

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Тамбовский государственный технический университет"

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Часть 2

*Допущено Учебно-методическим объединением
по университетскому политехническому образованию
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по направлению
подготовки магистров 150400 "Технологические машины и оборудование"*



Тамбов

◆Издательство ГОУ ВПО ТГТУ◆

2011

УДК 54.058(075)
ББК Н76я73
И741

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой "Информационные образовательные технологии"
ГОУ "Институт развития дополнительного профессионального образования"
Т.В. Истомина

Доктор технических наук, профессор проректор по информатизации,
заведующий кафедрой "Системы автоматизированного проектирования"
ГОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет"
В.Е. Подольский

Технический директор ЗАО "Завод Тамбовполимермаш"
М.А. Смолин

Коллектив авторов:

*В.А. Немтинов, С.В. Карпушкин, В.Г. Мокрозуб,
Е.Н. Малыгин, С.Я. Егоров, М.Н. Краснянский, А.Б. Борисенко,
Т.А. Фролова, Ю.В. Немтинова, Ж.Е. Зильнухова*

И741 Информационные технологии при проектировании и управлении техническими системами : учебное пособие : в 4-х ч. / В.А. Немтинов, С.В. Карпушкин, В.Г. Мокрозуб [и др.]. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – Ч. 2. – 160 с. – ISBN 978-5-8265-0976-6.

Охвачен широкий спектр задач математического и программного обеспечения различных подсистем автоматизированного проектирования и управления техническими системами. Рассмотрены теоретические основы поиска режимных и конструктивных характеристик технологического оборудования, различные методы прогнозирования ёмкости рынка многоассортиментной малотоннажной продукции с помощью аппарата нейронных сетей, методика проектирования тренажёрного комплекса для обучения персонала технической системы.

Предназначено для учащихся магистратуры по направлению 150400 "Технологические машины и оборудование", осваивающих программы "Информационные системы технологических машин" и "Теоретические основы проектирования оборудования нефтегазоперерабатывающих, нефтехимических и химических производств", а также аспирантов, проводящих исследования в области оптимального проектирования и управления техническими объектами.

УДК 54.058(075)
ББК Н76я73

ISBN 978-5-8265-0976-6

© Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Тамбовский государственный технический университет" (ГОУ ВПО ТГТУ), 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
Глава 1. Автоматизированный выбор аппаратурного оформления химико-технологических систем	9
1.1. Общие сведения	9
1.2. Требования к конфигурации компьютера	9
1.3. Описание и постановка задачи	10
1.4. Основные функции системы	12
1.5. Примеры использования системы	14
Вопросы для самопроверки	19
Список литературы к главе 1	19
Глава 2. Автоматизированный выбор компоновочных решений оборудования химико-технологических систем. Постановка задачи	21
2.1. Словесная постановка задачи оптимального проектирования компоновки оборудования производственных систем	22
2.2. Математическое описание объектов компоновки	22
2.3. Аналитическая модель задачи компоновки	27
2.4. Методология решения задачи компоновки	30
2.5. Выбор типа конструкции цеха и влияние его на компоновку оборудования	37
2.5.1. Постановка задачи выбора объёмно-планировочных параметров цеха	38
2.5.2. Аналитическая модель задачи выбора объёмно-планировочных параметров цеха	41
Вопросы для самопроверки	44
Список литературы к главе 2	44
Глава 3. Управление режимными и конструктивными параметрами технологического оборудования	45
3.1. Принципы определения конструктивных и режимных характеристик технологического оборудования	47

3.2. Теоретические основы поиска режимных и конструктивных характеристик технической системы	48
3.3. Поиск основных режимных и конструктивных характеристик технологического оборудования	50
Вопросы для самопроверки	58
Список литературы к главе 3	59

Глава 4. Автоматизированный расчёт и конструирование химического оборудования 60

4.1. Структура и назначение системы РИК-ХИМ	60
4.2. Программы технологических и прочностных расчётов	62
4.3. Информационно-справочная система	65
4.3.1. Марочник сталей	66
4.3.2. Стандартные элементы химического оборудования	67
4.3.3. Построение чертежей оборудования и химико-технологических систем	68
4.4. Удалённый вариант системы РИК-ХИМ	72
Вопросы для самопроверки	78
Список литературы к главе 4	78

Глава 5. Информационная поддержка принятия решений при проектировании технологических процессов изготовления технологического оборудования 79

5.1. Разработка технологии поддержки принятия решений для проектирования технологических процессов класса производственных систем сложной структуры (на примере машиностроительных производств)	80
5.1.1. Использование теории сложных систем для решения задачи проектирования технологических процессов промышленных производств	81
5.1.2. Математическая постановка общей задачи проектирования технологических процессов производственных технических систем	83

5.2. Разработка информационно-логических моделей технологических процессов производственных технических систем	85
5.3. Разработка процедурных моделей принятия решений для проектирования технологических процессов производственных технических систем.....	86
5.4. Разработка информационных и процедурных моделей поддержки принятия решений для автоматизированной системы технологической подготовки производства изделий из металлов.....	88
5.4.1. Задача автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения.....	88
5.4.2. Задача автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров для упрочняющей обработки.....	93
5.4.3. Методика реализации информационных и процедурных моделей при решении задачи технологической подготовки машиностроительного производства.....	95
5.5. Практическая реализация информационных и процедурных моделей поддержки принятия решений.....	96
Вопросы для самопроверки	97
Список литературы к главе 5	98
Глава 6. Информационное моделирование элементов инженерных коммуникаций	99
6.1. Модель информационного объекта	99
6.2. Аналитические модели для определения значений свойств элементов информационного объекта	103
6.3. Информационно-логические модели для определения значений свойств элементов информационного объекта	107
6.4. Реализация информационно-логических моделей для определения значений свойств элементов информационного объекта	114
Вопросы для самопроверки	115
Список литературы к главе 6	115

Глава 7. Прогнозирование ёмкости рынка малотоннажной многоассортиментной продукции с помощью аппарата нейронных сетей	116
7.1. Прогнозирование ёмкости рынка многоассортиментной малотоннажной продукции	116
7.2. Создание нейронной сети	118
7.3. Осуществление прогноза	126
7.4. Задание для выполнения лабораторной работы	127
Вопросы для самопроверки	127
Список литературы к главе 7	128
Глава 8. Проектирование виртуальных тренажёров для обучения операторов технических систем	129
8.1. Структура автоматизированной информационной системы тренинга операторов технических систем	130
8.2. Постановка задачи проектирования тренажёрного комплекса для обучения персонала технических систем	133
8.3. Классификация элементов интерфейса виртуального пульта управления технических систем	135
8.4. Основные принципы создания виртуального тренажёра	143
8.5. Разработка математической модели	143
8.6. Создание передней панели тренажёра	146
8.7. Подходы к программной реализации тренажёра	149
8.8. Разработка и реализация методов сетевого взаимодействия модулей тренажёрного комплекса	154
Вопросы для самопроверки	157
Список литературы к главе 8	158
Заключение	159

ВВЕДЕНИЕ

Современный уровень развития проектирования и управления техническими системами предполагает использование информационных технологий на всех этапах жизненного цикла.

Основными этапами жизненного цикла технических систем (ТС) являются проектирование, монтаж и эксплуатация, последующая реконструкция или утилизация системы. В процессе проектирования осуществляется поиск функциональных решений, представляемых и документируемых в виде функциональной структуры, которая затем может быть материализована с помощью определённых предписаний. Эти предписания служат для изготовления компонентов системы и составляются таким образом, чтобы все функциональные требования были выполнены. В этом смысле процесс проектирования предполагает получение не только всех необходимых чертежей изделия, но и разработку технологических процессов его изготовления. Целью проектирования является разработка и формирование функций технической системы путём переработки технологической и организационной информации.

Во всех отраслях промышленности установлены следующие стадии разработки конструкторской документации: техническое задание (ТЗ), техническое предложение, эскизный проект, технический проект, рабочая документация. Часто стадии разработки технического проекта и рабочей документации объединяют в одну. Все перечисленные стадии подготовки технической документации являются результатом выполнения определённых этапов проектирования.

Функционирование ТС требует наличия автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) и системы оперативного управления производством (СОУ). Данные системы ориентированы на применение современной вычислительной техники и разрабатываются, как правило, на базе известных SCADA и ERP систем. Они предназначены для решения задач оперативного контроля состояний технологического процесса и оборудования ТС; управления производственным процессом; формирования плана выпуска продукции и проведения планово-предупредительных ремонтов; решения организационных вопросов и др.

Современный уровень развития информационных и коммуникационных технологий на производстве позволяет активно использовать передовые системы автоматизации технологического процесса и управления выпуском продукции и предприятием в целом. Создание единой информационной системы промышленного предприятия позволяет осуществить комплексное решение задач управления выпуском продукции, опираясь на взаимодействие интегрированных автоматизированных информационных систем.

Первая часть учебного пособия включает:

- общие сведения о системах автоматизированного проектирования технологического оборудования (ТО) и геоинформационных системах проектирования и эксплуатации технических объектов;
- представление структуры ТО и его типовых элементов в информационных системах;
- структуру, функции и приёмы работы с автоматизированными информационными системами (АИС) компоновок ТО, технологических расчётов теплообменного оборудования, автоматизированного составления месячных графиков ремонтов ТО;
- приёмы использования системы моделирования динамических процессов для оперативного управления промышленным производством;
- методики применения средств мультимедиа при создании АИС обучения персонала предприятий химического и машиностроительного профиля.

Во вторую часть пособия вошли:

- сведения о постановках задач, методах их решения и программных средах, используемых при автоматизированном проектировании технологического оборудования;
- теоретические основы поиска режимных и конструктивных характеристик технологического оборудования;
- описание технологии поддержки принятия решений для проектирования технологических процессов класса производственных систем сложной структуры (на примере машиностроительных производств);
- описание различных методов прогнозирования ёмкости рынка многоассортиментной малотоннажной продукции с помощью аппарата нейронных сетей;
- методики проектирования тренажерного комплекса для обучения персонала технической системы.

Авторы надеются, что данное учебное пособие будет полезно для учащихся магистратуры по направлениям:

- 150400 "Технологические машины и оборудование", осваивающих программы "Информационные системы технологических машин" и "Теоретические основы проектирования оборудования нефтегазоперерабатывающих, нефтехимических и химических производств";
- 220100 "Системный анализ и управление", осваивающих программу "Системный анализ проектно-технологических решений";
- аспирантов, проводящих исследования в области оптимального проектирования и управления ТО.

Работа выполнена в рамках государственного контракта № 02.740.11.0624 Федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы".

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВЫБОР АППАРАТУРНОГО ОФОРМЛЕНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В химической промышленности принято различать крупнотоннажные (объём выпуска от сотен до десятков тысяч тонн продукции в год) и мелкотоннажные (объём выпуска до десятков тонн продукции в год) производства [1]. Примерами многоассортиментных малотоннажных химических производств могут служить производства химических красителей и полупродуктов, кинофотоматериалов, фармацевтических препаратов и т.п.

Продукты таких производств выпускаются отдельными партиями, стадии их синтеза обычно реализуются в периодическом режиме и оснащаются стандартным оборудованием (реакторами или ёмкостями с перемешивающими устройствами и без них, фильтрами и сушилками непрерывного и периодического действия и т.п.).

Определение аппаратурного оформления (АО) химико-технологических систем (ХТС) – одна из основных задач, возникающих при проектировании многоассортиментных малотоннажных химических производств.

Результатом расчёта аппаратурного оформления является число аппаратов на стадиях, а также рабочие объёмы или площади рабочих поверхностей основных аппаратов. Рабочие объёмы и площади рабочих поверхностей выбираются из ряда стандартных значений, т.е. являются дискретными величинами. Требуется найти оптимальное аппаратурное оформление, при этом критерием оптимальности могут служить, например, суммарные капитальные затраты на оборудование.

1.2. ТРЕБОВАНИЯ К КОНФИГУРАЦИИ КОМПЬЮТЕРА

Для функционирования программы необходим персональный компьютер, работающий под управлением операционной системы семейства Microsoft Windows, версии не ниже Windows 98 с установленными динамическими библиотеками MFC 6.0. Желательно наличие Microsoft Word 2003 или более поздней версии для сохранения результатов расчёта программы в соответствующем формате (*.doc, *.rtf и т.п.) и вывода на печать.

1.3. ОПИСАНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Начиная с 70-х годов прошлого века, математическим постановкам и методике решения задачи выбора АО ХТС уделяется достаточно много внимания в отечественных и зарубежных публикациях (см., например, [1 – 4]). В работах [5, 6] приведена математическая постановка задачи выбора АО ХТС и методика её решения, учитывающие возможность возникновения следующих типичных производственных ситуаций:

1) перекрытие циклов работы оборудования соседних стадий ХТС, т.е. обработка одной и той же партии продукта одновременно на нескольких стадиях, оснащённых основными аппаратами периодического и непрерывного действия;

2) выпуск за один цикл работы ХТС (период времени от начала загрузки первого аппарата первой стадии до завершения разгрузки последнего аппарата последней стадии) не одной, а нескольких партий какого-либо продукта;

3) реализация в течение одного цикла работы ХТС нескольких циклов работы аппаратов некоторых её стадий;

4) включение в цикл работы аппаратов некоторых стадий ХТС нескольких операций загрузки или (и) выгрузки, между которыми аппараты находятся в недогруженном или недовыгруженном состоянии – в состоянии так называемого "заполненного простоя".

Причиной возникновения данных ситуаций является изменение размеров партий продуктов от стадии к стадии ХТС (объединение нескольких партий для одновременной обработки и дробление партии на равные порции для последовательной или синхронной обработки), которое существенно увеличивает возможности реализации одноимённых стадий синтеза различных продуктов в одних и тех же аппаратах. При проектировании новых ХТС это позволяет организовать выпуск продукции указанного ассортимента с помощью минимального числа аппаратных стадий, а при перепрофилировании действующего производства – осуществить выпуск новой продукции без приобретения нового оборудования.

В общем виде предлагаемую постановку задачи выбора АО ХТС можно представить следующим образом:

$$C(d^*, z^*) = \min_{d, z} \{C[d, z]\} \quad (1.1)$$

при выполнении условий:

$$M(I, Q, H, R, d, z) = 0; \quad (1.2)$$

$$f_s[d, z] \leq 0, \quad s \in S. \quad (1.3)$$

Здесь C – критерий оптимизации – приведённые затраты на выпуск продукции ХТС (амортизация капитальных затрат на АО и годовая стоимость потребляемых энергоресурсов);

$d = [(T_e, N_e, X_e) | e = \overline{1, E}]$ – вектор конструкционных параметров основного оборудования ХТС, где T_e, N_e – тип и число основных аппаратов стадии e системы; X_e – определяющий размер (рабочий объём, рабочая поверхность) каждого основного аппарата; E – число аппаратурных стадий ХТС;

$z = [(Tc_i, w_i, r_{ij}, p_{ij}) | i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J_i}]$ – вектор параметров режима функционирования ХТС и оборудования её стадий, где i – номер продукта; j – номер стадии его выпуска; I – число продуктов, выпускаемых ХТС; J_i – число стадий выпуска i -го продукта; Tc_i – длительность цикла обработки партии i -го продукта (минимально возможный промежуток времени между выпуском двух последовательно нарабатываемых партий); w_i – размер партии i -го продукта, прошедшей все стадии переработки; r_{ij} – указатель кратности изменения размера партии i -го продукта на j -й стадии его синтеза ($r_{ij} = 1$ – не изменяется; $r_{ij} = \gamma_{ij}$, $\gamma_{ij} > 1$ – дробится на γ_{ij} равных долей для последовательной обработки; $r_{ij} = 1/\gamma_{ij}$, $\gamma_{ij} > 1 - \gamma_{ij}$ партий объединяются для совместной обработки); p_{ij} – указатель способа обработки партий i -го продукта в аппаратах стадии j его выпуска, если стадия включает не один основной аппарат ($p_{ij} = 0$ – каждый аппарат обрабатывает поступающую на стадию партию целиком; $p_{ij} = 1$ – аппараты обрабатывают равные доли партии синхронно);

$M(I, Q, H, R, d, z)$ – математическая модель функционирования ХТС – совокупность соотношений, позволяющих определить значения компонент векторов d и z по исходным данным, к числу которых относятся ассортимент I продуктов ХТС, заданные объёмы $Q = (q_1, \dots, q_I)$ и установленный срок H их выпуска;

$R = [(m_{ij} | i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J_i}); (t_{ij} | i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J_i})]$ – данные технологических регламентов процессов синтеза продуктов, где m_{ij} – материальный индекс j -й стадии синтеза i -го продукта (совокупный объём или масса веществ, необходимые для выпуска одной тонны продукта); t_{ij} – промежуток времени, в течение которого аппараты стадии $e = Pp_{ij}$ ХТС заняты обработкой партии i -го продукта; Pp_{ij} – элемент матрицы технологических маршрутов ХТС, устанавливающей соответствие между номерами аппаратурных стадий и номерами стадий синтеза продуктов заданного ассортимента (e – номер аппаратурной стадии, реализующей j -ю стадию синтеза i -го продукта);

S – множество ограничений на конструкционные параметры оборудования ХТС и параметры режима её функционирования, к числу которых относятся ограничения на рабочие размеры аппаратов стадий системы, ограничение на сумму длительностей наработки продуктов, условие предотвращения столкновений между различными циклами работы аппаратов стадий системы и т.д.

Следует отметить, что при создании новой ХТС её аппаратурные стадии обычно оснащаются стандартными аппаратами, характеристики которых приводятся в каталогах продукции предприятий химического машиностроения, например [7 – 9], а при модернизации существующего производства задача (1.1) – (1.3) решается на множестве имеющегося оборудования.

1.4. ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ

На базе математической постановки и алгоритма решения задачи выбора АО ХТС многоассортиментных малотоннажных химических производств (ММХП), представленных в работах [5, 6], на кафедре "Автоматизированное проектирование технологического оборудования" ГОУ ВПО ТГТУ разработана система EquipDesign автоматизированного выбора АО ХТС, ориентированная на производство химических красителей и полупродуктов. Основные функции системы:

1. Ввод, проверка корректности и модификация исходных данных.
2. Предварительное определение АО ХТС.
3. Определение оптимального режима функционирования ХТС и оборудования её стадий при выпуске каждого продукта.
4. Построение диаграммы функционирования аппаратов стадий ХТС (диаграммы Гантта) при выпуске указанного продукта.
5. Вывод результатов расчётов в установленной форме.

Упрощённо иерархию исходных данных для определения АО ХТС можно представить в виде: производство \rightarrow стадии производства \rightarrow характеристики стадии. Сначала вводится (добавляется) наименование нового производства и его основные характеристики: ассортимент I и объёмы $Q = (q_1, \dots, q_l)$ выпуска продуктов, требуемая продолжительность H их выпуска. Затем вводятся стадии выпуска продуктов: указываются их наименования, обозначения на ХТС, типы основных аппаратов, причём выбор типа основного аппарата стадии осуществляется из предлагаемого списка. Далее вводятся характеристики каждой стадии, набор которых формируется автоматически и включает две группы параметров – общие для всех стадий и определяемые указанием типа основного аппарата. К числу общих характеристик относятся идентификатор типа аппарата по конструкции (ёмкость, фильтр, сушилка), идентификатор типа аппарата по загрузке/выгрузке (возможность совмещения операций загрузки и выгрузки с физико-химиче-

скими превращениями), предполагаемое число идентичных основных аппаратов на стадии, способ обработки партий продуктов аппаратами стадии, указатель кратности изменения размера партии.

При указании типа основного аппарата "Вертикальная ёмкость с перемешивающим устройством" к списку характеристик добавляются минимальный и максимальный материальный индекс (по операциям), минимально и максимально допустимая степень заполнения, длительность основных операций при выпуске каждого продукта и рабочий объём аппарата, а для стадии, основной аппарат которой "Сушилка роторная вакуумная" – объёмный материальный индекс стадии по сухому продукту и массовый по испарённой влаге, удельная производительность аппарата по испарённой влаге, процент основных операций от общего времени занятости обработкой одной партии, максимально допустимая степень заполнения, рабочий объём аппарата и площадь поверхности теплообмена.

Характеристики стадий являются числами разных типов: целыми, вещественными, логическими. Универсальным типом для хранения числовых значений характеристик выбран *double*. На этапе ввода исходных данных происходит их первичная проверка, например, длительности операций должны быть положительным числом, степень заполнения может принимать значения 0,0...1,0, процент основных операций может принимать значения 0...100, число аппаратов на стадии должно быть целым числом и т.д.

После ввода характеристик стадий производства требуется указать информацию о материальных потоках производства, т.е. для каждой стадии указать одну или несколько ей предшествующих. Для контроля правильности введённых данных о типах основных аппаратов стадий и маршрутах обработки партий разных продуктов программа формирует рисунки в виде пиктограмм аппаратов, соединённых стрелками. Щелчок правой кнопкой мыши на пиктограмме любого аппарата открывает характеристики этой стадии для просмотра или редактирования. Перед началом расчётов проверяется наличие необходимых исходных данных для выполнения выбранной функции. Например, для выполнения функции 3 необходимо задать основные геометрические размеры аппаратов всех стадий (если хотя бы для одной стадии он не будет задан, выводится сообщение об ошибке и расчёт прерывается), а функция 2 в этой ситуации будет выполнена. Для выполнения функции 4 необходимо задать размер партии продукта, но его отсутствие никак не влияет на выполнение функций 2, 3.

Для хранения исходных данных используется база данных в формате Microsoft Access 2003. Доступ из программы к базе данных осуществляется с использованием технологии ActiveX Data Objects (ADO), что, в принципе, позволяет в качестве хранилища исходных данных

использовать любую СУБД, для которой существуют OLE DB или ODBC-драйверы.

Задача выбора АО ХТС решается в два этапа. На первом этапе (функция 2) определяются размеры партий продуктов $w_i, i = \overline{1, I}$, а затем, с учётом материальных индексов и способа обработки партий на стадиях, – минимальные и максимальные значения рабочего объёма или площади рабочей поверхности основных аппаратов стадий, способные обеспечить заданную производительность ХТС по каждому продукту. После этого для каждой стадии ХТС выбирается конкретный стандартный (или имеющийся) аппарат указанного типа, рабочий размер которого больше минимального и меньше максимального.

На втором этапе (функция 3) при выбранном аппаратурном оформлении стадий ХТС для каждого продукта определяются максимальный размер партии и минимальная длительность цикла её переработки аппаратами всех стадий, т.е. рассчитывается минимальный срок выпуска продукта в заданном объёме или максимальный объём выпуска продукта за заданный срок.

Обобщённая модель функционирования химико-технологической системы включает в себя модели функционирования отдельных циклов работы аппаратов. В свою очередь, модель цикла работы оборудования представляется как совокупность моделей отдельных операций. Программная реализация этапов решения задачи выбора АО ХТС основана на принципе модульного моделирования, который обеспечивает возможность независимой разработки моделей отдельных подсистем, образующих сложную систему. На наш взгляд, для реализации принципа модульного моделирования наилучшим образом подходит концепция объектно-ориентированного программирования (ООП). Программирование с применением ООП позволяет создать достаточно гибкую иерархию моделей. В качестве языка программирования был выбран Microsoft Visual C++, как один из популярных объектно-ориентированных языков программирования.

При выполнении функций 2, 3 выдаётся полный протокол, который можно через буфер обмена скопировать в любой текстовый редактор. Диаграмму Ганта, полученную при выполнении функции 4, можно экспортировать в формат enhanced metafiles (emf).

1.5. ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ

С применением системы EquipDesign решён ряд задач выбора АО ХТС проектируемых ММХП для Тамбовского АО "Экохимпроект", а также перепрофилирования действующих ММХП Тамбовского ОАО "Пигмент". В качестве примера рассмотрим ХТС № 2 одного из производств азокрасителей, на которой за $H = 7760$ ч планировалось выпустить продукты, указанные в табл. 1.1.

1.1. Ассортимент продукции ХТС № 2

Наименование продукта	План выпуска q_i , т
1. Прямой серый светопрочный "СМ"	50
2. Прямой синий светопрочный	395
3. Прямой серый светопрочный	20
4. Прямой голубой светопрочный	20
5. Прямой черный "2С"	550

Стадии выпуска продукта № 5 и их основные аппараты представлены на рис. 1.1, на рис. 1.2 – характеристики одной из стадий, а на рис. 1.3 – графическое представление маршрута обработки его партий.

Результаты расчёта основной аппаратуры ХТС № 2 представлены в табл. 1.2, а в табл. 1.3 – характеристики режима её функционирования, причём отметим, что без объединения партий продуктов не удалось получить ни одного допустимого решения задачи (1) – (3). Оказались необходимыми следующие изменения режима переработки партий сырья и полупродуктов:

- раствор в аппарате стадии № 201 готовится сразу на три партии продукта № 1, на две партии продукта № 3 и на две партии продукта № 4;
- при производстве продукта № 5 третье диазотирование в аппарате стадии № 240 осуществляется после сбора в нём трёх партий полупродукта.

Стадии производства: 5. Прямой черный "2С"

Файл Правка Вид Окно Справка

Выбрана стадия: Аппарат для 3-го диазотирования

Наименование стадии	Обозначение на ХТС	Основной аппарат
Аппарат для растворения	201	Вертикальная емкость с перемешивающим
Аппарат для диазотирования	203	Емкостной реактор с перемешивающим уст
Аппарат для сочетания	209	Емкостной реактор с перемешивающим уст
Аппарат для 2-го диазотирования	212	Емкостной реактор с перемешивающим уст
Аппарат для 2-го сочетания	221	Емкостной реактор с перемешивающим уст
Аппарат для 3-го диазотирования	240	Емкостной реактор с перемешивающим уст
Аппарат для выделения	252	Емкостной реактор с перемешивающим уст
Промежуточный аппарат	256	Вертикальная емкость с перемешивающим
Фильтр-пресс	257	Фильтр-пресс рамный/камерный (цель - ос
Аппарат для суспензирования	258	Вертикальная емкость с перемешивающим
Сушилка СИН	265	Сушилка с инертным носителем (СИН)

Рис. 1.1. Стадии производства продукта № 5

Характеристики стадии: 'Аппарат для 3-го диазотирования'

Файл Правка Вид Окно Справка

Выбрана характеристика: Число параллельно включенных аппаратов на стадии (шт.)

Наименование характеристики стадии	Значение
Число параллельно включенных аппаратов на стадии (шт.)	2.0000
Режим функционирования параллельно включенных аппаратов ('0' - со сдвигом, '1' - синхронно)	0.0000
Число партий (при объединении) или частей партии (при дроблении) (шт.)	3.0000
Тип изменения размера партии на стадии ('0' - объединение, '1' - дробление)	0.0000
Минимальный основной материальный индекс стадии (л/т)	486.0000
Максимальный основной материальный индекс стадии (л/т)	486.0000
Минимальная степень заполнения (доли единиц)	0.3000
Максимальная степень заполнения (доли единиц)	0.7500
Длительность основных операций (ч)	11.1700
Рабочий объем аппарата (м. куб)	0.0000

Рис. 1.2. Характеристики стадии третьего диазотирования (продукт № 5)

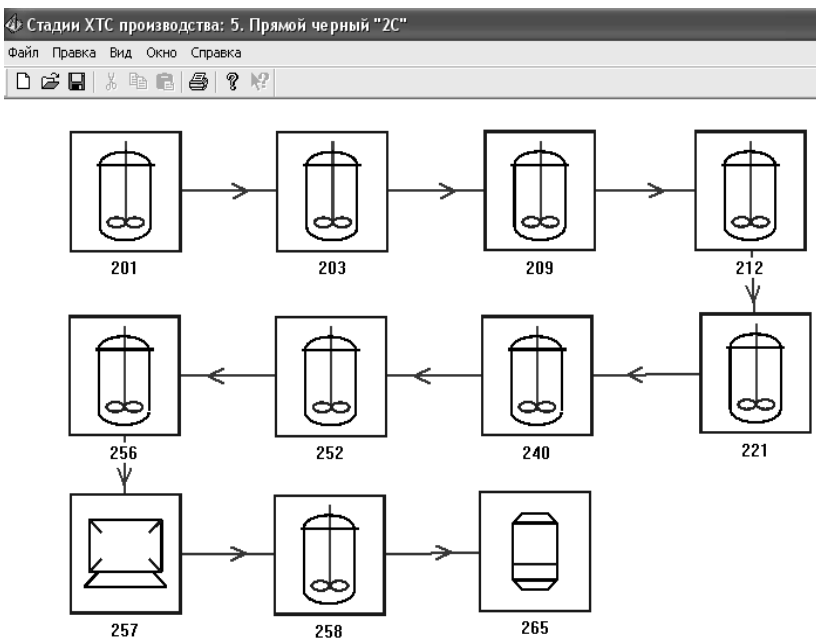


Рис. 1.3. Маршрут обработки партий продукта № 5

1.2. Результаты расчёта основной аппаратуры ХТС № 2

№ основного аппарата	Наименование реализуемого процесса	Число аппаратов	Основной размер аппарата
201	Растворение	1	10 м ³
203	Диазотирование	1	10 м ³
209	Азосочетание	1	16 м ³
212	Второе диазотирование	1	16 м ³
221	Второе азосочетание	1	25 м ³
229	Выделение кристаллов	1	20 м ³
233	Подача суспензий на фильтрацию	2	32 м ³
234	Фильтрация (фильтр-пресс)	2	140 м ²
235	Суспензирование пасты	1	16 м ³
240	Третье диазотирование	2	16 м ³
247	Третье азосочетание	1	25 м ³
252	Выделение кристаллов продуктов	1	32 м ³
256	Подача суспензий на фильтрацию	2	32 м ³
257	Фильтрация (фильтр-пресс)	2	140 м ²
258	Суспензирование пасты красителей	1	6,3 м ³
265	Сушка (сушилка СИН)	2	20 м ³

1.3. Характеристики режима функционирования ХТС № 2

№ продукта	Размер партии w_i , т	Цикл обработки партии T_{c_i} , ч	Полный цикл работы ХТС, ч	Продолжительность выпуска, ч	Число партий, выпускаемых за один цикл работы ХТС
1	0,969	30,75	75,4	573,53	3
2	0,722	9,08	80,27	5040,45	1
3	0,924	23	118,61	344,53	2
4	2,251	17,5	100,45	160,7	2
5	3,353	28,76	88,16	1632	3

Сформированная системой диаграмма Ганта, наглядно представляющая состояние основных аппаратов стадий в течение одного цикла работы ХТС при выпуске продукта № 5, представлена на рис. 1.4.

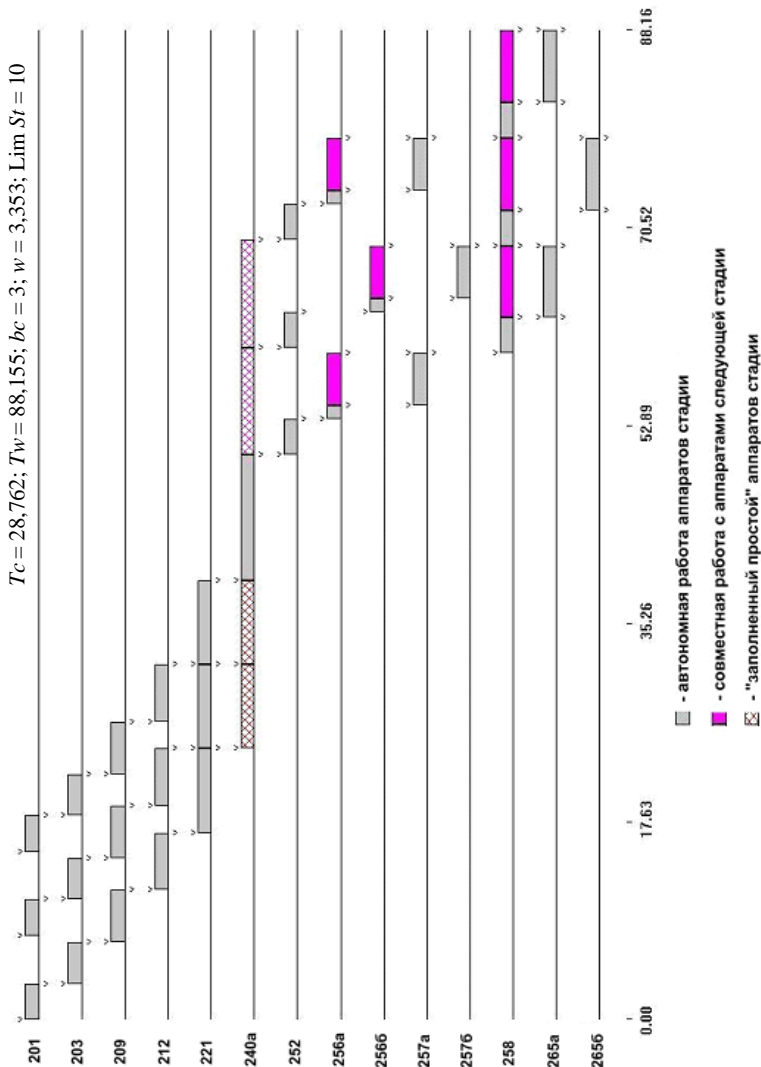


Рис. 1.4. Диаграмма функционирования оборудования ХТС № 2 при выпуске продукта № 5

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Дайте определения основных характеристик режима функционирования ТС ММХП.
2. Перечислите характеристики режима функционирования оборудования отдельных стадий ТС ММХП.
3. Как формируются множества определяющих размеров аппаратов действующего ММХП, пригодных для реализации стадий выпуска нового продукта?
4. Для каких стадий ТС ММХП возможность использования конкретного аппарата проверяется с помощью двух разнородных ограничений?
5. В какой ситуации может быть принято решение об изменении размера партии продукта на стадии ТС перепрофилируемого ММХП?
6. Как определить стадию ТС, лимитирующую её производительность по времени? По размеру партии продукта?
7. Какова главная проблема расчёта оборудования ТС при проектировании нового ММХП?
8. Как формализуется в математической постановке задачи определения АО ТС проектируемого ММХП возможность неполного совпадения технологий выпуска продуктов?
9. Какова цель решения вспомогательной задачи определения размеров партий продуктов ТС проектируемого ММХП?
10. Обоснуйте выбор начальных значений параметров задачи определения АО ТС проектируемого ММХП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 1

1. Кафаров, В.В. Гибкие автоматизированные производственные системы в химической промышленности / В.В. Кафаров, В.В. Макаров. – М., 1990. – 319 с.
2. Suhani, I. Optimal Design of Multipurpose Batch Plants / I. Suhani, R.S.H. Mah // Ind. Eng. Chem., Process Des. Dev. – 1982. – Vol. 21, No. 1. – P. 94 – 100.
3. Harding, S.T. Global Optimization In Multiproduct and Multipurpose Batch Design Under Uncertainty / S.T. Harding, C.A. Floudas // Industrial and Engineering Chemistry Research. – 1997. – Vol. 36. – P. 1644 – 1664.
4. Orçun, S. General continuous time models for production planning and scheduling of batch processing plants: mixed integer linear program formulations and computational issues / S. Orçun, I.K. Altinel, Ö. Hortaçsu // Computers & Chemical Engineering. – 2001. – Vol. 25. – P. 371 – 389.

