноз отвечает на два вопроса о переключении. Первый вопрос – на какие системы необходимо переключаться и второй в какой момент времени. Принимая гипотезу о равномерном и прямолинейном движении изображающей точки, получим точку пересечения этой траектории с границами между областями эффективного функционирования конкретных систем. По размеру малого вектора перемещения, деленному на промежуток времени, за который это перемещение произошло, получаем скорость перемещения, а разделив на эту скорость последовательно расстояния до точек пересечения прямолинейной траектории с границами областей, получим моменты времени, в которые необходимо осуществлять переключения между системами.

Для более точного расчета можно продолжить следить за изображающей точкой и определить второй малый вектор перемещения. Полученные таким образом три точки на траектории всегда будут задавать плоскость и через них можно провести окружность. Радиус этой окружности позволит определить цен-

тростремительное ускорение, а изменение модуля скорости – касательное ускорение. Проследив теперь за этой окружностью, найдем точки ее пересечения с границами областей эффективного функционирования систем. Применяя формулы равнопеременного движения, определим моменты времени соответствующих переключений и, увязав их с видом систем получим более точную стратегию второго уровня.

На третьем уровне можно рассмотреть винтовую линию и по ее пересечениям с границами областей прогнозировать стратегию, затем сочетание окружностей большого и малого радиусов и так далее. Всякий раз мы должны увеличивать точность прогноза и соответственно точность проектирования стратегии. Но повышение точности за счет увеличения малых векторов перемещения наталкивается на погрешности измерений координат в многомерном пространстве параметров, отражающих движение метасистемы. Поэтому необходимо выбрать координату с наибольшей погрешностью и по ней ориентироваться в глубине производимых кинематических расчетов.

Определенность получаемой таким образом стратегии можно оценить вероятностью, которая естественно зависит от глубины уровня прогнозирования. На первом уровне, когда траекторией движения изображающей точки является прямая линия, вероятность попадания в другие области, которые эта траектория пересекает, прямо пропорциональна скорости движения изображающей точки и обратно пропорциональна расстоянию до границы этой области. Эта вероятность так же зависит от угла между вектором скорости движения и направлением от изображающей точки на эталон класса. Чем угол между ними меньше, а соответственно косинус этого угла больше, тем вероятность вхождения переключения на этот класс в разрабатываемую стратегию выше. В результате оценивать эту вероятность можно по формуле

$$P_Q = \lambda \frac{V \cos \alpha}{L \Delta \alpha}, \quad (3.61)$$

где P_Q – вероятность включения $-ой$ системы в разрабатываемую стратегию, V – скорость движения изображающей точки, L – расстояние до границы

области на которую необходимо переключение, λ - коэффициент попадания – равен единице, если вектор скорости лежит внутри телесного угла, исходящего из изображающей точки и охватывающего область эффективности Q -ой системы, и ноль в противном случае, α – угол между вектором скорости движения и направлением от изображающей точки на эталон класса Q -ой системы, наконец Δa – максимальная погрешность оценивания координаты.

На втором уровне можно построить трубку соответствующего радиуса, центром которой является построенная окружность. Радиус этой трубки можно выбрать из условия касания эталона класса -ой системы, расстояние до границы области измерять по дуге окружности. В результате имеем формулу

$$P_Q = \lambda \frac{V}{L(R-r)\Delta a}, \quad (3.62)$$

где те же обозначения, что и в предыдущей формуле, а R – радиус кривизны траектории, r – радиус, описанной трубки.

На третьем уровне трубку придется строить вокруг винтовой линии, а формула вероятности будет подобна предыдущей.

3.5 Оценка и управление готовностью системы

3.5.1 Общие соображения

При самом крупном делении оптимизируются средства, выделяемые на экспертизу с одной стороны и на повышение безопасности с другой. Эти два аспекта противоречивы: уменьшая степень осведомленности о потенциальных опасностях (затраты на экспертизу), увеличиваем расходы на повышение уровня безопасности, но рискуем допустить большие потери от необнаруженной неглубокой экспертизой опасности и наоборот. Следовательно, необходимо оптимизировать суммарные затраты:

$$\sum_{i=1}^N [Z_i + \Pi(Z_i)] \rightarrow \min \quad (3.64),$$

где N – последовательно, в зависимости от уровня, на котором решается задача оптимизации – количество опасных предприятий в регионе, опасных объ-

ектов на предприятии, опасных мест в конкретном опасном объекте, Z_i – текущие затраты на экспертизу. Если известна зависимость потерь от глубины экспертизы (осуществляемых на нее затрат), а также ограничения, налагаемые природой опасного объекта

$$Z_i \in Z_i,$$

и коэффициенты ранжирования опасностей, то минимизацией данного критерия можно оптимально перераспределить выделяемые ресурсы.

Получив размер затрат, направляемых на осуществление экспертизы, можно вычитанием их из общей суммы, выделяемой на повышение уровня безопасности, получить размер средств, которые можно потратить на технологические приемы, снижающие риск аварий. Распределение этих средств по опасным объектам также может быть оптимизировано. Для этого необходимо минимизировать следующий критерий

$$\sum_{i=1}^N [T_i + \Pi(T_i)] \rightarrow \min \quad (3.65)$$

где T_i – последовательно, в зависимости от уровня, затраты на повышение безопасности предприятия, объекта на предприятии, конкретной зоны объекта (опасного места), наконец на реализацию конкретной технологии повышения безопасности, вплоть до повышения квалификации персонала, $\Pi(T_i)$ – потери от выбора не лучшей технологии (в силу недостатка средств) либо от проведения ее не на лучших режимах. Опять-таки, если известна зависимость потерь от эффективности технологии (осуществляемых на нее затрат), а также ограничения, налагаемые природой опасного объекта

$$T_i \in \mathfrak{Z}_i,$$

и коэффициенты ранжирования опасностей, то минимизацией данного критерия можно оптимально перераспределить выделяемые на повышение безопасности ресурсы.

3.5.2 Вероятностная модель согласования производственного процесса с региональным рынком

Согласованность составляющих является важнейшим условием высокой эффективности любой системы. Поскольку предприятие производит продукцию на рынок, согласованность системы предприятие – рынок должна быть как можно выше. И в первую очередь этот тезис относится к объемам производства продукции на предприятии и спросу на данную продукцию на рынке. За формированием цен и объемами продаж предприятие следит особенно тщательно. Очевидно, что и процесс формирования цены на рынке и объем производимой продукции на предприятии из-за влияния большого количества случайных факторов носят стохастический характер. Естественно при этом говорить о согласованности необходимо в вероятностном смысле и применять для описания процессов соответствующий математический аппарат.

Постановка задачи и метод ее аналитического решения

Вероятностное описание рыночных процессов встречается в литературе довольно часто. поведение рыночной среды можно описать с помощью теории систем массового обслуживания на основе уравнений Колмогорова. Для повышения степени согласованности инерционных рыночных процессов и процессов производства необходимо прогнозирование, поэтому вероятностная модель на основе Фоккера-Планка-Колмогорова рассматривалась как инструмент прогнозирования. Прогнозирование лишь первая функция управления, понятно, что исследуемая согласованность напрямую зависит от эффективности процессов управления, которая так же оценивалась на основе уравнения Колмогорова. Марковские модели применялись при исследовании тайваньских бизнес-циклов в [9] и в управлении цепями поставок [10]. В последней работе спрос был марковским процессом, а управляющими воздействиями объемы заказов и цена реализации товара. В работе [11] марковская модель использовалась для прогнозирования момента наступления повышенного спроса на кредиты. В [12] марковская модель применена необычным образом для анализа долгосрочных свойств акций и дивидендов в США. Работа [13] посвящена исследованию стохастиче-

ского процесса формирования цены на основе цепей Маркова. Работа [14] посвящена глубокому исследованию потоков в современной электронной торговле, на основе высокочастотных баз данных. И, конечно вероятностный подход в самом чистом виде реализуется в имитационных моделях [15]. Подводя итог проведенному анализу можно утверждать, что вероятностные инструменты являются часто и широко используемыми в экономических исследованиях, а марковские модели несмотря на первое приближение позволяют выявлять основные тенденции экономических явлений.

Пусть вероятность превышения рыночной цены на продукцию над себестоимостью ее изготовления на предприятии имеет марковскую природу и описывается уравнением Колмогорова:

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial t} = -a_1 \frac{\partial \omega_1}{\partial x} + b_1 \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} \quad (3.66)$$

где ω_1 – плотность описанной выше вероятности, зависящая от рыночного спроса на продукцию x , a_1 – коэффициент сноса; b_1 – коэффициент диффузии.

Уравнение (1) может быть решено с использованием функции Грина [17]. Однако сначала его необходимо привести к каноническому виду

$$\frac{\partial w}{\partial t} = b_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (3.67)$$

Осуществляется это с помощью подстановки:

$$\omega_1 = e^{\mu x + \lambda t} \cdot w, \text{ при } \mu = \frac{a_1}{2b_1}, \lambda = -\frac{a_1^2}{4b_1} \quad (3.68)$$

При начальном условии

$$w(x, 0) = \varphi(x), \quad 0 < x < \infty \quad (3.69)$$

И граничном условии

$$w(0, t) = 0. \quad (3.70)$$

Тогда решение уравнения (1) представляется в виде [13, с. 236]

$$\omega_1 = e^{\frac{a_1}{2b_1}x - \frac{a_1^2}{4b_1}t} \cdot \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{b_1 t}} \left\{ e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4b_1 t}} - e^{-\frac{(x+\xi)^2}{4b_1 t}} \right\} \varphi(\xi) d\xi \quad (3.71)$$

Готовность предприятия, изготавливающего эту продукцию должна подчиняться похожему на (1) уравнению с добавлением в правой части управляющего воздействия $u(x,t)$, обеспечивая функцию слежения за рынком, то есть пре-

вращая наше управление в следящее [18,19]. При этом плотность вероятности ω_2 отражает готовность производства к удовлетворению возникшего спроса:

$$\frac{\partial \omega_2}{\partial t} = -a_2 \frac{\partial \omega_2}{\partial x} + b_2 \frac{\partial^2 \omega_2}{\partial x^2} + u(x, t) \quad (3.72)$$

Это уравнение является неоднородным, его решение должно рассматриваться при выполнении начальных условий

$$\omega_2(x, 0) = 0; \omega_2(0, t) = 0. \quad (3.73)$$

Вводя в данном случае l – границу возможностей предприятия по обеспечению спроса на его продукцию, а t_f – конечное время управления, получим решение с учетом (3), которое записывается в виде

$$\omega_2 = e^{\frac{a_2}{2b_2}x - \frac{a_2^2}{4b_2}t} \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \iint_0^{t_f l} \frac{1}{\sqrt{b_1(t-\phi)}} \left\{ e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4b_1(t-\tau)}} - e^{-\frac{(x+\xi)^2}{4b_1(t-\phi)}} \right\} u(\xi, \tau) d\xi d\tau \quad (3.74)$$

Поставим задачу: управлять предприятием так, чтобы возможности выпуска продукции как можно ближе соответствовали благоприятному периоду превышения спроса цены на рынке над себестоимостью изготовления продукции на предприятии. Такой подход доминирует при выборе различных стратегий управления [20-22]

Для нахождения соответствующих управляющих воздействий воспользуемся теорией аналитического конструирования оптимальных регуляторов (АКОР), предложенной профессором Летовым А.М. [23, 24]. В этой теории функционал строится в виде суммы квадратов потерь от разности двух вероятностей и затрат на повышение готовности производственной системы к обеспечению образовавшегося спроса:

$$F = \int_0^{t_f} (q(\omega_1 - \omega_2)^2 + u^2) dt, \quad (3.75)$$

где q – размерный весовой коэффициент.