5. Малыгин, Е.Н. Проектирование многоассортиментных химических производств: определение аппаратурного оформления химико-технологических схем / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, А.Б. Борисенко // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2002. – Т. 8, № 2. – С. 272 – 282.

6. Малыгин, Е.Н. Методика определения аппаратурного оформления многопродуктовых химико-технологических систем / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, А.Б. Борисенко // Химическая промышленность сегодня. – 2003, № 5. – С. 43 – 50.

7. Официальный сайт уральского завода химического машиностроения ОАО "УралХимМаш" <<http://ekb.ru>>, (доступ на 08.09.2010).

8. Официальный сайт завода металлоконструкций и промышленного оборудования "ЮВС" < <http://www.uvsprom.ru>>, (доступ на 08.09.2010).

9. Официальный сайт ФГУП "Завод химмаш РАН" < <http://szhm.ru>>, (доступ на 08.09.2010).

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ВЫБОР КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Одним из перспективных направлений повышения эффективности функционирования химических производств в том числе производств с гибкой технологией (производства кино-фотоматериалов, лекарственных препаратов, красителей и добавок к материалам) является интенсификация использования средств вычислительной техники в процессе проектирования. В частности, это касается этапа компоновки оборудования. Ряд отличительных особенностей производств данного класса: периодичность технологии, многостадийность и многоассортиментность производств, сложность химических реакций, широкое использование самотёка материальных потоков, совмещённость наработки различных продуктов на одном технологическом оборудовании делают этот этап одним из самых трудоёмких в процессе проектирования.

Выбор оптимальных объёмно-планировочных решений по компоновке оборудования невозможен традиционными ручными методами. Повышение качества проектных работ с одновременным сокращением сроков проектирования возможно только на основе широкого использования современной вычислительной техники в процессе поиска оптимальных проектных решений, что в свою очередь невозможно без разработки моделей, методов и алгоритмов для решения соответствующих задач.

Кроме того, решение задач компоновки требует наличия обширной базы данных, содержащей справочную информацию о конструктивных решениях оборудования, используемого в производствах данного класса, а также информацию о типоразмерах труб и трубопроводной арматуре, что в свою очередь усложняет поиск оптимальных проектных решений.

В учебном пособии рассмотрены вопросы математического моделирования задач наиболее сложного и трудоёмкого этапа проектирования химических производств – этапа определения рациональной компоновки производства, включающего в себя определение размеров цеха, а также оптимального расположения в нём оборудования ХТС и трасс трубопроводов [1]. Овладение студентами основами автоматизированного проектирования химических объектов поможет применить полученные знания в реальной работе на производстве.

2.1. СЛОВЕСНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПОНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Содержательная (словесная) постановка задачи компоновки может быть сформулирована следующим образом: *определить с учётом всех правил, требований и ограничений такое пространственное расположение оборудования ТС с заданной структурой технологических связей и такие габариты производственного помещения, при которых затраты на проектируемый объект были бы минимальными.*

Для математической записи задачи потребуется выполнить как минимум три этапа: описать объекты компоновки, предложить критерий и разработать математическую модель.

2.2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТОВ КОМПОНОВКИ

Выполнение проекта компоновки связано с определением пространственного расположения в цехе всех элементов ТС, важнейшими из которых являются оборудование схемы и связующие его коммуникации. При этом поиск оптимального варианта компоновки связан с анализом множества возможных вариантов размещения оборудования и прокладки трасс технологических коммуникаций, каждый из которых должен быть проверен на соответствие ограничениям математической модели, среди которых есть условия не пересечения объектов компоновки, их взаимного расположения и ряд других, связанных с геометрической формой размещаемых объектов. Поэтому от того, как будут описаны объекты компоновки, во многом зависит время решения задачи и качество самих решений. В работе приняты следующие допущения:

Допущение 1. Рассматривается прямоугольная система координат $XYZO$ с метрикой пространства ρ , выбор которой обусловлен требованием прокладки технологических коммуникаций по координатным осям:

$$\rho(C', C'') = |X_{C'} - X_{C''}| + |Y_{C'} - Y_{C''}| + |Z_{C'} - Z_{C''}|,$$

где $\rho(C', C'')$ – расстояние между двумя точками C' и C'' пространства $XYZO$.

Допущение 2. Размещаемые объекты аппроксимируются простейшими геометрическими фигурами или их комплексами (рис. 2.1).

Причем количество и вид используемых простейших геометрических фигур для аппроксимации, зависит от конфигурации объекта компоновки. Последовательное усложнение способа аппроксимации одного и того же объекта показано на рис. 2.2. Пространственное положение i -го объекта в простейшем случае задаётся вектором $A_i = (X_i, Y_i, Z_i, Q_i)$, где X_i, Y_i, Z_i – координаты центра основания

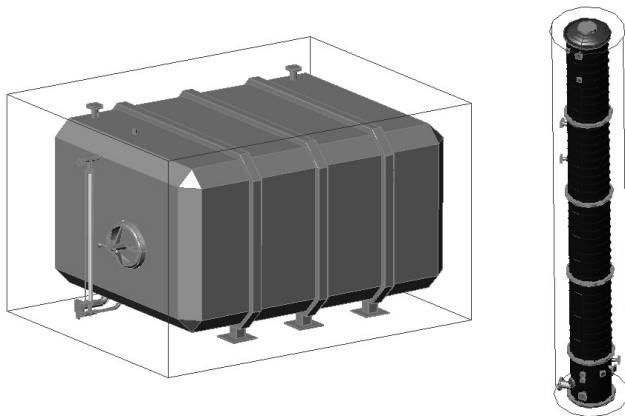


Рис. 2.1. Аппроксимация трёхмерных геометрических объектов одной геометрической фигурой

аппроксимирующей фигуры; Q_i – угол поворота объекта относительно его начального положения. Такое описание объектов целесообразно использовать при предварительной компоновке объектов, например, при решении задачи размещения.

Более сложные описания объектов применяются на этапах уточнения компоновочных решений, когда решаются совместные задачи размещения объектов и прокладки связующих коммуникаций.

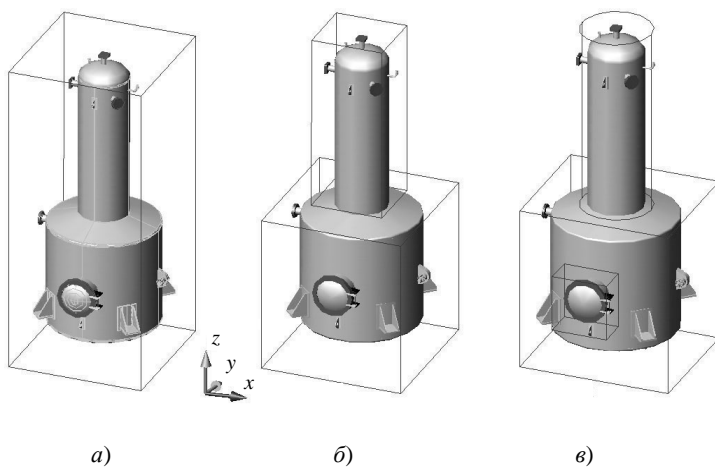


Рис. 2.2. Способы аппроксимации трёхмерных геометрических объектов: а – одной фигурой; б и в – совокупностью фигур

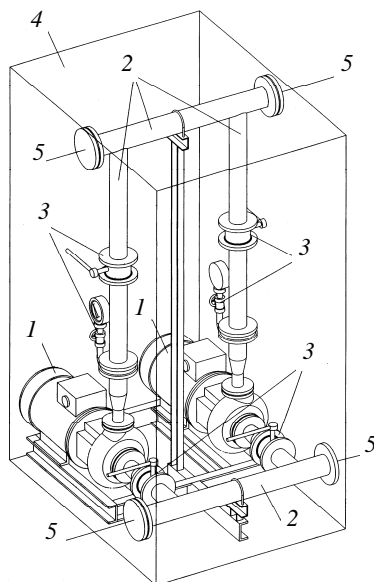


Рис. 2.3. Описание блока насосов с обвязкой:

1 – насос; 2 – трубопровод; 3 – арматура; 4 – параллелепипед, описывающий установку; 5 – точки подвода трубопроводов к установке

Допущение 3. В ряде случаев приходится осуществлять компоновку блоков (рис. 2.3), в состав которых входят разнотипные объекты (аппараты, насосы, трубопроводы, арматура). Компоновку элементов таких блоков будем рассматривать как отдельную задачу. В рамках же общей задачи компоновки такие блоки целесообразно описывать как единый размещаемый элемент.

Допущение 4. Геометрическое описание связующих коммуникаций целесообразно осуществлять с помощью цилиндров, что не вызывает больших сложностей с проверкой условий непересечения объектов. Для связующих коммуникаций, также как и для размещаемых объектов, целесообразно использовать несколько уровней сложности их описания в зависимости от детализации проработки проекта.

При решении задачи размещения оборудования ТС пространственное расположение j -го трубопровода (трассы) $j = 1, 2, \dots, L$ зададим вектором $T_j = (X_{j0}, Y_{j0}, Z_{j0}, X_{j1}, Y_{j1}, Z_{j1}, \dots, X_{jK_j}, Y_{jK_j}, Z_{jK_j})$, где L – число технологических связей между оборудованием; X_{j0}, Y_{j0}, Z_{j0} – координаты начала трассы; $X_{jK_j}, Y_{jK_j}, Z_{jK_j}$ – координаты конца трассы; (X_{jM}, Y_{jM}, Z_{jM}) , $M = \overline{1, K_j - 1}$ – координаты точек изломов трассы; K_j – число прямоугольных фрагментов в трассе j .

При решении задачи трассировки, кроме простого соединения объектов, часто приходится иметь дело с разветвлёнными соединениями. В этом случае целесообразно использовать более детальное описание связующих коммуникаций, основанное на использовании "узлов и участков". Под узлом будем понимать точку пересечения (соединения) двух или более участков связующих коммуникаций с помощью любых из применяемых в промышленности способов их соединения. Под участком будем понимать совокупность всех элементов входящих в состав соединения соединяющего любые два узла. Данный способ описания систем разветвлённых технологических коммуникаций позволяет оперировать всеми её элементами (участками, местами соединения трубопроводов, арматурой и т.д.).

Допущение 5. Металлоконструкции, лестницы и другие строительные элементы, а также зоны обслуживания объектов компоновки, проходы и проезды в цехе будем описывать простейшими геометрическими фигурами (параллелепипед, цилиндр) в зависимости от их конфигурации (рис. 2.4).

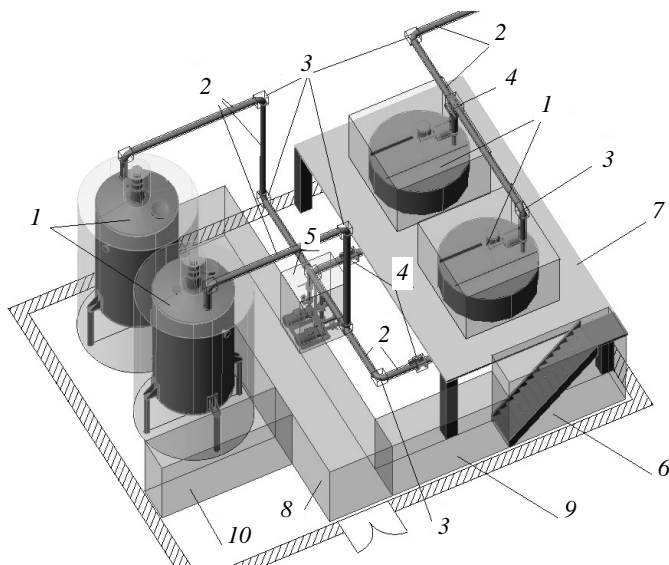


Рис. 2.4. Описание геометрических объектов фрагмента компоновки оборудования:

- 1 – аппараты; 2 – трубопроводы; 3 – соединительные детали трубопроводов (отводы, тройники и т.д.); 4 – трубопроводная арматура; 5 – блок насосов;
6 – лестница; 7 – площадка обслуживания; 8, 9 – проходы;
10 – зона обслуживания аппарата

С учётом введённых допущений задача компоновки оборудования формулируется как: найти

$$h^* = \arg \min \{S(h) | h \in H = m(D)\}, \quad (2.1)$$

где $h = (A, T, S, M, AR)$ – вариант компоновки; $A = \{A_i | i = \overline{1, N}\}$ – вариант размещения оборудования; $T = \{T_j | j = \overline{1, L}\}$ – вариант трассировки трубопроводов; $S = (X_C, Y_C, Z_C)$ – вариант строительной конструкции; $M = \{M_i | i = \overline{1, N}\}$ – вариант металлоконструкций под оборудование; $AR = \{AR_j | j = \overline{1, L}\}$ – вариант расположения трубопроводной арматуры; H – множество допустимых вариантов компоновки; D – множество всех возможных вариантов компоновки; $D = D_{AP} D_{TR} D_S D_M D_{AR}$; $D_{AP} = \{A^{q1} | q1 = \overline{1, |n1|}\}$; $D_{TR} = \{T^{q2} | q2 = \overline{1, |n2|}\}$; $D_S = \{S^{q3} | q3 = \overline{1, |n3|}\}$; $D_M = \{S^{q4} | q4 = \overline{1, |n4|}\}$; $D_{AR} = \{F^{q5} | q5 = \overline{1, |n5|}\}$; $D_{AP}, D_{TR}, D_S, D_M, D_{AR}$ – множества всех возможных вариантов размещения оборудования, трассировки трубопроводов, размеров цеха, внутренних строительных конструкций (металлоконструкций), размещения арматуры; $|n1|, |n2|, |n3|, |n4|, |n5|$ – мощности множеств $D_{AP}, D_{TR}, D_S, D_M, D_{AR}$; m – аналитическая модель проектного решения.

В качестве целевой функции $S(h)$ предложен критерий приведённых затрат, включающий в себя составляющие капитальных (SK) и эксплуатационных (SE) затрат, зависящих от решений по компоновке оборудования:

$$S = SK E_H + SE = \sum_{i=1}^6 SK_i E_H + \sum_{j=1}^3 SE_j; \quad (2.2)$$

$$SK = \sum_{i=1}^I (M_i + MK_i) E_H + (N_{ц3ц} + N_k 3_k) E_H + \sum_{i=1}^I \sum_{j=i}^I \left(R_{ij} \sum_{k=1}^K L_{ijk} C_{ijk} + \beta_{ijk} CT_{ijk} + \sum_{m=1}^M CA_{ijkm} \right) E_H; \quad (2.3)$$

$$SE = \sum_{i=1}^I (CKR_i KR_i + CTR_i TR_i) + \beta_{ijk} NT_{ijk} C \Theta t_{\text{экспл}} + \alpha_{ijk} (Tn_{ijk} - T_{\text{сп}}) \Pi_{ijk} CTT. \quad (2.4)$$

2.3. АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ КОМПОНОВКИ

Аналитическая модель проектного решения компоновки включает следующие блоки ограничений:

Блок 1. Конструкционные ограничения модели:

Ограничение на предельно допустимые размеры цеха:

$$X_{\text{ц}}^{\min} \leq X_{\text{ц}} \leq X_{\text{ц}}^{\max}; \quad Y_{\text{ц}}^{\min} \leq Y_{\text{ц}} \leq Y_{\text{ц}}^{\max}; \quad Z_{\text{ц}}^{\min} \leq Z_{\text{ц}} \leq Z_{\text{ц}}^{\max}. \quad (2.5)$$

Кратность размера цеха размеру строительного модуля:

$$X_{\text{ц}}/n_x = Y_{\text{ц}}/n_y = Z_{\text{ц}}/n_z = \text{const}. \quad (2.6)$$

Размещение оборудования внутри цеха:

$$K(A_i) \in K(X_C, Y_C, Z_C), \quad \forall i \in \overline{1, N}. \quad (2.7)$$

Наличие зон для движения транспортных устройств:

$$L_{C_j^{\text{трансп}}} \geq L_{\min}^{\text{трансп}}, \quad B_{C_j^{\text{трансп}}} \geq B_{\min}^{\text{трансп}}, \quad j \in \overline{1, J_{\text{трансп}}}, \quad (2.8)$$

где L и B – длина и ширина зоны движения.

Наличие зон для ремонта и обслуживания оборудования:

$$C_j^{\text{обслуж}}, \quad j \in \overline{1, J} \quad \text{– количество аппаратов}. \quad (2.9)$$

Зоны свободные от размещаемого оборудования:

$$C_j^{\text{свободн}}, \quad j \in \overline{1, J_{\text{свободн}}} \quad \text{– количество зон}. \quad (2.10)$$

Зоны под каналы для прокладки трубопроводов:

$$C_j^{\text{канал}}, \quad j \in \overline{1, J_{\text{канал}}} \quad \text{– количество зон под каналы}. \quad (2.11)$$

Блок 2. Ограничения на размещение оборудования:

Тяжёлое оборудование размещается, как правило, на нижних этажах:

$$K(A_j) \in K(C_k^{\text{нижн}}), \quad j \in \overline{1, J_{\text{тяж}}}. \quad (2.12)$$

Размещение однотипного оборудования в один ряд:

$$z_{i1} = z_{i2}, (y_{i1} = y_{i2}) \vee (x_{i1} = x_{i2}), \quad \forall i_1, i_2 \in A^{\text{ряд}}. \quad (2.13)$$

Изолированное размещение оборудования:

$$K(A_j) \in K(C_k^{\text{изол}}), \quad j \in \overline{1, J_{\text{изол}}}. \quad (2.14)$$

Фиксация размещения отдельных аппаратов:

$$x_i = \text{const} \wedge y_i = \text{const} \wedge z_i = \text{const}, \quad i \in P^{32}. \quad (2.15)$$

Обеспечение требуемого расстояния между аппаратами:

$$\rho(A_i, A_k) \geq [\rho_1]_{ik}, \quad i \neq k. \quad (2.16)$$

Расстояние между аппаратами и строительными конструкциями:

$$\rho(U_i, SK) \geq [\rho_2]_i, \quad i = 1, 2, \dots, I. \quad (2.17)$$

Блок 3. Ограничения на прокладку трасс трубопроводов:

Ортогональность фрагментов трубопроводов в пространстве:

$$(x_{jn+1} - x_{jn})(y_{jn+1} - y_{jn}) = 0 \vee (x_{jn+1} - x_{jn})(z_{jn+1} - z_{jn}) = 0 \vee \quad (2.18)$$

$$\vee (y_{jn+1} - y_{jn})(z_{jn+1} - z_{jn}) = 0, \quad \forall n \in \{0, 1, \dots, k_i - 1\}, \quad j = 1 \dots L.$$

Прокладка трасс трубопроводов в выделенных зонах:

$$K(T_j) \in K(C^{\text{канал}}) \in K(X_C, Y_C, Z_C), \quad \forall j \in \overline{1, L}. \quad (2.19)$$

Обеспечение зазоров между трассами:

$$\rho(T_i, T_j) \geq [\rho_3]_{ij}, \quad i = 1 \dots L, \quad j = 1 \dots L, \quad i \neq j. \quad (2.20)$$

Расстояние между фрагментами трасс и аппаратами:

$$\rho(A_i, T_j) \geq [\rho_4]_{ij}, \quad i = 1 \dots N, \quad j = 1 \dots L. \quad (2.21)$$

Расстояние между трассами и строительными конструкциями:

$$\rho(C_k^{\text{констр}}, T_j) \geq [\rho_5]_{kj}, \quad k = 1 \dots NK, \quad j = 1 \dots L. \quad (2.22)$$

Блок 4. Технологические ограничения:

Часть оборудования рекомендуется размещать друг над другом:

$$x_{i1} = x_{i2}, \quad y_{i1} = y_{i2}, \quad \forall i_1, i_2 \in A^{\text{стояк}}. \quad (2.23)$$

Изолированное размещение оборудования в отделениях:

$$\rho(A_{j_1}, A_{j_2}) \leq \delta_{\text{отдел}}^{\text{max}}, \quad \forall j_1, j_2 \in A^{\text{отдел}}. \quad (2.24)$$

Ограничение на длину трубопроводов с вязкими жидкостями:

$$\rho(A_{j_1}, A_{j_2}) \leq \delta_{\text{вязк}}, \quad \forall j_1, j_2 \in A^{\text{вязк}}. \quad (2.25)$$

Обеспечение требуемой скорости потока в трубопроводах:

$$\omega_j^H \leq \omega_j \leq \omega_j^B, \quad \forall j = 1 \dots L. \quad (2.26)$$

Ограничение на время загрузки-выгрузки оборудования:

$$\tau_{j\text{min}} \leq \tau_j \leq \tau_{j\text{max}}. \quad (2.27)$$

Обеспечение транспорта самотёком:

$$\Delta Z = z_i - z_j \geq \sum h = h_1 + h_2 = \lambda \frac{L\omega^2}{2dg} + \sum \xi \frac{\omega^2}{2g},$$

$$i = 1 \dots N; \quad j = 1 \dots N; \quad i \neq j. \quad (2.28)$$

Исключение застойных зон:

для жидкостей

$$\min\{z_{jn_1} - z_{jn_2}; z_{jn_3} - z_{jn_2}\} \leq 0; \quad (2.29)$$

для газов

$$\min\{z_{jn_2} - z_{jn_1}; z_{jn_2} - z_{jn_3}\} \leq 0, \quad (2.30)$$

$$\forall j \in M^r, \quad \forall n_1, n_2, n_3 \in \{0, 1, 2, \dots, k_j\} n_1 > n_2 > n_3.$$

Кроме названных условий в эту группу включены условия обеспечения транспорта с помощью насосов и перекачивания, а также условия, обеспечивающие прочность и безопасность оборудования и трубопроводов.

Блок 5. Условия непересечения объектов:

Не пересечение аппаратов друг с другом:

$$K(A_{i1}) \cap K(A_{i2}) = \emptyset, \quad i_1, i_2 = \overline{1, N}; \quad i_1 \neq i_2. \quad (2.31)$$

Непересечение аппаратов со строительной конструкцией:

$$K(A_i) \cap K(C_j^{\text{констр}}) = \emptyset, \quad i = \overline{1, N}; \quad j = \overline{1, J_{\text{констр}}}. \quad (2.32)$$

Непересечение оборудования со вспомогательными:

$$K(A_i) \cap K(C_j^{\text{вспом}}) = \emptyset, \quad i = \overline{1, N}; \quad j = \overline{1, J_{\text{вспом}}}. \quad (2.33)$$

Непересечение трасс друг с другом:

$$K(T_i) \cap K(T_j) = \emptyset, \quad i = \overline{1 \dots L}; \quad j = \overline{1 \dots L}. \quad (2.34)$$

Непересечение трасс с аппаратами:

$$K(T_i) \cap K(A_j) = \emptyset, \quad i = \overline{1 \dots N}; \quad j = \overline{1 \dots L}. \quad (2.35)$$

Непересечение трасс со строительными конструкциями:

$$K(T_j) \cap K(C_k^{\text{констр}}) = \emptyset, \quad j = \overline{1 \dots L}; \quad k = \overline{1 \dots K_{\text{констр}}}. \quad (2.36)$$

Трассы не должны проходить в зонах обслуживания оборудования:

$$K(T_j) \cap K(C_c^{\text{обсл}}) = \emptyset, \quad j = \overline{1 \dots L}; \quad c = \overline{1 \dots C_{\text{обсл}}}. \quad (2.37)$$

И еще ряд других ограничений подобного свойства, описывающих взаимное непересечение объектов компоновки.

Варьируя ограничениями модели (2.5) – (2.37) задачи компоновки и видоизменяя целевую функцию (2.2), можно из исходной постановки получить практически любую частную постановку задачи, встречающуюся на этапе принятия объёмно-планировочных решений производства. Так, задачи размещения оборудования ХТС по этажам или на этажах и задачи трассировки технологических трубопроводов, рассматриваемые далее, получаются путём модификации соответствующих ограничений (2.12) – (2.17) и (2.18) – (2.22) модели задачи компоновки.

Задачи компоновки в многоэтажном промышленном здании и в цехах ангарного типа получаются из исходной путём задания конструктивных ограничений (2.5) – (2.11), соответствующих типу строительной конструкции и частичному видоизменению критерия (2.2).

2.4. МЕТОДОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОМПОНОВКИ

Учитывая, что задача поиска оптимальных компоновочных решений производства – это сложная, многоуровневая, итерационная процедура принятия проектных решений, нельзя рассчитывать на её легкое и однозначное решение. Многими авторами доказано, что подобные задачи относятся к классу NP-полных задач математического программирования. Затраты машинного времени в таких задачах растут в соответствии с $n!$ или e^n , что приводит при сравнительно небольшом увеличении размерности задачи n к резкому его возрастанию, превышающему предел возможностей даже самого современного компьютера. Обычно для задач размещения поиск точного решения возможен лишь для числа размещаемых объектов исчисляемого в 20 – 30 единиц. Лишь в некоторых случаях, когда модель и критерий упрощается, удаётся найти точное решение для большего числа размещаемых объектов. Так, в работе [2] задача сводится к задаче линейного программирования и сообщается о её решении для 30 – 40 объектов.

Поэтому наиболее целесообразным путём решения задачи компоновки является её разбиение на ряд взаимосвязанных задач меньшей размерности, имеющих самостоятельное значение в проектной практике с последующим итерационным решением каждой из них. Решение задачи компоновки предлагается проводить по схеме, приведённой на рис. 2.5.

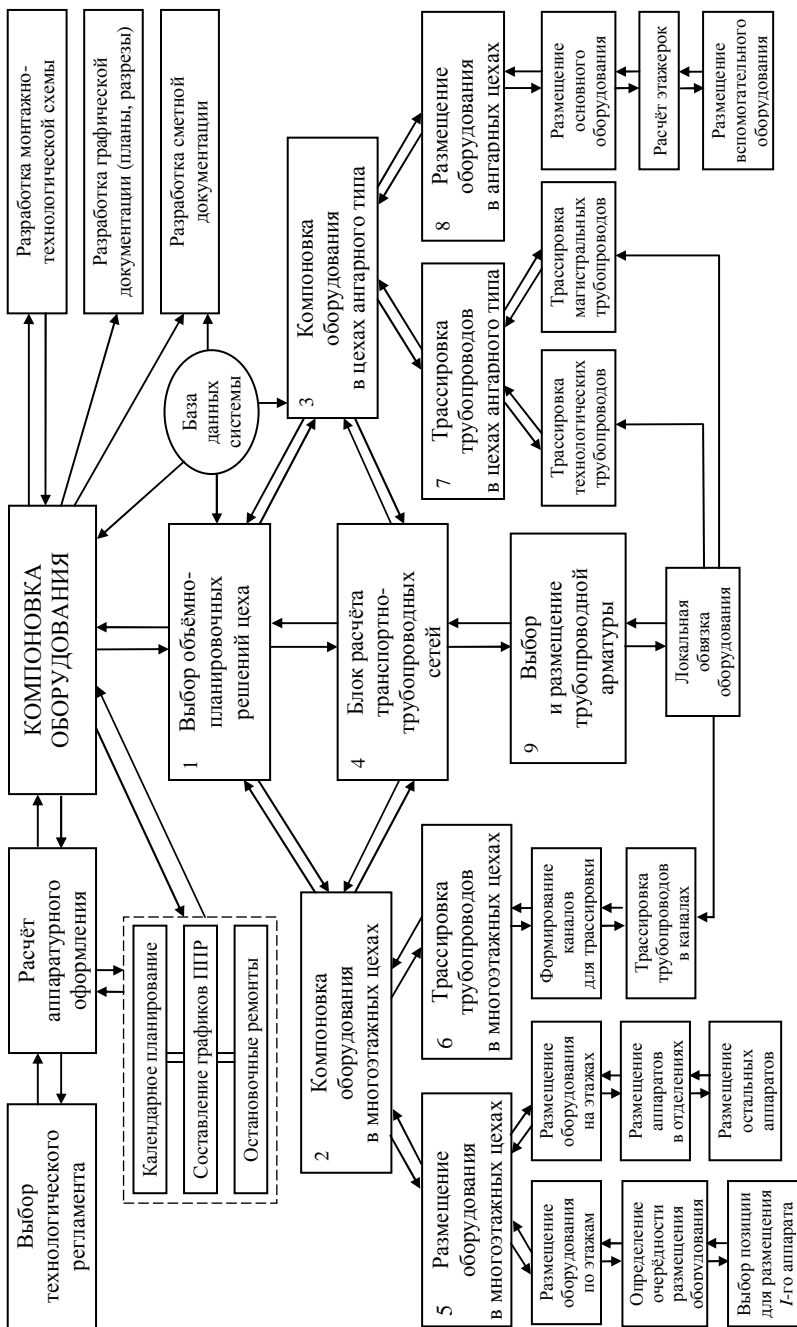


Рис. 2.5. Схема решения задачи компоновки

В блоке 1 на основе анализа исходных данных об оборудовании ХТС, структуре технологических связей между аппаратами схемы, способах транспорта, физико-химических свойствах веществ, данных расчётов материальных балансов, стоимости земли и другой информации, хранящейся в базе данных проекта, определяется тип строительной конструкции, количество помещений, их размер и категоричность.

Основным назначением данного блока является получение оценочных значений размеров производственного помещения. Критерий (2.2) в этом блоке вычисляется по ряду упрощённых эмпирических формул, полученных при исследовании стоимостных составляющих (2.3) и (2.4) критерия (2.2). Так, стоимость трубопроводов на этом этапе не может быть точно определена, так как ещё неизвестны диаметры трубопроводов, расположение оборудования и трасс трубопроводов. Поэтому в качестве оценки длины соединений на этом этапе используются формулы, позволяющие оценить возможную минимальную длину трубопроводов в зависимости от структуры соединений ХТС, типа и размеров строительной конструкции используемой для компоновки. Стоимость строительной конструкции определяется в зависимости от её размеров, этажности, стоимости земли. Общий объём помещения пропорционален объёму, занимаемому оборудованием с учётом зон обслуживания и мест для последующей трассировки трубопроводов.

Далее, в зависимости от принятого решения, решается одна из задач: компоновка оборудования в многоэтажных цехах (блок 2) или задача компоновки в цехах ангарного типа (блок 3). Каждая из этих задач, в свою очередь, разбивается на два блока: размещение оборудования (блоки 5, 8) и трассировки трубопроводов (блоки 6, 7).

Рассмотрим более подробно предлагаемую структуру решения задачи компоновки.

В блоке 1 решается задача выбора объёмно-планировочных решений цеха (задача ОПР). Для вновь проектируемого производства определяется тип строительной конструкции (многоэтажное здание из типовых строительных элементов или здание ангарного типа), габариты производственного здания, состав и размеры технологических отделений проектируемого производства. Для реконструируемых производств определяется пригодность существующей строительной конструкции для размещения в ней оборудования ХТС, определяется состав отделений, их размеры и положение в цехе. Цель задачи ОПР – выбрать из всех приемлемых вариантов строительных решений цеха наиболее подходящие для проектируемого производства.

В состав исходных данных для её решения (координирующий сигнал $K_{\text{ОПР}}$) входят: типы, номера и габариты размещаемых аппа-

ратов, сведения об уже установленном оборудовании, связи каждого аппарата при выпуске разных продуктов (номера аппаратов, подающих сырьё и полуфабрикаты, принимающих продукты их переработки), указания по видам транспорта веществ между аппаратами. Критерий оптимальности решения задачи ОПР – минимальные затраты на строительные конструкции и их монтаж, стоимость земли под застройку, а также затраты на другие составляющие критерия 5 (металлоконструкции, трубопроводы и монтаж оборудования).

Основные ограничения:

- обеспечение возможности размещения оборудования ХТС и трасс технологических трубопроводов в выбранной строительной конструкции;
- обеспечение возможности обслуживания и ремонта оборудования ХТС;
- выполнение требований транспорта веществ по трубопроводам;
- выполнение правил по взрыво-пожарной опасности в производственных помещениях.

Информационного сигнала $I_{\text{ОПР}}$ включает в себя: тип строительной конструкции (ангар или многоэтажное здание), определяющие размеры строительной конструкции (габариты, высоты этажей и шаг сетки колонн), состав технологических помещений и общую стоимость строительной конструкции.

В блоке 2 решается задача компоновки оборудования в многоэтажных производственных зданиях (задача $КО_M$). Целью задачи является определение пространственного расположения оборудования ХТС, трасс технологических трубопроводов и трубопроводной арматуры в производственном помещении. Координирующий сигнал $K_{\text{КО}_M}$ содержит ту же информацию, что и сигнал $K_{\text{ОПР}}$, но тип строительной конструкции, её габариты, а также состав производственных отделений уже известны.

Критерий оптимальности решения задачи $КО_M$ – минимальные затраты на насосы, трубопроводы, трубопроводную арматуру, а также затраты на монтаж оборудования и транспорт веществ по трубопроводам.

Основные ограничения: выполнение правил размещения оборудования (1.12) – (1.17), трассировки трубопроводов (1.18) – (1.22), транспорта (1.23) – (1.31) и размещения трубопроводной арматуры.

Решение этой задачи предлагается выполнить путём итерационного решения задач меньшей размерности, имеющих самостоятельное значение в проектной практике:

- размещение оборудования в многоэтажном производственном помещении (блок 5, задача $РО_M$);

- трассировка трубопроводов в многоэтажном производственном помещении (блок 6, задача ТТ_М);
- расчёт транспортно-трубопроводных сетей (блок 4, задача ТТС);
- выбор и размещение трубопроводной арматуры (блок 9, задача РТА).

Информационный сигнал $I_{КОМ}$ представляет собой объединение информационных сигналов задач нижестоящего уровня: сигналов задачи РО_М, задачи ТТ_М, задача ТТС и задачи РТА. Рассмотрим их подробнее.

Задача РО_М (размещения технологического оборудования в многоэтажном производственном помещении – блок 5) заключается в уточнении этажности и габаритов производственного здания, в нахождении координат размещаемых аппаратов, выборе способа транспорта продуктов и способа установки оборудования.

В состав исходных данных для её решения (координирующий сигнал $K_{РОМ}$) входят: типы, номера и габариты размещаемых аппаратов, сведения об уже установленном оборудовании, связи каждого аппарата при выпуске разных продуктов (номера аппаратов, подающих сырье и полуфабрикаты, принимающих продукты их переработки), указания по способу транспорта веществ между отдельными аппаратами. Критерий оптимальности решения задачи РО_М – минимальный производственный объём, занимаемый размещаемыми аппаратами, минимальные затраты на средства транспортировки веществ и минимальные затраты на монтаж оборудования. Основные ограничения:

- учёт наличия зон, запретных для размещения технологического оборудования (установленное оборудование, строительные конструкции, монтажные проёмы, проезды и проходы, служебные помещения, лифты и лестницы);
- ограничения на взаимное расположение аппаратов с точки зрения допустимых видов транспорта веществ между ними (самотёк);
- указания по размещению однотипных аппаратов (реакционные, фильтровальные, сушильные отделения);
- обеспечение норм обслуживания и ремонта оборудования.

Информационный сигнал $I_{РОМ}$ включает: координаты размещенных аппаратов и их ориентацию в пространстве, координаты расположения штуцеров аппаратов, уточненные сведения о габаритах производственного помещения.

Эти данные вместе с координатами начала и окончания каждого трубопровода, возможными видами транспорта веществ и данными о размещаемой на каждом трубопроводе арматуре, требованиями к ма-

териалу трубопроводов формируют координирующий сигнал $K_{ТТМ}$ для задачи $ТТМ$ (блок 6).

Критерий оптимальности решения задачи $ТТМ$ – минимальные совокупные затраты на технологические трубопроводы, трубопроводную арматуру и транспорт веществ по трубопроводам. Основные ограничения:

- прокладка трасс трубопроводов в пределах разрешённых зон;
- выполнение правил совместной прокладки трубопроводов с повышенным давлением, вакуумом, агрессивными, взрывопожароопасными веществами;
- возможности объединения трасс (общие участки);
- обеспечение правил эксплуатации и ремонта трубопроводов.

Информационный сигнал $I_{ТТМ}$ содержит: результаты решения задачи $ТТМ$ – пространственное расположение трасс всех технологических трубопроводов производства (координаты начал, окончаний и всех промежуточных точек изменения направления трубопроводов), диаметры и материалы трубопроводов, способ транспорта веществ по каждому из них (если не указан заранее), длительности транспортных операций по загрузке-выгрузке оборудования (последние определяются в блоке 4 – расчёта $ТТС$).

В блоке 3 решается задача компоновки оборудования в цехах ангарного типа (задача $КО_A$). Целью задачи является определение пространственного расположения оборудования $ХТС$, расчёт металлоконструкций под оборудование, определение трасс технологических трубопроводов и расположения трубопроводной арматуры в производственном помещении ангарного типа. Координирующий сигнал $K_{КО_A}$ задачи $КО_A$ аналогичен координирующему сигналу $K_{КО_M}$ задачи $КО_M$. Отличие состоит в типе и параметрах строительной конструкции, определённой в задаче $ОПР$.

Критерий оптимальности решения задачи $КО_A$ – минимальные затраты на монтаж оборудования, металлоконструкции, насосы, трубопроводы, трубопроводную арматуру, а также затраты на транспорт веществ по трубопроводам.

Основные ограничения: выполнение правил размещения оборудования, трассировки трубопроводов, транспорта и размещения трубопроводной арматуры в цехах ангарного типа.

Схема решения задачи $КО_A$ аналогична по своей структуре схеме решения задачи $КО_M$. Решаются те же подзадачи, что и в блоке 2:

- размещение оборудования в ангарном цехе (блок 7, задача $РО_A$);

- трассировка трубопроводов в ангарном цехе (блок 6, задача ТТ_А);
- расчёт транспортно-трубопроводных сетей (блок 4, задача ТТС);
- выбор и размещение трубопроводной арматуры (блок 9, задача РТА);
- проектирование и расчёт металлоконструкций под оборудование ХТС (блок 11, задача РМ).

Блок 4 – расчёт транспортно-трубопроводных сетей (задача ТТС) включает в себя комплекс расчётных модулей по определению параметров ТТС: расчёт диаметров трубопроводов, времени транспорта продуктов, выбора способа транспорта веществ, расчёта тепловой изоляции, подбора насосов, расчёта простых и разветвлённых трубопроводов. Координирующий сигнал $K_{ТТС}$ блока ТТС может содержать различную информацию (в зависимости от того, из какого блока пришёл этот сигнал, и в зависимости от того, какую подзадачу из перечисленных выше надо решить).

Информационный сигнал $I_{ТТС}$ содержит всю необходимую информацию о параметрах ТТС, необходимую для решения задач вышестоящего уровня (задачи ОПР, задачи КО_М, задачи КО_А).

Анализ информационного сигнала $I_{ТТС}$ совместно с информационными сигналами других задач может привести к выводу о необходимости изменения ранее принятых решений в задачах вышестоящего уровня. Так, результаты гидравлического расчёта определяют основные параметры трубопроводов, что может привести к изменению проекта трассировки трубопроводов (задачи ТТ_М и ТТ_А), что, в свою очередь, может потребовать изменения решений по размещению оборудования (задачи РО_М и РО_А) и в конечном итоге к пересмотру решений задачи ОПР.

В данной главе рассмотрена постановка общей задачи автоматизированного проектирования компоновок технологического оборудования химических предприятий, включающая решение следующих задач:

- размещение оборудования в многоэтажных производственных помещениях;
- трассировка трубопроводов в многоэтажных производственных помещениях;
- размещение оборудования в цехах ангарного типа;
- трассировка трубопроводов в цехах ангарного типа;
- выбор трубопроводной арматуры.

Получение проектных решений по компоновке основано на использовании разработанных авторами математических постановок, моделей и алгоритмов решения задач размещения оборудования и трассировки технологических трубопроводов в многоэтажных производственных помещениях и цехах ангарного типа [3].

2.5. ВЫБОР ТИПА КОНСТРУКЦИИ ЦЕХА И ВЛИЯНИЕ ЕГО НА КОМПОНОВКУ ОБОРУДОВАНИЯ

Для принятия компоновочных решений большую роль играет выбор конструкции помещений, так как это определяет дальнейший процесс моделирования. Размещение производств может осуществляться на открытых площадках, в многоэтажных зданиях и в зданиях ангарного типа.

С точки зрения автоматизации проектирования производств выбор конструкции цеха (ангарный цех, многоэтажный, размещение производств на открытых площадках) существенно влияет на способы решения данной задачи.

Проектирование производств на открытых площадках применяют в особых случаях, так как повышается износ оборудования, что вызвано систематическим попаданием на технологическое оборудование осадков, перепадами температур. При проектировании колонного оборудования необходим расчёт на ветровую нагрузку и принятие мер для предотвращения опрокидывания оборудования. Ремонт и обслуживание технологического оборудования и трубопроводов также усложняются. Но такой способ иногда необходим, например, в случаях, когда невозможно обеспечить требования по безопасности производств в закрытом помещении.

При компоновке оборудования в многоэтажных производственных зданиях к строительной конструкции предъявляются следующие требования:

- иметь в плане форму прямоугольника;
- монтироваться из унифицированных железобетонных конструкций с шагом сетки колонн 6×6 или 9×9 м;
- высота этажей должна быть кратной 0,6 м, но не менее 3 м;
- ширина многоэтажного здания должна быть не менее 18 м;
- количество этажей определяется характером производства, а также зависит от плана застройки и может меняться;
- для монтажа и демонтажа оборудования в строительной конструкции должны быть предусмотрены постоянные или временные монтажные проёмы.

Одним из недостатков применения многоэтажных цехов является экономическая неэффективность при проектировании производств малой мощности. Часто проектным организациям приходится сталкиваться с проблемой размещения производств в существующих помещениях, изначально проектируемых под производство других отраслей промышленности.

При проектировании производств в ангарных цехах отсутствует дискретность при размещении технологического оборудования, что, с одной стороны, – увеличивает число возможных вариантов компоновки, а, следовательно, даёт возможность найти более оптимальное решение при проектировании, но, с другой стороны, – требует использования новых, более сложных методов и алгоритмов нахождения оптимального решения задачи. Появляются такие подзадачи как определение конфигураций этажерок, лестниц. Так как в ангарных цехах только небольшая часть трубопроводов проходит в специальных каналах, то появляется необходимость решать совместно задачи размещения технологического оборудования и трассировки технологических трубопроводов. При этом необходим учёт возможности прохождения трубопроводов по стенам, под площадками обслуживания, под оборудованием и в ряде других мест, нахождение трасс в которых позволяет осуществить технологический процесс, выдержать все требования нормативной документации, а также обеспечить возможность обслуживания, монтажа и ремонта оборудования и трубопроводов.

С точки зрения пожароопасности в зависимости от перерабатываемых веществ производственные помещения подразделяются на пять категорий: А, Б, В, Г, Д.

В зависимости от категории строительной конструкции цехов также имеют те или иные особенности. Например, на случай аварии для уменьшения разрушений, в помещениях А и Б перекрытия этажей должны иметь взрывные проёмы. Помещения этих категорий лучше размещать у наружных стен.

2.5.1. Постановка задачи выбора объёмно-планировочных параметров цеха

Словесно задачу выбора ОНР цеха можно сформулировать так: *Определить значения объёмно-планировочных параметров типового (многоэтажного) производственного здания и его размеры, при которых затраты на строительную конструкцию и компоновку в ней (с соблюдением всех норм и правил) оборудования ХТС будут минимальны.*

Для формализации задачи введём ряд допущений и обозначений:

1. Строительная конструкция монтируется из унифицированных строительных элементов и имеет в плане форму прямоугольника.
 2. Величина шага сетки колонн для многоэтажного цеха равна 6.
 3. Максимальное число этажей в многоэтажной строительной конструкции – 5.
 4. Допускается наличие секций разной этажности.
 5. Максимальная высота одноэтажного цеха не превышает 18 м.
- Информационные и управляющие сигналы задачи представлены на рис. 2.6.

Исходные данные для задачи выбора ОНР (координирующий сигнал $K_ОНР$) включают:

- информацию об оборудовании ХТС:

$$AP = \left\{ AP_i = \left(\text{хар}_i, \text{уар}_i, \text{зар}_i, \text{лар}_i^x, \text{лар}_i^y, \text{лар}_i^z, \text{мар}_i \right), i = 1 \dots NA \right\},$$

где AP_i – совокупность параметров, описывающих информацию об аппарате с номером i ; NA – общее число оборудования ХТС в цехе; $\text{хар}_i, \text{уар}_i, \text{зар}_i$ – координаты расположения оборудования в цехе (в данной задаче неизвестны); $\text{лар}_i^x, \text{лар}_i^y, \text{лар}_i^z$ – размеры параллелепипеда, описывающего i -й аппарат по осям X, Y, Z ; мар_i – вес аппарата;

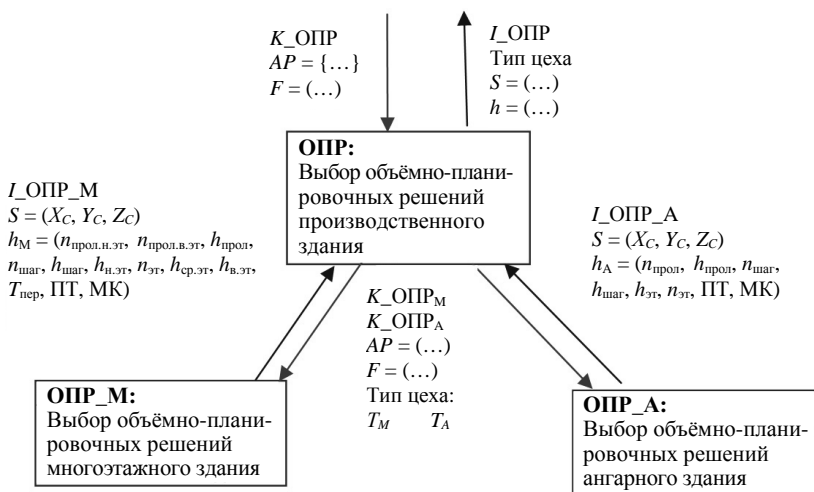


Рис. 2.6. Информационные и управляющие сигналы задачи выбора ОНР

– информацию о структуре технологических связей и данные о физико-химических свойствах веществ, транспортируемых по трубопроводам:

$$F = f_{10 \times L} = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1l} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2l} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{101} & f_{102} & \dots & f_{10l} \end{pmatrix} \text{ – матрица связей,}$$

где f_{1l} – номер аппарата источника связи l ; f_{2l} – номер аппарата приёмника связи l ; f_{3l} – стоимость связи l ; f_{4l} – способ транспорта по связи l ;

1 – самотёк при периодической работе аппаратов;

2 – самотёк при непрерывной работе аппаратов;

$f_{4l} = 3$ – транспортировка с помощью насоса;

4 – передавливание;

5 – транспорта сыпучих материалов;

$f_{5l} - f_{10l}$ – физико-химические свойства веществ транспортируемых по трубопроводам и параметры трубопроводов ($p, t, \gamma, \rho, \mu, d, \Delta$ – давление, температура, удельный вес, плотность, динамическая вязкость, диаметр, шероховатость); L – общее число связей между аппаратами.

Выходные данные задачи выбора ОНР (информационный сигнал $I_{\text{ОНР}}$) содержат сведения о следующих параметрах:

– тип цеха (многоэтажный или ангарный);

– информацию о размерах цеха:

$S = (X_{\text{ц}}, Y_{\text{ц}}, Z_{\text{ц}})$ – габаритные размеры цеха (длина, ширина, высота);

– информацию об объёмно-планировочных параметрах цеха:

а) для многоэтажного цеха:

$$h_{\text{М}} = (n_{\text{прол.н.эт}}, n_{\text{прол.в.эт}}, h_{\text{прол}}, n_{\text{шагов}}, h_{\text{шага}}, h_{\text{н.эт}}, n_{\text{эт}}, h_{\text{ср.эт}}, h_{\text{в.эт}}, T_{\text{пер}}, \text{ПТ}, \text{МК}),$$

где $n_{\text{прол}}$ – число пролётов; $h_{\text{прол}}$ – ширина одного пролёта; $n_{\text{шагов}}$ – число шагов; $h_{\text{шага}}$ – ширина одного шага; $h_{\text{н.эт}}$ – высота нижнего этажа; $n_{\text{эт}}$ – число этажей; $h_{\text{ср.эт}}$ – высота средних этажей; $h_{\text{в.эт}}$ – высота верхнего этажа; $T_{\text{пер}}$ – тип перекрытия; ПТ – наличие в цехе подвесного транспорта; МК – наличие в цехе мостового крана;

$ПТ = \begin{cases} 1 - \text{подвесной транспорт используется;} \\ 0 - \text{подвесной транспорт не используется.} \end{cases}$

$МК = \begin{cases} 1 - \text{мостовой кран используется;} \\ 0 - \text{мостовой кран не используется.} \end{cases}$

б) для ангарного цеха:

$$h_A = (n_{\text{прол.}}, h_{\text{прол.}}, n_{\text{шагов}}, h_{\text{шага}}, n_{\text{ур.}}, ПТ, МК),$$

где $n_{\text{прол}}$ – число пролетов; $h_{\text{прол}}$ – ширина одного пролета; $n_{\text{шагов}}$ – число шагов; $h_{\text{шага}}$ – ширина одного шага; $n_{\text{ур}}$ – число уровней металлоконструкции; ПТ – наличие в цехе подвешенного транспорта; МК – наличие в цехе мостового крана.

2.5.2. Аналитическая модель задачи выбора объёмно-планировочных параметров цеха

Основные соотношения модели включают:

1. Ограничения на размеры цеха:

– предельно допустимые размеры цеха:

$$X_{\min} \leq X_{\text{ц}} \leq X_{\max}; \quad Y_{\min} \leq Y_{\text{ц}} \leq Y_{\max}; \quad Z_{\min} \leq Z_{\text{ц}} \leq Z_{\max}; \quad (2.38)$$

– минимальная высота цеха:

$$Z_{\min} \geq \max la_p^z \quad p = 1, \dots, NA; \quad (2.39)$$

– высота цеха с учётом транспорта веществ: пусть $A^j = \{A_i^j | i = 1, 2, \dots, l_j\}$ подмножество аппаратов, объединённых следующими правилами:

а) $\forall A_i^j, A_{i+1}^j \in A^j \exists, 0 \leq p \leq L, f_{1p} = A_i^j, f_{2p} = A_{i+1}^j \wedge f_{4p} = 1;$

б) $\forall l(l = \overline{1, L}), f_{4l} = 1, f_{1l} \neq A_i^j, f_{2l} \neq A_1^j, \text{ тогда } Z_{\min} \geq \sum_{i \in A^j} la_i^z. \quad (2.40)$

Зависимость размеров цеха от основных объёмно-планировочных параметров цеха:

$$X_{\text{ц}} = n_{\text{шагов}} h_{\text{шага}}; \quad Y_{\text{ц}} = n_{\text{прол}} h_{\text{прол}}; \quad Z_{\text{ц}} = h_{\text{ниж.эт}} + \sum_2^{n_{\text{эт}}-1} h_{\text{ср.эт}} + h_{\text{в.эт}}; \quad (2.41)$$

– площадь цеха:

$$\sum_{p=1}^{NA} (la_p^x + 2\delta_p^x)(la_p^y + 2\delta_p^y) + 2\Delta x Y_{ц} + 2\Delta y X_{ц} + k\beta_x \beta_y \leq X_{ц} Y_{ц} n_{эт}; \quad (2.42)$$

– объём цеха:

$$X_{ц} Y_{ц} Z_{ц} \geq k' \sum_{p=1}^{NA} V_p + \sum_{m=1}^M V_m. \quad (2.43)$$

2. Ограничения на определяемые объёмно-планировочные параметры строительной конструкции цеха:

– количество этажей в цехе:

$$2 < n_{эт} \leq 4, \text{ если } (n_{прол} = 2) \wedge (h_{шага} = 6) \wedge (h_{прол} = 6) \vee \\ 2 < n_{эт} \leq 5, \text{ если } n_{прол} > 2; \quad (2.44)$$

– число пролетов в цехе:

$$(n_{прол} = 2 \wedge h_{прол} = 9) \vee (n_{прол} = 3 \wedge h_{прол} = 6) \text{ при } МК = 1; \quad (2.45)$$

– использование в цехе подвешенного транспорта и мостового крана:

$$(h_{в.эт} = 10,8) \wedge (h_{прол.в.эт} = 18) \text{ при } МК = 1; \\ (h_{в.эт} = 7,2) \wedge (h_{прол.в.эт} = 18) \text{ при } ПТ = 1; \quad (2.46)$$

– высота этажей:

$$h_{н.эт} \in (3; 6; 4; 8; 6; 7,2); \quad h_{ср.эт} \in (3,6; 4,8; 6); \\ h_{в.эт} \in (3,6; 4,8; 6; 7,2; 10,8); \quad (2.47)$$

– тип перекрытия:

$$T_{пер} = 1, \text{ если } (h_{шага} = 6) \wedge (h_{прол} = 9) \wedge (h_{эт} = 3,6) \vee \\ T_{пер} = 2, \text{ если } МК = 1; \quad (2.48)$$

$$T_{пер} \in (1,2) \text{ при } (h_{шага} = 6) \wedge (h_{прол} = 6) \wedge МК = 0.$$

В качестве целевой функции $I(T, S, h)$ задачи выбора ОПР приняты капитальные затраты на проектируемый объект. Составляющими критерия являются стоимости: металлоконструкции для монтажа оборудования внутри цеха ($I_{метал}$), земли под цех ($I_{земли}$), строительной конструкции ($I_{стр}$), монтажа оборудования внутри цеха ($I_{монт}$), технологических трубопроводов ($I_{труб}$), насосов для транспорта веществ по трубопроводам ($I_{нас}$):

$$I(T, S, h) = I_{\text{метал}} + I_{\text{змли}} + I_{\text{стр}} + I_{\text{монт}} + I_{\text{труб}} + I_{\text{нас}}. \quad (2.49)$$

С учётом изложенного выше задача выбора ОНР цеха формулируется так: определить тип цеха, габариты цеха $S = (X_{\text{ц}}, Y_{\text{ц}}, Z_{\text{ц}})$, а также его объёмно-планировочные параметры:

$$h_{\text{М}} = (n_{\text{прол.н.эт}}, n_{\text{прол.в.эт}}, h_{\text{прол}}, n_{\text{шагов}}, h_{\text{шага}}, h_{\text{н.эт}}, n_{\text{эт}}, h_{\text{ср.эт}}, h_{\text{в.эт}}, T_{\text{пер}}, \text{ПТ}, \text{МК})$$

или $h_{\text{А}} = (n_{\text{прол}}, h_{\text{прол}}, n_{\text{шагов}}, h_{\text{шага}}, n_{\text{ур}}, \text{ПТ}, \text{МК})$, при которых критерий (2.50) достигает минимума, при выполнении ограничений математической модели (2.37) – (2.50).

Так как при решении задачи выбора ОНР цеха размещение оборудования (координаты xar_i, yar_i, zar_i аппаратов) ещё не известны, поэтому при расчёте длины соединений $\rho(f_{1l}, f_{2l})$ между аппаратами ХТС используются нижние оценки длины соединений между размещаемыми объектами, которые зависят от размеров строительной конструкции, сложности соединений оборудования ХТС. Методика расчёта нижней оценки длины соединений основана на использовании аппарата теории графов и заключается в следующем: все размещаемые объекты и связи между ними представлены в виде графа $G = (X, U)$. Сначала подсчитывается число вершин и рёбер графа G . Далее в координатной сетке G_r строится стандартный граф $G_{\Delta} = (X_{\Delta}, U_{\Delta})$, имеющий такое же число вершин и рёбер, как и граф G . Построение ведётся путём последовательного помещения в сетку сначала всех рёбер G_{Δ} , длина которых равна 1. Если число рёбер графа G_{Δ} с длиной 1 равно или больше числа рёбер графа G , то процесс построения заканчивается. В противном случае последовательно добавляются рёбра с длинами 2, 3 и далее до тех пор, пока общее число рёбер графа G_{Δ} не станет равным числу рёбер графа G . Затем производится ранжирование рёбер графа G по весам таким образом, что $\varphi(U_i) \geq \varphi(U_i + 1) \forall i = \overline{1, l}$, где $\varphi(U_i)$ – вес U_i -го ребра, длина которого равна 1 и эти веса приписываются ребрам графа G_{Δ} в соответствии с порядком построения его рёбер. Подсчитав суммарную стоимость рёбер графа G_{Δ} , получим нижнюю оценку минимальной суммарной длины для графа G :

$$I(G_{\Delta}) = \sum_{j=1}^{m1} \varphi(U_j) + 2 \sum_{j=1}^{m2} \varphi(U_{m1+j}) + k \sum_{j=1}^{mk} \varphi(U_{m1+m2+\dots+mk-1+j}). \quad (2.51)$$

Процедурная модель выбора ОНР производства основана на генерации допустимых (в соответствии с ограничениями модели (2.37) – (2.50)

вариантов цеха и выбора из них лучшего по критерию (2.51). Информационной основой для генерации вариантов цеха является база данных типовых ОНР производства.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие задачи, связанные с компоновкой оборудования, чаще всего решаются на производстве?
2. Какие критерии используются при автоматизированном решении задач компоновки?
3. Как принятые допущения при постановке задачи отразятся на конечном решении?
4. Какие факторы определяют расположение оборудования по высотным отметкам?
5. Какие алгоритмы и почему наиболее приемлемы при автоматизированном решении задач компоновки в многоэтажных производственных помещениях?
6. Перечислите основные объёмно-планировочные решения цеха и их отличия.
7. В каких зонах осуществляется прокладка трасс трубопроводов по этажам и на этажах цеха в многоэтажных цехах?
8. Какова роль человека при автоматизированном решении задач выбора объёмно-планировочных решений цеха?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 2

1. Информационные технологии при проектировании и управлении техническими системами : учебное пособие : в 4 ч. / В.А. Немтинов, С.В. Карпушкин, В.Г. Мокрозуб [и др.]. – Тамбов : Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина, 2010. – Ч. 1. – 168 с.
2. General mathematical programming approach for process plant layout / Michael C. Georgiadis, Gordian Schilling, Guillermo E. Rotstein, Sandro Macchietto // Computers and Chemical Engineering. – 1999. – № 23. – P. 823 – 840.
3. Егоров, С.Я. Аналитические и процедурные модели компоновки оборудования промышленных производств : монография / С.Я. Егоров. – М. : "Издательство Машиностроение-1", 2007. – 104 с.

УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМНЫМИ И КОНСТРУКТИВНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Задача поиска наилучших конструктивных и режимных характеристик технологического оборудования является актуальной при разработке любой технической системы в любой прикладной области. При этом целью определения наилучших сочетаний конструктивных и режимных характеристик технического объекта является создание оптимальных условий для протекания технологического процесса в технической системе.

Таким образом, характеристики протекающих в технической системе технологических процессов являются функциями, а конструктивные и режимные характеристики – аргументами, определяющими вид этих функций. Отсюда следует чрезвычайно важный вывод – рассматривать задачи поиска конструктивных и режимных характеристик технологического оборудования, а тем более ставить задачи поиска их оптимальных значений, без учёта протекающих в оборудовании технологических процессов невозможно. Невозможно также и осуществлять раздельную постановку и решение задач поиска конструктивных и режимных характеристик технологического оборудования.

Тем не менее, раздельная постановка и решение таких задач осуществлялись до середины прошлого века и даже позднее. Кроме того технологи в различных прикладных областях в своих исследованиях чаще всего ограничивались выдачей технологического регламента, в лучшем случае на уровне опытной полупромышленной установки, а часто просто лабораторным регламентом. В этих регламентах давались рекомендации (пожелания) о видах технологического оборудования, структуре технологической системы, определяющих режимных условиях протекания процессов в аппаратах, возможных интервалах изменения режимных характеристик.

На этом связь технологов с проектантами технической системы, в которой реализовывался технологический процесс, обрывалась, а если и были какие-либо контакты, то только по инициативе проектировщиков.

Появились даже такие направления деятельности, как конструктор в области химических производств, основное назначение которого

сводилось к определению ряда вспомогательных конструктивных параметров и проведении с их учётом прочностных расчётов, которые были названы поверочными.

Все эти действия были бы не так критикуемы, если бы при постановке и решении таких задач было бы оговорено, что это локальная задача, которая находится в системе разработки оптимальных режимных и конструктивных характеристик сложной технической системы, ориентированной на выпуск определённого вида продукции с заданными характеристиками. Что кроме рассматриваемой исследователем (проектировщиком) частной локальной задачи существуют другие локальные задачи, которые взаимосвязаны, и частное решение каждой зависит от решения других задач системы.

При разработке технических систем в химической технологии увязку между собой таких локальных задач осуществлял главный инженер проекта (ГИП), в других прикладных областях, например, в самолётостроении – главный конструктор, но это не означало, что деятельность конструктора в области самолётостроения сводилась к изготовлению технической документации и проведению поверочных прочностных расчётов. Здесь и далее слова "конструктор" и "проектировщик" будут рассматриваться как синонимы.

Возникла необходимость научного обоснования формирования таких систем. Ряд исследователей поспешили назвать их информационными, а так как конечные результаты проектирования в настоящее время всегда определяются с помощью средств вычислительной техники, то эту терминологию расширили – автоматизированные информационные системы. При этом были "потеряны" или отошли на второй план такие вопросы: как осуществить изучение и провести формализацию (математическую формулировку) процессов, протекающих в объекте проектирования (конструирования), как и почему нужно представлять решаемую проблему в виде системы взаимосвязанных локальных задач, как осуществляется постановка и решение каждой локальной задачи и как проводится упорядочивание этих решений. И, конечно, какова роль современных информационных технологий и средств вычислительной техники при проектировании технических систем.

Далее будут рассмотрены вопросы поиска (конструирования, проектирования) режимных и конструктивных характеристик технической системы в области химической технологии, учитывающих современное состояние науки.

3.1. ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ И РЕЖИМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Под технической системой применительно к области химической технологии будем понимать систему технологического оборудования, установку (основной аппарат и вспомогательное оборудование), отдельный технологический аппарат, его узел. Конструктивные и режимные характеристики технической системы определяются исходя из оптимальных условий протекания технологического процесса, который осуществляется в технической системе. Технологический процесс, как правило, состоит из совокупности локальных процессов, порождающих распределение концентраций, температур, напряжений, скоростей движения сред и тому подобных по пространственным координатам элементов технической системы и изменения этих характеристик во времени. Естественно, что протекание таких процессов ограничивается допустимыми интервальными оценками, число сочетаний допустимых конструктивных и режимных характеристик технической системы при этом огромно. А проектировщику необходимо получение только одного, зато самого лучшего сочетания. Очевидно, что получение такого результата возможно только в случае решения задачи совместного поиска режимных и конструктивных характеристик технической системы в форме экстремальной задачи с применением методов математического моделирования, системного анализа, современных информационных технологий и средств вычислительной техники.

Исходя из вышеизложенного, принципы определения конструктивных и режимных характеристик технической системы сводятся к следующему:

- поиск конструктивных и режимных характеристик технической системы должен осуществляться совместно;
- постановка исходной (глобальной) задачи поиска режимных и конструктивных характеристик технической системы должна быть сформулирована в терминах экстремальных задач;
- поиск оптимальных режимных и конструктивных характеристик объекта проектирования должен осуществляться с применением метода математического моделирования;
- исходная (глобальная) задача поиска режимных и конструктивных характеристик, за исключением простейших случаев, должна быть декомпозирована в систему взаимосвязанных локальных задач,

при этом декомпозиция целиком зависит от проектировщика (главного инженера проекта);

- системный подход, используемый при поиске режимных и конструктивных характеристик технической системы, по желанию проектировщика может быть реализован или в форме многоуровневой иерархической системы, или в форме блок-схемы;

- постановка каждой локальной задачи полученной системы должна (по крайней мере крайне желательно) быть осуществлена в форме экстремальной задачи;

- при постановке каждой локальной задачи системы следует выяснить: какие процессы в локальном объекте нужно учитывать при построении его математической модели, какова область определения математической модели объекта, какие режимные и конструктивные характеристики объекта находятся в результате решения задачи, какой вид критерия оптимальности;

- формирование исходной информации для каждой локальной задачи в соответствии с принятой системой декомпозиции осуществляется с использованием современных информационных технологий.

Реализация перечисленных выше принципов определения конструктивных и режимных характеристик технических систем в области химической технологии позволяет учесть опыт проектировщиков, современное состояние науки и технические возможности проведения расчётов.

3.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОИСКА РЕЖИМНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Как было указано выше, решить "в лоб" задачу поиска режимных и конструктивных характеристик удаётся только в исключительно редких случаях. Обычно поставленную задачу декомпозируют на ряд взаимосвязанных локальных задач [1]. Примером может служить система локальных задач проектирования многоассортиментного малотоннажного химико-технологического производства.

Система локальных задач представляется в виде многоуровневой иерархической системы, где решение каждой локальной задачи осуществляется в соответствии с принципами, изложенными выше. В соответствии с теорией иерархических многоуровневых систем задачи одного уровня не связаны непосредственно друг с другом. Связь между задачами одного уровня осуществляется через координирующий сигнал, поступающий с вышестоящего уровня к каждой из локальных

задач. Результаты решения каждой локальной задачи, поставленной в экстремальной форме с учётом соответствующего координирующего сигнала, подаются на вышестоящий уровень. Этот сигнал носит название информационного. Информационные сигналы всех задач нижнего уровня обрабатываются на вышестоящем уровне, что позволяет получить значение критерия оптимальности задачи верхнего уровня. Координирующие сигналы для каждой задачи нижнего уровня фактически осуществляют связь задач нижнего уровня между собой и определяют их взаимосвязанное решение, доставляющее экстремум критерия задачи верхнего уровня. Процесс решения в двухуровневой системе завершается, когда на двух соседних итерациях решения локальных задач не будут отличаться на величину, называемую точностью проведения расчёта (поиска режимных и конструктивных характеристик задач двухуровневой системы).

Описание процессов, протекающих в технических системах, базируются на фундаментальных законах в конкретных прикладных областях. Так, химические превращения описываются с помощью закона действующих масс и закона Аррениуса, тепловые процессы – с помощью закона Фурье – Кирхгоффа, течения сред – с помощью закона Навье – Стокса и т.п.

Указанные выше законы могут быть представлены как в своей базовой форме, так и в упрощённых вариантах, в зависимости от того, какие допущения были приняты при постановке задачи.

Постановка задачи проектирования является техническим заданием на разработку математической модели проектируемого объекта. Этот этап в определении режимных и конструктивных характеристик технической системы является наиболее ответственным и сложным. Могут возникнуть ситуации, когда процессы в объекте проектирования недостаточно исследованы. В этом случае необходимо проведение дополнительных исследований, часто с использованием физических моделей, что требует значительных затрат времени и средств. И то, и другое отодвигает сроки завершения проектных работ. В этом случае проектировщику приходится прибегать к помощи экспертов, использованию наиболее близких аналогичных проектных решений, получая при этом не оптимальные, а условно-оптимальные решения, которые включают в себя, например, мнение экспертов, лучше экспертных систем. Так получают не системы автоматизированного проектирования в "чистом" виде, а система, которая обеспечивает поддержку принятия решений.

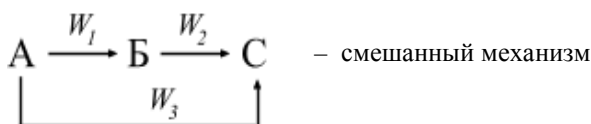
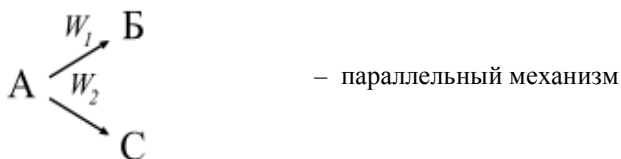
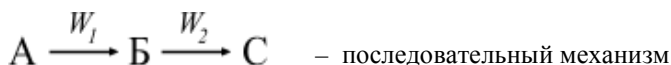
Для корректного применения методов математического моделирования, системного анализа, теории оптимизации проектант (иссле-

дователь) должен обладать достаточно высокой теоретической подготовкой [2 – 5]. Если указанный выше уровень знаний должен быть при работе в любой предметной области, то без должной подготовки в конкретной предметной области, без умения ставить задачи в этой области и доводить результаты их решения до практического применения, использование самых современных подходов приводит к некорректным, а часто и просто ошибочным результатам. Поэтому специалист в области определения конструктивных и режимных характеристик технологического оборудования должен иметь достаточно хорошую технологическую подготовку в предметной области, в нашем случае – химической технологии, уметь ставить задачи поиска различных конструктивных и режимных характеристик технического объекта, использовать математическое моделирование в полном соответствии с поставленной задачей, оптимальное управление и системный анализ. Очевидно, что решение проектных задач должно осуществляться с применением современных информационных технологий и средств вычислительной техники.

3.3. ПОИСК ОСНОВНЫХ РЕЖИМНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рассмотрим определение конструктивных и режимных характеристик на примере трубчатого реактора с неподвижным слоем катализатора.

В общем случае в реакторе может осуществляться получение целевого продукта по трём кинетическим механизмам – последовательному, параллельному и смешанному:



Здесь А, Б, С – реагенты; W_1, W_2, W_3 – скорости химических реакций по маршрутам кинетического механизма. При этом А – сырьё; Б, С – получаемые продукты, один из которых может быть целевым, а другой побочным.

Рассмотрим ситуацию, когда целевой продукт С. В случае последовательного кинетического механизма следует поддерживать скорости W_1 и W_2 на предельном максимальном значении. В случае параллельного механизма скорость реакции W_2 должна быть максимальной, W_1 – минимальна. В случае смешанного механизма все скорости W_1, W_2, W_3 должны быть максимальны для получения максимальной концентрации целевого продукта на выходе реактора.