Применим для решения данной задачи метод Эйлера-Лагранжа. Построим лагранжиан

$$L = q(\omega_1 - \omega_2)^2 + u^2 + \psi_1 \left(-a \frac{\partial \omega_1}{\partial x} + \frac{b}{2} \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} - \frac{\partial \omega_1}{\partial t} \right) + \psi_2 \left(-a \frac{\partial \omega_2}{\partial x} + \frac{b}{2} \frac{\partial^2 \omega_2}{\partial x^2} + u - \frac{\partial \omega_2}{\partial t} \right) \quad (3.76)$$

Из него можно выделить гамильтониан

$$H = q(\omega_1 - \omega_2)^2 + u^2 + \psi_1 \left(-a_1 \frac{\partial \omega_1}{\partial x} + b_1 \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} \right) + \psi_2 \left(-a_2 \frac{\partial \omega_2}{\partial x} + b_2 \frac{\partial^2 \omega_2}{\partial x^2} + u \right) \quad (3.77)$$

Составляем сопряженные уравнения и уравнение Эйлера для u :

$$\begin{cases} \dot{\psi}_1 = -\frac{\partial H}{\partial \omega_1} = -2q(\omega_1 - \omega_2) \\ \dot{\psi}_2 = -\frac{\partial H}{\partial \omega_2} = 2q(\omega_1 - \omega_2) \\ \frac{\partial H}{\partial u} = 2u + \psi_2 = 0 \end{cases} \quad (3.78)$$

Подстановка ψ_2 из третьего уравнения этой системы во второе дает:

$$\omega_2 = \frac{1}{q} \frac{\partial u}{\partial t} + \omega_1 \quad (3.79)$$

Введем обозначение [25]

$$s = \omega_1 - \omega_2 \quad (3.80)$$

Тогда (14) преобразуется следующим образом

$$s = -\frac{1}{q} \frac{\partial u}{\partial t} \quad (3.81)$$

Вычтем из уравнения (1) уравнение (7):

$$\frac{\partial(\omega_1 - \omega_2)}{\partial t} = -a_1 \frac{\partial \omega_1}{\partial x} + b_1 \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} + a_2 \frac{\partial \omega_2}{\partial x} - b_2 \frac{\partial^2 \omega_2}{\partial x^2} - u \quad (3.82)$$

Преобразуем его к разности $\omega_1 - \omega_2$

$$\frac{\partial(\omega_1 - \omega_2)}{\partial t} = -(a_1 - a_2 + a_2) \frac{\partial \omega_1}{\partial x} + (b_1 - b_2 + b_2) \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} + a_2 \frac{\partial \omega_2}{\partial x} - b_2 \frac{\partial^2 \omega_2}{\partial x^2} - u \quad (3.83)$$

или

$$\frac{\partial(\omega_1 - \omega_2)}{\partial t} = -a_2 \frac{\partial(\omega_1 - \omega_2)}{\partial x} + b_2 \frac{\partial^2(\omega_1 - \omega_2)}{\partial x^2} - (a_1 - a_2) \frac{\partial \omega_1}{\partial x} + (b_1 - b_2) \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} - u \quad (3.84)$$

Воспользовавшись теперь (15) и (16) получим

$$-\frac{1}{q} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{a_2}{q} \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} + \frac{b_2}{q} \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} + u = -(a_1 - a_2) \frac{\partial \omega_1}{\partial x} + (b_1 - b_2) \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} \quad (3.85)$$

Если $a_2 = a_1$ и $b_2 = b_1$, то в правая часть обнулится. В противном случае имеем неоднородное дифференциальное уравнение третьего порядка.

Найдем решение соответствующего однородного уравнения

$$-\frac{1}{q} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{a_2}{q} \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} + \frac{b_2}{q} \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} + u = 0. \quad (3.86)$$

Воспользуемся методом разделения переменных, для чего представим управляющее воздействие в виде произведения двух функций

$$u = p(x) \cdot v(t) \quad (3.87)$$

Подставляя это выражение в (21) получим:

$$\frac{1}{q} p \frac{d^2 v}{dt^2} + \frac{a_2}{q} \frac{dp}{dx} \cdot \frac{dv}{dt} - \frac{b_2}{q} \frac{d^2 p}{dx^2} \cdot \frac{dv}{dt} - p \cdot v = 0. \quad (3.88)$$

Разделив обе части (3.88) на $p \cdot \frac{dv}{dt}$ имеем

$$\frac{1}{q} \frac{d^2 v}{dt^2} + \frac{a_2}{q \cdot p} \frac{dp}{dx} - \frac{b_2}{q p} \frac{d^2 p}{dx^2} - \frac{v}{\frac{dv}{dt}} = 0. \quad (3.89)$$

Разделяем переменные

$$\frac{1}{q} \frac{d^2 v}{dt^2} - \frac{v}{\frac{dv}{dt}} = -\frac{a_2}{q \cdot p} \frac{dp}{dx} + \frac{b_2}{q p} \frac{d^2 p}{dx^2} = M. \quad (3.90)$$

Таким образом, решение уравнения (21) сводится к решению системы двух уравнений

$$\begin{cases} \frac{d^2 v}{dt^2} - Mq \cdot \frac{dv}{dt} - q \cdot v = 0 \\ \frac{d^2 p}{dx^2} - \frac{a_2}{b_2} \frac{dp}{dx} - \frac{Mq}{b_2} \cdot p = 0 \end{cases} \quad (3.91)$$

Эти уравнения имеют решения следующего вида

$$\begin{cases} v = C_1 \exp \frac{Mq + \sqrt{M^2 q^2 + 4q}}{2} t + C_2 \exp \frac{Mq - \sqrt{M^2 q^2 + 4q}}{2} t \\ p = C_3 \exp \frac{a_2 + \sqrt{a_2^2 + 4Mqb_2}}{2b_2} x + C_4 \exp \frac{a_2 - \sqrt{a_2^2 + 4Mqb_2}}{2b_2} x \end{cases} \quad (3.92)$$

Что касается частного решения (20), то оно ищется в виде правой части

$$u_{\text{частн}} = -(a_1 - a_2) \frac{\partial \omega_1}{\partial x} + (b_1 - b_2) \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2}. \quad (3.93)$$

Ввиду сложности нахождения аналитического решения поступим чуть по-другому. Это выражение показывает, что часть ресурсов управляющих воздействий необходимо направить на выравнивание коэффициентов сноса и диффузии у процессов формирования цены на рынке и обеспечения готовности предприятия к выполнению запросов рынка. Такая задача, в первую очередь, должна ставиться перед маркетинговой службой предприятия. Положив здесь, что постав-

ленная задача успешно решается, примем указанные коэффициенты одинаковыми, тогда решение примет вид

$$u(x, t) = \left(C_1 e^{\frac{Mq + \sqrt{M^2 q^2 + 4q}}{2} t} + C_2 e^{\frac{Mq - \sqrt{M^2 q^2 + 4q}}{2} t} \right) \left(C_3 e^{\frac{a_2 + \sqrt{a_2^2 + 4Mqb_2}}{2b_2} x} + C_4 e^{\frac{a_2 - \sqrt{a_2^2 + 4Mqb_2}}{2b_2} x} \right) \quad (3.94)$$

Для нахождения констант интегрирования используем следующие начальные и граничные условия:

$$u = 0, \text{ при } t = 0; \quad u = 0, \text{ при } x = 0; \quad s = -\dot{u} = 0, \text{ при } t = t_f; \quad (3.95)$$

В данном случае начальные и граничные условия приняты из того факта, что в начале управления управляющие воздействия не подаются, а при нулевой востребованности продукции на рынке управляющие воздействия вообще не нужны. Последнее условие следует из уравнения (16) и из соображений экономики управляющих ресурсов – то есть остановке их подачи при достижении равенства плотностей вероятностей ω_1 и ω_2 .

В результате получаем следующую систему трех уравнений

$$\begin{cases} C_1 + C_2 = 0 \\ C_3 + C_4 = 0 \\ C_1 \frac{Mq + \sqrt{M^2 q^2 + 4q}}{2} e^{\frac{Mq + \sqrt{M^2 q^2 + 4q}}{2} t_f} + C_2 \frac{Mq - \sqrt{M^2 q^2 + 4q}}{2} e^{\frac{Mq - \sqrt{M^2 q^2 + 4q}}{2} t_f} = 0 \end{cases} \quad (3.96)$$

Из первых двух уравнений понимаем, что коэффициенты C_1, C_2 , так же как и C_3, C_4 одинаковы по модулю и противоположны по знаку, следовательно они могут быть вынесены в решении (22) в качестве сомножителей. Однако понятно, что решение дифференциального уравнения (21) может быть определено с точностью до постоянного сомножителя, поскольку u входит во все слагаемые, поэтому численно константы можно не определять, а находить из соображений размерности.

Общий ход графиков изменения составляющих управляющего воздействия представлен на рисунке 38. Верхний график отображает зависимость от спроса, нижний – от времени.

В последнем уравнении системы (31) два неизвестных: константа M и время управления t_f . Дополнительное уравнение можно получить приравняв плотности вероятностей ω_1 и ω_2 , полученные из уравнений (6) и (9) соответственно. При этом в уравнение (6) подставляются единичные начальные значения плотности вероятностей $\varphi(x)$, а в уравнение (9) полученное выражение управляющих воздействий (29). Для выполнения интегрирования необходимо воспользоваться формулой

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\alpha x^2 + \beta x + \gamma} dx = \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}} e^{\frac{\beta^2}{4\alpha} + \gamma} \quad (3.97)$$

Бесконечные пределы в данном случае не нарушают никаких условий, так как спрос может быть только больше нуля, они даже упрощают выражения (6) и (9), оставляя в них одно слагаемое вместо двух [13]. Равенство плотностей вероятностей дает

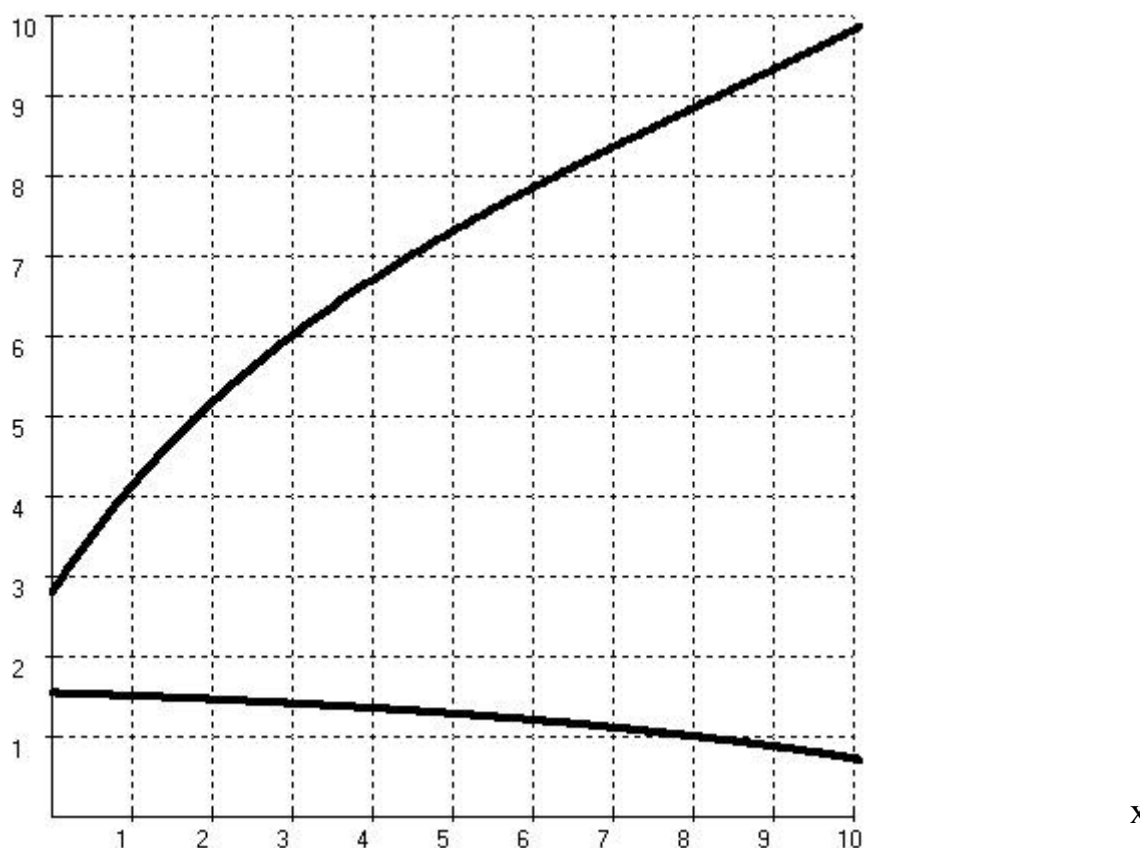


Рисунок 38 – Графики изменения составляющих управляющего воздействия

$$\frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{b_1 t}} \left\{ e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4b_1 t_f}} \right\} d\xi = C_1 C_3 \int_0^{t_f} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ e^{-\frac{(\xi-x)^2}{4b_1 t_f}} \right\} \left(e^{\frac{a_2 + \sqrt{a_2^2 + 4Mqb_2}}{2b_2} \xi} + e^{\frac{a_2 - \sqrt{a_2^2 + 4Mqb_2}}{2b_2} \xi} \right) d\xi \left(e^{\frac{Mq + \sqrt{M^2 q^2 + 4q}}{2} t} + e^{\frac{Mq - \sqrt{M^2 q^2 + 4q}}{2} t} \right) dt \quad (3.98)$$

Приводим подынтегральное выражение к виду (32)

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{b_1 t}} \left\{ e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4b_1 t_f}} \right\} d\xi = C_1 C_3 \int_0^{t_f} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\pi b_1 \tau}} \left\{ e^{-\frac{(\xi-x)^2}{4b_1 \tau} + \frac{a_2 + \sqrt{a_2^2 + 4Mqb_2}}{2b_2} (\xi-x) + \frac{a_2 + \sqrt{a_2^2 + 4Mqb_2}}{2b_2} x} + e^{-\frac{(\xi-x)^2}{4b_1 \tau} + \frac{a_2 - \sqrt{a_2^2 + 4Mqb_2}}{2b_2} (\xi-x) + \frac{a_2 - \sqrt{a_2^2 + 4Mqb_2}}{2b_2} x} \right\} d\xi \left(e^{\frac{Mq + \sqrt{M^2 q^2 + 4q}}{2} \tau} + e^{\frac{Mq - \sqrt{M^2 q^2 + 4q}}{2} \tau} \right) d\tau \quad (3.99)$$

После выполнения интегрирования в бесконечных пределах по спросу, принятых для упрощения вычислений, затем по времени, преобразований и подключения третьего уравнения из (31) система приобретает вид

$$\begin{cases} (Mq + \sqrt{M^2 q^2 + 4q}) \exp(\sqrt{M^2 q^2 + 4q}) t_f + Mq - \sqrt{M^2 q^2 + 4q} = 0 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{x}{2\sqrt{b_1 t_f}}\right) = C_1 C_3 \left(\frac{e^{y_3 x}}{b_1 y_3^2 + y_1} e^{(b_1 y_3^2 + y_1) t_f} + \frac{e^{y_4 x}}{b_1 y_4^2 + y_1} e^{(b_1 y_4^2 + y_1) t_f} + \frac{e^{y_3 x}}{b_1 y_3^2 + y_2} e^{(b_1 y_3^2 + y_2) t_f} + \frac{e^{y_4 x}}{b_1 y_4^2 + y_2} e^{(b_1 y_4^2 + y_2) t_f} - \frac{e^{y_3 x}}{b_1 y_3^2 + y_1} - \frac{e^{y_4 x}}{b_1 y_4^2 + y_1} - \frac{e^{y_3 x}}{b_1 y_3^2 + y_2} - \frac{e^{y_4 x}}{b_1 y_4^2 + y_2} \right) \end{cases} \quad (3.100)$$

Здесь введены обозначения

$$y_1 = \frac{Mq + \sqrt{M^2 q^2 + 4q}}{2}; y_2 = \frac{Mq - \sqrt{M^2 q^2 + 4q}}{2}; y_3 = \frac{a_2 + \sqrt{a_2^2 + 4Mqb_2}}{2b_2}; y_4 = \frac{a_2 - \sqrt{a_2^2 + 4Mqb_2}}{2b_2}$$

$\Phi\left(\frac{x}{2\sqrt{b_1 t_f}}\right)$ – интеграл ошибок

Решим теперь эту задачу на основе принципа максимума Понтрягина. Для этого потребуем, чтобы управляющее воздействие по модулю не превосходило a и при этом условии максимизируем гамильтониан (12)

$$\max_{-a \leq u \leq a} \left\{ q(\omega_1 - \omega_2)^2 + u^2 + \psi_1 \left(-a_1 \frac{\partial \omega_1}{\partial x} + b_1 \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} \right) + \psi_2 \left(-a_2 \frac{\partial \omega_2}{\partial x} + b_2 \frac{\partial^2 \omega_2}{\partial x^2} + u \right) \right\} \quad (3.101)$$

или

$$\max_{-a \leq u \leq a} \{ u^2 + \psi_2 u \} \quad (3.102)$$

Очевидно, что максимум обуславливается вторым слагаемым. Первый его сомножитель находим из второго уравнения системы (13)

$$\psi_2 = \int_0^t 2q(\omega_1 - \omega_2) dt \quad (3.103)$$

Если ограничиться управлением до первого уравнения плотностей вероятностей, то знак управляющих воздействий меняться не будет. Общее время управления можно определить аналогично предыдущему расчету, приравнявая плотности вероятностей ω_1 и ω_2 , полученные из уравнений (6) и (9) соответственно. При этом в уравнение (6) так же подставляются единичные начальные значения плотности вероятностей $\varphi(x)$, а в уравнение (9) максимальное значение управляющих воздействий - a . Интегрирование приводит к следующему результату

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{x}{2\sqrt{b_1 t_f}}\right) = \frac{a}{2} + \frac{a}{2} \Phi\left(\frac{x}{2\sqrt{b_1 t_f}}\right) \quad (3.104)$$

Время управления t_f можно определить, решая это трансцендентное уравнение численным методом.

Выявление критерия сравнения

Из рассмотренной теории следует, что существует два способа управления предприятием. Первый заключается в нахождении рыночного тренда в плотности вероятности превышения цены на продукт себестоимости его изготовления и достижение плотностью вероятности, выражающей готовность предприятия к производству уровня этого тренда за счет экспоненциального (плавного) управляющего воздействия. Второй предусматривает более острое реагирование на

отклонение производства от рынка и предусматривает максимальное управляющее воздействие, прилагаемое для разгона или торможения производства в зависимости от соотношения между рассмотренными выше вероятностями.

Затраты на управление можно оценить виртуальной работой [25]

$$A = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_f} \int_0^l u(x, t) e^{-\frac{(x-x_m)^2}{2\sigma^2}} dx dt \quad (3.105)$$

Гауссиан в этой формуле отражает плотность вероятности спроса на продукцию (чаще всего спрос на рынке равен математическому ожиданию x_m и, следовательно, при таком значении виртуальная работа чаще осуществляется во времени). Считая виртуальную работу одинаковой при двух рассмотренных способах управления (а так же учитывая тот факт, что при управлении по принципу максимума происходит переключение управления с $+a$ на $-a$, и наоборот поэтому берем a по модулю) получим

$$\begin{aligned} \frac{|a|t_1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty e^{-\frac{(x-x_m)^2}{2\sigma^2}} dx = \int_0^\infty \left(C_3 e^{\frac{a_2 + \sqrt{a_2^2 + 4Mqb_2}}{2b_2} x} + C_4 e^{\frac{a_2 - \sqrt{a_2^2 + 4Mqb_2}}{2b_2} x} \right) e^{-\frac{(x-x_m)^2}{2\sigma^2}} \\ \int_0^{t_2} \left(C_1 e^{\frac{Mq + \sqrt{M^2q^2 + 4q}}{2} t} + C_2 e^{\frac{Mq - \sqrt{M^2q^2 + 4q}}{2} t} \right) dt dx \quad (3.106) \end{aligned}$$

Здесь верхний предел спроса взят бесконечным, чтобы воспользоваться интегралом Эйлера-Пуассона (32), а конечное время управления обозначено соответственно индексами: t_1 для решения с помощью принципа максимума, t_2 для решения методом Эйлера -Лагранжа. После интегрирования получаем

$$\begin{aligned} \frac{|a|\sigma t_1}{\sqrt{2}} = C_1 C_3 \sqrt{2\pi\sigma^2} \left(e^{\frac{\sigma^2 (a_2 + \sqrt{a_2^2 + 4Mqb_2})^2}{2b_2}} + e^{\frac{\sigma^2 (a_2 - \sqrt{a_2^2 + 4Mqb_2})^2}{2b_2}} \right) \\ \left(\frac{Mq - \sqrt{M^2q^2 + 4q}}{q} e^{\frac{Mq + \sqrt{M^2q^2 + 4q}}{2} t_2} + \frac{Mq + \sqrt{M^2q^2 + 4q}}{q} e^{\frac{Mq - \sqrt{M^2q^2 + 4q}}{2} t_2} - 2M \right) \quad (3.107) \end{aligned}$$

Это выражение задает соотношение между задает связь между величиной управляющих воздействий при применении принципа максимума и константами интегрирования в методе Эйлера-Лагранжа, то есть при двух способах управле-

ния. Теперь можно найти разность между интегралами от плотностей вероятности рынка и предприятия и оценить тем самым разность в объемах продаж продукции при двух способах управления

$$\Delta V = \int_0^{t_1} 2q(\omega_1 - \omega_2(u_1))dt - \int_0^{t_2} 2q(\omega_1 - \omega_2(u_2))dt \quad (3.108)$$

Среднюю интенсивность проведения управляющих воздействий можно выразить по формуле

$$I = \frac{A}{t_f} \quad (3.109)$$

В данном случае она будет выше при применении в управлении принципа максимума Понтрягина во столько раз, во сколько отличаются времена управления t_1 и t_2 . Понятно, что на поддержание более высокой интенсивности придется прикладывать дополнительные усилия и, соответственно, будут присутствовать дополнительные затраты, которые можно считать в первом приближении пропорциональными интенсивности. С другой стороны, важен масштаб производства, на котором необходимо проявить эту интенсивность. Данное исследование направлено на согласование масштаба производства со спросом. Важно так же как спрос может входить в формулу – учитывая, что при нулевом спросе интенсивность управляющих воздействий не к чему прикладывать – производства нет, будем рассматривать их произведение

$$Z(I, x) = \alpha Ix \quad (3.110)$$

Здесь α – коэффициент уравнивающий размерность.

Сравнивая теперь эти затраты с полученной прибылью, зависящей от объема ΔV , определенного по формуле (40) и цены на данный вид продукции можно по знаку разности между ними выбрать способ управления производством.

Для практического сравнения рассмотренных способов управления использовались данные предприятия АО «Новосергиевский маслозавод».

Продукция Новосергиевского маслозавода уже долгое время пользуется спросом у жителей Оренбурга и области. Ассортимент включает: масло сливочное, молоко и сливки, кисломолочную продукцию, пробиотические продукты, творог и сметану, масло топленое, сывороточные напитки и сыворотку, мине-

ральную воду и газированные напитки, подсолнечное масло и сухое молоко. Как видим ассортимент довольно разнообразен и позволяет за счет быстрого варьирования объемов получать значительную экономию за счет соответствия спросу, учитывая дополнительно, что основная масса продукции – скоропортящаяся.

В качестве продуктов для исследования эффективности разработанной методики были выбраны масло сливочное и молоко, проводились наблюдения за работой одной торговой точки. Полученные результаты сведены в таблицу

Таблица 2.4 - Значения показателей

Показатели	молоко	масло
Цена	38	81
Суточный спрос	75	40
Время окончания управления t_1 (ч) формула (37)	3	48
Время окончания управления t_2 (ч) формула (32)	5	72
ΔV Формула (40)	12	25
Разность затрат $\Delta Z(I, x)$ (руб) Формула (42)	612,5	648
Знак разности дохода и затрат	-	+

Результаты и обсуждение

Полученные результаты показывают, что для продукта с длинным производственным циклом (масло) наибольшей эффективностью обладает оптимальное управление, основанное на методе Эйлера-Лагранжа, а если производственный цикл короткий, то необходимо управление с максимальным приложением

управляющих воздействий ускоряющих или замедляющих производство, то есть основанное на принципе максимума Понтрягина. Предложенная методика различила эти два случая даже при грубой оценке, что и доказывает ее работоспособность.

Таким образом, вероятностная модель согласования производственного процесса с региональным рынком позволяет организовать оптимальное управление предприятием. При этом важно, какую цель мы преследуем: максимально быстро удовлетворить рыночную потребность и получить доход от дополнительной продажи продукции, либо максимально сэкономить на производственных расходах в переходных моментах. Как показало исследование решение этого вопроса связано и с длительностью производственного цикла.

3.6 Сочетаемость систем

3.6.1 Общие соображения

Определяя главное в классификации метасистем, описанной ранее, остановимся на последнем признаке классификации: по алгоритму работы задающих блоков или по процедурам замены одной структуры другой. Отдельные структурные ветви могут работать одновременно, то есть параллельно или последовательно, подчиняясь тому или другому закону их выбора. Не исключена также комбинация этих двух способов.

Структуры при параллельной работе должны быть поэлементно максимально независимы друг от друга. Объединяют же их общесистемные ресурсы управляющих воздействий. Поэтому доступ к этим ресурсам должен быть дозирован, синхронизирован, скоординирован, то есть максимально согласован для каждой структурной ветви.

Строго говоря, в таких системах могут быть совместно используемые элементы, но тогда к ним необходимо относиться так же, как к общим ресурсам, то есть строго согласовывать их использование, избегая конфликтов между параллельно работающими структурами.

При последовательной работе выбранная в данный момент структура единственно пользуется ресурсами управляющих воздействий, а также может пользоваться элементами из других структур, так как они в это время все равно «простаивают». Имеет место перекрытие структур (рисунок 2.7). Это перекрытие для двух структур может быть оценено коэффициентом структурного перекрытия второй структуры по отношению к первой c_{12}

$$c_{12} = \frac{K_n}{K_1}, \quad (3.111)$$

где K_n – количество совместно используемых элементов структур, K_1 – общее количество элементов в первой структуре.

При этом обе величины могут оцениваться и в стоимостном выражении.