Если целевым продуктом будет продукт Б, то ситуация будет следующая:

а) в последовательном механизме скорость W_1 – максимальна, а W_2 – минимальна;

б) в параллельном механизме W_1 – максимальна, W_2 – минимальна;

в) в смешанном механизме W_1 – максимальна, а W_2 и W_3 – минимальны.

В соответствии с законом действующих масс скорость химической реакции имеет следующий вид:

$$W = K \prod_{i=1}^n c_i^{v_i},$$

где K – константа скорости; $K = K_0 \exp\left(\frac{-E}{RT}\right)$ – уравнение Аррениуса;

c_i – концентрация i -го реагента; v_i – стехиометрический коэффициент; n – число реагентов; K_0 – предэкспоненциальный множитель; T – температура, К; R – универсальная газовая постоянная; E – энергия активации. Значения E, K_0, v носят название кинетических констант реакции.

Из закона действующих масс следует, что повлиять на скорость химической реакции можно, изменяя температуру в зоне реакции и концентрацию реагентов. На избирательность протекания химических реакций оказывает влияние катализатор, помещённый в трубное пространство реактора.

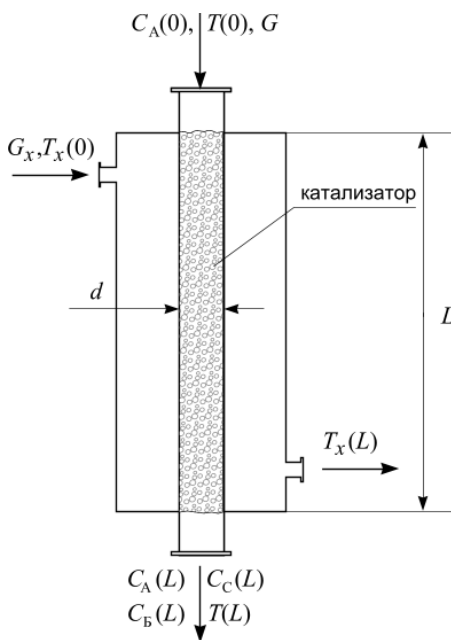


Рис. 3.1. Схема трубчатого реактора

В упрощённом виде конструкция трубчатого реактора имеет вид, представленный на рис. 3.1.

Трубка внутренним диаметром d помещена в рубашку, через которую прокачивается хладо(тепло)агент. На вход реактора поступает сырьё $C_A(0)$ с температурой $T(0)$ и расходом G . Длина трубки L , $0 \leq l \leq L$, l – текущая длина. $G_x, T_x(0)$ – расход и начальная температура хладо(тепло)агента на входе в реактор.

Определению подлежит величина

$$d, L, G, T(0), C_A(0), G_x(0), T_x(0) .$$

Здесь d, L – конструктивные параметры; остальные – режимные.

В процессе химических превращений температуры T и T_x и концентрации реагентов изменяются по длине реакционной зоны. Изменениями концентраций и температур по радиусу трубки можно пренебречь, так как величина $L/d > 100$, т.е. правомочен режим идеального вытеснения.

Качество выбора конструктивных и режимных характеристик реактора будем оценивать по величине выхода целевого продукта, т.е. $C_B(L)$. В приведённом примере рассматривается случай, когда целевой продукт Б, а кинетический механизм – смешанный. Это самый сложный случай. По такому механизму получают малеиновый ангидрид, монометиланилин и ряд других продуктов.

В рассматриваемом случае скорость образования целевого продукта будет равна $W_1 - W_2$, а скорость расходования сырья будет $W_1 + W_3$.

В этом случае постановка задачи поиска оптимальных значений конструктивных и режимных характеристик трубчатого реактора сводится к виду:

- необходимо найти такие $d, L, C_A(0), G, T(0), T_x(0), G_x$, что критерий оптимальности $I = C_B(L)[d, L, C_A(0), G, T, T_x(0), G_x]$ достигает максимума при выполнении условий типа равенств и неравенств, т.е. условий математической модели.

Рассмотрим вид этих условий. Искомые параметры из условий физической реализуемости должны быть ограничены:

$$\begin{aligned}
 d_{\min} &\leq d \leq d_{\max}; \\
 L_{\min} &\leq L \leq L_{\max}; \\
 C_A(0)_{\min} &\leq C_A(0) \leq C_A(0)_{\max}; \\
 G_{\min} &\leq G \leq G_{\max}; \\
 T(0)_{\min} &\leq T(0) \leq T(0)_{\max}; \\
 T_x(0)_{\min} &\leq T_x(0) \leq T_x(0)_{\max}; \\
 G_{x_{\min}} &\leq G_x \leq G_{x_{\max}}.
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Все три реакции экзотермичны, при превращении (расходование, получении) одного моля реагента образуется Q_i количество тепла, $i = \overline{1,3}$. Таким образом, в процессе получения вещества Б в реакционной зоне имеются внутренние источники тепла.

С учётом принятых допущений уравнения, описывающие изменение концентраций и температур в зоне реакции и межтрубном пространстве можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{dC_A(l)}{dl} &= -\frac{S_0 F}{G} (W_1 + W_3); \\ \frac{dC_B(l)}{dl} &= \frac{S_0 F}{G} (W_1 - W_2); \\ \frac{dT(l)}{dl} &= -\frac{S_0 F}{G C} \sum_{i=1}^3 W_i Q_i - \frac{K_T \Pi}{G C} (T - T_x); \\ \frac{dT_x(l)}{dl} &= \frac{K_T \Pi}{G_x C_x} (T - T_x); \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$C_A(0) = C_{A0}; \quad C_B(0) = 0; \quad T(0) = T_0; \quad T_x(0) = T_{x0}; \quad 0 \leq l \leq L;$$

$$W_1 = K_1 \frac{C_B^\gamma}{1 + b C_A^c}; \quad W_2 = K_2 C_A; \quad W_3 = K_3 \frac{C_B^\gamma}{1 + b C_A^c};$$

$$K_i = K_{i0} \exp\left(\frac{-E_i}{RT}\right) \quad i = \overline{1,3}.$$

где C, C_x – теплоёмкость сырья и хладоагента; K_T – коэффициент теплопередачи; c, γ, v – порядки реакций; F – площадь поперечного сечения трубки реактора; S_0 – удельная поверхность катализатора; b – константа. Для решения уравнений может быть использован метод Эйлера или Рунге-Кутты.

Таким образом математическая модель трубчатого реактора с последовательно-параллельным кинетическим механизмом получения целевого продукта Б, предназначенная по постановке задачи для поиска основных конструктивных и режимных характеристик аппарата, может быть представлена системой (1,2).

Формализованная постановка задачи поиска режимных и конструктивных характеристик реактора выглядит так:

- необходимо найти такие $d, L, n, C_A(0), G, T(0), T_x(0), G_x$ что критерий оптимальности $I = C_B(L)[d, L, n, C_A(0), G, T(0), T_x(0), G_x]$ достигает максимума при выполнении условий (3.1), (3.2). Здесь n – число трубок реактора, которое определяет его производительность.

Далее расчёт будет осуществляться для одной трубки.

Поставленная задача относится к классу задач нелинейного программирования и может решаться одним из градиентных или безградиентных методов.

Для удобства дальнейшего изложения назовём эту задачу задачей реализации. Результаты решения задачи реализации находят практическое применение при дальнейшей проработке условий функционирования реактора.

Возникает вопрос: полученное при решении задачи реализации решение действительно самое лучшее?

Чтобы ответить на этот вопрос, который будет крайне интересовать проектировщика, необходимо поставить задачу теоретической оптимизации трубчатого реактора, т.е. получения верхней оценки решения задачи.

Отметим ещё раз, что управлять скоростями химических реакций можно, только изменяя температуру и концентрации реагентов при выбранном катализаторе. Уравнения тепловых балансов в зоне реакции и в рубашке составлены исходя из реальных условий – наличия подводимого с теплоносителем тепла, внутренних источников тепла, величины коэффициента теплопередачи и т.п.

Сделаем допущение, что температура $T(l)$ в зоне реакции независимая величина, ограниченная сверху термостойкостью катализатора и металла трубки, а снизу – целесообразностью протекания процессов по маршрутам кинетического механизма.

Тогда постановка задачи поиска конструктивных и режимных характеристик трубчатого реактора сводится к следующему:

• необходимо найти такие $d, L, C_A(0), G, T(l)$, что критерий оптимальности $I = C_B(L)[d, L, C_A(0), G, T(l)]$ достигает максимума при выполнении условий:

$$\begin{aligned} \frac{dC_A(l)}{dl} &= -\frac{S_0 F}{G}(W_1 + W_3); & \frac{dC_B(l)}{dl} &= \frac{S_0 F}{G}(W_1 - W_2); \\ C_A(0) &= C_{A0}; & C_B(0) &= 0; \\ W_1 &= K_1 \frac{C_B^\gamma}{1 + b C_A^c}; & W_2 &= K_2 C_A; & W_3 &= K_3 \frac{C_B^\gamma}{1 + b C_A^c}; \\ K_i &= K_{i0} \exp\left(\frac{-E_i}{RT}\right) & i &= \overline{1,3}; \\ 0 &\leq l \leq L; & T_{\min} &\leq T(l) \leq T_{\max}; \\ G_{\min} &\leq G \leq G_{\max}; & C_{A\min} &\leq C_A \leq C_{A\max}; & C_{B\min} &\leq C_B \leq C_{B\max}; \\ d &\in \{d_m\}, & m &= \overline{1, M}, \end{aligned} \tag{3.3}$$

где M – число стандартных диаметров трубки.

Задача теоретической оптимизации трубчатого реактора относится к классу вариационных задач, так как в аргументы критерия оптимизации входит функция $T(l)$. Для решения этой задачи целесообразнее всего использовать прямые вариационные методы, которые позволяют свести вариационную задачу к задаче математического программирования.

Представим $T(l)$ в форме степенного полинома

$$T(l) = \sum_{j=0}^P a_j l^j \quad (3.4)$$

для класса непрерывных функций, и

$$T(l) = \begin{cases} T_{\min}, & \text{если } 0 \leq l \leq l_{\text{пер}}; \\ T_{\max}, & \text{если } l_{\text{пер}} \leq l \leq L, \end{cases} \quad (3.5)$$

или

$$T(l) = \begin{cases} T_{\max}, & \text{если } 0 \leq l \leq l_{\text{пер}}; \\ T_{\min}, & \text{если } l_{\text{пер}} \leq l \leq L \end{cases}$$

для класса кусочно-постоянных функций.

В первом случае в состав модели реактора вводится выражение (3.4), а критерий приобретает вид

$$I = C_B(L)[d, C_A(0), G, L, a_j, P], \quad j = \overline{0, P} \quad (3.6)$$

во втором в модель реактора вводится выражение (3.5), а критерий оптимизации видоизменяется так:

$$I = C_B(L)[d, C_A(0), G, L, l_{\text{пер}}], \quad (3.7)$$

Общий вид решения задач теоретической оптимизации будет иметь вид, показанный на рис. 3.2.

При решении задачи теоретической оптимизации распределение температуры в зоне реакции было осуществлено и в классе кусочно-постоянных функций, что реализовано быть вообще не может из-за инерционности объекта. Пусть в ряде случаев именно такой вид $T(l)$ позволяет получить экстремум критерия при решении задачи теоретической оптимизации.

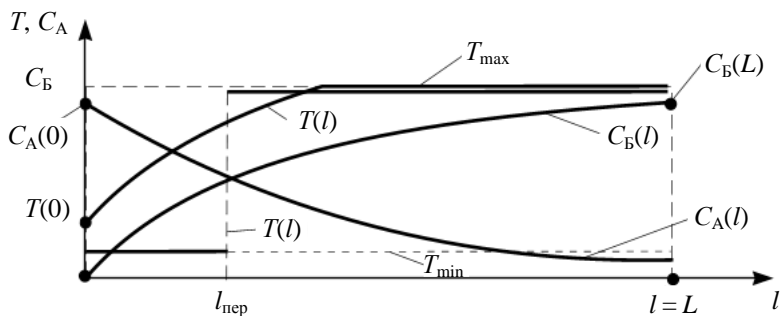


Рис. 3.2. Результаты решения задачи теоретической оптимизации

Максимально возможное значение $C_A(L)$ определено при произвольном распределении температуры в зоне реакции без ограничений на условия реализации. Этот показатель при любых ухищрениях проектировщика, связанных с конструкцией аппарата, не может быть превышен. С другой стороны, этот результат даёт проектировщику возможность оценить свои действия и знать, насколько он приблизился к верхней оценке выхода целевого продукта.

Решение задачи реализации представлено на рис. 3.3.

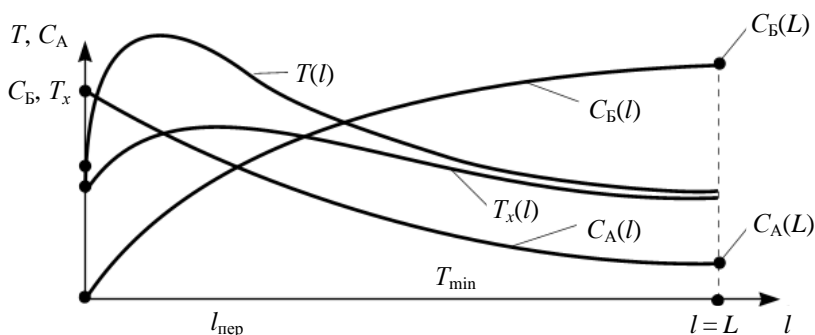


Рис. 3.3. Решение задачи реализации режимных и конструктивных характеристик трубчатого реактора

В результате решения задачи реализации получены следующие результаты: максимальное значение $C_B(L)$, величины $C_A(0), T(0), G, G_x, T_x(0), d$, просок сырья $C_A(L)$, распределения $T(l), T_x(l), C_A(l), C_B(l)$ по длине реакционной зоны, предельное значение температуры в зоне реакции, длина реакционной зоны L . Температурный "выброс" в начале реакционной зоны объясняется экзотермическим характером всех трёх реакций кинетического механизма, полученные результаты правомерны для фиксированного диаметра трубки. Как правило, рассматриваются 3–4 диаметра трубки по ГОСТ и выбирается лучший вариант. Число трубок определяется требуемой производительностью реактора.

Решение задачи реализации учитывает реальные условия теплообмена. Как частный случай, решение задач теоретической оптимизации и реализации можно осуществлять при фиксированной, т.е. задаваемой заранее проектировщиком длине реакционной зоны.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие параметры технологических машин и аппаратов считаются конструктивными и какие режимными?
2. Почему раздельная постановка и решение задачи оптимизации конструктивных и режимных параметров технологических машин и аппаратов методически не оправдана?
3. Что такое "координирующий сигнал" и "информационный сигнал"?
4. Чем отличается система автоматизированного проектирования технологического оборудования от системы поддержки принятия решений при проектировании?
5. Почему общая задача оптимизации конструктивных и режимных параметров трубчатого реактора является задачей нелинейного программирования?
6. Чем отличается задача теоретической оптимизации трубчатого реактора от задачи реализации предложенного процесса?
7. Какой метод используется для решения задачи теоретической оптимизации трубчатого реактора и какой для решения задачи реализации предложенного процесса?
8. Как определяется необходимое число труб реактора?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 3

1. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – М. : Мир, 1973.
2. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – М. : МИР, 1978. – 421 с.
3. Балакирев, В.С. Оптимальное управление процессами химической технологии / В.С. Балакирев, В.М. Володин, А.М. Цирлин. – М. : Химия, 1978. – 412 с.
4. Самарский, А.А. Математическое моделирование: идеи, методы, примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – М. : Физматмет, 2002.
5. Акофф Рассел Л. Искусство решения проблем / Акофф Рассел Л. – М. : Мир, 1982.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЁТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Проектирование технических систем вообще и химических производств в частности – сложный многоэтапный процесс, требующий обработки большого количества информации. В настоящее время существует большое количество компьютерных программных средств, предназначенных для автоматизации разработки технических систем. Условно они делятся на следующие группы.

CAD-системы. Программное обеспечение для создания чертежей и трёхмерных моделей применяемого в области машиностроения, а также программы для инженеров-технологов (составление технологических процессов). Стандартные форматы XT, IGES, STEP, STL, DXF, DWG.

CAM-системы. Описание программ для автоматического и полуавтоматического создания и редактирования управляющих программ для станков с ЧПУ, а также ПО для передачи управляющих программ на станки с ЧПУ.

CAE-системы. Конечно-элементный анализ изделий. Самостоятельные и интегрированные программы для инженерных расчётов в области машиностроения. Расчёты на прочность, динамический и кинематический анализы. Расчёты зубчатых передач, пружин, ПО для общих и специализированных расчётов.

PDM-системы. Технологическая подготовка производства. Программное обеспечение для ведения документооборота, создания и управления архивами чертежей, а также ПО для работы со сканированными документами технического назначения.

Учебно-промышленный комплекс расчёта и конструирования химического оборудования РИК-ХИМ, разработанный на кафедре "Автоматизированное проектирование технологического оборудования" ГОУ ВПО ТГТУ является одной из таких интегрированных систем.

4.1. СТРУКТУРА И НАЗНАЧЕНИЕ СИСТЕМЫ РИК-ХИМ

Основная концепция, лежащая в основе создания первой очереди комплекса, – предоставление студентам всей информации, необходимой для выполнения дипломных и курсовых проектов по всем дисциплинам.

лиам, связанным с разработкой химических производств. Система "РИК-ХИМ" имеет два взаимодополняющих варианта исполнения:

- а) работающее локальной сети;
- б) работающее в глобальной сети Internet.

По глобальной сети обучающийся получает индивидуальное задание и имеет доступ к нормативно-справочной информации первого уровня. Более подробную информацию, а также автоматизацию расчётов элементов химического оборудования и построения чертежей предоставляют программы, работающие в локальной сети кафедры или устанавливаемые на персональном компьютере обучающегося.

Система РИК-ХИМ состоит из независимых частей, показанных на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Структура системы РИК-ХИМ

Индивидуальные задания по проектированию и расчёту оборудования проводятся в соответствии с учебными планами.

Программы технологических и прочностных расчётов включают в себя:

- разработанные в среде MathCAD электронные книги, содержащие описание методик технологических и механических расчётов аппаратов и их составных частей в соответствии с ГОСТ, РД, РТМ;
- примеры расчётов в виде рабочих файлов MathCAD с необходимыми комментариями.

Информационно-справочная система разработана на основе государственных и отраслевых стандартов и содержит;

- каталог физико-механических характеристиках металлов и химических веществ;
- каталог применимости сталей для изготовления различных элементов химического оборудования в зависимости от условий эксплуатации (среда, температура, давление);
- поисковую систему, позволяющую подобрать сталь, удовлетворяющую заданным условиям эксплуатации;
- каталоги основных элементов химического оборудования (днища, опоры, фланцы, теплообменные устройства, механические мешалки, уплотнения вращающихся валов, соединительные муфты) и др.

Построение чертежей оборудования и ХТС осуществляется в среде графического редактора AUTOCAD с помощью пакетов "Конструктор" и "ХТС". Пакет "Конструктор" позволяет упростить разработку чертежей деталей и сборочных единиц и оформление их в соответствии с требованиями ЕСКД. Пакет "ХТС" содержит библиотеку обозначений химического оборудования на технологических схемах и позволяет создавать геометрические образы аппаратов из стандартного набора элементов (опоры, обечайки, днища и др.).

4.2. ПРОГРАММЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ РАСЧЁТОВ

Основной средой разработки программ технологических и прочностных расчётов в первой очереди системы РИК-ХИМ является MatchCad. Все программы оформлены в виде электронных книг с максимальным приближением к руководящему документу, по которому осуществляется расчёт [1]. Система рассчитана на пользователей, умеющих работать в MatchCad.

Для загрузки приложений необходимо выполнить пункт меню MatchCad "Open book" и загрузить файл rik_xim\books\rashet. Первичное меню электронной книги представлено на рис. 4.2.

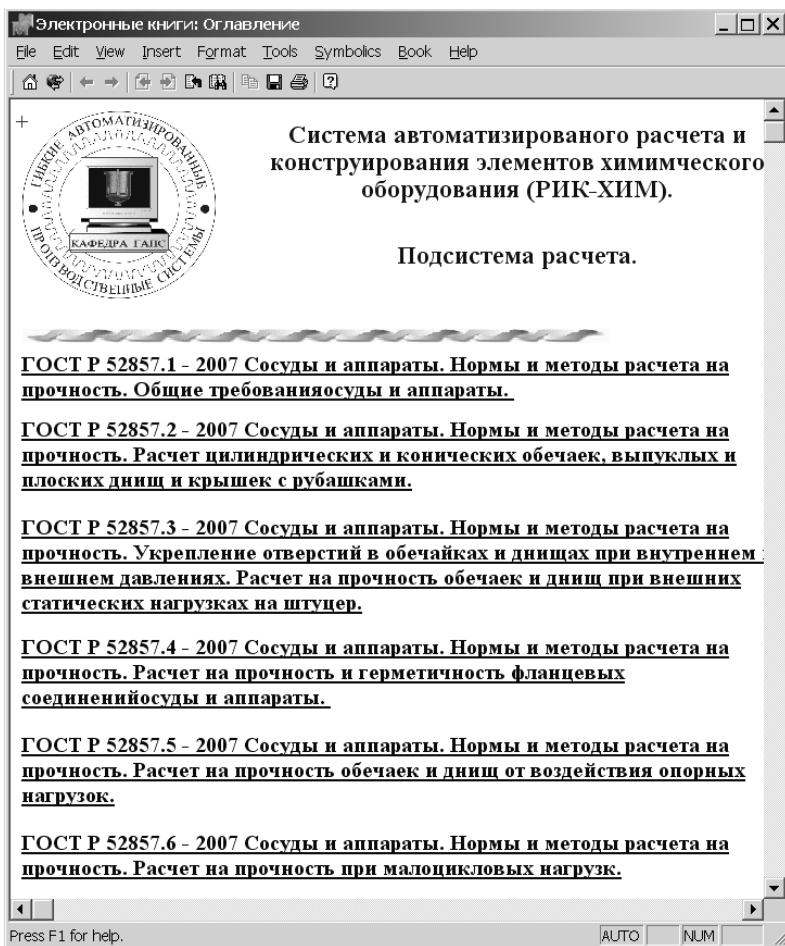


Рис. 4.2. Первичное меню электронных книг механических расчётов

Следует иметь в виду, что многие книги содержат не только методики расчётов, но и необходимые для расчётов справочные данные, а также примеры расчётов (рис. 4.3).

Система содержит следующие нормативные документы:

- ГОСТ Р 52857.1–2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Общие требования.
- ГОСТ Р 52857.2–2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Расчёт цилиндрических и конических обечайек, выпуклых и плоских днищ и крышек.

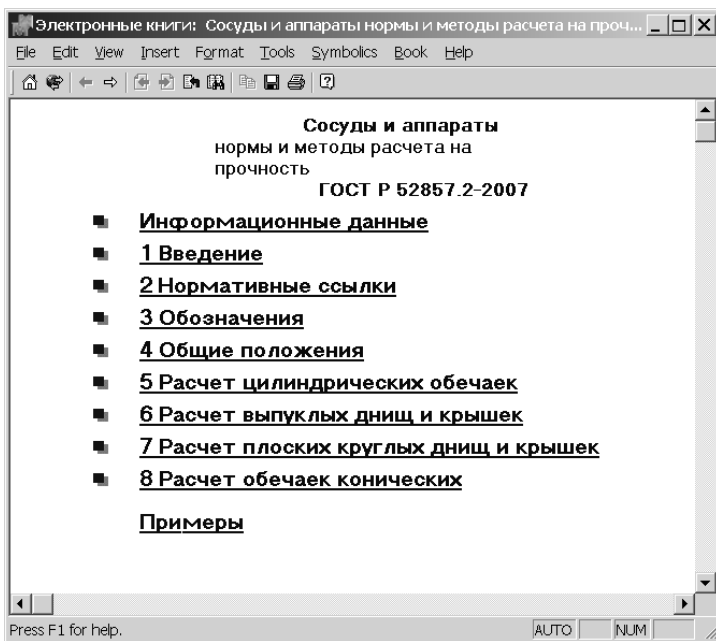


Рис. 4.3. Первичное меню стандарта ГОСТ Р 52857.2–2007

– ГОСТ Р 52857.3–2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчёт на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.

– ГОСТ Р 52857.4–2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Расчёт на прочность и герметичность фланцевых соединений.

– ГОСТ Р 52857.5–2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Расчёт на прочность обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.

– ГОСТ Р 52857.6–2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Расчёт на прочность при малоцикловых нагрузках.

– ГОСТ Р 52857.7–2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Теплообменные аппараты.

– ГОСТ Р 52857.8–2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Сосуды с рубашками.

– ГОСТ Р 52857.9–2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Определение напряжения в местах пересечения штуцеров с обечайками и днищами при воздействии давления и внешних нагрузок на штуцер.

– ГОСТ Р 52857.10–2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Сосуды и аппараты, работающие с сероводородными средами.

– ГОСТ Р 52857.11–2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Метод расчёта на прочность обечайек и днищ с учётом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости обечайек.

– РДРТМ 26-01-72–82. Валы вертикальные аппаратов с перемешивающими устройствами. Методы расчёта.

– ГОСТ 24757–81. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчёта на прочность.

– ГОСТ 24756–81. Сосуды и аппараты. Определение расчётных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых и сейсмических воздействий.

– РД 26-01-90–85. Гидродинамический и тепловой расчёт вертикальных аппаратов с перемешивающими устройствами.

– Механический расчёт элементов аппаратов барабанного типа.

– Технологический расчёт теплообменной аппаратуры.

– Технологический расчёт насадочной ректификационной колонны непрерывного действия для разделения бинарных смесей в плёночном гидродинамическом режиме работы.

4.3. ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНАЯ СИСТЕМА

Для запуска информационно-справочной системы необходимо загрузить файл `rik_xim\rik_xim.bat`.

Основными компонентами информационно-справочной системы являются:

– марочник сталей, включающий применяемость сталей, их основные физико-механические свойства (допускаемое напряжение, удельная теплоёмкость и др.), размеры листового проката. Пункт меню "Стали" (свойства, применение и др.);

– физические характеристики химических веществ (теплоемкость, плотность, вязкость). Пункт меню "физ. характеристики хим. веществ";

– справочник допусков и посадок;

– стандартные элементы химического оборудования (подшипники, фланцы, опоры и др.).

4.3.1. Марочник сталей

Марочник сталей представляет собой реляционную базу данных, дерево меню которой представлено на рис. 4.4.

Каталог применимости сталей реализован совместно с поисковой системой, которая позволяет выбрать сталь в зависимости от следующих условий эксплуатации (рис. 4.5):

- вид и концентрация химически агрессивной среды;
- рекомендуемое примерное назначение;
- параметры среды в аппарате (максимально и минимально допустимые температура и давление).



Рис. 4.4. Дерево меню марочника сталей

Высоколегир. коррозионност. , жарост. , жаропр.	ГОСТ 5632-61
Области и условия применения	Марки сталей
Адипиновая кислота <CH2CH2C02P>2	0X17T
Азотистая кислота HNO2	1X17H2
Азотная кислота HNO3	325T
Алюминий азотнокислый A1<N03>2	X17
Алюминий сернокислый A12<S04>3	X18H10T
Алюминий уксуснокислый A1<C2H3O2>3	X17H13M2T
Алюминий хлористый AlCl3	

Поиск	Области и условия применения
10	Применяется для изготовления следующих элементов:
10Г2	Трубные пучки витых теплообменных аппаратов
10Г2БД	Трубные пучки нормализованных кожухотрубчатых теплообм-ков
10Г2С1	Детали кот. предъявляют требования высокой пластичности
10Кп	Детали с выс. твердостью поверхности и невысо. прочностью сердц
10Пс	*****
10X140Г15	Минимальная допустимая температура, град. С = -100
10X14Г14H4T	Максимальная допустимая температура, град. С = +350
10X17H13M2T	Максимальное допустимое давление, МПа = 1,5
10X17H13M3T	*****
10X18H9Л	Рекомендуется для применения в средах:
10X23H18	Аммиак NH3
10XНДП	Водород H2

Рис. 4.5. Выбор стали в зависимости от условий эксплуатации

4.3.2. Стандартные элементы химического оборудования

База данных стандартных элементов состоит (рис. 4.6):

- из набора таблиц DBF формата, в которых находятся значения размеров стандартных элементов;
- набора графических файлов формата PCX, представляющих собой эскизы стандартных элементов;
- набора текстовых файлов с расширением MN, в котором находится меню навигации по базе;
- управляющей программы.

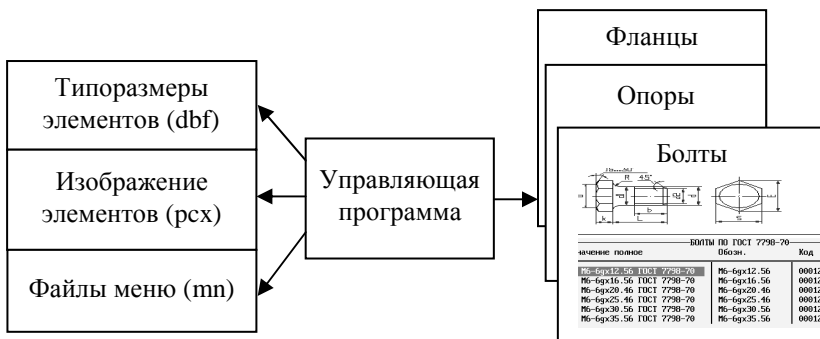


Рис. 4.6. Структура базы данных стандартных элементов

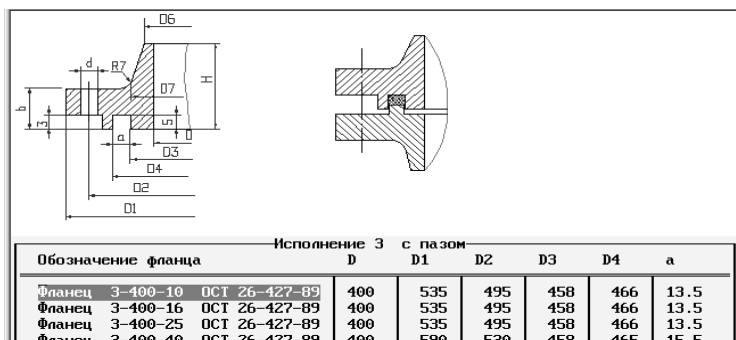


Рис. 4.7. Пример представления информации в базе стандартных элементов

Состав базы данных стандартных элементов:

- фланцы для аппаратов;
- фланцы для трубопроводов;
- рубашки для ёмкостных аппаратов;
- обечайки, днища ёмкостных аппаратов;
- мешалки;
- опорные и строповые устройства;
- тарелки колпачковые;
- уплотнения валов аппаратов с перемешивающими устройствами;
- соединительные устройства валов аппаратов с перемешивающими устройствами;
- стойки вертикальные приводов аппаратов с перемешивающими устройствами;
- мотор-редукторы;
- типовые кожухотрубчатые теплообменники.

Пример информации о размерах фланца представлен на рис. 4.7.

4.3.3. Построение чертежей оборудования и химико-технологических систем

Построение чертежей осуществляется в среде графического редактора AUTOCAD. Для этих целей разработаны два пакета "Конструктор" и "ХТС".

Назначение пакета ХТС – построение чертежей химико-технологических схем и сопутствующей технической документации (таблица условных обозначений трубопроводов, таблица точек контроля и др.) [2]. Кроме того имеется возможность связать определенный элемент схе-

мы с базой данных свойств элемента. Так, например, для ёмкостного аппарата можно узнать его объём, материал корпуса, тип перемешивающего устройства и др.

Структура пакета представлена на рис. 4.8.

Стандартные изображения представлены следующими нормативными документами:

- ГОСТ 21.404–85. Условные графические обозначения приборов и средств автоматизации.

- ГОСТ 2.780–68. Условные графические обозначения элементов гидравлических сетей.

- ГОСТ 2.788–74. Условные графические обозначения выпарных аппаратов и их элементов.

- ГОСТ 2.785–70. Условные графические обозначения трубопроводной арматуры.

- ГОСТ 2.789–74. Условные графические обозначения теплообменных аппаратов.

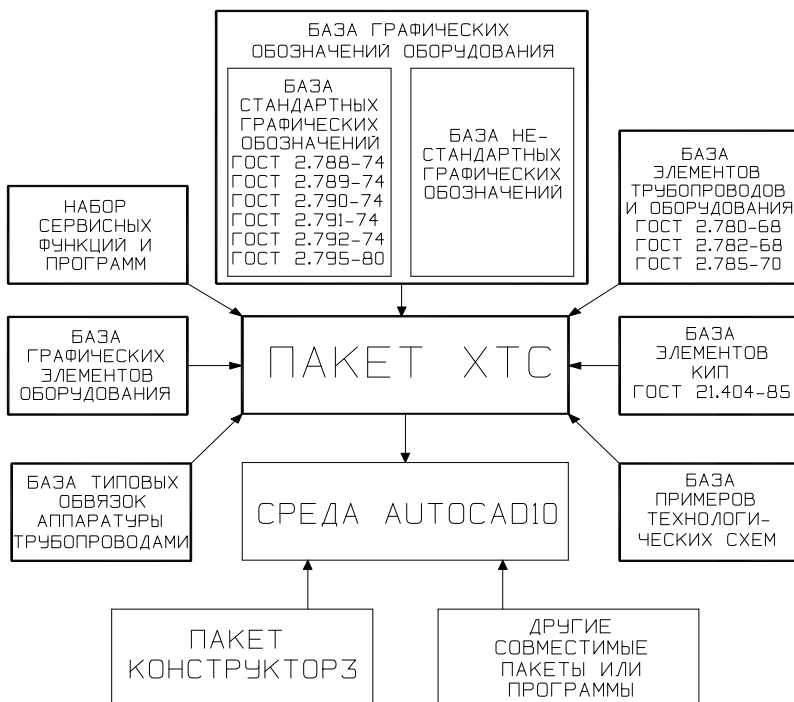


Рис. 4.8. Структура пакета ХТС

- ГОСТ 2.790–74. Условные графические обозначения колонных аппаратов.
- ГОСТ 2.791–74. Условные графические обозначения циклонов и отстойников.
- ГОСТ 2.792–74. Условные графические обозначения сушильных аппаратов.
- ГОСТ 2.795–80. Условные графические обозначения центрифуг и фильтров.

Основное меню представлено на рис. 4.9.

Имеется два основных способа получения изображения аппарата. Выбор изображения аппарата из базы типовых устройств или построение изображения из типовых элементов (обечайки, днища, опоры и т.д.).

Пример типовых изображений ёмкостных аппаратов с перемешивающими устройствами представлен на рис. 4.10.

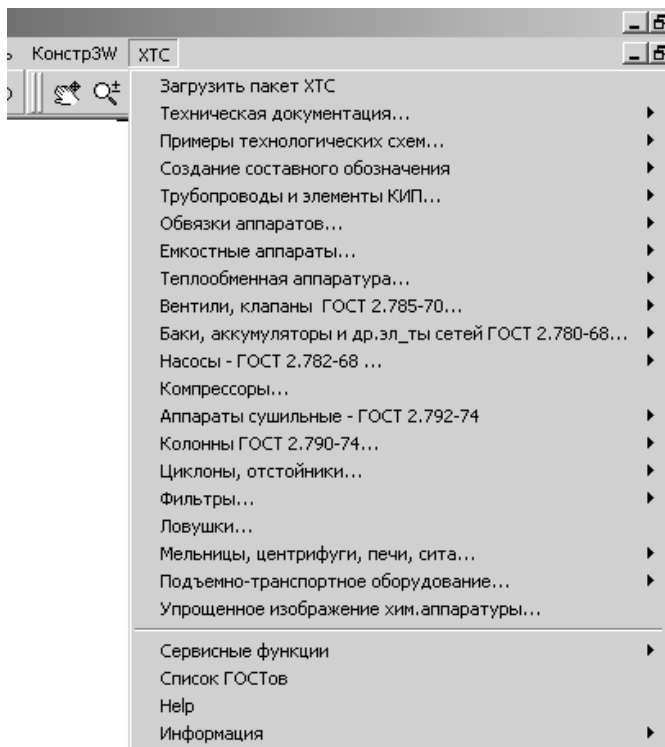


Рис. 4.9. Основное меню пакета XTC

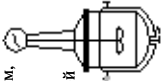
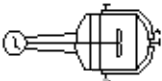
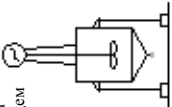
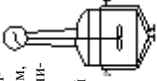
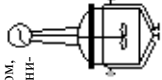
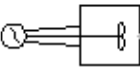
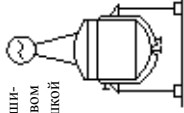
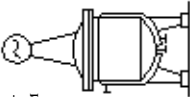
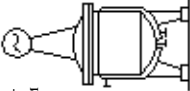
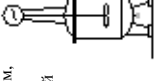
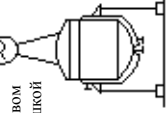
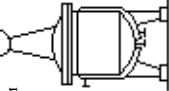
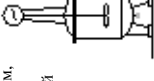
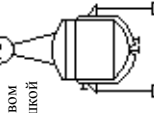

ар. с перемеш. устройством		X
<p>Аппарат с перемешивающим устройством, с эллиптическим днищем, съёмной крышкой и рубашкой</p> 	<p>Аппарат с перемешивающим устройством, с эллиптическим днищем, приварной крышкой и рубашкой</p> 	<p>Аппарат с мешалкой и коническим днищем</p> 
<p>Аппарат с перемешивающим устройством, стационарный, с эллиптическим днищем, съёмной крышкой и рубашкой</p> 	<p>Аппарат с перемешивающим устройством, стационарный, с коническим днищем, съёмной крышкой и рубашкой</p> 	<p>Аппарат с мешалкой, плоским днищем и приварной крышкой</p> 
<p>Аппарат с перемешивающим устройством, стационарный, с эллиптическим днищем, приварной крышкой</p> 	<p>Аппарат с перемешивающим устройством и съёмной крышкой</p> 	<p>Аппарат с мешалкой, плоским днищем и съёмной крышкой</p> 
<p>Аппарат с перемешивающим устройством, стационарный, с коническим днищем, приварной крышкой и рубашкой</p> 	<p>Аппарат с перемешивающим устройством и приварной крышкой</p> 	<p>Аппарат с мешалкой, коническим днищем и приварной крышкой</p> 
<p>Аппарат с перемешивающим устройством, стационарный, с коническим днищем, съёмной крышкой и рубашкой</p> 	<p>Аппарат с перемешивающим устройством, стационарный, с коническим днищем, съёмной крышкой</p> 	<p>Аппарат с мешалкой, коническим днищем и приварной крышкой</p> 

Рис. 4.10. Типовые изображения аппаратов с перемешивающими устройствами

4.4. УДАЛЁННЫЙ ВАРИАНТ СИСТЕМЫ РИК-ХИМ

Удалённый вариант системы находится по адресам www.gaps.tstu.ru и www.170514.tstu.ru.

По адресу www.gaps.tstu.ru (рис. 4.11) находятся:

- задания по расчёту отдельных элементов химического оборудования и по курсовому проектированию;
- каталоги некоторых химических аппаратов и отдельных элементов (теплообменная аппаратура, выпарные аппараты, вертикальные ёмкостные аппараты с внутренними устройствами, соединительные устройства валов, перемешивающие устройства, уплотнения вертикальных валов и др.);
- экзаменационные вопросы;
- конспекты лекций и др.

Пункт меню ГОСТ, справочники, каталоги (оборудование элементы) открывает доступ в виртуальный удалённый зал курсового и дипломного проектирования, который содержит нормативно-справочную документацию, необходимую для выполнения проекта (рис. 4.12).

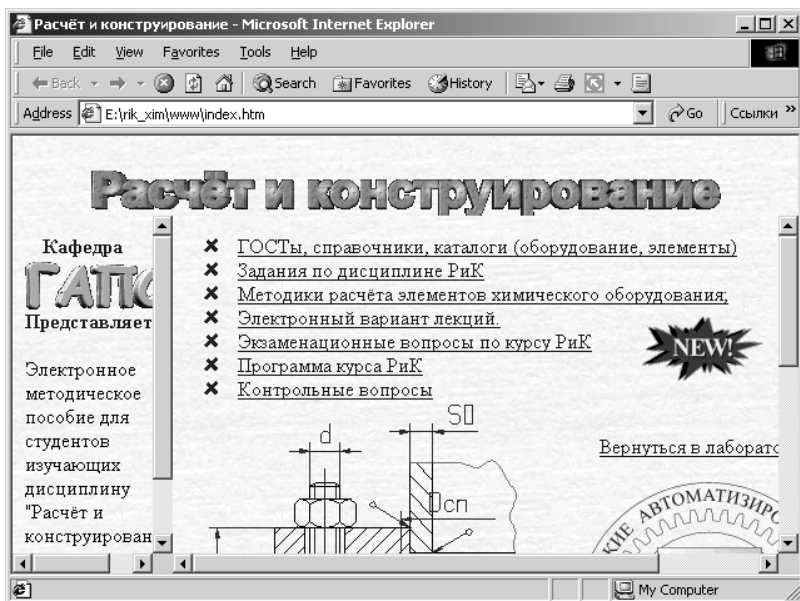


Рис. 4.11. Удалённый вариант системы РИК-ХИМ



Рис. 4.12. Нормативно-справочная документация

Информация в удалённом варианте системы представлена в виде файлов формата html. Чертежи представлены в DWF формате фирмы Autodesk. В этом случае для просмотра чертежей необходимо использовать Autodesk WHIP! или VoloView (рис. 4.13).



Рис. 4.13. Чертёж аппарата

По адресу www.170514.tstu.ru (рис. 4.14) находится виртуальный кабинет конструирования химического оборудования и виртуальный кабинет приспособлений, инструментов и технологии машиностроения.

В кабинете конструирования представлены трёхмерные твёрдые модели отдельных видов химического оборудования его элементов. В настоящее время в кабинете имеются (рис. 4.15):

- перемешивающие устройства;
- соединительные муфты валов перемешивающих устройств;
- привод аппарата с перемешивающим устройством;
- барабанный аппарат и его элементы;
- фланцевые соединения аппаратов;
- колонные аппарата и их элементы;
- ёмкостные аппараты;
- кожухотрубчатый теплообменник.

Примеры 3D моделей перемешивающих устройств представлены на рис. 4.16 [3].

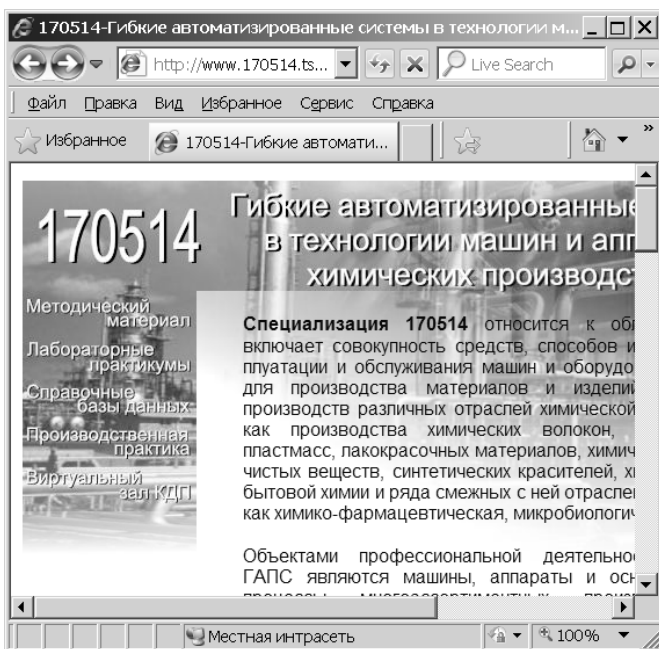


Рис. 4.14. Сайт по адресу www.170514.tstu.ru

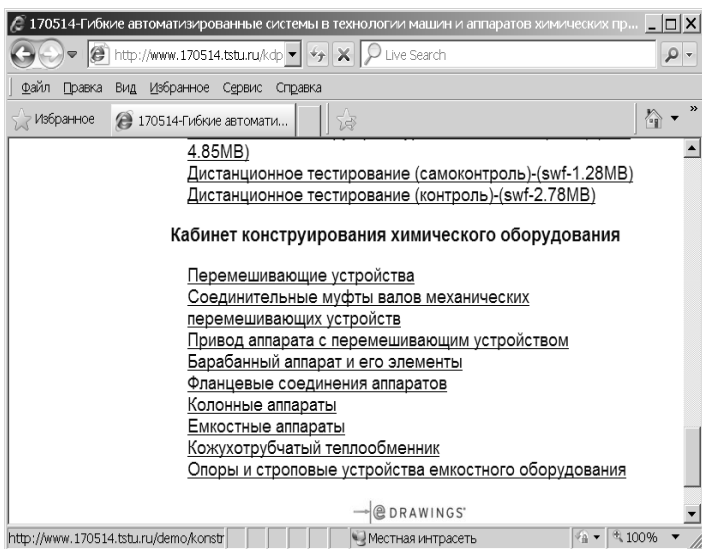


Рис. 4.15. Меню виртуального кабинета конструирования химического оборудования

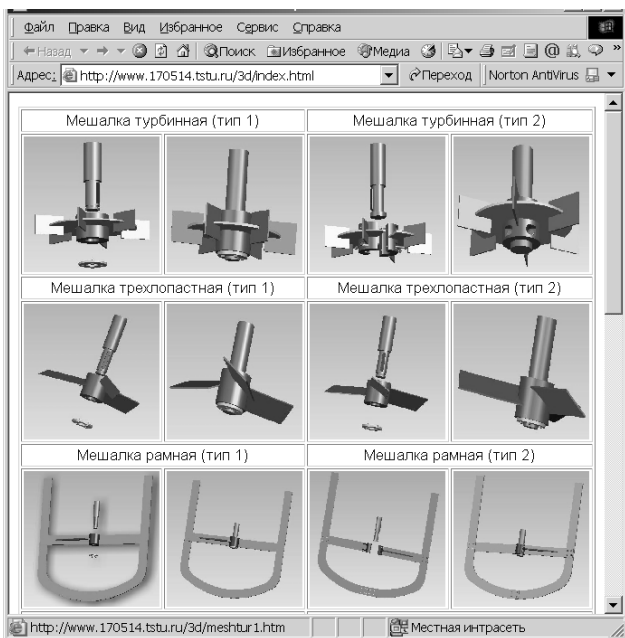






Рис. 4.16. Примеры 3D моделей перемешивающих устройств

Для просмотра 3D моделей используется свободно распространяемая программа EDrawing, которая имеет собственное описание. Рекомендуем после вызова программы сразу выполнить следующие действие меню **Вид–Панель инструментов–Большие кнопки**. Основные команды, которые нужны для изучения элементов технологического оборудования:

 – вращать;  – перемещать;  – переместить компонент;  – вставить поперечное сечение.

Сечение мешалки, полученное в EDrawing с помощью команды "вставить сечение", представлено на рис. 4.17.

В настоящее время в кабинете приспособлений, инструментов и технологии машиностроения размещена информация о следующих приспособлениях:

- инструмент для развальцовки труб;
- раскатники шариковые, канавочники, торцеватели;
- инструмент для удаления труб;
- машины для высверливания труб из трубных решёток;
- пневматические машины для обработки труб;
- устройство для очистки котельных труб серии "Сток".

Примеры инструмента представлены на рис. 4.18.

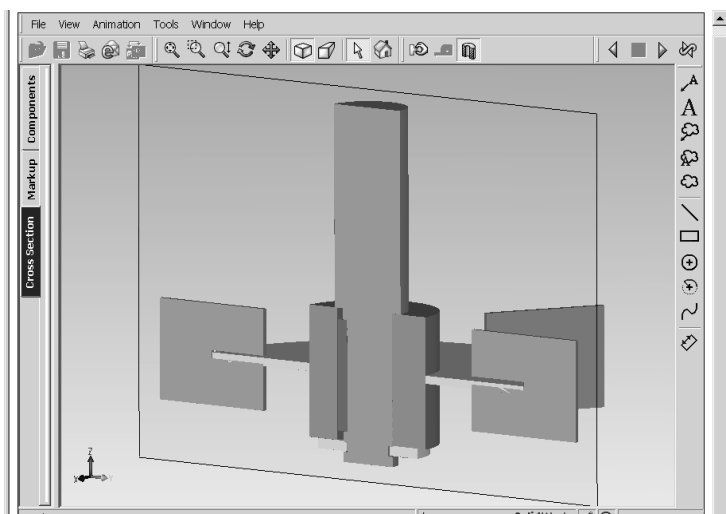


Рис. 4.17. Сечение мешалки, полученное в EDrawing

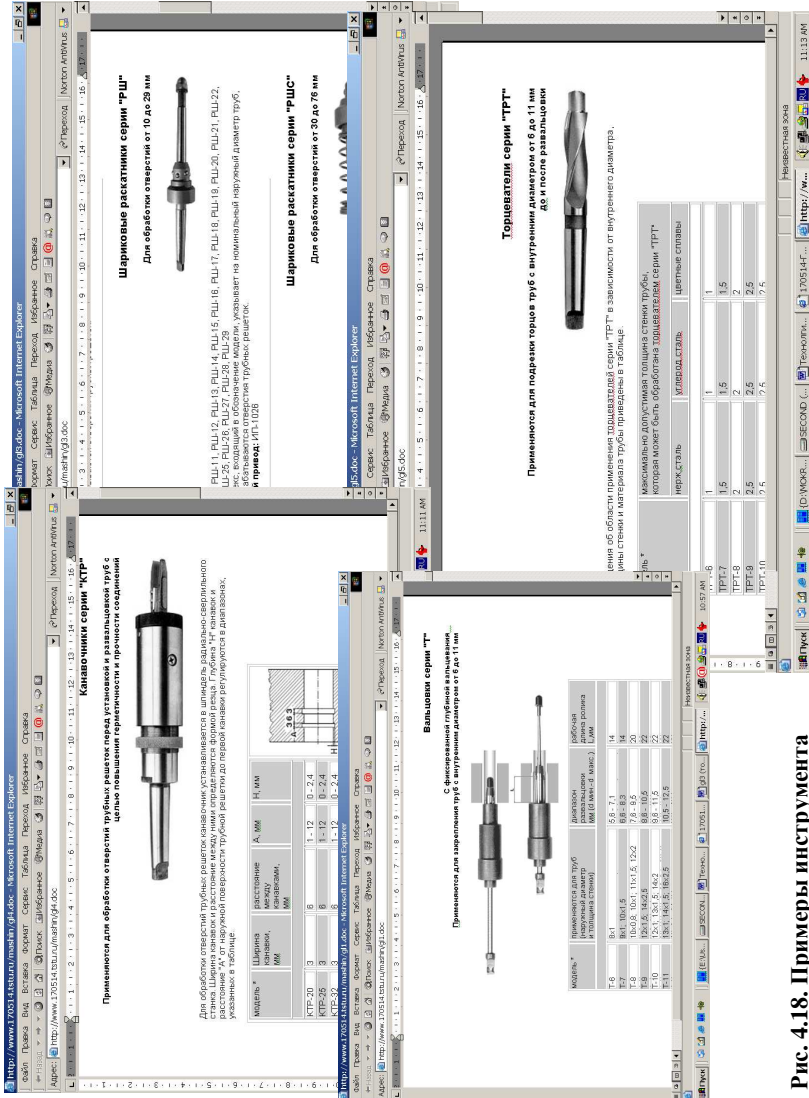


Рис. 4.18. Примеры инструмента

Представленная система предназначена не только для обучения студентов, но и для профессионального применения. Её элементы используются в конструкторских отделах ОАО "Пигмент", ЗАО "Завод Тамбовполимермаш", ОАО "Тамбовский завод «Комсомолец» им. Н.С. Артемова".

Работа выполнена в рамках, проекта НК-421/32 Федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы", направление "Информатика".

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Классификация систем автоматизированного проектирования.
2. Назначение системы РИК-ХИМ.
3. Структура системы РИК-ХИМ.
4. Назначение марочника сталей.
5. Структура марочника сталей.
6. Структура базы данных стандартных элементов.
7. Содержание удалённого варианта системы РИК-ХИМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 4

1. Мокрозуб, В.Г. Механические расчёты элементов химического оборудования : Свидетельство о регистрации разработки в отраслевом фонде алгоритмов и программ № 9125 от 28 сент. 2007 г.

2. Мокрозуб, В.Г. Пакет для построения химико-технологических схем "ХТС" : Свидетельство о регистрации разработки в отраслевом фонде алгоритмов и программ № 9283 от 5 окт. 2007 г.

3. Мокрозуб, В.Г. 3D модели элементов емкостных аппаратов с мешалками : Электронное учебное пособие. Версия 1 : Свидетельство о регистрации разработки в отраслевом фонде алгоритмов и программ № 9349 от 25 окт. 2007 г.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В соответствии с решением комиссии при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России (от 18.06.2009 г.) одними из приоритетных направлений определены энергоэффективность и ресурсосбережение. Достижение таких показателей в машиностроительной отрасли невозможно без использования средств вычислительной техники на всех этапах жизненного цикла изделий.

В соответствии с Концепцией формирования Государственной комплексной программы развития машиностроения России "Машиностроение, как системообразующая отрасль отечественной экономики, определяющая уровень производственного и кадрового потенциалов страны, обороноспособности государства, а также устойчивого функционирования всех отраслей промышленности, является главным плацдармом подъема экономики России и придания ей инновационного характера".

Сказанное в полной мере относится и к химическому машиностроению, которое кроме того определяет развитие таких важнейших отраслей экономики России, как химическая и нефтехимическая промышленность. Стратегия развития машиностроительной промышленности России предусматривает ввод новых и модернизацию существующих объектов, что потребует конструирования (проектирования) новых экологически безопасных технологических процессов машиностроительного производства.

Одним из направлений интенсификации развития машиностроения является использование информационных технологий на всех этапах жизненного цикла выпускаемых изделий.

Существующие в настоящее время автоматизированные информационные системы поддержки принятия решений (АИС ППР) в большей степени являются средствами повышения эффективности труда конструктора и технолога, особенно на заключительных этапах проектирования. Доля затрат на разработку конструкторской и техно-

логической документации в себестоимости машиностроительных изделий неоправданно высока. Между тем в настоящее время существуют предпосылки (развитие теории экспертных систем, наличие соответствующего программного обеспечения) создания интеллектуальных АИС ППР, позволяющих получать оптимальный вариант (или нескольких близких к оптимальному вариантов) технологического процесса для реальных условий производства изделий из металлов с минимальным участием человека.

Основой подобных АИС ППР являются информационно-логические модели технологического процесса и информационная модель знаний об объектах машиностроительного производства, имитационные модели производства машиностроительной продукции и процедурные модели поддержки принятия решений задач проектирования энергосберегающих экологически безопасных технологических процессов машиностроительного производства. Разработка методологии создания информационно-логических моделей (ИЛМ) и способов их представления в программном обеспечении информационных систем является актуальной задачей.

5.1. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КЛАССА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ СЛОЖНОЙ СТРУКТУРЫ (на примере машиностроительных производств)

Основу технологии поддержки принятия решений для проектирования технологических процессов производственных технических систем (ПТС) составляет реализация возможности представления всей совокупности решаемых задач с позиций теории иерархических систем на всех этапах принятия конструкторско-технологических решений и их комплексной оценки.

При построении систем поддержки принятия решений для проектирования ТП производственных технических систем применение иерархической структуры обосновано тем, что:

– во-первых, достаточно сложные системы, состоящие из объектов различной природы, большой размерности, различной инерционности, не смогут функционировать без разделения функций принятия решений, т.е. без введения иерархической структуры;

– во-вторых, в иерархических системах действие внешних возмущений на отдельные подсистемы устраняется самостоятельно и может не затрагивать другие подсистемы;

– в-третьих, иерархическая структура управления допускает описание подсистем с учётом различных аспектов: физических, химических, экономических и т.п., т.е. допускает их описание на различных уровнях абстракции.

5.1.1. Использование теории сложных систем для решения задачи проектирования технологических процессов промышленных производств

Комплекс особо значимых задач, решаемых АИС, при проектировании ТП технической системы на примере производства изделий из металлов представлен в виде иерархической структуры (рис. 5.1).

Используя терминологию теории систем, автоматизированную систему поддержки принятия решений для проектирования ТП машиностроительного производства можно представить как отношение на декартовом произведении множеств:

Pr – множество решений задачи проектирования ТП производства изделий из металлов;

M_v, M_m, M_u – множества управляющих сигналов для процесса конструирования в задачах (выбора материала и вида его упрочнения, вида заготовки, определения характеристик допустимого метода получения заготовки, наборов оборудования и вспомогательных материалов, а также технологических операций для обработки детали и других) нижнего уровня, например, геометрические размеры детали, технологические свойства и прочностные характеристики детали и др.;

$D_v, D_m, D_u, W_v, W_m, W_u, P_v, P_m, P_u$ – множества информационных сигналов о решении локальных задач, например, свойства выбранных марок стали; ТП механической и упрочняющей обработок; типы, характеристики станочного оборудования и печей для упрочняющей обработки; величины критериев локальных задач оптимизации и другие;

$\Gamma_v, \Gamma_m, \Gamma_u, L_v, L_m, L_u$ – множества координирующих сигналов для локальных задач нижестоящих уровней, например, категория значимости и серийность детали, наличие металла на складе, длительности отдельных ТП упрочняющей обработки, времени пребывания деталей в печи, норма загрузки деталей в печь и другие.

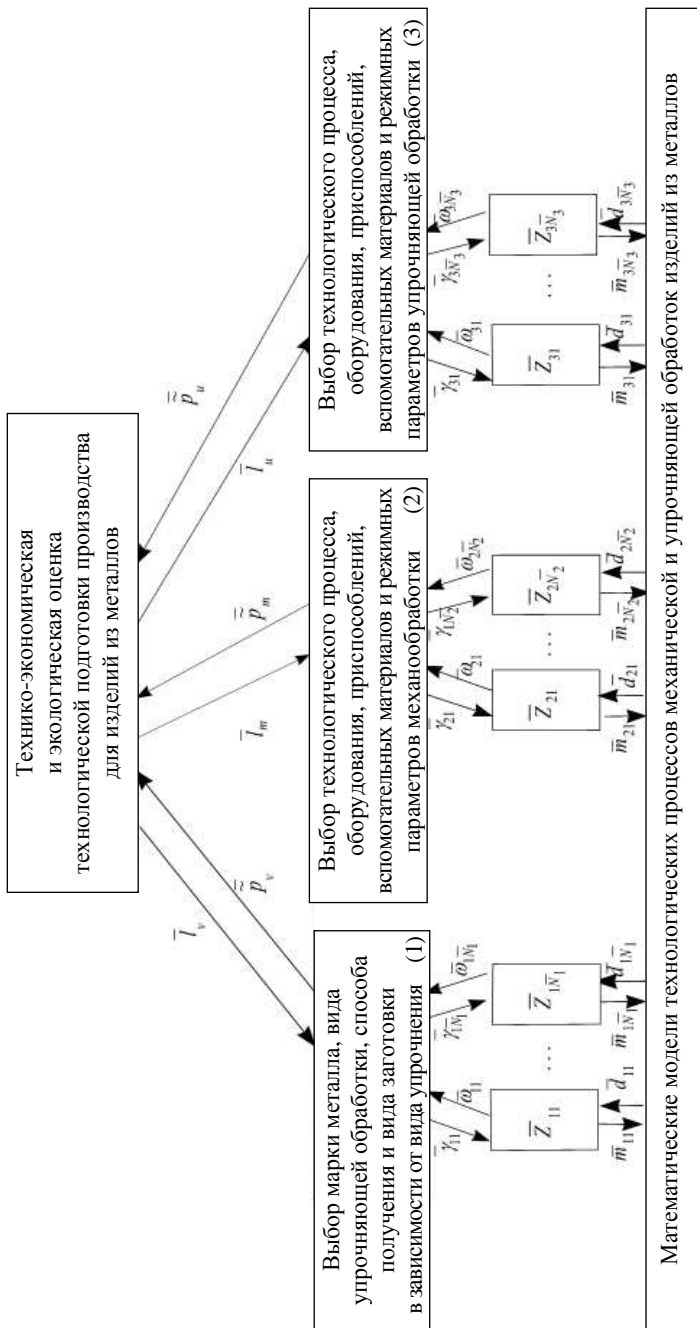


Рис. 5.1. Структурная схема подзадач, решаемых АИС, при проектировании технологических процессов производства изделий из металлов

5.1.2. Математическая постановка общей задачи проектирования технологических процессов производственных технических систем

Наличие множеств различных критериев оптимальности при принятии решений этих задач привело к необходимости использования методов многокритериальной оптимизации. При этом в каждом конкретном случае решаются проблемы выбора: альтернативных вариантов; методов решения задачи с учётом оценки вариантов по всем рассматриваемым критериям; принципа нормализации, приводящему все критерии к единому масштабу измерения и позволяющего производить их сопоставления; принципа учёта приоритета, позволяющего отдавать предпочтение более важным, по мнению технологов, критериям.

В формализованном виде задача проектирования ТП ПТС заключается в поиске минимума целевой функции $F(w)$

$$w^{\text{opt}} = \arg \min_{w \in W} F(w) \quad (5.1)$$

при выполнении:

- детерминированных ограничений на выходные переменные:

$$w_i^* \leq w_i \leq w_i^{**}, \quad i = \overline{1, n'}; \quad (5.2)$$

- функциональных ограничений:

$$c_j^* \leq f_j(w_1, w_2, \dots, w_{n_j}) \leq c_j^{**}, \quad j = \overline{1, k}; \quad (5.3)$$

- ограничений на значения показателей технологических процессов ПТС:

$$F^v(w) \leq F^{v, \text{lim}}, \quad v = \overline{1, K_1}, \quad F^t(w) \geq F^{t, \text{lim}}, \quad t = \overline{1, K_2}; \quad (5.4)$$

- операторов, описывающих математические модели поддержки принятия решений для проектирования ТП ПТС:

$$\overline{\varphi}_l : \Delta_{l1} \Delta_{l2} \times \dots \times \Delta_{lm} \times \dots \times \Delta_{lp} \rightarrow W_l, \quad l = \overline{1, K_3}. \quad (5.5)$$

Здесь $w_i^*, c_j^*, w_i^{**}, c_j^{**}$ – соответственно минимальные и максимальные значения в ограничениях (5.2) и (5.3); n', k – соответственно количество детерминированных и функциональных ограничений; $f_j(w_1, w_2, \dots, w_{n_j})$ – некоторые функции от w_1, w_2, \dots, w_{n_j} , заданные в явном виде; $F^v(w), F^t(w), F^{v, \text{lim}}, F^{t, \text{lim}}$ – соответственно значения показателей технологических процессов изготовления детали (процент

брака, технологичность и т.п.) и их заданные значения; K_1, K_2 – соответственно количества показателей, для которых задаётся условие (5.4); $\overline{\varphi}_i$ – функциональный оператор; Δ_{im} – множество данных; K_3 – количество функциональных операторов; p – количество множеств данных.

Задача (5.1) – (5.5) относится к классу задач дискретного программирования. Из-за высокой размерности задачи и традиций организации труда для многих классов ПТС, в том числе и машиностроительных производств, она в соответствии с разработанной структурной схемой разбивается на ряд подзадач меньшей размерности.

Обобщённый критерий $F(w)$ можно записать как

$$F(w) = \sum_{i=1}^{K_0} \rho_i \omega^i(w) = \rho_1 \omega^1(w) + \dots + \rho_{K_0} \omega^{K_0}(w), \quad (5.6)$$

где $\rho_1, \dots, \rho_{K_0}$ – весовые коэффициенты,

$$\rho = \{\rho_i\} = \{\rho_i : \rho_i > 0 \quad i = 1, \dots, K_0, \sum_{i=1}^{K_0} \rho_i = 1\}; \quad (5.7)$$

$\rho_i \omega^i(w)$ – взвешенные потери по i -му критерию; $\omega^i(w) = \omega^i(F^i(w))$, $i = 1, \dots, K_0$, $w \in W$ – монотонные функции, преобразующие каждую функцию цели $F^i(w)$, $i = 1, \dots, K_0$, $w \in W$ к безразмерному виду.

$$\omega^k(w) = \frac{F^k(w) - F^{k0}}{F_{(\max)}^k - F^{k0}}, \quad w \in W, \quad k = \overline{1, K'_1};$$

$$\omega^k(w) = \frac{F^{k0} - F^k(w)}{F^{k0} - F_{(\min)}^k}, \quad w \in W, \quad k = \overline{1, K'_2},$$

где $F_{(\max)}^k$ и $F_{(\min)}^k$ – соответственно наибольшее значение минимизируемых и наименьшее значение максимизируемых функций $F^k(w)$, $w \in W$ на множестве допустимых альтернатив W ; F^{k0} – оптимальное значение функций цели $F^k(w)$, $w \in W$. Значения $\omega^i(w)$, $i = 1, \dots, K_0$, $w \in W$ лежат в пределах $0 \dots 1$.

Для выбора единственного решения требуется задать весовые коэффициенты ρ_i , $i = 1, \dots, K_0$, удовлетворяющие соотношению (5.7)

и отражающие относительную важность функций цели $F^1(w), \dots, F^{K_0}(w)$, $w \in W$. При определении важности функций цели в данной работе применён метод приписывания баллов.

5.2. РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Для формализованного описания информационных массивов данных, необходимых при решении описанных выше задач, использована структурированная база данных. Структура данных области исследования отображается ИЛМ технологического процесса ПТС рассматриваемого класса и представляет собой объединение множеств данных, локальных моделей стадий ТП и связей между ними. ИЛМ представлена следующим кортежем:

$$M_n = (\mu_{n1}, \dots, \mu_{ni}, \dots, \mu_{n, I_n}; \delta_{n1}, \dots, \delta_{nj}, \dots, \delta_{n, J_n}; \rho_1^n, \dots, \rho_{S_n}^n), \quad (5.8)$$

где M_n – оператор ИЛМ; $\mu_{n1}, \dots, \mu_{n, I_n}$ – множество локальных моделей; $\delta_{n1}, \dots, \delta_{n, J_n}$ – множество данных ИЛМ; $\rho_1^n, \dots, \rho_{S_n}^n$ – множество правил модели M_n .

Каждая локальная модель, в свою очередь, описывается кортежем аналогичной формы. Локальная модель нижнего уровня включает в себя множества данных и связей между ними в виде правил:

$$\begin{aligned} M_n &= (\mu_{n1}, \dots, \mu_{ni}, \dots, \mu_{n, I_n}; \delta_{n1}, \dots, \delta_{nj}, \dots, \delta_{n, J_n}; \rho_1^n, \dots, \rho_{S_n}^n) \\ &\downarrow \\ \mu_{ni} &= (\mu_{n-1,1}, \dots, \mu_{n-1,i}, \dots, \mu_{n-1, I_{n-1}}; \delta_{n-1,1}, \dots, \delta_{n-1,j}, \dots, \delta_{n-1, J_{n-1}}; \rho_1^{ni}, \dots, \rho_{S_{ni}}^{ni}) \\ &\downarrow \\ &\dots\dots\dots \\ &\downarrow \\ \mu_{1b} &= (\delta_1^{1b}, \dots, \delta_{S_2}^{1b}; \rho_1^{1b}, \dots, \rho_{S_1}^{1b}), \quad (5.9) \end{aligned}$$

где $\rho_1^{1b}, \dots, \rho_{S_1}^{1b}$ – множество правил модели μ_{1b} , $b = \overline{1, B}$.

В свою очередь, правила, входящие в ИЛМ, построены по типу: если... (условия выполняются), то... (реализация следствия), и в формализованном виде описываются следующим образом:

$$\rho_i^{1b} : \left\{ \text{if } \left(\left(\delta_1^{1b} A_1 z_1^{1b} \right) \Lambda_1 \left(\delta_2^{1b} A_2 z_2^{1b} \right) \Lambda_2 \dots \Lambda_{n-1} \left(\delta_n^{1b} A_n z_n^{1b} \right) \right) \text{ then } \left(\delta_{1k}^{1b} A_1 z_{1k}^{1b} \right) \right\}, \quad (5.10)$$

где if – обозначение условия "если"; then – обозначение следствия "то"; $A'_i, A_i \in \{=, >, \geq, <, \leq\}$, $i = \overline{1, n}$ – арифметический оператор ИЛМ; $\Lambda_i \in \{\wedge, \vee\}$ – логический оператор ИЛМ; $\delta_s^{1b'}$, $\delta_{1k}^{1b''}$ – соответственно входные и выходные данные модели μ_{1b} ; $Z^{1b'} = \{z_1^{1b'}, \dots, z_n^{1b'}\}$ – множество значений входных данных $\delta_s^{1b'}$; $z_{1k}^{1b''} \in \{z_{11}^{1b''}, \dots, z_{1K}^{1b''}\}$ – значение для выходных данных $\delta_{1k}^{1b''}$; n – количество условий.

5.3. РАЗРАБОТКА ПРОЦЕДУРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В тех случаях, когда множество вариантов решений не превышает 10^4 , то искомое решение можно находить методом полного перебора вариантов. При более высокой размерности задач предлагается процедурная модель, общая схема реализации которой основана на последовательном анализе и отсеивании части элементов, составляющих вариант решения, путём исключения бесперспективных как по ограничениям, так и по целевой функции.

Исходя из специфики проектирования ТП для данного класса технических систем, все выходные переменные разбиты на три категории. К первой категории относятся выходные переменные, для которых при формировании множества вариантов решения используются все их возможные значения. Вторая категория объединяет выходные переменные, для которых при формировании множества вариантов решения используются только те значения, которые попадают в окрестность "оптимистичных" значений локального критерия. Данная окрестность определяется следующим правилом: $F^h r \leq F^{opt}$, $r < 1$, $h = 1, 2, \dots, H$, где r – коэффициент, задаваемый лицом, принимающим решение (ЛПР) для формирования окрестности "оптимистичных" значений локального критерия F ; F^h – значение критерия для h -го варианта формирования значений выходных переменных; H – множество их допустимых значений. В третью категорию попадают наименее значимые выходные переменные, для которых при формировании множества вариантов решения используется лишь одно значение выходной переменной.