Если в метасистеме n ветвей, то характеристикой количества совместно используемых элементов будет уже матрица структурного перекрытия

$$C = \begin{Bmatrix} c_{11}, c_{12}, \dots, c_{1n} \\ c_{21}, c_{22}, \dots, c_{2n} \\ \dots \\ c_{n1}, c_{n2}, \dots, c_{nn} \end{Bmatrix}. \quad (3.112)$$

Диагональные коэффициенты этой матрицы единичные, а все остальные могут быть равны или меньше единицы. Ясно, что приближение коэффициентов матрицы к единице повышает загруженность элементов системы, уменьшает суммарную ее стоимость и сложность. Следовательно, при проектировании новой метасистемы необходимо добиваться как можно большего значения суммы всех коэффициентов этой матрицы

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \rightarrow \max. \quad (3.113)$$

Ограничения в данной задаче будут обусловлены применяемой технологией.

3.6.2 Обеспечение сочетаемости элементов АСК

Проблема сочетаемости элементов АСК возникает исходя из сложности

конфигурации обрабатываемых участков, затрагивающей экономические и экологические аспекты проведения АХР. Исходя из этого естественно предположение о том, что в некоторых случаях обработку «спорных» участков целесообразно проводить путем сочетания различных технологий, обуславливающих использование различных СЛА (например, СХВ и СХС, либо СХВ и МДП).

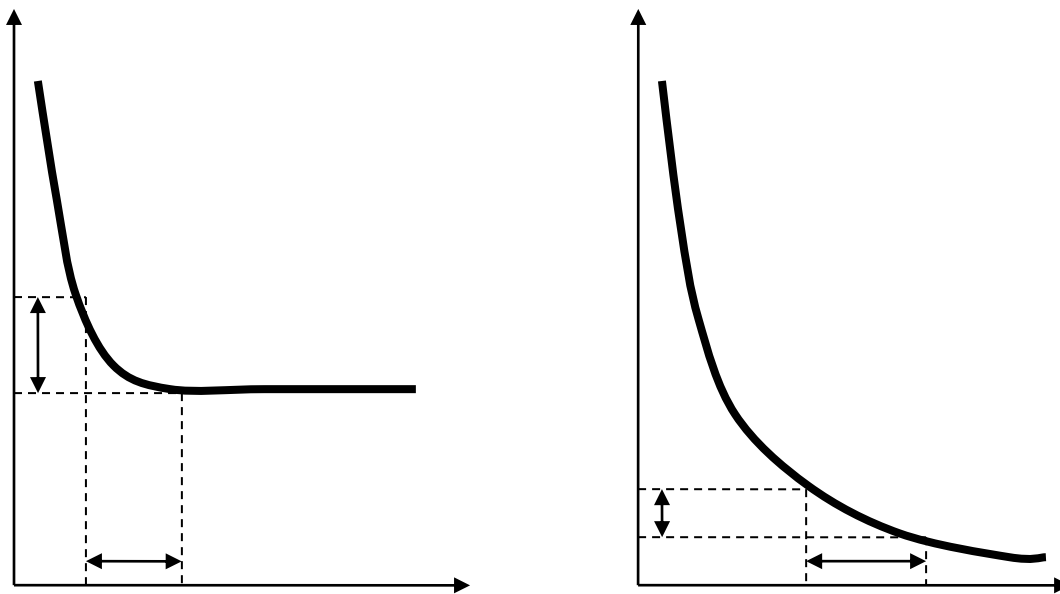
При функционировании метасистемы на первый план выходит проблема согласования включенных в нее систем. Важность этой проблемы обсуждена в работе /5/ и на ее решение направлена вторая задача метасистемного подхода.

При этом поиск статически согласованных систем осуществляется путем учета взаимных перекрытий частей различных систем, а согласованность в динамике выявляется с помощью оценки увеличения общего эффекта от взаимодействия систем.

Сочетаемость систем в динамике можно пояснить рассмотрением одновременного функционирования двух систем. Пусть предпочтительные значения технологических параметров задают рабочие точки как показано на рисунке 39, где изображены графики зависимостей потерь систем от объемов, направляемых на них управляющих общесистемных ресурсов.

Крутизна графиков а и б, приведенных на рисунке 10.3, отражает эффективность затрат, вложенных в управление конкретной подсистемой. В данном случае управляющие воздействия представляют управляющие общесистемные ресурсы. Наиболее целесообразно приложение управляющих воздействий к подсистеме, позволяющей получить наилучшие значения технологических параметров. Таким образом, показана возможность переноса управляющих ресурсов с одной системы на другую с уменьшением общих метасистемных потерь.

По совокупности очевидных свойств, в соответствии с признаками, приведенными в /115/, а также спецификой выполняемых работ, АСК характеризуется иерархичностью и мультиструктурностью. В мультиструктурных системах отдельные структуры включаются последовательно или параллельно. При параллельном включении структур последние должны обладать максимальной автономностью. Здесь объединяющим фактором общесистемных ресурсов



а)

Рисунок 39 - Графическая иллюстрация сочетаемости подсистем.

являются управляющие воздействия, сформированные координирующей подсистемой - подсистемой управления. Элементы, используемые в метасистемах совместно, фактически являются общими ресурсами параллельно работающих структур. При этом поиск статически согласованных систем осуществляется путем учета взаимных перекрытий частей различных систем, а согласованность в динамике выявляется с помощью оценки увеличения общего эффекта от совместного взаимодействия систем.

3.7 Оптимизация распределения ресурсов между системами

Очевидно, для параллельных метасистем необходимо также найти характеристику, отражающую степень участия каждой структуры в распределении общих ресурсов управления (рисунок 2.8). Однако сама доля используемых ресурсов (при этом ресурсы, используемые в каждой структуре для обеспечения возможности сравнения, должны быть приведены к одинаковым единицам измерения) не является мерой полезности структуры с точки зрения метасистемы.

В связи с заявленной целью исследования необходимо разработать метод, оценивающий влияние этой доли на точность управляемой данной структурой величины, а также найти критерий оптимальной точности управляемой величины в каждой структуре, максимизирующей метасистемную целевую функцию.

Очевидно показателем точности управляемой величины может служить ее дисперсия относительно заданной уставки (или заданного закона ее изменения).

Для обеспечения возможности сравнения необходимо взять безразмерные дисперсии управляемых величин в каждой структуре, для чего текущее значение дисперсии можно отнести к «норме», взятой из требований технологического процесса. Полученное отношение будет отражать потери, возникающие от недостатка ресурсов управления этой величиной. Однако, влияние каждой управляемой величины на целевую функцию метасистемы может быть различным (допустима даже большая дисперсия некоторых из управляемых величин). Чтобы учесть этот факт, умножим относительную дисперсию данной управляемой величины (за управление которой ответственна одна из составляющих систем метасистемы) на коэффициент ее значимости, определенный, например, экспертами. Назовем полученную в результате величину *«потерей» от дисперсии управляемой величины*. Располагая потерями, например, в порядке их увеличения, получим диаграмму следующего вида (рисунок 40).

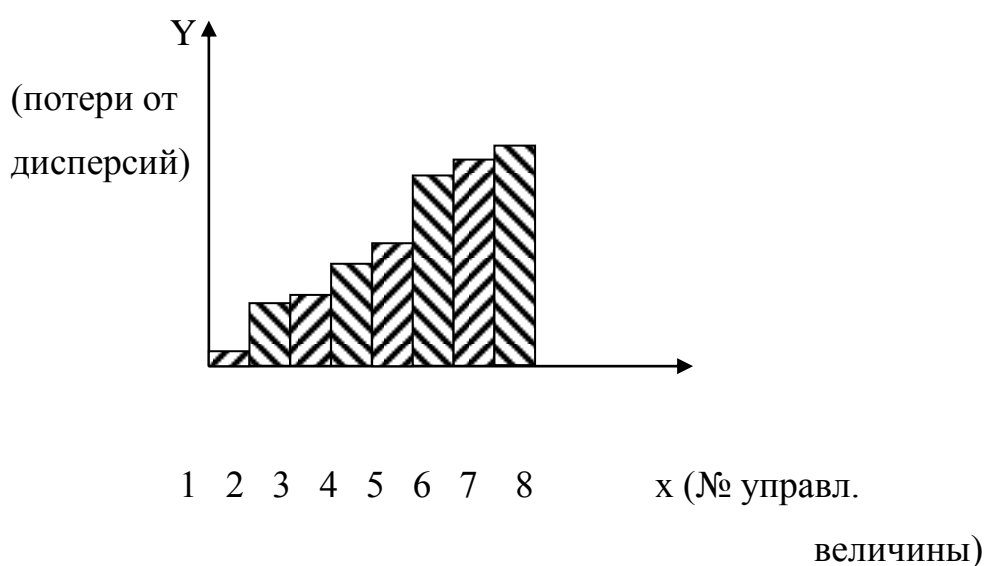


Рисунок 40 – Диаграмма потерь от дисперсий управляемых величин

Изменения этой диаграммы во времени могут служить характеристикой интенсивности протекающих перераспределительных процессов в метасистеме управления. Очевидно, что в хорошо работающей системе потери от дисперсий (D_i) должны быть примерно одинаковы, а суммарная занимаемая ими площадь должна быть минимальной.

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i D_i \rightarrow \min \quad (3.114)$$

где α_i – коэффициенты ранжирования.

Ограничения в этой задаче будут обусловлены как применяемой технологией, так и величиной общесистемных ресурсов.

Это обстоятельство необходимо иметь в виду при синтезе метасистемы параллельного действия.

Очевидно, эти два свойства: возможность перекрытия последовательно работающих структур и возможность перераспределения управляющих ресурсов с «сильных» структур на «слабые» - эмерджентны (то есть появляются только при объединении элементов в систему). Они придают дополнительный смысл агрегированию локальных систем автоматики в единую мета систему, увеличивая их общую эффективность.

Больше того, полное снятие управляющих ресурсов со всех систем, кроме одной, превращает параллельную метасистему в последовательную, а полное перекрытие одной системы другой приводит к обратному результату.

3.8 Порождение метасистемы

Система может быть порождена выделением (анализом) исследователем из окружающего мира в соответствии с поставленной целью, либо создаваться (синтезироваться) этим исследователем для достижения некоторой цели.

Такое определение, хотя и не является строгим, все же позволяет оттенить два следующих аспекта, возникающих при порождении системы: *необходимость* элементов системы и их *достаточность (полнота)*. Первое означает, что в си-

стему включены элементы, только самые необходимые, без которых ее функционирование невозможно. Второе – что включенных в нее элементов достаточно и не нужны другие, слабо связанные с ней и относимые к внешней среде.

3.8.1 Постановка задачи

Задача проектирования системы автоматизации является в общем случае сложной. При ее решении целесообразно проводить декомпозицию. В [23] выделяется четыре иерархических уровня: экономический, технологический, структурный (алгоритмический) и параметрический (технический). По нашему мнению, эту декомпозицию необходимо дополнить еще одним уровнем – социальным, поскольку при автоматизации в первую очередь должны учитываться гуманитарные, юридические, экологические и ряд других социальных аспектов, которые могут обесценить результаты автоматизации.

На экономическом уровне ставятся и решаются задачи оптимизации экономических показателей. На технологическом уровне решаются задачи оптимизации технологии. Структурный уровень (в теории управления структурная схема тесно связана с алгоритмом управления, поэтому этот уровень можно назвать также алгоритмическим) связан с решением задач выработки алгоритмов оптимального управления технологическими процессами. Наконец, параметрический уровень решает задачи параметрической оптимизации системы управления. При этом критерии оптимального синтеза выявляются на более высоком уровне иерархии, а используются на более низком уровне.

В настоящее время практически единственной теорией автоматизации, которая охватывает все указанные уровни проектирования, является теория производительности общественного труда Шаумяна, сформулированная им еще в 1932-1933 гг. [24]. Её сущностью является коэффициент повышения производительности общественного труда, равный отношению произведённой продукции к затратам, связанным с её изготовлением.

Эта теория позволяет не только довести проектирование до расчёта технологических параметров и требуемой надёжности применяемого оборудования, но даже наметить три перспективы автоматизации: снижение затрат “живого

труда”, снижение стоимости оборудования и повышение производительности технологического оборудования.

Однако, данная теория справедлива лишь для так называемой “жесткой” автоматизации и для реализации только экономически обоснованных систем автоматизации и не годится для расчета гибких производственных систем, а также систем автоматизации, целесообразность которых обусловлена социальным эффектом и эффектом придания человеку новых качеств.

В настоящее время компьютер становится главным средством автоматизации. Его возрастающие возможности по охвату всего производственного процесса в целом позволяют говорить о компьютерно-интегрированном производстве (Computer Integrated Manufacture - CIM). При этом в качестве объекта, на который нацелено производство, можно рассматривать рынок, как изображено на рисунке 41.

Из схемы видно, что компьютерно-интегрированное производство следит за состоянием рынка (за ценами на разные виды продукции) и за действующими на него возмущениями (колебание курса валюты, изменение вкусов потребителей, технический прогресс), быстро перестраивает производство на выпуск товаров в ассортименте и стоимости, приносящих наибольшую прибыль предприятию.