При проектировании ТП деление на категории осуществляется ЛПР в процессе формирования множества вариантов решения задачи.

Схема реализации процедурной модели приведена на рис. 5.2.

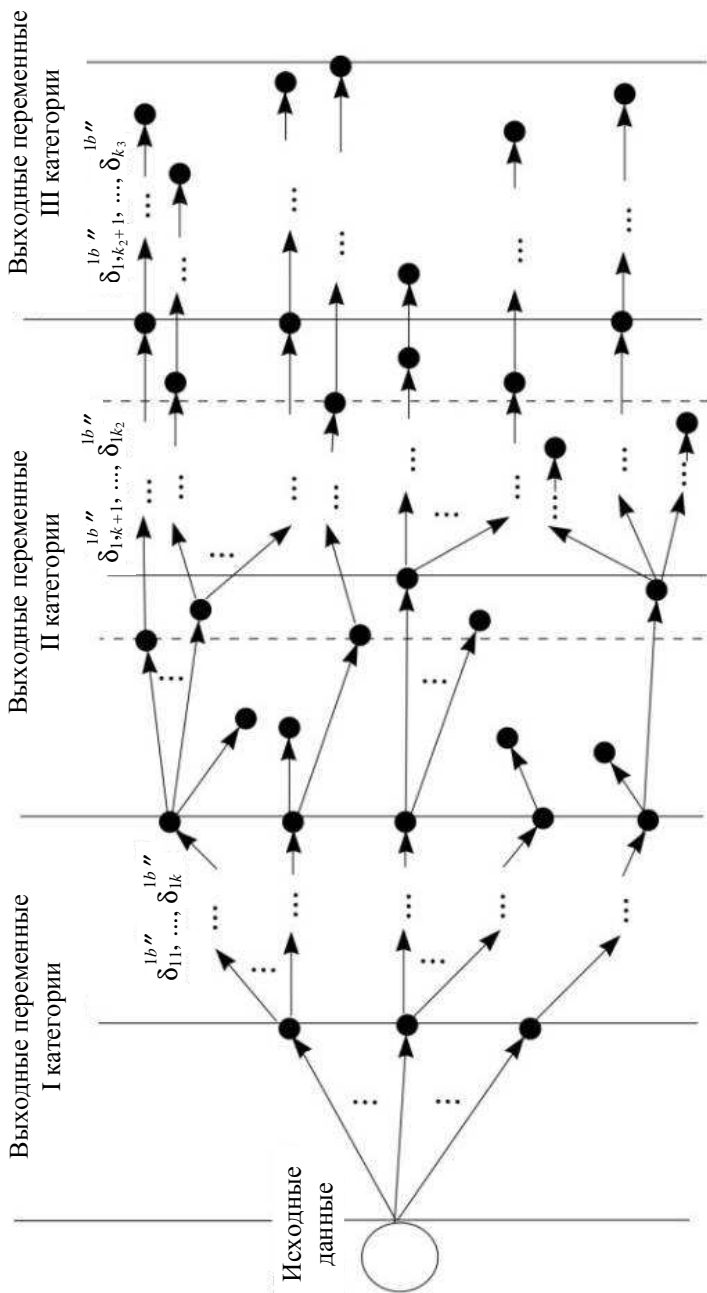


Рис. 5.2. Схема реализации процедурной модели автоматизированной системы поддержки принятия решений

5.4. РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННЫХ И ПРОЦЕДУРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛОВ

Для практического решения задачи, в соответствии с иерархической структурой, заменим общую задачу оценки технико-экономической эффективности и экологической безопасности проектирования процессов производства изделий из металлов последовательным рассмотрением подзадач меньшей размерности, обозначенных на рис. 5.1 цифрами 1, 2, 3, имеющих и самостоятельное значение в процессе принятия решений на этапе технологической подготовки машиностроительного производства.

В случае отсутствия решения на каждом следующем этапе проектирования ТР ЛПР выбирается другой "оптимистичный" вариант решения задачи предыдущего этапа.

5.4.1. Задача автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения

Долговечность и надёжность изготавливаемых деталей машин зависят от материала и его конструктивной прочности, т.е. комплекса тех прочностных свойств, которые в наибольшей степени влияют на эксплуатационные свойства изделия. Надо также отметить, что качество деталей, их механические и физико-механические свойства в значительной степени зависят от термической и химико-термической обработки (ХТО), применяемой на различных стадиях производства.

В связи с этим рассмотрим задачу автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения.

5.4.1.1. Математическая постановка задачи автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения

В работе предложена следующая постановка задачи 1. Для конструируемой детали с заданными геометрическими размерами L и весом G , условиями эксплуатации U^d , серийностью производства Sp^d и категорией значимости (степенью ответственности) Kz на множестве

ве $W_1 = M^d \times Tu^d \times Z^d \times P_z^d \times V_z^d$ найти такой вариант $w_1^* \in W_1$, для которого стоимость получения заготовки из выбранных марки стали с соответствующей упрочняющей обработкой имеет минимальное значение. Множество W_1 представляет собой декартово произведение подмножеств допустимых видов: материалов, используемых для изготовления детали M^d ; упрочняющей обработки, обеспечивающих заданные показатели качества изделия Tu^d ; заготовок Z^d ; способов получения заготовок P_z^d и вспомогательных материалов для проведения методов получения заготовок V_z^d .

В формализованном виде задача заключается в поиске минимума целевой функции $F_1^{\text{opt}} = \min_{W_1} ((S_M + S_{TZ} + S_{VS} + S_{OB})K_{SS} + S_{TR} + S_{НУТ})$ при выполнении: ограничений на эксплуатационные свойства и прочностные характеристики изделия $Xu^d \geq Xu_{\text{lim}}^d$, $L' \leq L$, типоразмер сортамента для проката $Lsr_{p_{zt}}^{\min} \leq Lsr_{p_{zt}} \leq Lsr_{p_{zt}}^{\max}$, $p_{zt} \in P_z^d$, массу детали для литья $G_{p_{zt}}^{\min} \leq G_{p_{zt}} \leq G_{p_{zt}}^{\max}$, $p_{zt} \in P_z^d$, габаритные размеры детали дляковки $L_{p_{zt}}^{\min} \leq L_{p_{zt}} \leq L_{p_{zt}}^{\max}$, $p_{zt} \in P_z^d$, твёрдость материала детали для механической обработки $HRC_{m^d}^{\min} \leq HRC_{op_e} \leq HRC_{m^d}^{\max}$, $m^d \in M^d$, габаритные размеры детали для оборудования, используемого при проведении процесса механической обработки $L_{o_{us}}^{\min} \leq L \leq L_{o_{us}}^{\max}$, $o_{us} \in O_u^d$, и оператора, представляющего собой математическую модель поддержки принятия решений для проектирования ТП получения заготовки $\bar{\psi} : M^d \times Tu^d \times Z^d \times P_z^d \times V_z^d \rightarrow W_1^{\text{dop}}$. Здесь S_M – стоимость материала, используемого для изготовления детали; S_{TZ} – трудозатраты; S_{VS} – стоимость вспомогательных материалов; S_{OB} – стоимость обработки (снятие технологических прибылей); K_{SS} – коэффициент, учитывающий срок службы детали; S_{TR} – транспортные расходы на доставку металла от поставщика на склад предприятия; $S_{НУТ}$ – стоимость риска ущерба здоровью, обусловленного работой в неблагоприятных условиях труда; W_1^{dop} – множество допустимых решений задачи 1.

5.4.1.2. Информационно-логическая модель процесса принятия решения задачи автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения

Для формализованного описания информационных массивов данных и связей между ними в соответствии со схемой построения ИЛМ предложена двухуровневая модель ТП, включающая в себя две локальные модели, совокупность данных о способах получения и видах заготовок, стойкости материала, условиях эксплуатации, марочника сталей, процессах механической и упрочняющей обработок и т.д., а также производственные правила. Локальные ИЛМ описывают данные и связи между ними, которые используются при определении марки материала и вида упрочняющей обработки. Приведём для примера несколько правил, записанных в формализованном виде: if ((категория значимости $k_z = \text{"ответственная"}$) \wedge (класс деталей $Vd = \text{"диски"}$) \wedge (группа деталей $Gd = \text{"средние"}$)) then (способ получения заготовки $p_z = \text{"прокат"}$); if ((способ приложения нагрузки $u_{pr} = \text{"объёмные"}$ \vee $u_{pr} = \text{"поверхностные"}$) \wedge (время приложения нагрузки $u_{vr} = \text{"статические"}$) \wedge (среда $u_{sr} = \text{"атмосфера"}$) \wedge (диапазон температур $u_t = -80...0$ °C)) then (вид химико-термической обработки $t_u = \text{"азотирование"}$).

5.4.1.3. Процедурная модель принятия решения задачи автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения

Процедурная модель принятия решений задачи включают ряд эвристических процедур, реализованных в соответствии с обобщённой процедурной моделью, описанной в пункте 3 (см. рис. 5.2). Исходя из специфики проектирования ТП машиностроительного производства, к выходным переменным первой категории отнесены: способ и метод получения заготовки, марка материала и вид упрочняющей обработки, ко второй – вид заготовки, а к третьей категории – вид вспомогательных материалов для проведения методов получения заготовки.

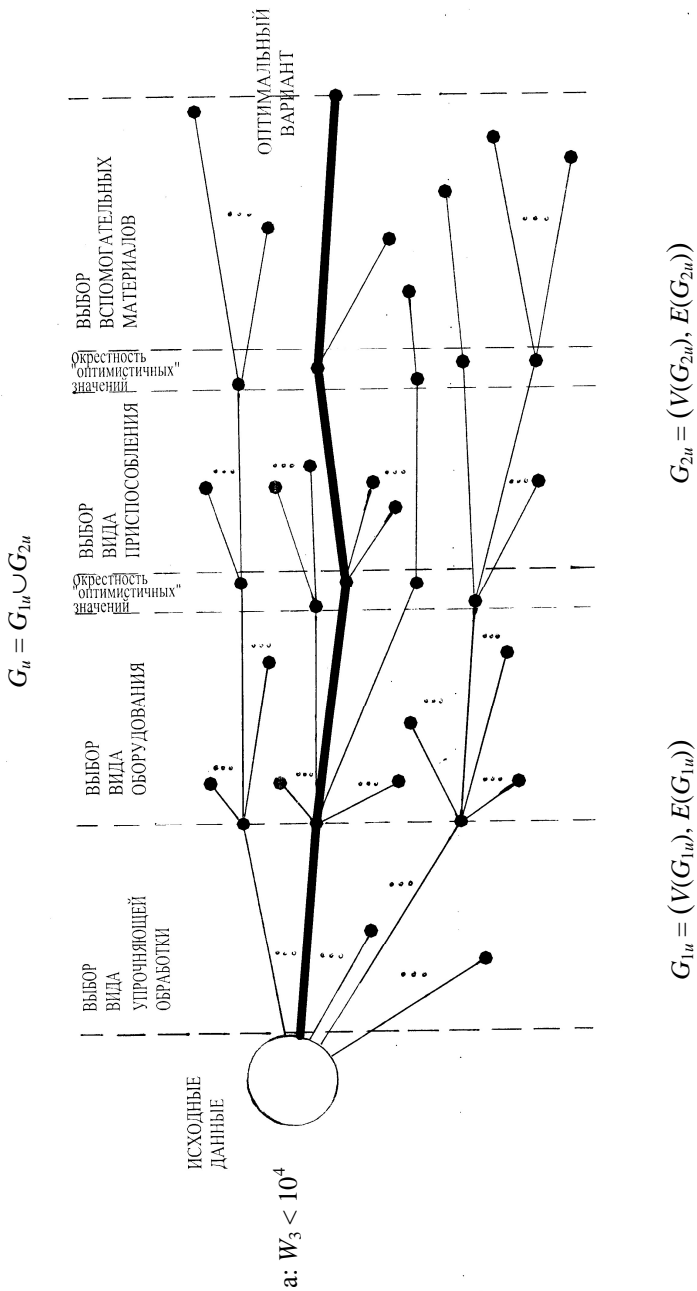


Рис. 5.3. Схема формирования множества допустимых вариантов решения задачи Z_i для случая, когда $W_1 < 10^4$

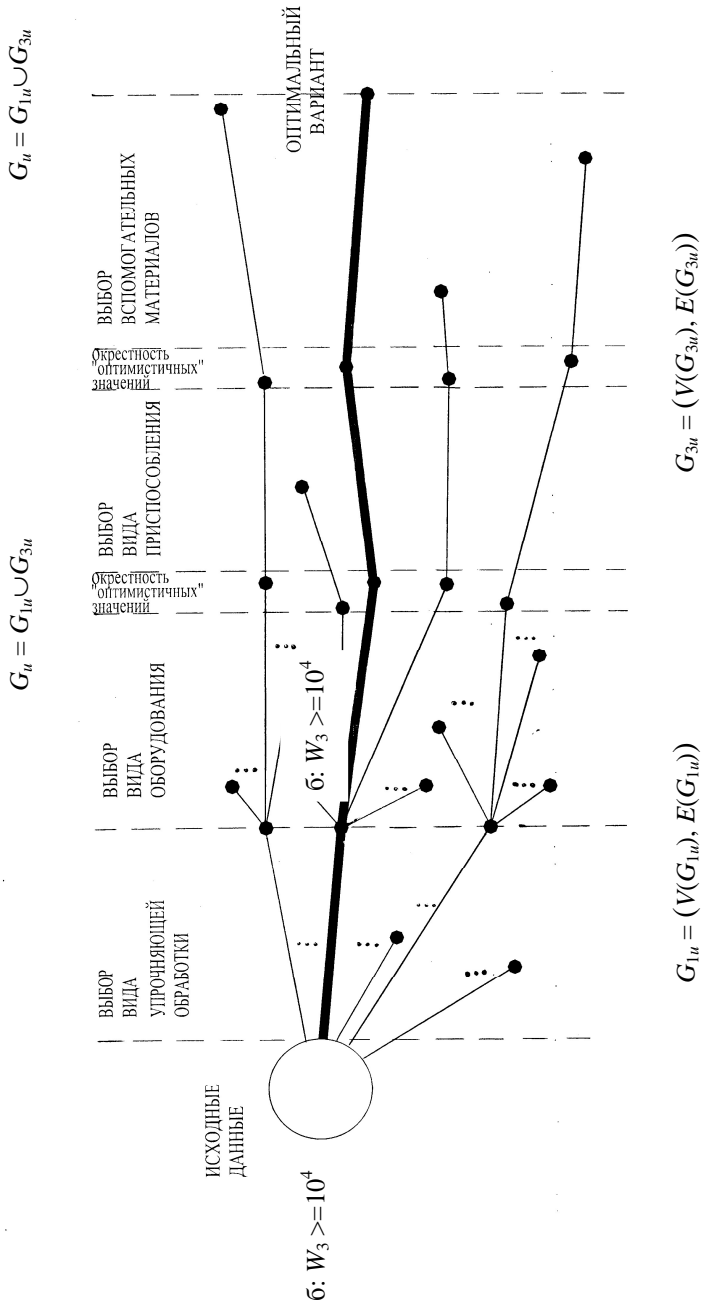


Рис. 5.4. Схема формирования множества допустимых вариантов решения задачи Z_p для случая, когда $W_1 \geq 10^4$

Поскольку размерность множества W_1 конечна ($< 10\,000$ вариантов), то, учитывая высокое быстродействие современных ПЭВМ, решение задачи сводится к последовательному перебору всех вариантов допустимых марок металлов, способов получения заготовок, видов упрочняющей обработки, а также видов возможных заготовок, которые можно использовать для изготовления детали, и выбору такой их комбинации, где критерий F_1 достигает минимального значения, при условии выполнения всех ограничений. Таким образом, удаётся найти глобальный минимум критерия F_1^{opt} .

В случае значительного увеличения размера информационной базы для поиска оптимального решения будем использовать разработанную нами схему формирования и анализа множества вариантов решения задачи Z_v (рис. 5.3, рис. 5.4). Процесс формирования множества W_1 представлен в виде графа G_v , который представляет собой объединение графов $G_{1v} = (V(G_{1v}), E(G_{1v}))$ и $G_{2v} = (V(G_{2v}), E(G_{2v}))$ для случая, когда $W_1 < 10^4$ (см. рис. 5.3), и объединение графов $G_{1v} = (V(G_{1v}), E(G_{1v}))$ и $G_{3v} = (V(G_{3v}), E(G_{3v}))$ для случая, когда $W_1 \geq 10^4$ (рис. 5.4).

5.4.2. Задача автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров для упрочняющей обработки

В связи с тем, что постановка задач 2 и 3 и модели принятия их решений во многом совпадают, то ограничимся детальным рассмотрением задачи 3, а именно, задачи выбора ТП, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров для упрочняющей обработки.

Для конструируемой детали с заданными геометрическими размерами L и весом G , серийностью производства Sp^d , а также выбранным видом упрочняющей обработки $tu^d \in Tu^d$ и маркой материала m^d на множестве $W_3 = Tp^d \times O_u^d \times P_u^d \times V_u^d$ найти такой вариант $w_3^* \in W_3$, для которого критерий оптимальности имеет минимальное значение. Множество W_3 представляет собой декартово произведе-

ние подмножеств ТП Tr^d для выбранного вида упрочняющей обработки tu^d , допустимых наборов оборудования O_u^d и приспособлений P_u^d и видов вспомогательных материалов V_u^d при выполнении ограничений для: ТП на температурный режим; материала детали на глубину слоя ХТО; оборудования на габаритные размеры упрочняемой детали; приспособления на вес упрочняемой детали и оператора, представляющего математическую модель поддержки принятия решений для проектирования ТП упрочняющей обработки $\bar{\phi}: Tr^d O_u^d P_u^d V_u^d \rightarrow W_3^{\text{доп}}$, где $W_3^{\text{доп}}$ – множество допустимых решений задачи 3.

В большинстве работ используется экономический критерий, однако наряду с экономическими показателями не менее важными являются другие количественные и качественные показатели, такие как – оценка варианта $w_3^* \in W_3$ на процент брака при изготовлении машиностроительных деталей, технологичность совокупности процессов их изготовления и надёжность используемого оборудования. Поэтому задача 3 рассмотрена как многокритериальная.

Критерий надёжности оборудования для реализации совокупности процессов упрочняющей обработки. Надёжность работы оборудования определяется как свойство оборудования выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического применения, технического обслуживания и ремонтов:

$$F_3^4(w_3) = \max_{W_3} \prod_{j=1}^{E_{tp_u}} Pt_j, \quad (5.11)$$

где Pt_j – вероятность безотказной работы оборудования при проведении j -го процесса упрочняющей обработки; E_{tp_u} – количество видов ТП для выбранного вида упрочняющей обработки.

Форма записи критерия технологичности и оценки процента брака при проведении ТП упрочняющей обработки деталей подобна (5.11).

Для каждого варианта решения задачи 1, принадлежащего области "оптимистичных" значений критерия F_1 , решается задача автомати-

зированной выбора ТП, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров для упрочняющей обработки. Для решения задачи предложены информационно-логическая и процедурная модели принятия решений, которые во многом аналогичны используемым в задаче 1. При реализации процедурной модели к выходным переменным первой категории отнесены: вид упрочняющей обработки и вид оборудования, ко второй – вид приспособления, а к третьей категории – вид вспомогательных материалов для проведения упрочняющей обработки.

Результатом решения задачи является маршрутная карта ТП упрочняющей обработки конструируемой детали.

5.4.3. Методика реализации информационных и процедурных моделей при решении задачи технологической подготовки машиностроительного производства

При решении задачи автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения (5.1) (см. рис. 5.1), используя критерий F_1 , мы получаем H_1 вариантов её решения. Это обусловлено тем, что при решении задачи используется укрупнённая оценка затрат и времени на изготовление детали (её партии), которые уточняются при детальном рассмотрении ТП механической и упрочняющей обработок.

Компонентами каждого варианта являются: материал, используемый для изготовления детали m_c , способ получения p_{zl} и вид заготовки z_g , а также вид упрочняющей обработки, обеспечивающей заданные показатели качества изделия tu_b .

Для каждого h_i -го варианта решения задачи 1 решается задача автоматизированного выбора ТП, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров для упрочняющей обработки (5.3) (см. рис. 5.1). При решении задачи 3, используя обобщённый критерий F_3 , составляющими которого являются: экономический критерий F_3^1 , включающий в себя трудозатраты, стоимости вспомогательных материалов и материалов, затраченных на изготовление приспособлений, стоимости электроэнергии и ущерба, наносимого окружающей среде выбросами загрязнений в

атмосферный воздух, оценка процента брака деталей F_3^2 , критерий технологичности совокупности процессов упрочняющей обработки F_3^3 и критерий надёжности оборудования для реализации совокупности процессов упрочняющей обработки F_3^4 , мы получаем вариант со следующими составляющими: вид ТП упрочняющей обработки tp_u с соответствующим набором оборудования o_{u_s} , приспособлений $p_{u_{s1}}$ и видом вспомогательных материалов $v_{u_{s2}}$.

Помимо этих задач в общую схему задач проектирования ТП производства изделий из металлов включается и задача 2, которая в данной работе не рассматривается, так как результаты её решения не оказывают существенного влияния на эксплуатационные свойства материала детали. Затраты, связанные с реализацией процессов механической обработки конструируемой детали, определялись нами с использованием программно-методического комплекса системы автоматизированного проектирования ТП механической обработки, разработанного "БелОргСтанкинПром".

При решении задачи 1 стоимость упрочняющей обработки оценивалась укрупнённо, поэтому решение задачи 3 служит для уточнения затрат на её проведение. Для того чтобы окончательно выбрать оптимальный вариант решения общей задачи исследования, необходимо посчитать комплексный критерий F , минимальное значение которого позволит получить: материал, используемый для изготовления детали m_c , способ получения p_{z_l} и вид заготовки z_g , вид технологического процесса упрочняющей обработки tp_u с соответствующим набором оборудования o_{u_s} , приспособлений $p_{u_{s1}}$ и видом вспомогательных материалов $v_{u_{s2}}$.

5.5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ И ПРОЦЕДУРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В основу построения программного обеспечения системы положены принципы структурного программирования: модульности и децентрализации управления. Отдельные части программного обеспечения выделены в виде блоков. Это позволяет повысить надёжность всей системы в целом, упрощает его дальнейшее совершенствование. Каж-

дый блок реализует решение отдельной задачи. Разрабатываемая система, представляющая собой совокупность технических, информационных и методических средств, обеспечивает: интерактивный режим организации вычислительного процесса; автоматизацию решения задач; контроль достоверности и полноты информации на этапах её ввода, хранения и вывода; организацию вывода цифровой, текстовой и графической информации. При разработке программных модулей за основу взят типовой набор технических средств ПЭВМ Pentium III. В качестве базовой системы программирования бала выбрана СУБД Clipper.

С помощью АИС, реализующей разработанные информационно-логические и процедурные модели, осуществлено решение ряда практических задач проектирования ТП производства изделия из металлов, в частности: форматоров-вулканизаторов (ФВ2-130-940-185/280, ФВ1-500-1800-305, ФВ2-140), редукторов (МР2-315, МПО1М-10, МПО2М-15Щ, МПО2-18) на ЗАО "Завод Тамбовполимермаш".

В главе 5 предложена методология создания информационно-логических и процедурных моделей поддержки принятия решения и способы их представления в программном обеспечении информационной системы поддержки принятия решений при проектировании энергосберегающих экологически безопасных технологических процессов машиностроительного производства.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что является основой технологии поддержки принятия решений для проектирования технологических процессов производственных технических систем?

2. Какая структура применялась при построении систем поддержки принятия решений для проектирования технологических процессов производственных технических систем и чем она обоснована?

3. К какому классу задач программирования относятся задачи (1) – (3) (см. рис. 5.1)?

4. Какой метод используется при определении важности функций цели в данной работе?

5. Что собой представляет информационно-логическая модель технологического процесса производственной технической системы?

6. Какая общая схема реализации процедурной модели используется в данной работе? На сколько категорий разбиты выходные переменные в процедурной модели поддержки принятия решений?

7. Сколько уровней имеет информационно-логическая модель технологического процесса для задачи автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения? Что описывают локальные информационно-логические модели?

8. Какие критерии и показатели используются в постановке задачи автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров для упрочняющей обработки?

9. В чём суть методики реализации информационных и процедурных моделей при решении задачи технологической подготовки машиностроительного производства?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 5

1. Немтинов, В.А. О подходе к построению автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений для проектирования процессов производства изделий из металлов / В.А. Немтинов, Ж.Е. Зимнухова // Информационные технологии. – 2008. – № 9. – С. 29 – 34.

2. Николаев, Е.Н. Термическая обработка металлов и оборудование термических цехов / Е.Н. Николаев. – М. : Высшая школа, 1980. – 192 с.

3. Орлов, П.Н. Краткий справочник металлста / П.Н. Орлов, Е.А. Скороходова. – М. : Машиностроение, 1987. – 960 с.

4. Решение проблемы оптимального синтеза технологических процессов сложных систем / Е.Н. Малыгин, В.А. Немтинов, Ж.Е. Зимнухова, Ю.В. Немтинова // Вестник ТГУ. Сер. Естественные технические науки. – 2002. – Т. 7, вып. 2. – С. 242 – 245.

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

При решении задач, связанных с водоснабжением различных групп потребителей, в частности: оперативного диспетчерского управления в нормальном режиме эксплуатации водопроводных систем, оперативного реагирования на аварии и чрезвычайные ситуации, обеспечения профилактических и аварийных ремонтных работ и других, специалисты, обслуживающие инженерные коммуникации сталкиваются с рядом различных производственных ситуаций. В настоящее время принятие эффективных управленческих решений невозможно без использования прикладных автоматизированных информационных систем (АИС) поддержки принятия решений, в том числе и АИС, которые оперируют знаниями предметной области. При этом одним из основных элементов АИС являются модели объектов, входящих в состав трубопроводных систем, и модели представления знаний об объектах трубопроводной системы. Они позволят специалисту систематизировать всю информацию о реальном объекте, упорядочить её хранение на электронных носителях и обеспечить эффективную обработку.

6.1. МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЪЕКТА

Введём понятие информационного объекта трубопроводной системы.

Определение. Информационным объектом трубопроводной системы (реального объекта, процесса или события) называется формализованная совокупность знаний о ней, представленная в виде графовой структуры фреймов и включающая сведения о составе, свойствах системы и её элементах, а также способах задания значений этих свойств.

Схема представления данных об информационном объекте O , описывающем трубопроводную систему, приведена на рис. 6.1.

$$O = \{St_o, S_o, Sp_o, M_o\}, \quad (6.1)$$

где St_o – фрейм, описывающий структурный состав физического объекта [1]; S_o – фрейм, описывающий свойства, характерные для всего объекта;

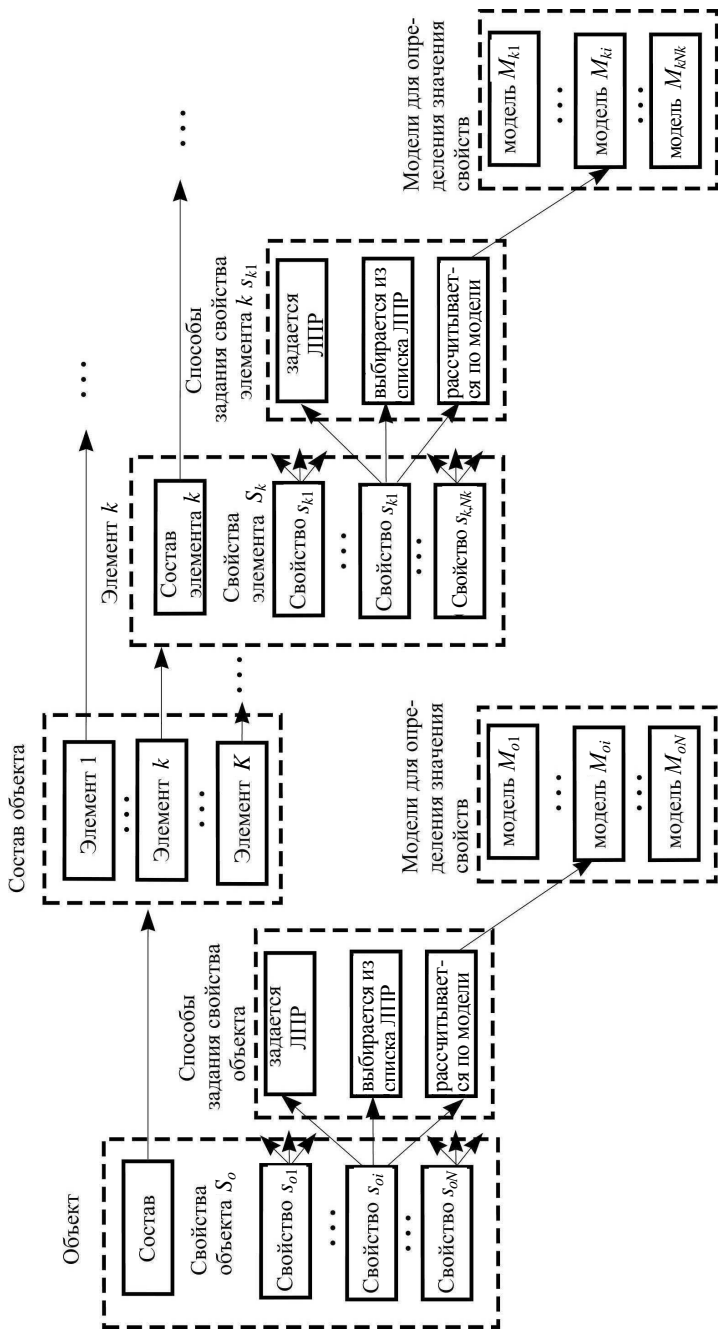


Рис. 6.1. Схема представления знаний об информационном объекте, описывающем трубопроводную систему

Sp_o – множество способов задания свойств объекта; M_o – множество моделей, позволяющих определить значения свойств, характерных для всего объекта. При этом следует отметить, что $s_{oi} = \{s'_{oi}, z'_{oi}\}$, $i = \overline{1, N}$, где s'_{oi} , z'_{oi} – соответственно наименование слота свойства s_{oi} и его значение; N – количество свойств.

Элементами множества Sp_o являются термы:

$$Sp_o = \{ \text{"задаётся ЛЛПР, "выбирается ЛПР из списка", "рассчитывается по модели"} \}.$$

Элементами множества M_o являются модели для определения значений соответствующих элементов:

$$M_o = \{M_{o1}, \dots, M_{oi}, \dots, M_{oN}\},$$

где M_{oi} – модель для определения i -го свойства.

В свою очередь, каждый k -й элемент сложного информационного объекта O может быть описать аналогичным (6.1) способом:

$$O_k = \{St_k, S_k, Sp_k, M_k\}, k = \overline{1, K},$$

где St_k – фрейм, описывающий структурный состав k -го элемента информационного объекта; S_k – фрейм, описывающий свойства, характерные для k -го элемента объекта; Sp_k – множество способов задания свойств k -го элемента объекта; M_k – множество моделей, позволяющих определить значения свойств, характерных для k -го элемента объекта.

$$s_{ki} = \{s'_{ki}, z'_{ki}\}, i = \overline{1, N_k},$$

где s'_{ki} , z'_{ki} – соответственно наименование свойства s_{ki} k -го элемента объекта и его значение; N_k – количество свойств k -го элемента объекта.

Элементами множества Sp_k являются такие же термы, как и для Sp_o .

Для l -го свойства k -го элемента объекта, значение которого определяется в результате использования аналитической или информационно-логической модели, предлагается модель M_{kl} :

$$M_k = \{M_{k1}, \dots, M_{kl}, \dots, M_{kN_k}\}.$$

Следует отметить, что информационный объект O и множество информационных объектов $O_k | k = \overline{1, K}$ имеют аналогичную структуру. В связи этим можно говорить о шаблоне для описания информационного объекта или его элементов.

Реализацию модели рассмотрим на примере фрагмента водопроводной сети:

$$O = \{St_o, S_o, Sp_o, M_o\}.$$

Элементами множеств St_o, S_o являются:

$St_o = \{$ "трубопровод", "центробежный насос", "задвижка",
"диафрагма", "постепенное сужение трубопровода", ...,
"внезапное расширение" $\}$;

$S_o = \{$ "жидкость", "плотность жидкости", "вязкость жидкости",
"модуль упругости жидкости", "содержание примесей", ...,
"суточный расход" $\}$.

В качестве примера множеств S_k , описывающих свойства, характерные для k -го элемента объекта, можно отметить:

$S_k = \{$ "материал трубы", "диаметр", "длина",
"сопротивление участка сети", "скорость движения",
"шероховатость", ...,
"давление при гидравлическом ударе" $\}$.

Для l -го свойства k -го элемента объекта, значение которого определяется в результате использования модели, предлагается модель M_{kl} , принадлежащая множеству M_k .

Примерами таких моделей являются:

$M_k = \{$ модель определения значения свойства "сопротивление
участка сети", модель определения свойства
"местные потери напора", ..., модель определения свойства
"давление при гидравлическом ударе" $\}$.

По способу определения значений свойств элементов все модели можно разделить на аналитические и информационно-логические.

Аналитические модели представляют собой систему математических выражений, с помощью которых рассчитывается значение определённого свойства (например, сопротивление участка сети).

Информационно-логическая модель (ИЛМ) отображает данные предметной области в виде совокупности информационных объектов и связей между ними, которые при наличии определённого способа их обработки также позволяют определить значение свойства (например, причину отказа насоса).

6.2. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЪЕКТА

В качестве примера рассмотрим следующие аналитические модели для определения отдельных свойств информационного объекта.

Модель определения значения свойства "сопротивление участка сети". Потери напора при движении воды по трубам пропорциональны их длине и зависят от диаметра труб, расхода воды (скорости течения), характера и степени шероховатости стенок труб (т.е. от типа и материала труб) и от области гидравлического режима их работы.

Основной формулой инженерной гидравлики, связывающей все указанные характеристики, является формула Дарси-Вейсбаха [2]:

$$h_{\text{ли}} = \lambda \frac{v^2 l}{2gd},$$

где $h_{\text{ли}}$ – сопротивление участка сети; λ – коэффициент гидравлического сопротивления; l , d – соответственно длина и диаметр трубы; v – скорость движения воды; g – ускорение свободного падения.

Коэффициент гидравлического трения можно определять по формуле А.Д. Альтшуля [2]:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_e}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25},$$

где k_e – коэффициент эквивалентной шероховатости, м; v – скорость движения воды в трубе, м/с; d – внутренний диаметр трубопровода, м;

Re – безразмерное число Рейнольдса; $v' = 1,3 \cdot 10^{-6}$ м²/с – кинематический коэффициент вязкости воды при температуре воды 10 °С.

В течение времени эксплуатации пропускная способность трубопроводов снижается вследствие коррозии и образования отложений на трубах. При этом происходит изменение шероховатости трубопровода и его зарастание (уменьшение поперечного сечения). Увеличение шероховатости и зарастание приводит к уменьшению диаметра трубопровода и как следствие к увеличению потерь напора.