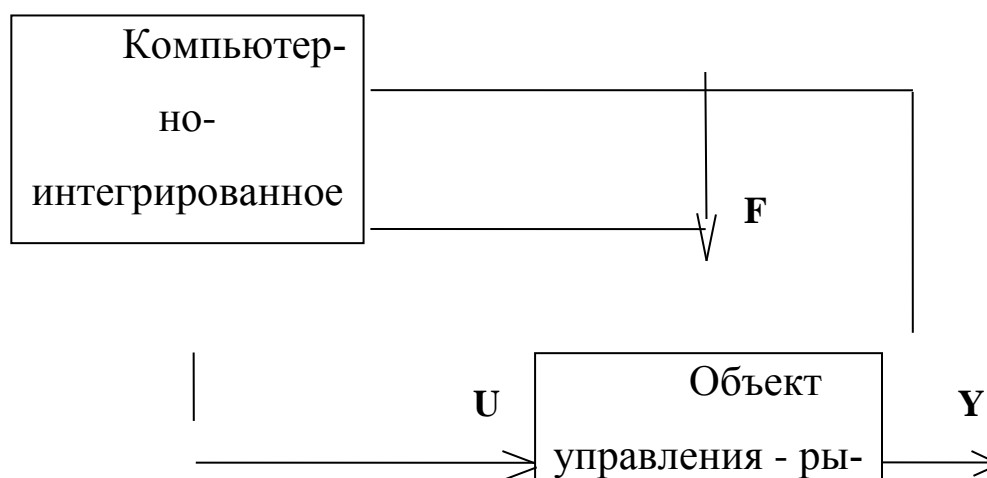


Рисунок 41 – Схема взаимодействия CIM с рынком

В условиях рыночной экономики самым главным экономическим показателем становится конкурентоспособность предприятия и продукции. Последняя зависит от прибыли, получаемой от продажи своей продукции. Прибыль же, в свою очередь, является функцией производительности (П) производства, качества (К) выпускаемой продукции, затрат (З) на производство продукции и степени учета побочных эффектов (Эк) - экологии, юридических аспектов, местных условий и так далее

$$\text{Э} = f(\text{П}, \text{К}, \text{З}, \text{Эк}). \quad (3.115)$$

Попробуем конкретизировать данную формулу. Поскольку любая автоматизация связана с затратами, необходимо, чтобы эффект от использования её результатов был максимален и быстро оправдывал вложенные средства. Поэтому логично положить в основу синтеза отношение эффекта от автоматизации, измеренного в каких-либо единицах, к затратам, связанным с ней

$$\eta = \frac{\text{Э}}{\text{З}} \quad (3.116)$$

и стремиться при проектировании системы автоматизации довести это отношение до максимума. В связи с тем, что оно определяет величину эффекта на единицу затрат, его можно назвать коэффициентом удельного эффекта.

Затраты могут быть денежными, материальными, временными, машинными (например, затраты памяти компьютера) и так далее, а также комплексными. При этом существует несколько видов эффекта от автоматизации: экономический, социальный или качественный.

Выделяют три классических обоснования целесообразности автоматизации (именно с обоснования целесообразности и начинается автоматизация).

С одной стороны, автоматизация оправдана только тогда, когда она приносит прямой экономический эффект - повышает производительность труда, качество изготавливаемой продукции, снижает её себестоимость и так далее. Тогда эффект может оцениваться в рублях.

С другой стороны, автоматизация может иметь социальный эффект: освобождать человека от вредных и опасных условий труда, устранять монотонную

нетворческую работу и так далее. В этом случае необходим поиск критериев для сравнения эффективности систем автоматизации.

Наконец, автоматизация помогает преодолевать ограниченные природой возможности человека, то есть придавать ему новые качества (поэтому данное обоснование можно назвать «качественным») - многократно увеличивать его физическую силу, зрение, слух, интеллект и так далее. Эффект от нового качества, которое порождает автоматизация, требует меру для сравнения важности качеств. В этом случае оценка эффекта особенно трудна.

Не исключён и “комбинированный” вариант. В этом случае необходимо ввести коэффициенты ранжирования эффектов

$$\eta = \frac{\mathcal{E} + \alpha_1 \mathcal{E}_c + \alpha_2 \mathcal{E}_k}{3}, \quad (3.117)$$

где \mathcal{E} , \mathcal{E}_c , \mathcal{E}_k – эффекты от аспектов автоматизации: экономического, социального и появления нового качества.

Данный критерий выгодно отличается от обычно используемой в экономике разности эффекта и затрат

$$\eta_I = \mathcal{E} - \mathcal{Z}. \quad (3.118)$$

С одной стороны, он не требует оценки эффекта в тех же единицах, что и затраты (для этого иногда необходима сложная, и часто с элементами большой неопределенности, методика). С другой стороны, не дает отрицательных значений, как это имеет место с разностью (3.118), при малых значениях эффектов. Наконец можно констатировать, что данный критерий обобщает и критерий Шаумяна, и тем самым теория производительности труда может быть развита в более общую теорию автоматизации на базе этого критерия. В этом случае формула производительности труда преобразуется к следующему виду

$$A_T = \frac{N\mathcal{E}_T}{[k + N(m+1)]T_{ж}} \quad (3.119)$$

где \mathcal{E}_T – годовой экономический эффект от автоматизации; остальные составляющие здесь соответствуют обозначениям теории производительности труда:

$T_{ж}$ – текущие затраты живого труда обслуживающих рабочих, которые, используя средства труда, создают новые материальные ценности,

k – коэффициент технической вооруженности живого труда, характеризующий отношение единовременных затрат овеществленного труда на создание средств производства к годовым затратам живого труда,

m – коэффициент энергоматериалоемкости живого труда, характеризующий отношение годовых текущих затрат овеществленного труда на инструмент, электроэнергию, вспомогательные материалы и ремонт к годовым затратам живого труда (подробнее смотри [25]).

Прямым следствием применения этого критерия является расширение направлений автоматизации, при котором к прежним трем путям добавляется улучшение качества продукции, множество социальных, экономических, технологических мероприятий, которые повышают значение числителя.

Задачу синтеза метасистем рассмотрим на примере некоторой обобщенной гибкой производственной системы (ГПС).

Используем концепцию двух процессов, описанную в разделе 2.1. Тогда внешний процесс будет протекать на рынке и определять виды продукции, пользующиеся спросом. Внутренний процесс (изготовление продукции) будет протекать в ГПС. Согласование этих двух процессов приведет к изготовлению продукции, наиболее выгодной при эксплуатации данной ГПС.

Итак, имеется M видов продукции, цена на которые на рынке превышает расчетную себестоимость ее изготовления в проектируемой ГПС. Необходимо при заданных затратах K выбрать технологические структуры, изготавливающие продукцию, приносящую наибольшую прибыль от эксплуатации ГПС, то есть максимизирующие критерий (3.119). При этом необходимо учитывать возможность перекрытия структур с помощью коэффициентов перекрытия c_{ij} , перераспределения управляющих ресурсов (в соответствии с исследованием, описанным выше), приводящую к общему уменьшению потерь за счет уменьшения дисперсии – $b_i \Delta D$ и ограниченную покупательную способность рынка, а также ограни-

чения, вносимые существующей технологией. Обсудим последние ограничения более подробно.

3.8.2 Выявление ограничений

Модель, включающая номенклатуру и объемы продукции, рассматривалась в экономике [26]. При этом использовалась критериальная функция вида

$$\sum_{v=1}^L \sum_{i=1}^n C_i X_{iv}^{\tau} \rightarrow \min, \quad (3.120)$$

где

C_i – оптовая цена i –го заказа;

X_{iv}^{τ} – признак включения i –го заказа в τ – ый период;

v – признак приоритетности выполнения i –го заказа

при следующих ограничениях:

– по пропускной способности

$$\sum_{v=1}^L \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t_{ij} X_{iv}^{\tau} \leq K_{nl}^{загр} \Phi_j^{\tau}, \quad (3.121)$$

где

t_{ij} – трудоемкость изготовления заказа i –го вида по j – ой технологической структуре;

Φ_j^{τ} – полезный фонд времени работы по j – ой технологической структуре в τ – ом плановом периоде;

$K_{nl}^{загр}$ – плановый коэффициент загрузки оборудования;

– по объему выпуска

$$\sum_{v=1}^L \sum_{i=1}^n C_i X_{iv}^{\tau} \geq C_{nl}^{\tau}, \quad (3.122)$$

где

C_{nl}^{τ} – программа выпуска заказов за τ – ый период планирования;

– по признаку включения заказов в программу

$$X_{iv}^{\tau} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-ый заказ включен в } \tau\text{-ый плановый период,} \\ 0 & \text{– в противном случае;} \end{cases} \quad (3.123)$$

– по ресурсам (металлу)

$$\sum_{\varphi=1}^M \sum_{v=1}^L \sum_{i=1}^n M_{i\varphi}^H X_{i v}^{\tau} \leq M_{i\varphi}^{\tau}, \quad (3.124)$$

где $M_{i\varphi}^H$ – норма расхода φ – го металла на i – ый заказ;

$M_{i\varphi}^{\tau}$ – наличный объем φ – го металла;

– по заработной плате

$$\sum_i \sum_j \sum_v \sum_{\psi} P_{ij\psi} t_{ij\psi} X_{i v}^{\tau} \leq Z_n^{\tau}, \quad (3.125)$$

где $P_{ij\psi}$ – расценка;

$t_{ij\psi}$ – разряд;

Z_n^{τ} – норматив заработной платы.

Однако в этой модели затраты на организацию производства продукции рассматриваются как общее ограничение и не участвуют в формировании значения целевого критерия. Кроме того, не учитываются вероятностный характер дохода, а также эффекты от эмерджентных свойств метасистем и связанный с ними вид подключения технологических структур к ГПС. Обсудим эти вопросы подробнее.

Исходя из концепции, сформулированной в разделе 2.1, выделяем два процесса: формирование спроса на рынке на данный вид продукции и подготовка и запуск изготовления данного вида продукции в технологической системе, например, в некой обобщенной ГПС. Ясно, что уже на этапе проектирования автоматизация должна быть рассчитана на производство продукции с максимальной прибылью.

Проведем вероятностную оценку прибыли от текущей реализации продукции.

3.8.3 Исследование альтернативы параллельности и последовательности

Вопрос о параллельности двух процессов решается из следующих соображений. На рисунке 42 изображены колебания цен на продукцию двух видов.

Как видно, имеется заштрихованное перекрытие этих двух процессов. Обозначим S_1, S_2 – доходы, получаемые от реализации продукции первого и второго

вида соответственно, S_{Π} – «перекрывающийся» доход и K_1, K_2 – соответствующие затраты. При вычислении коэффициента удельного эффекта в метасистеме последовательного действия (как следует из рассуждений об эмерджентности свойств метасистемы в предыдущей главе) необходимо уменьшить затраты на величину перекрытия по структуре. А для метасистемы параллельного действия следует увеличить эффект на долю, обусловленную «суммарным» уменьшением дисперсии управляемых величин (последнее эквивалентно добавлению управляющих ресурсов). Знак разности коэффициентов удельного эффекта для этих двух метасистем определит, в каком режиме надо подключать к первой из них вторую (при последовательном разность должна быть положительной, при параллельном - отрицательной). Определим искомую разность

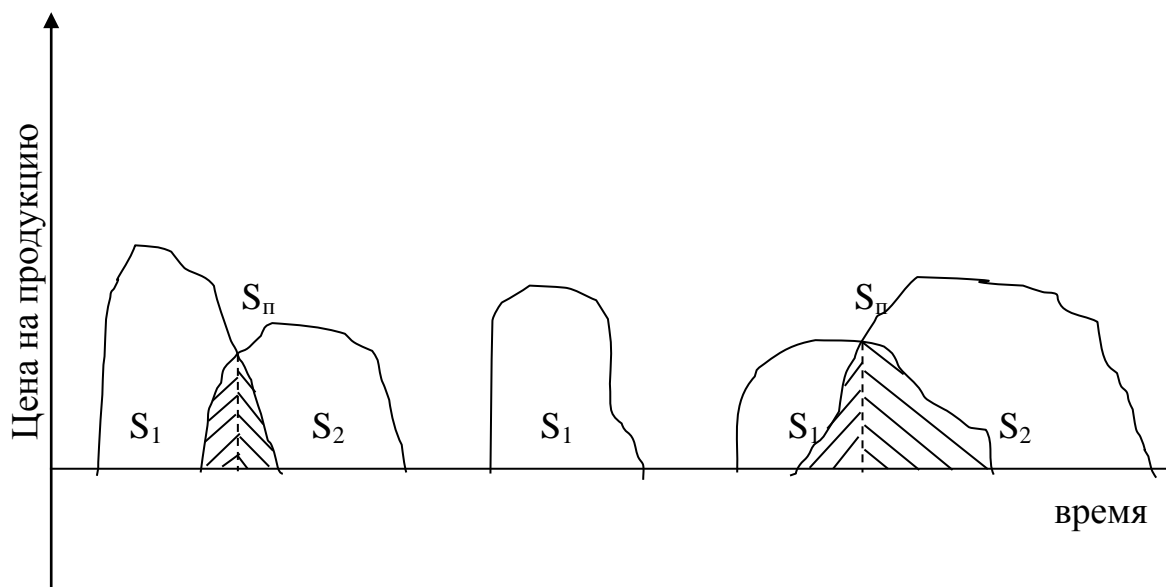


Рисунок 42 – Схема перекрытия процессов

$$\Delta = \frac{S_1 + S_2 - S_n}{K_1 + K_2 - c_{21}K_2} - \frac{S_1 + S_2 + b\Delta DS_n}{K_1 + K_2}, \quad (3.126)$$

где

c_{21} – коэффициент перекрытия второй структурой первой;

ΔD – «суммарное» уменьшение дисперсии управляемых величин;

b – размерный коэффициент.