Модель определения значения свойства "давление при гидравлическом ударе". Гидравлический удар – резкое увеличение давления в трубопроводе при внезапной остановке движущейся в нём жидкости. Гидравлический удар наблюдается при быстром закрывании запорных устройств, установленных на трубопроводах (задвижка, кран), внезапной остановке насосов, перекачивающих жидкость, и т.д.

Величину повышения давления при гидравлическом ударе определяют по формуле Н.Е. Жуковского [2]:

$$\Delta P = \rho a v,$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³; a – скорость распространения ударной волны, м/с; v – скорость движения жидкости в трубе до закрывания задвижки, м/с.

Скорость распространения ударной волны находят по формуле Н.Е. Жуковского [2]:

$$a = \sqrt{\frac{E_g}{\rho}} \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{E_g d}{E_{tr} \delta}}},$$

где E_g – модуль упругости жидкости; d – диаметр трубы; E_{tr} – модуль упругости материала стенки трубы; δ – толщина стенки трубы.

Модели определения значения свойства "местные потери напора" для отдельных элементов информационного объекта. Общие потери в трубопроводе с учётом потерь в местных сопротивлениях могут быть определены по формуле

$$h_o = h_{lin} + h_m = (1,05 \dots 1,1) h_{lin},$$

где 1,05...1,1 – коэффициент, учитывающий потери в местных сопротивлениях.

Местные потери напора обуславливаются преодолением местных сопротивлений, создаваемых фасонными частями, арматурой и прочим оборудованием трубопроводных сетей. Потери напора в местных сопротивлениях вычисляются по формуле Вейсбаха [2]:

$$h_m = \xi \frac{v^2}{2g}, \quad (6.2)$$

где ξ – безразмерный коэффициент местного сопротивления.

Для определения потерь давления формула (6.2) преобразуется к виду

$$\Delta P_m = \xi \rho \frac{v^2}{2},$$

где ρ – плотность.

При внезапном расширении трубопровода потери напора трубопровода находят по формуле Борда [2]:

$$h_{v-r} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = \xi_{v-r1} \frac{v_1^2}{2g} = \xi_{v-r2} \frac{v_2^2}{2g},$$

где v_1, v_2 – средние скорости течения соответственно до и после расширения.

Модель 1 (для элемента "внезапное расширение трубопровода"). Коэффициент местного сопротивления при внезапном расширении трубопровода в формуле Вейсбаха (6.2) определяется из выражения

$$\xi_{v-r1} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right)^2; \quad \xi_{v-r2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} - 1\right)^2 = \left(\frac{d_1^2}{d_2^2} - 1\right)^2,$$

где ω_1, ω_2 – площадь сечения трубопровода соответственно до и после расширения.

Модель 2 (для элемента "внезапное сужение трубопровода"). Коэффициент местного сопротивления при внезапном сужении трубопровода определяется по формуле

$$\xi_{v-s} = \left(\frac{1}{\epsilon} - 1\right)^2,$$

где ε – коэффициент сжатия струи, представляет собой отношение площади сечения сжатой струи в узком трубопроводе ω_{sg} к площади сечения узкой трубы ω_2 :

$$\varepsilon = \frac{\omega_{sg}}{\omega_2}.$$

Коэффициент сжатия струи ε зависит от степени сжатия потока $n = \frac{\omega_2}{\omega_1}$ и может быть определён по формуле А.Д. Альтшуля [2]:

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - n}.$$

Модель 3 (для элемента "диафрагма на трубопроводе"). Коэффициент местного сопротивления диафрагмы, расположенной внутри трубы постоянного сечения (отнесённый к сечению трубопровода):

$$\xi_{\text{diafr}} = \left(\frac{1}{n_{\text{diafr}} \varepsilon} - 1 \right)^2, \quad n_{\text{diafr}} = \frac{\omega_0}{\omega},$$

где ω_0 , ω – соответственно площади отверстия диафрагмы и сечения трубы.

Для диафрагмы, расположенной на выходе в трубопровод другого диаметра:

$$\xi_{\text{diafr}} = \left(\frac{1}{n_{\text{diafr}} \varepsilon} - \frac{1}{m} \right)^2, \quad m = \frac{\omega_2}{\omega_1}, \quad n_{\text{diafr}} = \frac{\omega_0}{\omega_1}.$$

Модель 4 (для элемента "сварной стык на трубопроводе"). Коэффициент сопротивления стыка может быть найден по формуле [2]:

$$\xi_{st} = 14 \left(\frac{\delta}{d} \right)^{1,5},$$

где δ – эквивалентная высота сварного стыка: для стыков с подкладными кольцами ($\delta = 5$ мм; для стыков электродуговой и контактной сварки $\delta = 3$ мм).

$$h_{st} = \xi_{st} \frac{v^2}{2g} k,$$

где k – количество стыков на участке.

6.3. ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЪЕКТА

В общем виде ИЛМ поддержки принятия решений для обеспечения режимов нормального функционирования водопроводных систем представляет собой объединение множеств данных и связей между ними в виде правил. Отдельное продукционное правило, содержащееся в базе знаний, состоит из двух частей [3]: антецедента и консеквента. Антецедент представляет собой посылку правила (условную часть) и состоит из элементарных предложений, соединённых логическими связками "И", "ИЛИ". Консеквент (заключение) включает одно или несколько предложений, которые выражают либо некоторый факт, либо указание на определённое действие, подлежащее исполнению.

Таким образом, ИЛМ может быть представлена следующим кортежем:

$$M = (d_1, \dots, d_i, \dots, d_N, p_1, \dots, p_j, \dots, p_S),$$

где M – оператор ИЛМ; d_1, \dots, d_N – множество данных ИЛМ; p_1, \dots, p_S – множество правил.

В свою очередь, правила, входящие в модель, построены по типу: *если ... (условия выполняются), то ... (реализация следствия)*, в формализованном виде описываются следующим образом:

$$p^k : \left\{ \text{if} \left(\left(d_1^k \ A_1 \ z_1^k \right) \Lambda_1 \left(d_2^k \ A_2 \ z_2^k \right) \Lambda_2 \dots \Lambda_{n-1} \left(d_n^k \ A_n \ z_n^k \right) \right) \right. \\ \left. \text{then} \left(d_{1m}^k \ A_1' \ z_{1M}^k \right) \right\},$$

где *if* – обозначение условия "если"; *then* – обозначение следствия "то"; $A_i', A_i \in \{=, >, \geq, <, \leq, \neq, \neg\}$, $i = \overline{1, n}$ – арифметический оператор, $\Lambda_i \in \{\wedge, \vee\}$ – логический оператор; d_s', d_{1m}'' – соответственно входные и выходные данные модели; $Z^k = \{z_1^k, \dots, z_n^k\}$ – множество значений данных антецедента d_s' ; $z_1^k \in \{z_{11}^k, \dots, z_{1M}^k\}$ – значение для данных консеквента d_{1m}'' ; n – количество условий; k – индекс правила.

Конкретный вид ИЛМ рассмотрим на примере определения значений свойств "диагноз текущего состояния" и "рецепт (способ) устранения неисправности" для элемента "насосный агрегат".

Модель определения значения свойств "диагноз текущего состояния" и "рецепт устранения неисправности" для элемента "насосный агрегат". Рассмотрим правила, на основе которых должны приниматься решения по устранению неполадок в работе насосных агрегатов. Они собраны специалистами по прикладным знаниям (экспертами) [4] и нами в процессе контактов со специалистами по обслуживанию оборудования. Для этого будем использовать множества данных о состоянии насосов $S_{\text{насоса}}$, возможных причинах неисправностей $PR_{\text{насоса}}$, способах их устранения $D_{\text{насоса}}$ и соответствующей стоимости работ $ST_{\text{насоса}}$:

$$S_{\text{насоса}} = \{s_{\text{насоса},1}, \dots, s_{\text{насоса},j}, \dots, s_{\text{насоса},I_H}\}, \quad i = \overline{1, I_H};$$

$$PR_{\text{насоса}} = \{pr_{\text{насоса},1}, \dots, pr_{\text{насоса},j}, \dots, pr_{\text{насоса},J_H}\}, \quad j = \overline{1, J_H};$$

$$D_{\text{насоса}} = \{d_{\text{насоса},1}, \dots, d_{\text{насоса},k}, \dots, d_{\text{насоса},K_H}\}, \quad i = \overline{1, K_H};$$

$$ST_{\text{насоса}} = \{st_{\text{насоса},1}, \dots, st_{\text{насоса},k}, \dots, st_{\text{насоса},K_H}\}, \quad i = \overline{1, K_H}.$$

Примеры этих данных приведены в табл. 6.1 – 6.3, а примеры правил определения значений свойств "диагноз текущего состояния" и "рецепт устранения неисправности" для элемента "насосный агрегат" – в табл. 6.4 и табл. 6.5.

Модель определения значения свойств "наименование марки" для элемента "насосный агрегат". Рассмотрим правила, на основе которых должны приниматься решения по выбору марок насосных агрегатов. В настоящее время широко используются насосные агрегаты следующих серий: D – центробежные горизонтальные сетевые; S – центробежные самовсасывающие; R – шестеренчатые и др. Для этого используем множества данных о категория насосов $T_{\text{насоса}}$ и параметров, по которым выбираются насосы данной серии $P_{\text{насоса}}$:

$$TIP_{\text{насоса}} = \{tip_{\text{насоса},1}, \dots, tip_{\text{насоса},i}, \dots, tip_{\text{насоса},I_T}\}, \quad i = \overline{1, I_T};$$

$$P_{\text{насоса}} = \{p_{\text{насоса},1}, \dots, p_{\text{насоса},j}, \dots, p_{\text{насоса},I_P}\}, \quad j = \overline{1, I_P}.$$

Примеры этих данных приведены в табл. 6.6 и табл. 6.7, а примеры правил определения значений свойств "наименование марки" для элемента "насосный агрегат" – в табл. 6.8.

6.1. Возможные состояния насосного агрегата

№	Обозначение состояния
1	$s_{\text{насоса},1}$ – "насос не работает"
2	$s_{\text{насоса},2}$ – "насос не всасывает"
3	$s_{\text{насоса},3}$ – "недостаточное нагнетание"
4	$s_{\text{насоса},4}$ – "неравномерная подача"
5	$s_{\text{насоса},5}$ – "шум при работе насоса"
6	$s_{\text{насоса},6}$ – "насос останавливается"
7	$s_{\text{насоса},7}$ – "повреждён статор"
8	$s_{\text{насоса},8}$ – "повреждён ротор"
9	$s_{\text{насоса},9}$ – "протекают уплотнения"
10	$s_{\text{насоса},10}$ – "низкое давление нагнетания"
...	...

6.2. Возможные причины неисправностей насосного агрегата

№	Обозначение
1	$pr_{\text{насоса},1}$ – "новые статор и ротор слипаются"
2	$pr_{\text{насоса},2}$ – "повреждён электрический контакт"
3	$pr_{\text{насоса},3}$ – "чрезмерное давление нагнетания"
4	$pr_{\text{насоса},4}$ – "неизвестное вещество в насосе"
5	$pr_{\text{насоса},5}$ – "высокая температура, деформация статора"
6	$s_{\text{насоса},6}$ – "статор из неподходящего материала"
7	$pr_{\text{насоса},7}$ – "слишком большая грануляция продукта"
8	$pr_{\text{насоса},8}$ – "отложение продукта при остановке насоса"
9	$pr_{\text{насоса},9}$ – "просачивание воздуха на подаче"
10	$pr_{\text{насоса},10}$ – "затруднённое всасывание"
11	$pr_{\text{насоса},11}$ – "всасывание воздуха через уплотнение или сальник"
...	...

6.3. Возможные действия по устранению неисправностей насосного агрегата

№	Обозначение
1	$d_{\text{насоса},1}$ – "заполнить насос подходящим продуктом, глицерином"
2	$d_{\text{насоса},2}$ – "проверить электрическое подключение согласно нормативам"
3	$d_{\text{насоса},3}$ – "измерить давление манометром и сравнить с паспортными данными"
4	$d_{\text{насоса},4}$ – "удалить неизвестное вещество и заменить повреждённые детали"
5	$d_{\text{насоса},5}$ – "установить ротор меньшего размера"
6	$d_{\text{насоса},6}$ – "заменить резиновую выстилку статора"
7	$d_{\text{насоса},7}$ – "установить решетку на подаче"
8	$d_{\text{насоса},8}$ – "очистить насос"
9	$d_{\text{насоса},9}$ – "повысить уровень жидкости на подаче, чтобы предотвратить всасывание воздуха"
10	$d_{\text{насоса},10}$ – "проверить уплотнения и тщательно затянуть стыки трубопроводов"
11	$d_{\text{насоса},11}$ – "затянуть или заменить сальник; если используется механическое уплотнение, тщательно очистить его или заменить при необходимости"
12	$d_{\text{насоса},12}$ – "увеличить обороты"
13	$d_{\text{насоса},13}$ – "переделать электрические подключения"
14	$d_{\text{насоса},14}$ – "увеличить давление на входе за счёт опускания насоса и снизить температуру жидкости на входе"
15	$d_{\text{насоса},15}$ – "заполнить насос, смонтировать устройства, предотвращающие работу в сухом режиме"
16	$d_{\text{насоса},16}$ – "заменить статор"
17	$d_{\text{насоса},17}$ – "заменить статор или при необходимости заменить резиновую выстилку статора"
18	$d_{\text{насоса},18}$ – "заменить ротор и установить причину, которая может быть заключаться в абразивности, коррозии или кавитации"
...	...

6.4. Примеры правил по определению значения свойства "диагноз текущего состояния"

№	Условие	Следствие
1	$s_{\text{насоса},1} \ \& \ s_{\text{насоса},7}$	$Pr_{\text{насоса},1}$
2	$s_{\text{насоса},1} \ \& \ s_{\text{насоса},7}$	$Pr_{\text{насоса},2}$
3	$s_{\text{насоса},3} \ \& \ s_{\text{насоса},4} \ \& \ s_{\text{насоса},7} \ \& \ s_{\text{насоса},8} \ \& \ s_{\text{насоса},9}$	$Pr_{\text{насоса},3}$
4	$s_{\text{насоса},1} \ \& \ s_{\text{насоса},3} \ \& \ s_{\text{насоса},6} \ \& \ s_{\text{насоса},7}$	$Pr_{\text{насоса},4}$
5	$s_{\text{насоса},1} \ \& \ s_{\text{насоса},2} \ \& \ s_{\text{насоса},7} \ \& \ s_{\text{насоса},8} \ \& \ s_{\text{насоса},9}$	$Pr_{\text{насоса},5}$
6	$s_{\text{насоса},1} \ \& \ s_{\text{насоса},2} \ \& \ s_{\text{насоса},7}$	$Pr_{\text{насоса},6}$
7	$s_{\text{насоса},1} \ \& \ s_{\text{насоса},5} \ \& \ s_{\text{насоса},6} \ \& \ s_{\text{насоса},7} \ \& \ s_{\text{насоса},8}$	$Pr_{\text{насоса},7}$
8	$s_{\text{насоса},1} \ \& \ s_{\text{насоса},2} \ \& \ s_{\text{насоса},4} \ \& \ s_{\text{насоса},6} \ \& \ s_{\text{насоса},7} \ \& \ s_{\text{насоса},8} \ \& \ s_{\text{насоса},10}$	$Pr_{\text{насоса},8}$
9	$s_{\text{насоса},2} \ \& \ s_{\text{насоса},4} \ \& \ s_{\text{насоса},5}$	$Pr_{\text{насоса},9}$
10	$s_{\text{насоса},2} \ \& \ s_{\text{насоса},3} \ \& \ s_{\text{насоса},4} \ \& \ s_{\text{насоса},5}$	$Pr_{\text{насоса},10}$
11	$s_{\text{насоса},2} \ \& \ s_{\text{насоса},3} \ \& \ s_{\text{насоса},4} \ \& \ s_{\text{насоса},5}$	$Pr_{\text{насоса},11}$
12	$s_{\text{насоса},2} \ \& \ s_{\text{насоса},3} \ \& \ s_{\text{насоса},4} \ \& \ s_{\text{насоса},10}$	$Pr_{\text{насоса},12}$
13	$s_{\text{насоса},2} \ \& \ s_{\text{насоса},3} \ \& \ s_{\text{насоса},4} \ \& \ s_{\text{насоса},9}$	$Pr_{\text{насоса},13}$
14	$s_{\text{насоса},2} \ \& \ s_{\text{насоса},5} \ \& \ s_{\text{насоса},10}$	$Pr_{\text{насоса},14}$
15	$s_{\text{насоса},2} \ \& \ s_{\text{насоса},3} \ \& \ s_{\text{насоса},4} \ \& \ s_{\text{насоса},6} \ \& \ s_{\text{насоса},7} \ \& \ s_{\text{насоса},10}$	$Pr_{\text{насоса},15}$
16	$s_{\text{насоса},2} \ \& \ s_{\text{насоса},3} \ \& \ s_{\text{насоса},10}$	$Pr_{\text{насоса},16}$
17	$s_{\text{насоса},2} \ \& \ s_{\text{насоса},3} \ \& \ s_{\text{насоса},4} \ \& \ s_{\text{насоса},7} \ \& \ s_{\text{насоса},10}$	$Pr_{\text{насоса},17}$
...

6.5. Примеры правил по определению значения свойства "рецепт устранения неисправности"

№	Условие	Следствие	Стоимость работ
1	$pr_{\text{насоса},1}$	$d_{\text{насоса},1}$	$st_{\text{насоса},1}$
2	$pr_{\text{насоса},2}$	$d_{\text{насоса},2}$	$st_{\text{насоса},2}$
3	$pr_{\text{насоса},3}$	$d_{\text{насоса},3}$	$st_{\text{насоса},3}$
4	$pr_{\text{насоса},4}$	$d_{\text{насоса},4}$	$st_{\text{насоса},4}$
5	$pr_{\text{насоса},5}$	$d_{\text{насоса},5}$	$st_{\text{насоса},5}$
6	$pr_{\text{насоса},6}$	$d_{\text{насоса},6}$	$st_{\text{насоса},6}$
7	$pr_{\text{насоса},7}$	$d_{\text{насоса},7}$	$st_{\text{насоса},7}$
8	$pr_{\text{насоса},8}$	$d_{\text{насоса},8}$	$st_{\text{насоса},8}$
9	$pr_{\text{насоса},9}$	$d_{\text{насоса},9}$	$st_{\text{насоса},9}$
10	$pr_{\text{насоса},10}$	$d_{\text{насоса},10}$	$st_{\text{насоса},10}$
11	$pr_{\text{насоса},11}$	$d_{\text{насоса},11}$	$st_{\text{насоса},11}$
12	$pr_{\text{насоса},12}$	$d_{\text{насоса},12}$	$st_{\text{насоса},12}$
...

6.6. Возможные значения параметров для подбора насосов (m – вязкость, сантиСтокс; q – производительность, м³/ч)

№	Обозначение
1	$p_{\text{насоса},1}$ – " $m = 200, q = 0,8$ "
2	$p_{\text{насоса},2}$ – " $m = 200, q = 1$ "
3	$p_{\text{насоса},3}$ – " $m = 1000, q = 0,8$ "
4	$p_{\text{насоса},4}$ – " $m = 1000, q = 1$ "
5	$p_{\text{насоса},5}$ – " $m = 200, q = 4$ "
6	$p_{\text{насоса},6}$ – " $m = 200, q = 5$ "
7	$p_{\text{насоса},7}$ – " $m = 1000, q = 3,15$ "
8	$p_{\text{насоса},8}$ – " $m = 1000, q = 4$ "
9	$p_{\text{насоса},9}$ – " $m = 200, q = 8$ "
10	$p_{\text{насоса},10}$ – " $m = 200, q = 10$ "
11	$p_{\text{насоса},11}$ – " $m = 1000, q = 6,3$ "
12	$p_{\text{насоса},12}$ – " $m = 1000, q = 8$ "
13	$p_{\text{насоса},13}$ – " $m = 200, q = 16$ "
...	...

6.7. Возможные типы насосных агрегатов

№	Обозначение
1	$\text{тип}_{\text{насоса},1}$ – "Насос марки R-35"
2	$\text{тип}_{\text{насоса},2}$ – "Насос марки R-40"
3	$\text{тип}_{\text{насоса},3}$ – "Насос марки R-50"
4	$\text{тип}_{\text{насоса},4}$ – "Насос марки R-65"
5	$\text{тип}_{\text{насоса},5}$ – "Насос марки R-80"
6	$\text{тип}_{\text{насоса},6}$ – "Насос марки R-105"
7	$\text{тип}_{\text{насоса},7}$ – "Насос марки R-151"
8	$\text{тип}_{\text{насоса},8}$ – "Насос марки R-180"
9	$\text{тип}_{\text{насоса},9}$ – "Насос марки R-200"
10	$\text{тип}_{\text{насоса},10}$ – "Насос марки R-250"
...	...

6.8. Примеры правил по подбору насосных агрегатов

№	Условие	Следствие
1	$p_{\text{насоса},1} \& p_{\text{насоса},2} \& p_{\text{насоса},3} \& p_{\text{насоса},4}$	$\text{тип}_{\text{насоса},1}$
2	$p_{\text{насоса},5} \& p_{\text{насоса},6} \& p_{\text{насоса},7} \& p_{\text{насоса},8}$	$\text{тип}_{\text{насоса},2}$
3	$p_{\text{насоса},9} \& p_{\text{насоса},10} \& p_{\text{насоса},11} \& p_{\text{насоса},12}$	$\text{тип}_{\text{насоса},3}$
4	$p_{\text{насоса},13} \& p_{\text{насоса},14} \& p_{\text{насоса},15} \& p_{\text{насоса},16}$	$\text{тип}_{\text{насоса},4}$
5	$p_{\text{насоса},17} \& p_{\text{насоса},18} \& p_{\text{насоса},19} \& p_{\text{насоса},20}$	$\text{тип}_{\text{насоса},5}$
6	$p_{\text{насоса},21} \& p_{\text{насоса},22} \& p_{\text{насоса},23} \& p_{\text{насоса},24}$	$\text{тип}_{\text{насоса},6}$
7	$p_{\text{насоса},25} \& p_{\text{насоса},26} \& p_{\text{насоса},27} \& p_{\text{насоса},28}$	$\text{тип}_{\text{насоса},7}$
8	$p_{\text{насоса},29} \& p_{\text{насоса},30} \& p_{\text{насоса},31} \& p_{\text{насоса},32}$	$\text{тип}_{\text{насоса},8}$
9	$p_{\text{насоса},33} \& p_{\text{насоса},34} \& p_{\text{насоса},35} \& p_{\text{насоса},36}$	$\text{тип}_{\text{насоса},9}$
10	$p_{\text{насоса},37} \& p_{\text{насоса},38} \& p_{\text{насоса},39} \& p_{\text{насоса},40}$	$\text{тип}_{\text{насоса},10}$
...

6.4. РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЪЕКТА

Для реализации вышеприведённых ИЛМ использована программная среда экспертной системы CLIPS. CLIPS включает полноценный объектно-ориентированный язык COOL для написания экспертных систем [5]. Протоколы выполнения отдельных модулей прототипа экспертной системы приведены ниже:

```
*****  
*****  
***** ПОДСИСТЕМА ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ И *****  
***** СПОСОБАХ ИХ УСТРАНЕНИЯ ДЛЯ НАСОСНЫХ *****  
***** АГРЕГАТОВ *****  
*****  
*****
```

Для поиска и устранения возможных неисправностей укажите, какие из перечисленных ниже пунктов подходят к Вашему случаю?

- A: Насос не работает
- B: Насос не всасывает
- C: Недостаточное нагнетание
- D: Неравномерная подача
- E: Шум при работе насоса
- F: Насос останавливается
- G: Поврежден статор
- H: Поврежден ротор
- I: Протекают уплотнения
- J: Низкое давление нагнетания

Для подтверждения введённых данных наберите DONE.

```
A  
E  
F  
G  
H  
DONE
```

Возможная причина: Слишком большая грануляция продукта.
Увеличить пропорцию жидкости. Установить решётку на подаче.

```
CLIPS>
```

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Дайте определение информационного объекта.
2. В чём отличие аналитических моделей от информационно-логических?
3. Раскройте содержание схемы представления знаний об информационном объекте, описывающем трубопроводную систему.
4. Приведите примеры фреймов, описывающих структурный состав и свойства для рассматриваемого объекта.
5. По какому типу построены продукционные правила?
6. Для каких целей используется объектно-ориентированный язык COOL?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 6

1. Минский, М. Фреймы для представления знаний – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://a-future.ru/frejmy-dlya-predstavleniya-znaniij-m-minskij.html>.
2. Абрамов, Н.Н. Расчёт водопроводных сетей / Н.Н. Абрамов, М.М. Поспелова, М.А. Сомов. – М. : Стройиздат, 1983. – 278 с.
3. Пахомов, П.И. Технология поддержки принятия решений по управлению инженерными коммуникациями / П.И. Пахомов, В.А. Немтинов. – М. : Машиностроение. 2009. – 124 с.
4. Насосы Аирпамп. Промышленные насосы – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://airpump.ru/item_novarotors_manual_08.html.
5. Хабаров, С.А. Экспертные системы / С.А. Хабаров. – М. : Наука, 2003. – 279 с.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЁМКОСТИ РЫНКА МАЛОТОННАЖНОЙ МНОГОАССОРТИМЕНТНОЙ ПРОДУКЦИИ С ПОМОЩЬЮ АППАРАТА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Осуществление прогноза спроса на продукцию многоассортиментных малотоннажных производств является актуальной задачей на сегодняшний момент времени. В соответствии с классификатором продукты химической промышленности представлены следующими классами: продукты неорганической химии, полимеры, лакокрасочные материалы и продукты, синтетические красители и органические полупродукты, химические реактивы и особо чистые химические вещества, медикаменты и химико-фармацевтическая продукция.

Прогнозирование спроса на фармацевтическую продукцию является одним из важнейших направлений в деятельности фармацевтических компаний. В условиях рыночной экономики анализ спроса на продукцию имеет первостепенное значение.

Развитие прогностики как науки в последние десятилетия привело к созданию множества методов, процедур, приёмов прогнозирования. Насчитывается свыше ста методов прогнозирования, в связи с чем перед специалистами возникает задача выбора методов, которые давали бы адекватные прогнозы для изучаемых процессов и систем.

7.1. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЁМКОСТИ РЫНКА МНОГОАССОРТИМЕНТНОЙ МАЛОТОННАЖНОЙ ПРОДУКЦИИ

Для решения задач прогноза и оптимизации актуальным является построение экспериментальных математических моделей (ЭММ) на основе накопленной информации. Под ЭММ понимается оператор $F: X \rightarrow Q$, обеспечивающий отображение входного вектора $X = (X_1, X_2, \dots, X_M)$ в выходной вектор $Q = (Q_1, Q_2, \dots, Q_N)$. Определение структуры и параметров ЭММ проводится на основе обучающей выборки.

Наиболее часто в качестве ЭММ применяются регрессионные модели. Однако аппроксимация функциональной зависимости $F: X \rightarrow Q$

степенными многочленами, используемыми в регрессионном анализе, применима для малой размерности M вектора входных параметров X . С ростом M резко возрастает число корректируемых параметров многочлена и необходима обучающая выборка экспериментальных данных большого объёма. Например, для аппроксимации зависимости, имеющей 30 входных переменных, требуется степенной многочлен, содержащий примерно 46 000 корректируемых параметров.

В наши дни возрастает необходимость в системах, которые способны не только выполнять однажды запрограммированную последовательность действий над заранее определёнными данными, но и способны сами анализировать вновь поступающую информацию, находить в ней закономерности, производить прогнозирование. В этой области приложений самым лучшим образом зарекомендовали себя так называемые искусственные нейронные сети (Neural Networks (NN)). Это эффективный математический аппарат для обработки "исторических" данных о процессе. Нейронные сети решают проблему представления нелинейного отображения $Q = Q(X, W)$, форма которого управляется вектором весов W .

Исходными данными для решения задачи прогнозирования спроса на продукцию является информация, характеризующая экономическую ситуацию на рынке. Источники этой информации могут находиться как внутри, так и вне предприятия.

Постановка задачи прогнозирования ёмкости рынка многоассортиментной малотоннажной продукции формулируется следующим образом: для известных объёмов спроса на продукцию ассортимента: $i, i = 1 \dots I$:

$$Q_{t-1}^1, Q_{t-2}^1, Q_{t-3}^1, \dots, Q_{t-j}^1, \dots, Q_{t-n}^1;$$

.....

$$Q_{t-1}^I, Q_{t-2}^I, Q_{t-3}^I, \dots, Q_{t-j}^I, \dots, Q_{t-n}^I$$

и факторных признаков

$$X_{t-1}^1, X_{t-2}^1, X_{t-3}^1, \dots, X_{t-j}^1, \dots, X_{t-n}^1;$$

.....

$$X_{t-1}^M, X_{t-2}^M, X_{t-3}^M, \dots, X_{t-j}^M, \dots, X_{t-n}^M$$

определить спрос на продукцию в момент времени t :

$$Q_t^1, Q_t^2, Q_t^3, \dots, Q_t^i, \dots, Q_t^I,$$

т.е. вычислить $Q_t = f(Z)$, где Z – факторные признаки.

7.2. СОЗДАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Задача прогнозирования ёмкости рынка многоассортиментной малотоннажной продукции решается с помощью аппарата искусственных нейронных сетей в пакете ST Neural Networks.

В качестве примера многоассортиментного малотоннажного производства предлагается использовать химико-фармацевтическую продукцию. Создание нейронной сети и дальнейшее предсказание будет реализовано на примере антигельминтного препарата "Вермокс".

Перед тем, как данные будут введены в сеть, они должны быть определённым образом подготовлены. Столь же важно, чтобы выходные данные можно было легко интерпретировать. В ST Neural Networks имеется возможность автоматического масштабирования входных и выходных данных (в том числе шкалирование по минимальному/максимальному значениям и по среднему/стандартному отклонению); также могут быть автоматически перекодированы переменные с текстовыми значениями (например, Пол = {Муж, Жен}), в том числе по методу 1-из-N кодирования. ST Neural Networks имеет также средства работы с пропущенными данными. Реализованы такие функции нормировки, как "единичная сумма", "победитель получает всё" и "вектор единичной длины". Имеются средства подготовки и интерпретации данных, специально предназначенные для анализа временных рядов.

В задачах классификации имеется возможность установить доверительные интервалы, которые ST Neural Networks использует затем для отнесения наблюдений к тому или иному классу. В сочетании со специальной реализованной в ST Neural Networks функцией активации Софтмакс и кросс-энтропийными функциями ошибок это даёт принципиальный теоретико-вероятностный подход к задачам классификации.

Алгоритм создания нейронной сети включает следующие этапы.

1. Создание таблицы исходных данных (рис. 7.1), в которой будет храниться информация для обучения сети. В качестве входных параметров используются колонки Var2–Var7, а в качестве выходного – Var1. Var1 – объём продаж препарата за прошедшие 12 месяцев, а Var2–Var7 –

	1 Var1	2 Var2	3 Var3	4 Var4	5 Var5	6 Var6	7 Var7
1	2020	75,15	68,45	4812500	4402	35475994	24,4387
2	2102	76,11	69	4798500	4402	35474880	24,4262
3	2905	76,93	69,5	4792300	4402	35474998	24,0023
4	2403	77,35	70,15	4804500	4646	35475220	23,5027
5	1715	78,85	71	4821500	4646	35475850	23,6588
6	1830	79,82	72,12	4811200	4646	35473860	23,7473
7	1751	81,05	73,2	4791400	4630	35471956	23,4068
8	1810	82,12	74,35	4785600	4630	35472123	23,4186
9	2302	83,25	75,1	4787800	4630	35476250	24,667
10	3106	85,1	76,5	4790900	4693	35475542	25,3718
11	4717	86,23	77,25	4791200	4693	35471253	27,0981
12	1620	87,38	78	4791800	4693	35472976	27,9409

Рис. 7.1. Исходные данные

факторы, которые влияют на продажу данного препарата; Var2 – известные значения цен на продукцию; Var3 – известные значения цен на продукцию у конкурентов; Var4 – известные значения уровня безработицы; Var5 – известные значения прожиточного минимума; Var6 – известные значения курса доллара; Var7 – известные значения количества заболевших людей.

Пакет ST Neural Networks сохраняет данные в формате системы ST, что позволяет использовать её возможности для импорта файлов данных, сохранённых в других форматах. Кроме того имеется возможность создавать файлы данных непосредственно в пакете ST Neural Networks, набирая их в редакторе данных, вставляя из буфера обмена, или импортируя из текстовых (ASCII) файлов (разделители – знаки табуляции или запятые). При импорте данных модуль ST Neural Networks автоматически распознаёт переменные с текстовыми значениями и пропущенные значения. После того как данные введены, их можно редактировать в редакторе данных пакета, который имеет обычный интерфейс электронной таблицы; при этом имеется возможность приписывать метки наблюдениям и переменным, добавлять и удалять наблюдения и/или переменные, устанавливать тип переменной – входная/выходная, подразделять все наблюдения на обучающее, проверочное и тестовое множества. Также имеется возможность временно "отключать" часть наблюдений или переменных.

После того как данные подготовлены, необходимо решить, какие переменные следует использовать при работе с нейросетью. Чем больше число переменных, тем сложнее будет нейронная сеть, и, следовательно, потребуется больше памяти и времени на обучение, а также большее количество обучающих примеров (наблюдений). При недостаточном объёме данных и/или корреляциях между переменными исключительную важность во многих нейросетевых приложениях приобретают вопросы отбора значимых входных переменных и сжатия информации в меньшее число переменных.

2. Запуск модуля "Нейронные сети" (рис. 7.2) в меню "Анализ". В появившемся диалоге на вкладке "Быстрый" выбирается тип задачи "Временные ряды" и задаются входные и выходные переменные. Инструмент "Мастер решений" остаётся по умолчанию. При конфигурировании сети для анализа временных рядов изменяется метод преобразования данных (извлекаются не отдельные наблюдения, а их блоки), но обучение и работа сети происходят точно так же, как и в задачах других типов.



Рис. 7.2. Модуль "Нейронные сети"

3. Выбор типа сети (рис. 7.3) – зависит от вида решаемой задачи и от опыта разработчика, который сможет выбрать наилучший тип сети для конкретной задачи. Если выбор типа сети неясен, то можно выбрать сразу несколько, а потом отобрать наилучшую. (В данном примере, как образец, выбрано 3 типа сети: линейная, трёхслойный перцептрон, радиальная базисная функция).

4. Выбор длительности анализа (рис. 7.4). Длительность анализа задаётся либо количеством сетей, либо временем анализа.