Знак этой разности зависит только от числителя, так как $c_{21} \leq 1$. Производя сокращения в числителе, получим

$$c_{21}K_2(S_1 + S_2) + c_{21}K_2b\Delta DS_n - S_n(K_1 + K_2) - b\Delta DS_n(K_1 + K_2). \quad (3.127)$$

Как видно из этого результата, превышение суммы первого и второго слагаемых над суммой третьего и четвертого ведет к преимуществу последовательного присоединения второй структуры к первой и наоборот. Считая, что коэффициент структурного перекрытия линейно уменьшается с ростом перекрытия процессов спроса, а эффект от «суммарного» уменьшения дисперсии управляемых величин линейно возрастает, имеем два линейных слагаемых (первое и третье) и по одному квадратичному (четвертое) и кубическому (второе). Примерные графики этих зависимостей в диапазоне от явно преобладающего последовательного до явно преобладающего параллельного хода процессов изображены на рисунке 43. Пунктиром показана результирующая разность, пересечение которой оси абсцисс показывает смену стратегии присоединения следующей структуры к ГПС с последовательной на параллельную.

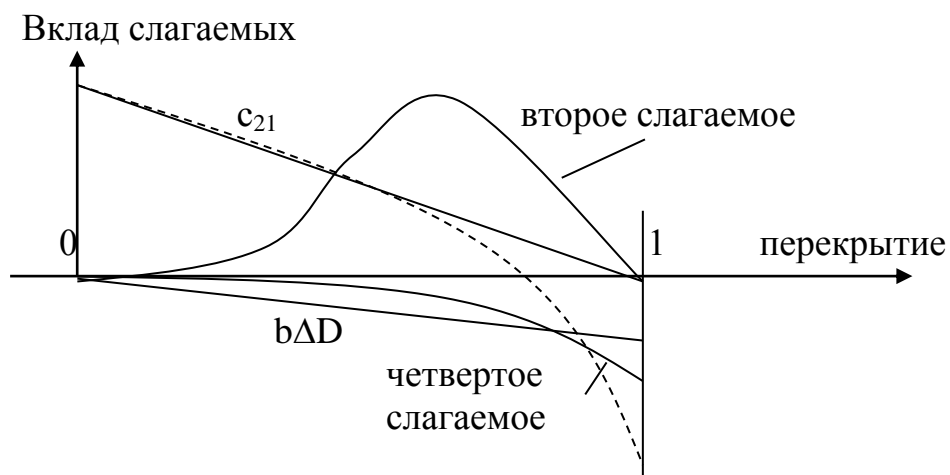


Рисунок 43 – Зависимости слагаемых в исследуемой разности коэффициентов удельного эффекта от степени перекрытия процессов спроса на продукцию

Вычисляя суммарный коэффициент удельного эффекта (в зависимости от вида присоединения он будет вычисляться по-разному), можно провести точно такие же рассуждения для последующих присоединяемых структур. Очевидно, что для метасистемы, в которой n ветвей, будут наблюдаться закономерности,

подобные изображенным на рисунке 43. При этом диапазон рассмотрения будет располагаться от отдельно работающих n структур через запараллеливание двух и более структур, вплоть до всех n структур, работающих одновременно.

3.8.4 Алгоритм синтеза метасистемы

Выбранный критерий не позволяет решить задачу синтеза аналитически, поскольку процедура синтеза подразумевает пробные шаги в разных направлениях и дополнительно зависит от порядка этих шагов. Это означает, что теряется свойство марковости и задачу можно решить разработкой поискового алгоритма.

Процесс поиска состоит из повторяющихся этапов, каждый из которых представляет собой переход от одного решения к другому, лучшему, что и образует процедуру последовательного улучшения решения в смысле максимизации критерия

$$Q(L, W, C) \rightarrow \max_{W, C \in S} \Rightarrow W_{on}, C_{on}, \quad (3.128)$$

где множество S образовано условиями удовлетворения заданной системы неравенств, накладываемых на функционирование системы в условиях L ,

а W_{on} и C_{on} – оптимальный набор структур и параметры в этих условиях.

Итак, алгоритм образует последовательность шагов /27/:

$$U[0] \rightarrow U[1] \rightarrow \dots \rightarrow U[N] \rightarrow U[N+1] \rightarrow \dots \quad (3.129)$$

В этой последовательности каждое последующее решение в определенном смысле лучше, предпочтительнее предыдущего, то есть

$$U[N+1] \succ U[N], \quad N = 0, 1, \dots \quad (3.130)$$

Здесь смысл знака предпочтения « \succ » может быть разным. Например, если $U[N+1], U[N] \in S$, то (3.38) означает, что $Q(U[N+1]) > Q(U[N])$. Если $U[N] \notin S$, то предпочтение (3.38) естественно связать с выполнением условия $U[N] \in S$.

В нашем случае роль варьируемых параметров могут играть производительность по каждому виду продукции и уровень его качества.

Задаваясь начальным возможным качеством и производительностью при минимальном шаге по затратам, можно выбрать необходимый набор технологических структур в обобщенной ГПС по следующему алгоритму (см. рисунок 44).

1 Вычислить все коэффициенты удельного эффекта для множества возможных видов продукции M в предположении объема затрат K_0 по формуле (3.33), расположить их в порядке убывания.

2 Выбрав вид продукции с первым коэффициентом, заменить его на два других, связанных с эффектами от расширения данного вида продукции и улучшения его качества, вычисленных по формулам

$$\lambda_l(p) = \lambda_l(p) + \frac{\partial \lambda_l}{\partial p} \frac{dp}{dK} \Delta K \quad \text{и} \quad \lambda_l(q) = \lambda_l(q) + \frac{\partial \lambda_l}{\partial q} \frac{dq}{dK} \Delta K. \quad (3.131)$$

3 Пересчитать все коэффициенты удельного эффекта, учитывая при этом перекрытия с выбранной технологической структурой (при последовательном присоединении) в смысле общих затрат (одно и то же технологическое или транспортное оборудование, управление, программы и так далее) и уменьшая их затраты на величину перекрытия.

4 Добавить к ним коэффициенты, учитывающие возможность перераспределения управляющих ресурсов в случае параллельного подключения к выбранной технологической структуре.

5 Отсортировать полученный ряд коэффициентов в порядке убывания.

6 Если первый коэффициент рассчитан для нового вида продукции с последовательным (параллельным) присоединением, то добавить новую технологическую структуру и перейти к пункту 2.

7 Если первый коэффициент рассчитан в предположении увеличения производительности по уже выбранному виду продукции, увеличить производительность из расчета увеличения затрат на ΔK . В противном случае перейти к пункту 10.

8 Проверить, не превышает ли новая производительность потребности рынка. Если да, то исключить данный коэффициент из ряда и перейти к пункту 2.

9 Проверить, не превысили ли затраты заданной величины K_0 . Если да, то закончить работу алгоритма, распечатав при этом результаты. В противном случае перейти к пункту 3.

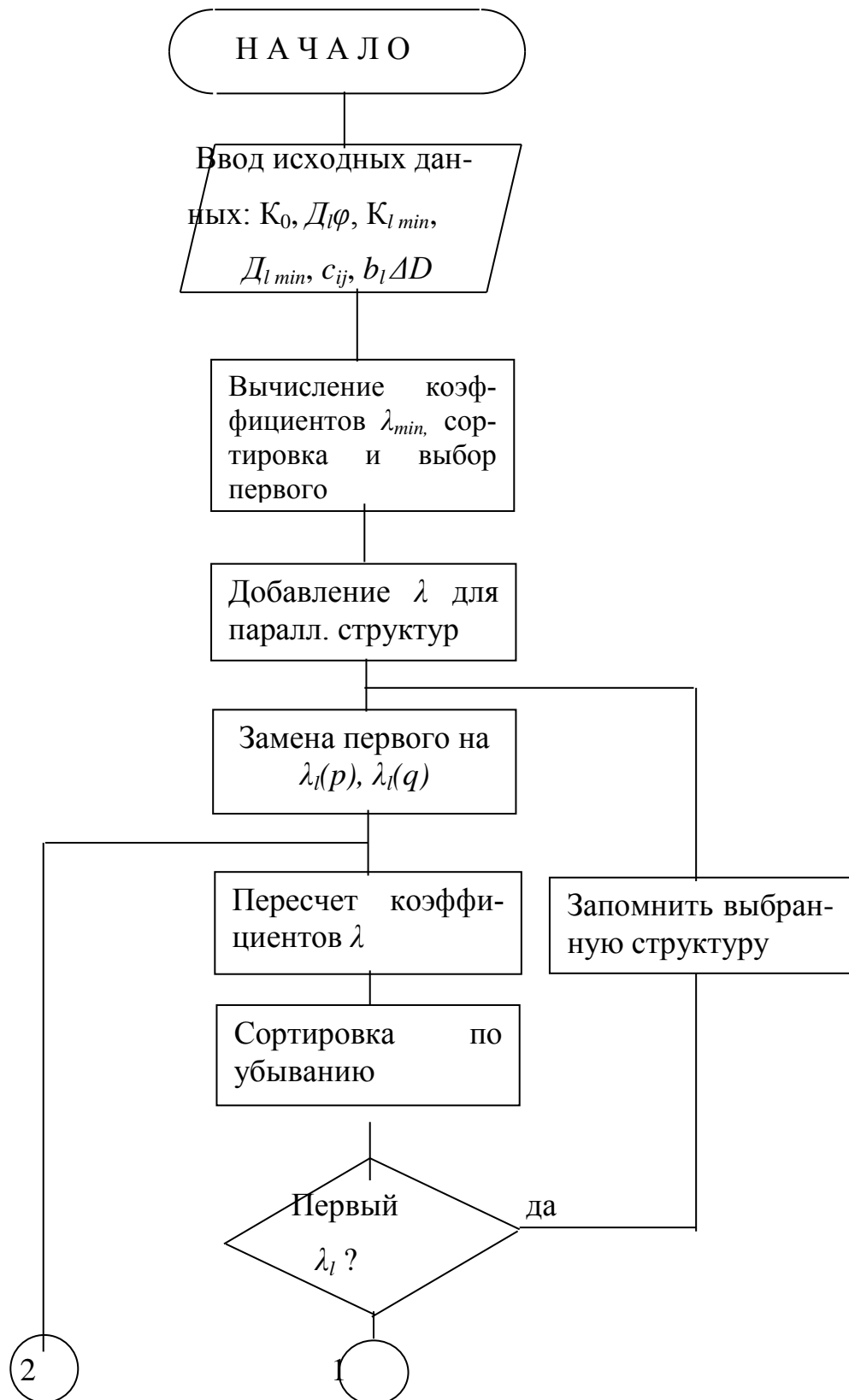


Рисунок 44, Лист 1 – Алгоритм выбора технологических структур



Рисунок 44, Лист 2

10 Пересчитать первый коэффициент в предположении увеличения качества данного вида продукции при увеличении затрат на его достижение на ΔK и перейти к девятому пункту.

В результате работы этого алгоритма выбираются виды продукции с самыми быстрыми сроками окупаемости, определяется необходимое оборудование с учетом перекрытия технологических структур, уточняется производительность ГПС по каждому виду продукции, необходимое качество каждого вида продукции и порядок работы отдельных структур – параллельный или последовательный.

3.8.5 Программа, реализующая УРСЗ

В приложение вынесен листинг программы универсального решателя задач (УРСЗ), оказывающего помощь системному аналитику.

Основная программа

Выше описаны все задачи, которые призван решать УРСЗ. Для начала реального его функционирования необходима общая программа, которая будет вызывать процедуры по мере их необходимости. Программа написана в среде программирования Делфи 7.0. и основана на принципе главного меню. В блоке Project выполняются следующие команды.

```
program Project1;  
uses  
  Forms,  
  Unit1 in 'Unit1.pas' {Form1 },  
  Unit2 in 'Unit2.pas' {Form2};  
{ $R *.res }  
begin  
  Application.Initialize;  
  Application.CreateForm(TForm1, Form1);  
  Application.CreateForm(TForm2, Form2);  
  form1.Button1.Visible:=False;  
  form1.Label5.Visible:=False;
```

```
form1.Button2.Visible:=False;
form1.Memo1.Visible:=False;
form1.Label6.Visible:=False;
form1.Edit3.Visible:=False;
form1.Edit4.Visible:=False;
form1.N1.Enabled:=False;
form1.N2.Enabled:=False;
form1.N3.Enabled:=False;
form1.N4.Enabled:=False;
form1.N6.Enabled:=False;
form1.N7.Enabled:=False;
form1.N8.Enabled:=False;
form1.N9.Enabled:=False;
form1.N10.Enabled:=False;
Application.Run;
end.
```

При запуске программы высвечивается основное меню, включающее опции: файл, система объекта, исходная система, система данных, порождающая система, структурированная система и метасистема. Каждая опция предназначена для решения только ей назначенных задач.

Опция «Файл» включает решение задач работы с файлами: открытие, создание, сохранение, а так же выход из программы.

Опция «Система объекта» позволяет установить: цель, ограничения, объект, свойства, базы.

Опция «Исходная система» устанавливает каналы наблюдения свойств и баз и решает задачи абстрагирования и конкретизации.

Опция «Система данных» устанавливает характеристики признаков и способов решения задачи классификации, а так же устанавливает форму хранения данных.

Опция «Порождающая система» позволяет установить функцию поведения, выбрать вид маски, а так же вероятностных характеристик порождения.

Опция «Структурированная система» позволяет установить иерархию, структуру систем и решать задачи проектирования, идентификации, реконструкции.

Наконец опция «Метасистемы» решать задачи выбора границ, разработки стратегии, оценки готовности, выявления сочетаемости, оптимального перераспределения ресурсов и порождения метасистем

Остальная часть программы и экранная форма вынесены в Приложение.

Выводы по третьему разделу

1 Коэффициент удельного эффекта имеет преимущества перед другими критериями, применяемыми в экономике, в силу необязательности оценки эффекта от автоматизации и затрат, связанных с нею в одних единицах, а также в силу положительности его значений даже при учете малых эффектов от автоматизации. Это позволяет более полно оценивать различные эффекты, в том числе для трех классических обоснований актуальности автоматизации: экономического, социального и «качественного».

2 При синтезе метасистем автоматизации необходимо рассматривать два процесса: процесс спроса на рынке на данный вид продукции и процесс подготовки и запуска данного вида продукции в гибкой производственной системе. Такая двухпроцессная модель позволяет добиться более адекватного рыночным условиям набора технологических структур и тем самым повысить эффективность автоматизации.

3 Применение теории условно марковских процессов к анализу спроса на рынке на данный вид продукции позволяет оценить возможный эффект от включения в гибкую производственную систему технологической структуры по изготовлению этой продукции и оптимизировать полный набор структур, максимизирующий эффект от автоматизации при заданных затратах на нее.

4 Коэффициент удельного эффекта позволяет решить вопрос о параллельном или последовательном выпуске нескольких видов продукции. При его вы-

числении необходимо учитывать эмерджентные свойства метасистем: возможность перекрытия технологических структур и возможность перераспределения общесистемных управляющих ресурсов.

5 Процесс выбора технологических структур, включаемых в гибкую производственную систему, не обладает свойством марковости, поэтому его реализация возможна в виде итерационного поискового алгоритма.

6 Третий этап системного синтеза (согласование составляющих системы) можно осуществить тремя методами: оптимизацией в случае, когда о системе и о влияющих на нее факторах, а также о критериях синтеза известно все; адаптацией, когда известен лишь критерий согласования и селекцией, когда возможности адаптации ограничены.

Список использованных источников

1 Вдовин, В.М. Теория систем и системный анализ: учебник для студентов экономических вузов, обучающихся по направлению подготовки "Прикладная информатика" / В.М. Вдовин, Л.Е. Суркова, В.А. Валентинов. – 3-е изд. – Москва : Дашков и К, 2018. – 644 с. – (Учебные издания для бакалавров). – Библиогр.: – С. 641-643. – ISBN 978-5-394-02139-8.

2 Клир, Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач / Дж. Клир – М.: Радио и связь, – 1990. – 544 с.

3 Bahm, A.J., Wholes and parts. The Southwestern Journal of Philosophy / A.J. Bahm, 1972. –3. – pp 17-22.

4 Пищухин, А.М. Согласованность составляющих системы и методы ее достижения / А.М. Пищухин // Вестник Оренбургского государственного университета. – 1999. –№ 1. – С. 87-90.

5 Пищухин, А.М. Управление предприятием на основе прогноза в ассортиментном пространстве /А.М. Пищухин // Экономика региона. –2017. – Т. 13. – № 1. – С. 216-225.

6 Akimov S. Multidimensional model for estimating the error in the diagnosis of the organism elemental status / S. Akimov, P.Vedeneev, A. Pishchukhin // International Review of Automatic Control. 2018. – Т. 11. – № 4. – С. 198-202.

7 Цомаева, И.В. Управление серийным и мелкосерийным производством в условиях неопределенности / И.В. Цомаева // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Социально-экономические науки. – 2014. – Т. 14, – №1. – С. 117-124.

8 Сухов, С.В. Системный подход к управлению коммерческим предприятием / С.В. Сухов // Менеджмент в России и за рубежом. – 2001. – №6. – Режим доступа: <https://www.cfin.ru/press/management/2001-6/04.shtml>

9 Воронов, А.А. Теория автоматического управления /А.А. Воронов, Д.П. Ким, В.М. Лохин [и др.] Ч.2 – М.: Высш. шк., – 1986. – 504 с.

10 Мелихова, О.А. Некоторые аспекты теории гомоморфизмов множеств /

О.А. Мелихова // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2016. – № 2 (26). – Режим доступа: <http://digital-mag.tti.sfedu.ru> (дата обращения: 16.01.2017)

11 Мелихова, О.А. Нейронные сети как составная часть систем искусственного интеллекта / О.А. Мелихова // ИВТ и ИО [Электронный ресурс]. – 2015. – № 1 (21). – Режим доступа: <http://digital-mag.tti.sfedu.ru>.

12 Мелихова, О.А. Приложение матлогики к проблемам моделирования / О.А. Мелихова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 4 (165). – С. 204-214.

13 Kolassa, S. Evaluating predictive count data distributions in retail sales forecasting // International Journal of Forecasting. – 2016. – Vol. 32, – №3. – P. 788-803.

14 Миронов, С.В. Метасистемный подход в управлении / С.В. Миронов, А.М. Пищухин. – Оренбург, – 2005. – 336 с.

15 Митрофанов, С.П. Групповая технология машиностроительного производства / С.П. Митрофанов. т.1. Ленинград: Машиностроение, 1983. – 407 с.

16 V. Vinod, R. Sridharan, Scheduling a dynamic job shop production system with sequence-dependent setups: An experimental study ROBOTICS AND COMPUTER-INTEGRATED MANUFACTURING 24 3 (2008) pp. 435-449

17 Mohammad M. Hamasha, Azmi Alazzam, Sa'd Hamasha, Multimachine Flexible Manufacturing Cell Analysis Using a Markov Chain-Based Approach, (IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS PACKAGING AND MANUFACTURING TECHNOLOGY) 5 3 (2015), pp. 439-446

18 M. Savsar, Majid Aldaihani, A Stochastic Model for Analysis of Manufacturing Modules, APPLIED MATHEMATICS & INFORMATION SCIENCES 6 3 (2012), pp. 587-600

19 Yue Wu, A stochastic model for production loading in a global apparel manufacturing company under un-certainty, PRODUCTION PLANNING & CONTROL, 22 3 (2011), pp. 269-281

20 Пищухин, А.М. Повышение живучести ГПС на основе метасистемных замен / А.М. Пищухин А.М. // Известия Самарского научного центра Российской

академии наук. – 2016. – Т. 18. – № 4-1. – С. 134-138.

21 Pishchukhin A.M., Pishchukhina T.A. The Control Simulation of the Enterprise on the Basis Metasystem Approach // Universal Journal of Control and Automation. – 2013. – Vol. 1(4). – P. 98–102.

22 Takahiro Kono, Keiji Ogawa, Toshiki Hirogaki, Autonomous distributed agv system based on taxi transportation strategy: effect of multiple-load agvs on conveyance efficiency (PROCEEDINGS OF THE ASME INTERNATIONAL MANUFACTURING SCIENCE AND ENGINEERING CONFERENCE 2 2010, pp. 553-560

23 Mohammed Ali, Subhash Wadhwa, The effect of routing flexibility on a flexible system of integrated manufacturing INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH 48 19 (2010), pp. 5691-5709

24 Ивашкин, Ю. А. Мультиагентное моделирование в имитационной системе Simplex3 : учебное пособие / Ю.А. Ивашкин. – М. : Лаборатория знаний, 2016. – 350 с.

25 Ахмедьянова, Г.Ф. и др. Агент-ориентированный подход к моделированию процесса обучения / Г.Ф. Ахмедьянова, О.С. Ерошенко, А.М. Пищухин // Фундаментальные исследования – №11 (часть 3). – 2013.

26 Пищухин, А.М., Ахмедьянова, Г.Ф. Методическое обеспечение агент-ориентированного моделирования процесса обучения / А.М. Пищухин, Г.Ф. Ахмедьянова / В сб.: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. Материалы Всероссийской научно-методической конференции. – 2014. – С. 3071-3074.

27 Y. Shoham, Agent Oriented Programming Journal of Artificial Intelligence 60 (1), pp. 51-92, 1993. Режим доступа: <http://robotics.stanford.edu/~shoham/> .

28 Волков, И.К. Случайные процессы / И.К. Волков, С.М. Зуев, Г.М. Цветкова, 2006.- Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана. – 448 с.

29 Пищухин, А.М. Метасистемность в управлении производством продукции / А.М. Пищухин, А.М. Скамьин // Современные наукоемкие технологии. – 2005. – № 11. – С. 56.

30 Погорелов, Д.Б. О выборе экономических рычагов управления предпри-

ятием / Д.Б. Погорелов, А.М. Пищухин // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 11. – С. 91-92.

31 Пищухин, А.М. и др. Метасистемный подход к организации медицинского обслуживания / А.М. Пищухин, Ю.Ю. Грачи́ко., Г.Г. Пищухина, С.А. Грачи́кова // Фундаментальные исследования. – 2004. – № 1. – С. 79.

32 Тугов, В.В. Оптимальное управление готовностью системы сбора и подготовки нефти к использованию / В.В. Тугов, А.М. Пищухин, А.В. Трибунский // Автоматизация и современные технологии. – 2010. – № 3. – С. 3-5.

33 Пищухин, А.М. и др. Траекторная стратегия выбора функционирующих систем в метасистеме / А.М. Пищухин, Т.И. Коршунова, Е.А. Коршунова, Т.А. Пищухина // Вестник Оренбургского государственного университета, – 2003. – № 1. – С. 141-143.

34 Пищухин, А.М. Матричные системы управления / А.М. Пищухин, А.В. Шалкин // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2001. – № 1. – С. 140-145.

35 Скамьин, А.М. Адаптивное управление многопрофильным производством / А.М. Скамьин, А.М. Пищухин // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 10. – С. 96-97.

36 Burtseva TI, Notova SV, Skalny AV, Zhivaev NG. Modeling of the system of ecological monitoring for the state of selenium status of the population // Innovations and investments. – 2015. – No. 6. – P. 149-152

37 Notova SV, Laryushina, IE, Kiyayeva, EV, Tsy-pin, AP, Ermakova, NV Elemental status of students of different social groups // Human Ecology. – 2016. – No. 12. – P. 43-48.

38 Notova SV, Alidzhanova IE, Kiyayeva EV, Akimov SS Indicators of psychophysiological adaptation of students of different social groups // Human Ecology. – 2015. – No. 11. – P. 41-47

39 Юшкевич, А.П. История математики. Математика XVIII столетия (т.2) / А.П. Юшкевич – М.: Наука, – 1972. – 496 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Листинг программы УРСЗ

```
unit Unit1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, XPMan, StdCtrls, Menus, TeEngine, Series, GanttCh, ExtCtrls,
  TeeProcs, Chart;

const
  word_max=40;
  line_max=80;
  colon=': ';
  period='.';
  comma=',';
  space=' ';
  equals='=';

type
  TObmp=record
  namefile: string[12];
  name: string[12];
  end;
  word_string=string[word_max];
  line_string=string[line_max];
  TForm1 = class(TForm)
    MainMenu1: TMainMenu;
    N1: TMenuItem;
    N2: TMenuItem;
    N3: TMenuItem;
    N4: TMenuItem;
    N5: TMenuItem;
    N6: TMenuItem;
    N7: TMenuItem;
    N8: TMenuItem;
    N9: TMenuItem;
    N10: TMenuItem;
    N11: TMenuItem;
    N12: TMenuItem;
    N13: TMenuItem;
```

N14: TMenuItem;
N15: TMenuItem;
N16: TMenuItem;
N17: TMenuItem;
N18: TMenuItem;
N19: TMenuItem;
N20: TMenuItem;
N21: TMenuItem;
N22: TMenuItem;
N23: TMenuItem;
N24: TMenuItem;
N25: TMenuItem;
N26: TMenuItem;
H1: TMenuItem;
N27: TMenuItem;
N28: TMenuItem;
N29: TMenuItem;
N30: TMenuItem;
N31: TMenuItem;
N32: TMenuItem;
N33: TMenuItem;
N34: TMenuItem;
N35: TMenuItem;
N36: TMenuItem;
N37: TMenuItem;
Label1: TLabel;
Edit1: TEdit;
Button1: TButton;
Label2: TLabel;
Button2: TButton;
mmo1: TMemo;
dlgOpen1: TOpenDialog;
dlgSave1: TSaveDialog;
lbl1: TLabel;
N38: TMenuItem;
N39: TMenuItem;
N40: TMenuItem;
cht1: TChart;
Series1: TGanttSeries;
N41: TMenuItem;
N42: TMenuItem;
N43: TMenuItem;
N44: TMenuItem;
N45: TMenuItem;
N46: TMenuItem;

```

N47: TMenuItem;
N48: TMenuItem;
procedure N12Click(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure N9Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure N8Click(Sender: TObject);
procedure btn3Click(Sender: TObject);
procedure N10Click(Sender: TObject);
procedure N22Click(Sender: TObject);
procedure N39Click(Sender: TObject);
procedure N40Click(Sender: TObject);
procedure N42Click(Sender: TObject);
procedure N43Click(Sender: TObject);
procedure N46Click(Sender: TObject);
// procedure TFormMain.FormCreate(Sender: TObject);
//procedure TFormMain.New1Click(Sender: TObject);

```

```

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

```

```

var
  Form1: TForm1;
  f:text;

```

```

implementation

```

```

{$R *.dfm}

```

```

procedure TForm1.N12Click(Sender: TObject);

```

```

begin

```

```

  Form1.Label1.Caption:='Выберите цель исследования'+#13+'1.Задача клас-
сификации.'+#13+

```

```

  '2.Задача проектирования.';

```

```

  Form1.Edit1.SetFocus;

```

```

end;

```

```

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);

```

```

var

```

```

  a:string;

```

```

  b:integer;

```

```

begin
  a:=Form1.Edit1.Text;
  b:=StrToInt(a);
  case b of
    1: Label2.Caption:='Введите систему данных';
    2: Label2.Caption:='Создайте структурированную систему';
  end;

end;

procedure TForm1.N9Click(Sender: TObject);
begin
  Label1.Caption:='Введите наименование файла';
  Edit1.SetFocus;
end;

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);

  var
    a:string;
    //command:word_string;
    m_line,f_line:line_string;
    st_place:integer;
    n:integer;
  begin
    a:='c:\Users\Евгений\Desktop\Программа\'+Form1.Edit1.Text+'.txt';
    assignfile(f,a);
    Reset(f);
    //FileCreate(a);
    Readln(f,f_line);
    st_place:=pos(':',f_line);
    //IF (st_place=0) then st_place:=pos(colon,f_line);
    if (st_place>1) then
      begin
        // command:=copy(f_line,1,st_place-1);
        m_line:=copy(f_line,st_place+1,length(f_line));

        Label2.Caption:=m_line;
        m_line:= 'Проба' ;
        //Append(f);
        reset(f);
        n:=3;
        // Seek(f,n);
        Write(f,m_line);
        CloseFile(f);
      end;
    end;

```

```

Label1.Caption:=m_line;
//if (command='многозначный') THEN make_multi(m_line);
//if(command='вопрос') then add_question(m_line);
//if (command='разрешн') THEN make_legals(m_line);
//if (pos('правило',command)>0) THEN enter_rule(command)

end;
end;

procedure TForm1.N8Click(Sender: TObject);
var

a:string;
begin
a:='c:\Users\droop\Рабочий стол\Prog\Opis.txt';
assignfile(f,a);
if dlgOpen1.Execute then
mmo1.Lines.LoadFromFile(a);
end;

procedure TForm1.btn3Click(Sender: TObject);
var
a:string ;

begin
a:='c:\Users\droop\Рабочий стол\Prog\Opis.txt';
with dlgSave1, mmo1 do
if Execute then
begin
Lines.SaveToFile(a);
// dlgOpen1.a :=a;
end;
end;

procedure TForm1.N10Click(Sender: TObject);
var

a:string;
begin
a:='c:\Users\droop\Рабочий стол\Prog\Opis.txt';
assignfile(f,a);
if dlgOpen1.Execute then
mmo1.Lines.SaveToFile(a);
end;

```

```

procedure TForm1.N22Click(Sender: TObject);
var s,command:string;
st_place,st_place1:integer;

begin
  s:=mmo1.Lines[6];

  st_place:=pos('[',s);
  st_place1:=pos(',',s);
  command:=copy(s,st_place+1,st_place1-st_place-1);
  if StrToInt(command)>150 then
    Form1.lbl1.Caption:='Спелое'
  else Form1.lbl1.Caption:='Зеленое'

  {p_read(f_line);
  st_place:=pos('(',f_line);
  IF (st_place=0) then st_place:=pos(':',f_line);
  if (st_place>1) then
    begin
      command:=copy(f_line,1,st_place-1);
      m_line:=copy(f_line,st_place+1,length(f_line)-st_place);
      if (command='многозначный') THEN make_multi(m_line);
      if(command='вопрос') then add_question(m_line);
      if (command='разрешн') THEN make_legals(m_line);
      if (pos('правило',command)>0) THEN enter_rule(command)
    end
  end }
end;

```

```

procedure TForm1.N39Click(Sender: TObject);
var
  s,command:string;
  st_place,st_place1,x,y,c1,c2:integer;
  r1 ,r, a, b ,c ,d:Real;

begin
  s:=mmo1.Lines[7];
  st_place:=pos('=',s);
  st_place1:=pos(',',s);
  c1:=StrToInt(Copy (s,st_place+1,st_place1-st_place-1));
  c2:=StrToInt(Copy (s,st_place+6,1));
  s:=mmo1.Lines[11];
  st_place:=pos('[',s);
  st_place1:=pos(',',s);
  a:=StrToInt(Copy(s,st_place+1,st_place1-st_place-1));

```



```

st_place:=pos(']',s);
c:=StrToInt(Copy(s,st_place1+1,st_place-st_place1-1));
st_place:=pos('2[',s);
b:=strtoint( copy(s,st_place+3,2));
d:=strtoint( copy(s,st_place+6,2));
r:=0;
r1:=Sqrt((a-b)*(a-b)+(c-d)*(c-d));
repeat
r:=r+0.05;
until (Exp((-r*r)/c1*c1)-Exp(-(r1-r)*(r1-r)/c2*c2)<=0.01);
Form1.lbl1.caption:=floattostr(r) +' '+ floattostr(r1);
end;
procedure TForm1.N40Click(Sender: TObject);
var
s,command:string;
st_place,st_place1,x,y,c1,c2:integer;
r1 ,r, a, b ,c ,d:Real;
begin
s:=mmo1.Lines[12];
st_place:=pos('x1[',s);
st_place1:=pos(comma,s);
a:=StrToInt(Copy(s,st_place+3, 2));
Form1.lbl1.caption:=FloatToStr(a);
c:=StrToInt(Copy(s,st_place1+5,2));
st_place:=pos('x2[',s);
b:=strtoint( copy(s,st_place+3,2));
d:=strtoint( copy(s,st_place+6,2));
Form1.lbl1.caption:=FloatToStr(d);
st_place:=Pos('x3[',s);
Form1.lbl1.caption:=IntToStr(st_place);
if st_place=0 then
begin
{e1x1:=Sqrt(ae-a)*(ae-a)+(ce-c)*(ce-c);
e1x2:=Sqrt(be-b)*(be-b)+(de-d)*(de-d);
x1x2:=Sqrt(a-b)*(a-b)+(c-d)*(c-d);
alpha:=arccos((e1x2*e1x2-e1x1*e1x1-x1x2*x1x2)/(2*e1x1*x1x2));
beta:=arccos((e1x1*e1x1-e1x2*e1x2-x1x2*x1x2)/(2*e1x2*x1x2));
alpha1:=arccos((e2x2*e2x2-e2x1*e2x1-x1x2*x1x2)/(2*e2x1*x1x2));
beta1:=arccos((e2x1*e2x1-e2x2*e2x2-x1x2*x1x2)/(2*e2x2*x1x2));
p1:=x1x2+(e1x1*e1x1+x1x2*x1x2-e1x2*e1x2-
2*e1x1*x1x2)/(2(e1x1*cos(alpha)-x1x2-e1x2*cos(beta)));
p2:=x1x2+(e2x1*e2x1+x1x2*x1x2-e2x2*e2x2-
2*e2x1*x1x2)/(2(e2x1*cos(alpha1)-x1x2-e2x2*cos(beta1))); }
end
else

```

```

begin

end
//end;
end;

procedure TForm1.N42Click(Sender: TObject);
type
  Color = (clblack,clred,clgreen,clblue,clwhite);
var
  i,n,n1,n2:Integer;
  //a: array[1..5] of String[10]=('clRed','clGreen','clblue','clyellow','Clmagenta');
  //col_g: array [clRed][clGreen]clblue,clorange,clyellow] of string;
begin
  Series1.Clear;
  //Label1.Caption:=a[2];
  n:= StrToInt(copy(mmo1.Lines[13], 22,1));
  for i:=1 to n do
  begin
    n1:= StrToInt(copy(mmo1.Lines[13], 18+7*i,1));
    n2:= StrToInt(copy(mmo1.Lines[13], 20+7*i,2));
    //Series1.AddGanttColor(n1, n2, i, IntToStr(i)+' этап', a[i]);
  end;
end;
procedure TForm1.N43Click(Sender: TObject);
begin
  Form1.Label1.Caption:='Введите в мемо-поле матрицу структурного пере-
крытия';
end;

procedure TForm1.N46Click(Sender: TObject);
var
  B,g,y,u: Real;
begin
  B:=StrToFloat(copy(mmo1.Lines[15],0,3))

end;
end.

```

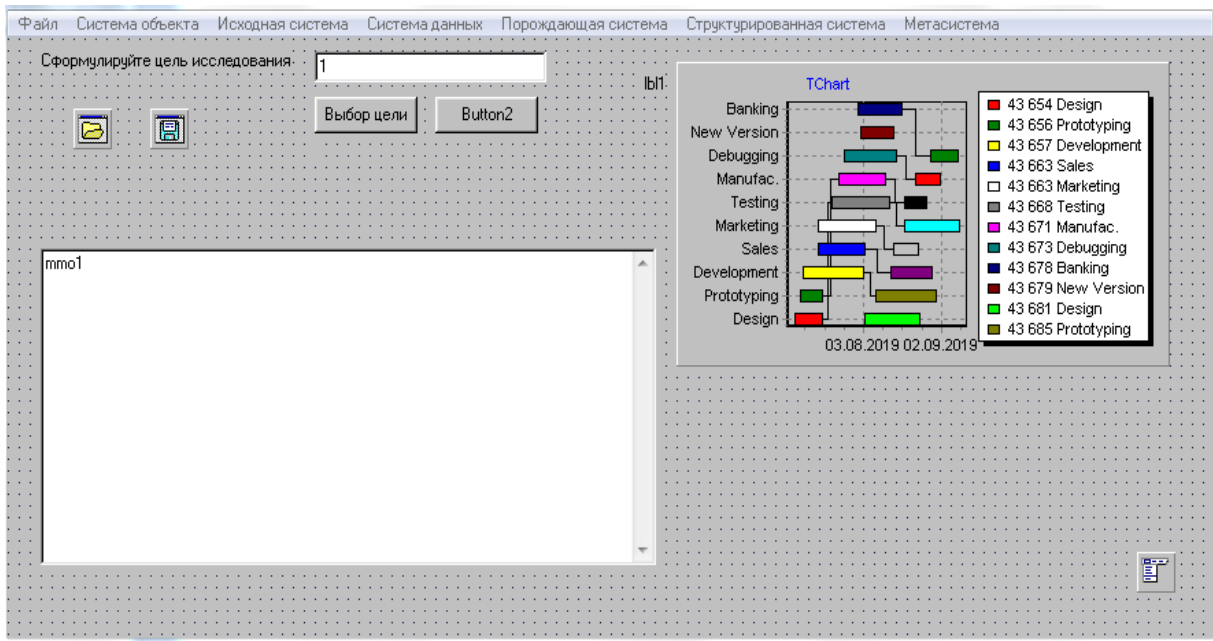


Рисунок 45 – Экранная форма программы