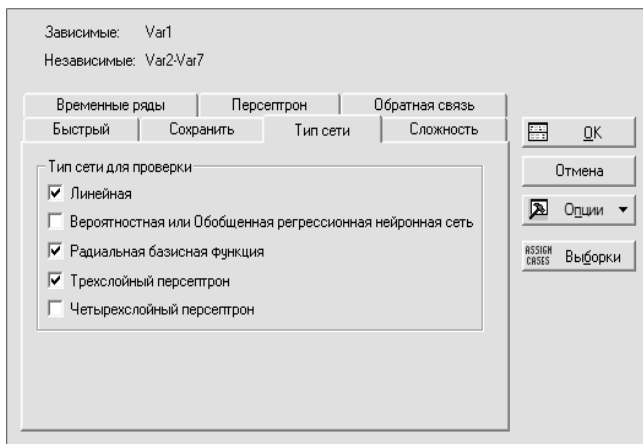


Рис. 7.3. Тип сети

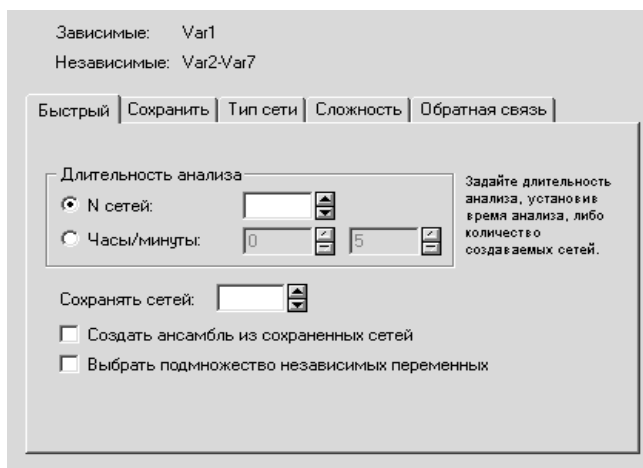


Рис. 7.4. Длительность анализа

5. Указание количества сохраняемых сетей (рис. 7.5). Выбирается, какое количество сетей надо сохранить, чтобы потом выбрать из них с наилучшей производительностью и наименьшей ошибкой.

6. Выбор наилучшей сети (рис. 7.6). Из списка сетей, который указывался ранее, выбирается наилучшая сеть, и в дальнейшем по ней строится прогноз.

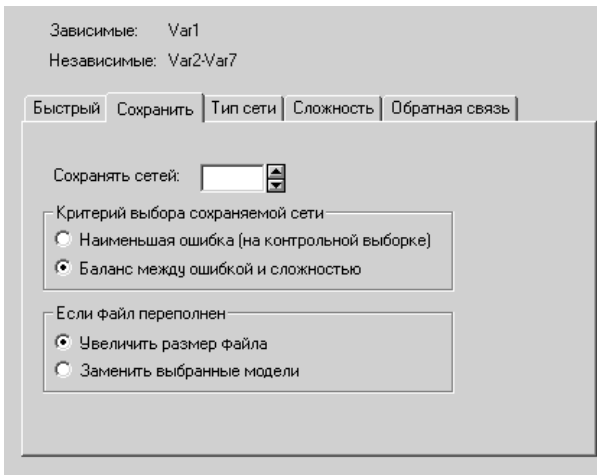


Рис. 7.5. Количество сохраняемых сетей

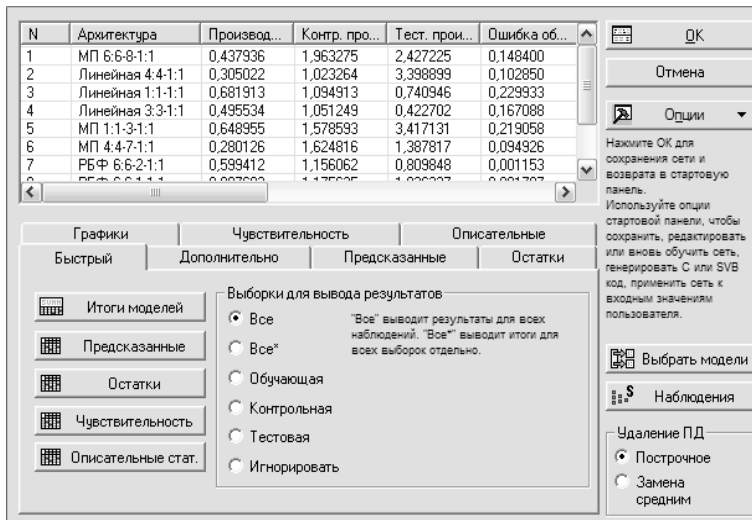


Рис. 7.6. Выбор наилучшей сети

7. Предсказание значений по выбранной сети. Выбрав сеть, строится предсказание значений на 12 интервалов вперёд, т.е. на 12 месяцев (рис. 7.7). Например, первоначально выбирается тип сети – трёхслойный перцептрон, из всех архитектур (рис. 7.8) выбирается сеть с наибольшей производительностью.

8. Далее строится предсказание на 12 интервалов вперёд и выводится таблица прогнозируемых данных.

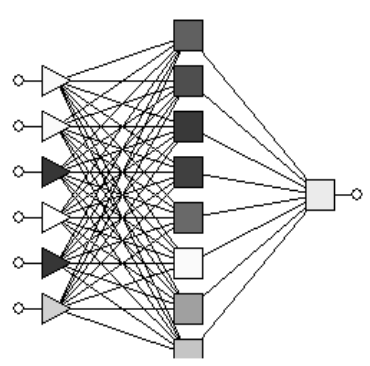
Далее выбирается следующий тип сети – линейный (рис. 7.9). Выбирается наибольшая производительность.

Предсказание (1) (2003)		
	Var1	Var1.1
1	2020,000	1271,490
2	2102,000	2085,567
3	2905,000	2898,466
4	2403,000	2228,363
5	1715,000	1764,603
6	1830,000	1651,413
7	1751,000	1516,692
8	1810,000	1921,586
9	2302,000	3814,605
10	3106,000	2952,213
11	4717,000	1471,500
12	1620,000	1998,191

Рис. 7.7. Предсказание сети для перцептрона

N	Архитектура	Производитель...	Контр. произво...	Тест. производ...	Ошибка обучен...	Кс
1	МП 6:6-8-1:1	0,437936	1,963275	2,427225	0,148400	1,

Архитектура | Наблюдение пользователя



Отмена

Опции

Выбрать модели

Архитектура сети

Все сети

Выделить активацию цветом

Входное набл.: 1

Рис. 7.8. Архитектура перцептрона

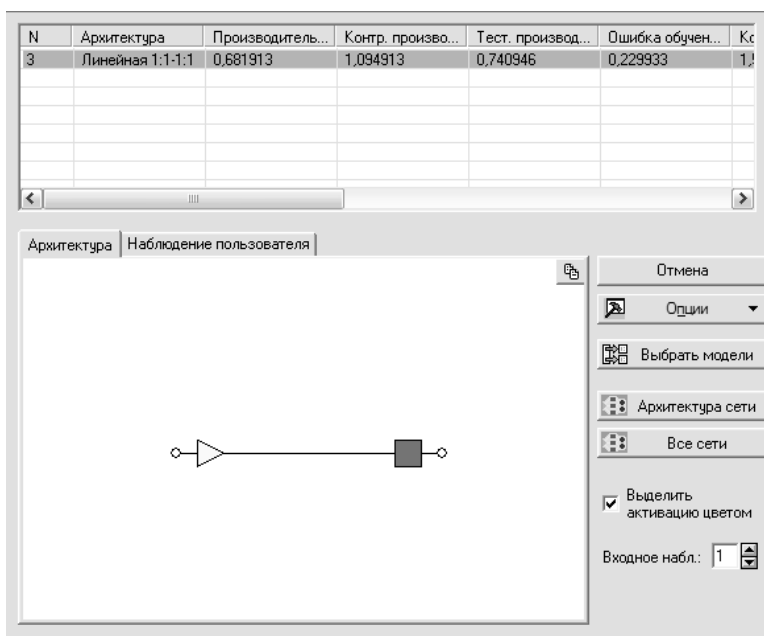


Рис. 7.9. Архитектура линейной сети

Для линейного типа сети строится предсказание на 12 интервалов вперёд и выводится таблица прогнозируемых данных (рис. 7.10).

Предсказание (3) (2003)		
	Var1	Var1.3
1	2020,000	2503,370
2	2102,000	2425,056
3	2905,000	2358,164
4	2403,000	2323,902
5	1715,000	2201,537
6	1830,000	2122,408
7	1751,000	2022,068
8	1810,000	1934,782
9	2302,000	1842,600
10	3106,000	1691,684
11	4717,000	1599,502
12	1620,000	1505,689

Рис. 7.10. Предсказание линейной сети

Для следующего типа сети – радиальная базисная функция (рис. 7.11) – также выбирается его производительность, строится предсказание на 12 интервалов вперед и выводится таблица прогнозируемых данных (рис. 7.12).

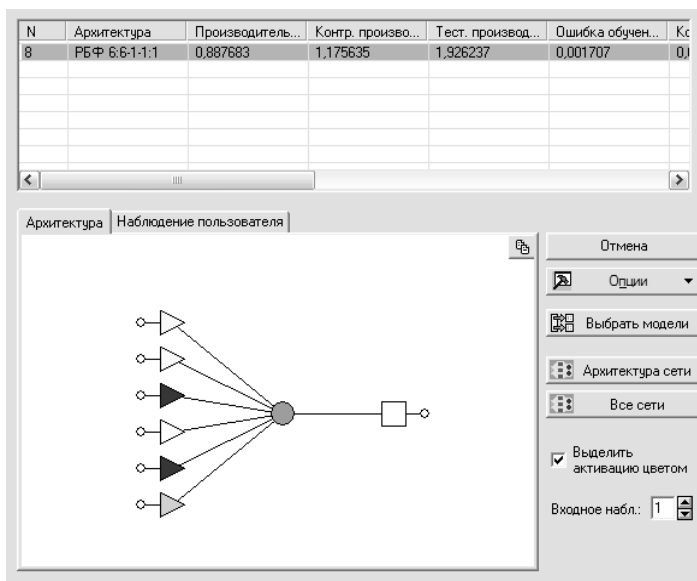


Рис. 7.11. Архитектура РБФ

	Предсказание (8) (2003)	
	Var1	Var1.8
1	2020,000	1801,381
2	2102,000	2153,443
3	2905,000	2158,465
4	2403,000	2267,626
5	1715,000	1828,257
6	1830,000	2304,126
7	1751,000	2174,367
8	1810,000	2090,706
9	2302,000	2031,710
10	3106,000	2000,850
11	4717,000	1631,802
12	1620,000	1695,633

Рис. 7.12. Предсказание для РБФ

7.3. ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ПРОГНОЗА

Как видно из таблиц прогнозируемых данных, у каждой сети прогнозные значения различны. Чтобы узнать, какая из сетей осуществляет наиболее точный прогноз, выбирается сеть с наибольшей производительностью. Как видно из рисунков, у трехслойного перцептрона наибольшая производительность из выбранных сетей, следовательно, прогноз будет осуществляться этой сетью. Далее строятся графики объемов продаж "исторические" (рис. 7.13) и объемов продаж "прогнозные" (рис. 7.14).

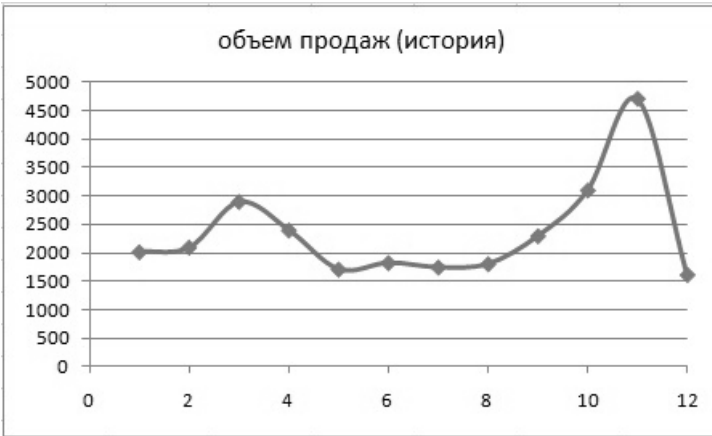


Рис. 7.13. Объем продаж по истории

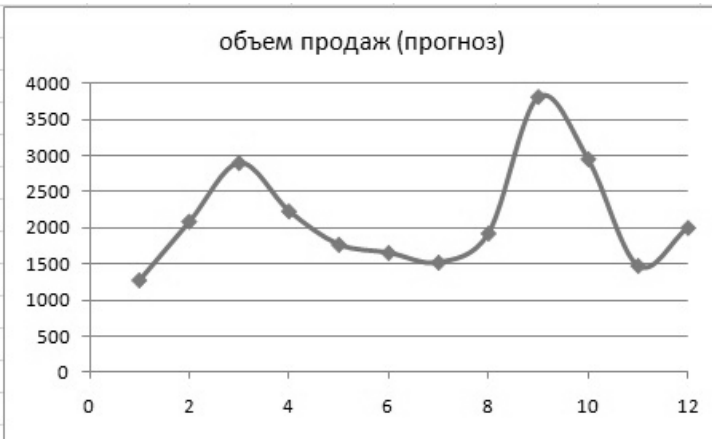


Рис. 7.14. Объемы продаж по прогнозу

7.4. ЗАДАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Необходимо осуществить прогноз объёмов продаж фармацевтических препаратов, исходя из их принадлежности к группам. Классификация препаратов:

1. Лекарственные средства, действующие преимущественно на центральную нервную систему.
2. Лекарственные средства, действующие преимущественно на периферическую нервную систему.
3. Средства, действующие в области чувствительных нервных окончаний, т.е. обладающие местным обезболивающим эффектом.
4. Средства, действующие на сердечно-сосудистую систему.
5. Средства, усиливающие мочеотделение (иначе – диуретики), и препараты, тормозящие образование мочевых камней.
6. Препараты, улучшающие функции печени.
7. Средства, регулирующие процессы обмена веществ.
8. Препараты, влияющие на иммунитет.
9. Антиоксиданты.
10. Противомикробные, противовирусные, противопаразитарные, противогрибковые средства.
11. Препараты, применяемые в лечении онкологических заболеваний.
12. Диагностические средства.
13. Прочие препараты различных фармакологических групп (сахара, сорбенты, фотозащитные препараты).

Найти для каждой группы факторы, которые влияют на спрос препаратов и осуществить прогноз спроса определённого препарата на заданный срок.

В главе 7 авторами предложен алгоритм прогнозирования ёмкости рынка многоассортиментной малотоннажной химической продукции методом искусственных нейронных сетей и рассмотрена его реализация в пакете ST Neural Network.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Сформулируйте постановку задачи прогнозирования рынка многоассортиментной малотоннажной продукции.
2. Назовите основные факторы, влияющие на спрос продукции.
3. Расскажите о существующих подходах и методах прогнозирования рынка.

4. Дайте определение искусственной нейронной сети.
5. Какие задачи решают при помощи искусственной нейронной сети?
6. Почему аппарат нейронных сетей эффективен для построения прогноза?
7. Что происходит в теле нейрона?
8. Каков принцип работы искусственной нейронной сети?
9. Какой самый популярный метод обучения сети?
10. Какие типы сети Вы знаете?
11. Расскажите алгоритм построения прогноза.
12. Какой тип сети выбирается при условии их равной производительности?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 7

1. Ежов, А.А. Нейрокомпьютинг и его применения в экономике и бизнесе / А.А. Ежов, С.А. Шумский. – М., 1988. – 222 с.
2. Льюис, К.Д. Методы прогнозирования экономических показателей / К.Д. Льюис. – М. : Финансы и статистика, 1986. – 132 с.
3. Малыгин, Е.Н. Практический маркетинг : учебное пособие / Е.Н. Малыгин, Т.А. Фролова, М.Н. Краснянский. – Тамбов : Тамб. гос. техн. ун-т, 1997.
4. Методы прогнозирования емкости рынка химической продукции / Е.Н. Малыгин, Т.А. Фролова, М.Н. Краснянский, А.Б. Борисенко. – Тамбов : Тамб. гос. техн. ун-т, 1999. – 39 с.
5. Фролова, Т.А. Прогнозирование спроса на химическую продукцию с применением аппарата временных рядов / Т.А. Фролова, Д.С. Туляков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2009. – № 5(19). – С. 92 – 97.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЁРОВ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В настоящее время к подготовке студентов по специальности "Информационные системы технологических машин" предъявляются высокие требования в области автоматизации измерений, контроля и испытаний. Одним из обязательных элементов освоения данной предметной области является приобретение навыков практического использования систем автоматического проектирования различных компьютерных контрольно-измерительных и информационно-образовательных систем. В рамках курсового проектирования по дисциплине "Инструментальные средства программного управления технологических машин" рассматриваются основные аспекты разработки виртуальных тренажёров для обучения операторов технических систем химического и машиностроительного профилей.

Современные АСУ ТП создаются на базе SCADA-систем. Использование компьютерной техники позволяет существенно облегчить задачу оператора, так как современные устройства сбора данных позволяют в реальном времени снимать показания приборов со всей системы и передавать её на пульт управления оператора. Поэтому и разработку виртуальных тренажёров логично производить именно с использованием SCADA-систем, так как это позволяет добиться почти полного соответствия передней панели тренажёра и пульта управления оператора [1].

Среда графического программирования LabVIEW получает всё большее распространение в промышленности и образовании, при проведении научных исследований и выполнении проектных работ. Этому способствуют её несомненные преимущества – высокая производительность при разработке программ, называемых виртуальными приборами (ВП) и широкий набор функциональных возможностей языка и среды программирования. Язык LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) разработан фирмой "National Instruments". Фирмой выпускаются разнообразные интерфейсные устройства, встраиваемые в компьютер или подключаемые к его портам, устройства генерации и обработок реальных электрических сигналов, датчики, регистрирующие различные физические процессы, и т.п. [2 – 4].

Для того чтобы пользователь мог получить выигрыш от реализации указанных преимуществ среды программирования LabVIEW, он должен в полной мере овладеть технологией графического программирования и изучить её функциональные возможности. Язык LabVIEW не похож на другие языки программирования. С его помощью создаётся не программа, как мы привыкли её представлять, а виртуальный инструмент, предназначенный не только для моделирования тех или иных процессов, но и для управления аппаратными средствами и исследования реальных физических объектов.

8.1. СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТРЕНИНГА ОПЕРАТОРОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Прежде чем приступить к разработке структуры автоматизированной информационной системы (АИС) необходимо создать функциональную модель обучения оператора химико-технологической системы, которая представлена на рис. 8.1.

В этом случае предлагается структура автоматизированной информационной системы тренинга операторов технических систем химико-технологического профиля, которая включает следующие основные модули (рис. 8.2):

1. Модуль предварительных настроек. Предназначен для установки начальных параметров работы АИС, выбора моделируемой технической системы и продукта, идентификации обучающегося и инструктора.

2. Информационно-справочный модуль. Включает файлы справок по работе с АИС тренинга операторов; описание регламентов выпуска продукции; чертежи и схемы технических систем; 3D-модели технологического оборудования, входящего в состав технической системы (ТС); мультимедийные ролики, демонстрирующие процесс выпуска продукции и работу оператора.

3. Модуль тестирования. Реализует функции проверки теоретических знаний обучаемого в предметной области, а также знание технологических процессов, моделируемых в АИС. Включает файлы с тестовыми заданиями и протоколами тестирования обучающихся.

4. Тренажёрный комплекс, предназначенный для выработки практических навыков управления ТС в штатных режимах, а также проверки

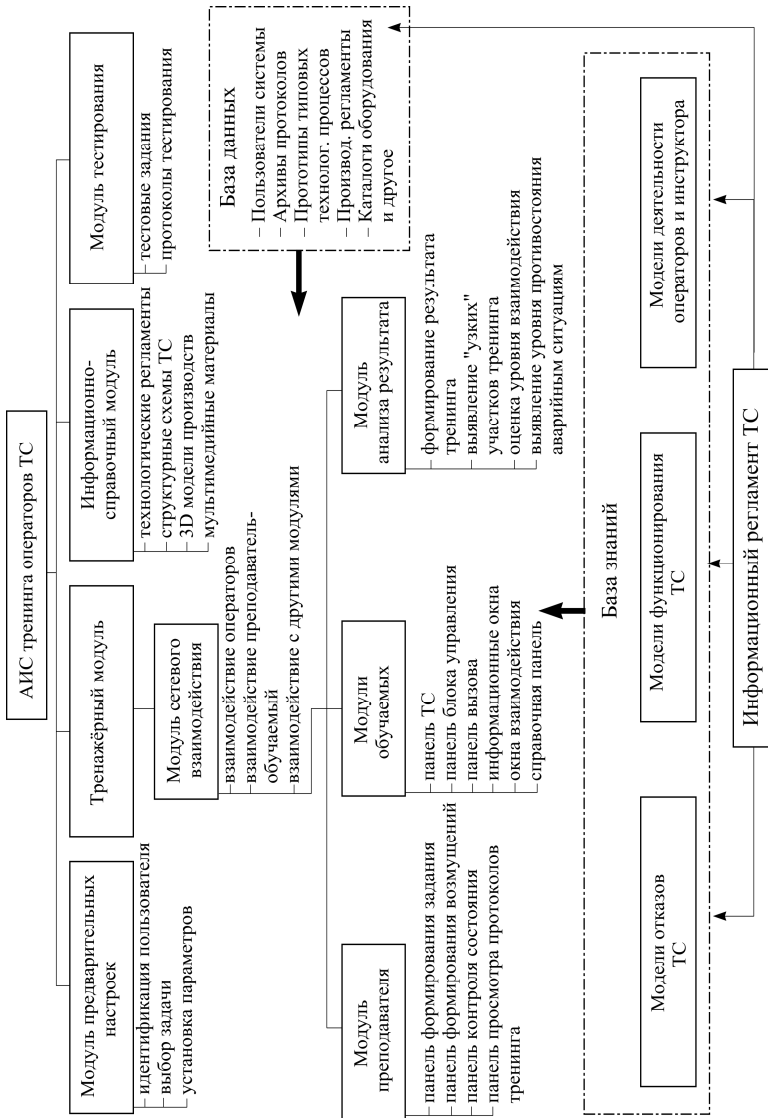


Рис. 8.1. Функциональная модель обучения оператора ХТС

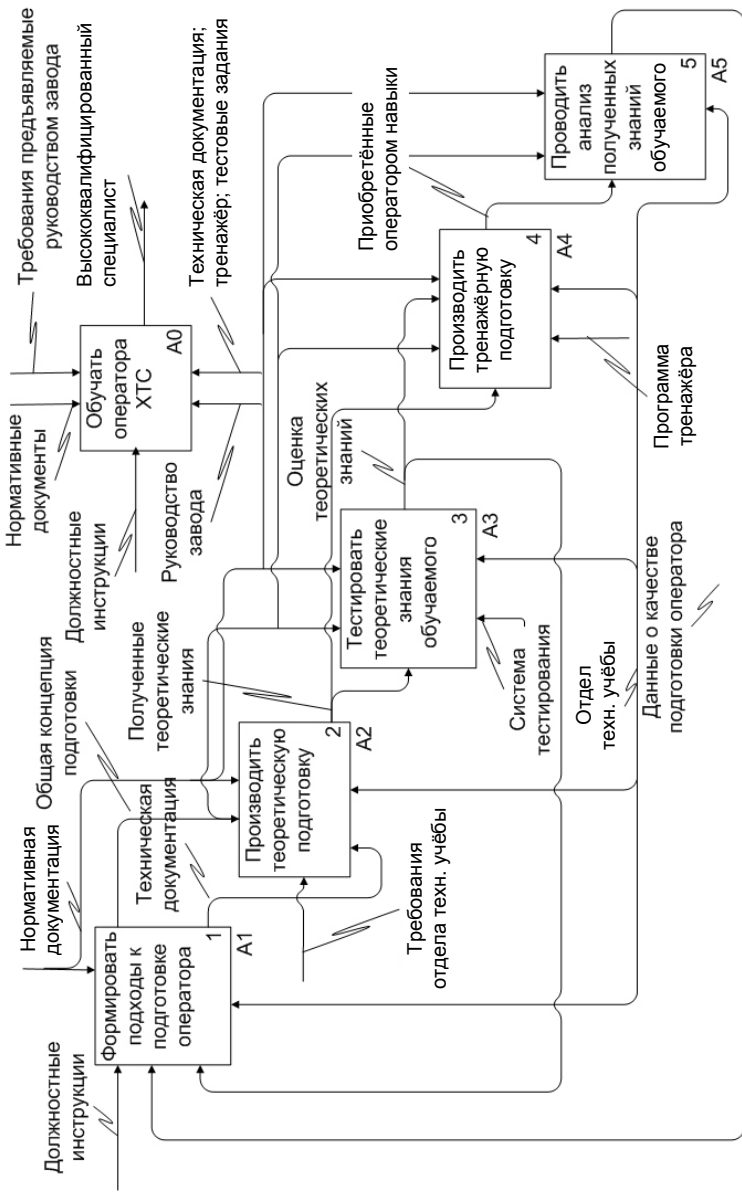


Рис. 8.2. Структура АИС тренинга операторов технических систем ХТ профиля

правильности и своевременности действий операторов при возникновении внештатных и аварийных ситуаций.

Комплекс включает.

4.1. Модуль сетевого взаимодействия, обеспечивающий тренинг группы операторов, осуществляющих совместное управление ТС; формирование сценариев тренинга и возмущающих воздействий со стороны преподавателя; совместную работу других модулей.

4.2. Модуль преподавателя. Включает панели формирования задания для тренинга и генерации возмущений в ходе его проведения, контроля текущего состояния тренинга и просмотра базы протоколов тренинга.

4.3. Модули обучаемых. Позволяют отображать структуру ТС и ее фрагментов, а также текущее состояние технологического процесса. Включают совокупности панелей пультов управления ТС, вызова служб предприятия, окна сопутствующей информации и взаимодействия с другими операторами; справочную панель.

4.4. Модуль анализа результатов. Формирует и отображает результаты тренинга; выявляет наличие "узких" мест, соответствующих наиболее частым ошибкам и неправильным действиям, которые могут привести к серьезным авариям; оценивает уровень взаимодействия группы операторов и противостояния возникающим аварийным ситуациям.

АИС тренинга операторов ТС опирается на базу данных и базу знаний, включающую представленные ранее модели отказов и модели функционирования системы, а также процедурную модель деятельности оператора, которые формируются на основе информационно-аналитического регламента ТС.

8.2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРЕНАЖЁРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

На основании разработанной структуры АИС сформулируем постановку задачи проектирования тренажёрного комплекса для обучения персонала ТС.

Необходимо разработать тренажёрный комплекс для обучения персонала ТС, включающий:

- кластер функциональных блоков панелей управления системой [Ф]:

$$[\Phi] = \begin{bmatrix} \bar{S}_1 & \bar{W}_1 & \bar{Z}_1 & \bar{C}_1 & [\Theta_1] \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{S}_n & \bar{W}_n & \bar{Z}_n & \bar{C}_n & [\Theta_n] \end{bmatrix},$$

где \bar{S}_i – вектор, определяющий состав функционального блока; \bar{W}_i – вектор размеров функционального блока; \bar{Z}_i – вектор координат функционального блока; \bar{C}_i – вектор, определяющий цветовое исполнение функционального блока; $[\Theta_i]$ – матрица элементов функционального блока; n – число функциональных блоков;

- кластер информационно-справочных материалов $[\Lambda]$:

$$[\Lambda] = \begin{bmatrix} \bar{T}_1 & \bar{G}_1 & \bar{M}_1 \\ \dots & \dots & \dots \\ \bar{T}_k & \bar{G}_k & \bar{M}_k \end{bmatrix},$$

где \bar{T}_j – вектор, определяющий состав текстовых информационно-справочных материалов; \bar{G}_j – вектор, определяющий состав графических информационно-справочных материалов; \bar{M}_j – вектор, определяющий состав мультимедийных информационно-справочных материалов; k – число продуктов, выпускаемых на ТС;

• способы и каналы сетевого взаимодействия обучаемых и инструктора Net, и позволяющий формировать требуемый состав и уровень навыков управления технической системой в штатных и аварийных ситуациях \bar{Z}_j^* , в соответствии с входящими в состав информационно-аналитического регламента ТС R математическими моделями функционирования и отказов ТС, моделями деятельности операторов

$$R: \bar{Z}_j \xrightarrow{[\Phi], [\Lambda], \text{Net}} \bar{Z}_j^*.$$

Используемая в постановке задачи матрица элементов функционального блока $[\Theta_i]$ описывается следующим образом:

$$[\mathcal{E}_i] = \begin{bmatrix} r_1 & x_1 & y_1 & c_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_k & x_k & y_k & c_k \end{bmatrix},$$

где r_i – размер элемента; x_i, y_i – координаты элемента в функциональном блоке; c_i – цветовое исполнение элементов; k – число элементов функционального блока.

8.3. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕРФЕЙСА ВИРТУАЛЬНОГО ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Необходимо отметить, что при формировании виртуальных панелей управления тренажёрного комплекса необходимо добиваться полного соответствия реальным пультам управления ТС. Любые отклонения могут вызвать появление у обучающегося навыков, которые не соответствуют реальным производствам и носят негативный характер. Управление виртуальным тренажёром или лабораторными стендами обучающийся осуществляет при помощи элементов интерфейса, каждый из которых характеризуется набором параметров, таких как размер, конструкционное исполнение (дизайн), цветовое исполнение и т.п. Рассмотрим классификацию виртуальных элементов интерфейса пульта управления объектом, которая представлена на рис. 8.3.

Разделение элементов производилось по двум направлениям: по типу элементов и особенностям их функционирования. В результате были выделены три основных типа:

1. Элементы управления – используемые обучающимся для передачи управляющего воздействия на систему управления. Характеризуются небольшой смысловой нагрузкой и информативностью.

2. Элементы отображения – используемые обучающимся для адекватной оценки состояния объекта управления. Характеризуются большой информационной нагрузкой и именно на их основе осуществляется принятие решения обучающимся по ходу проведения эксперимента или тренинга.

Виртуальный пульт

Основные типы элементов	Элементы управления	Элементы отображения	Элементы мультимедиа
По времени и частоте использования	Постоянного действия (основные)	Периодического действия (вспомогательные)	Эпизодического действия (аварийные)
По функциональному назначению	Управление процессом	Отображение состояния процесса	Анимация
	Управление связью	Отображение состояния связи	Видео
	Управление пультом	Информационно-справочные	Звук
По принципу действия	Элементы вкл./выкл.	Выбор из диапазона значений	Выбор фиксированной позиции
	Элемент ввода значения	Управление обликком пульта	Выбор нефиксированной позиции
	Пользовательское меню	Текстовые	Графические
По конструктивному исполнению	Нажимного действия	Шкала	Видео камера
	Рычажные	Диаграмма	Видео связь
	Поворотные	График	Фрагменты видео
	Линейного перемещения	Сигнальные устройства	Фрагменты анимации
	Изображения	Цифровое табло	Звуковая сигнализация
	Текст	Лингвистическое табло	Звуковое сопровождение
			Голосовая связь

Рис. 8.3. Классификация элементов интерфейса виртуального пульта управления ТС

3. Элементы мультимедиа – элементы, которые не могут быть полностью отнесены ни к одной из вышеперечисленных групп и поэтому выделенные в отдельную группу. Не принимают прямого участия в процессе управления объектом, но позволяют обучающемуся более эффективно использовать пульт управления, расширяя перцептивные каналы приёма информации, например за счёт использования звука или анимации, что позволяет соответственно снизить уровень усталости.

Кроме того были выделены следующие уровни классификации.

1. По времени и частоте использования.

1.1. Постоянного действия (основные) – элементы, которые наиболее часто используются обучающимся для управления объектом. Основное отличие этих элементов в том, что необходимо обеспечивать их постоянное присутствие в центре внимания обучающегося (рабочей области или основного окна пульта) для сокращения времени поиска и доступа к ним.

1.2. Периодического действия (вспомогательные) – элементы не участвующие постоянно в процессе управления стендом и исполняющие главным образом вспомогательные функции. Они могут быть вынесены на периферию рабочей области или в дополнительные окна.

1.3. Эпизодического действия (аварийные) – элементы, частота использования которых крайне низкая и в отдельных случаях может носить однократный характер, например аварийное включение. Наиболее сложные для размещения элементы, поскольку нет необходимости их постоянного присутствия в области зрения обучающегося, но с другой стороны время поиска и доступа к ним является критичным и должно быть сведено к минимуму.

2. По функциональному назначению.

2.1. Элементы управления:

- элементы управления процессом – элементы интерфейса, посредством которых осуществляется передача управляющих воздействий на органы управления объектом;

- элементы управления пультом – вспомогательные элементы, с помощью которых осуществляется управление пультом (открытие/закрытие окон, вывод на экран дополнительных средств управления и отображения и др.);

- элементы управления связью – элементы, которые служат для установления/разрыва соединения (например, с сервером лабораторного стенда или между компьютером обучающегося и преподавателя, проводящего тренинг).

2.2. Элементы отображения:

- элементы отображения состояния процесса – элементы интерфейса, отображающие информацию, полученную непосредственно от объекта управления;
- элементы отображения состояния связи – показывают состояние соединения, скорость передачи данных и др.;
- информационно справочные – вспомогательные элементы интерфейса, позволяющие обучающемуся осуществлять быстрый переход к справочной информации, необходимой для принятия решения.

2.3. Элементы мультимедиа:

- анимационные элементы – позволяют осуществить графическое представление полученных данных или иллюстрировать проведение некоторой стадии технологического процесса или конструкции объекта управления;
- элементы видео – позволяют выводить на пульт управления динамическое изображение хода проведения эксперимента, полученное непосредственно с видеокамеры, установленной на объекте управления;
- звуковые элементы – служат для размещения на пульте управления элементов, позволяющих осуществлять звуковое оповещение (в форме речевых или звуковых сигналов) о ходе проведения эксперимента, техническом состоянии оборудования, аварийной сигнализации и др.

3. По принципу действия (характерны как для элементов управления, так и для отображения или мультимедиа).

- элементы типа вкл./выкл. – характеризуются выбором из двух возможных позиций, например быстрое включение и выключение органов управления;
- элементы выбора из диапазона значений;
- элементы выбора фиксированной позиции, характеризующиеся быстрым управлением с точной регулировкой, но с фиксированным вводом данных;
- элементы выбора нефиксированной позиции – быстрое управление с неточной регулировкой;
- элементы ввода значений – характеризуются медленным управлением с точной регулировкой и с более гибкой возможностью ввода данных;

- пользовательское меню – набор команд управления объектом, сгруппированные в отдельные блоки по общности функционального назначения (различают меню, постоянно отображаемые на пульте управления, а также всплывающие (автоматически или по вызову) по мере необходимости);

- элементы управления обликом пульта – вспомогательные элементы, помогающие обучающемуся самостоятельно изменять внешний облик пульта управления (набор окон и их размер, набор и опции элементов отображения хода эксперимента и др.)

- текстовые – отображают информацию в виде текста;

- цифровые – отображают информацию в виде чисел и характеризуются высокой точностью отображаемых данных;

- графические – отображают информацию в виде графиков, осциллограмм, диаграмм и характеризуются, как правило, средней и низкой точностью отображения информации и, следовательно, предназначены для оценочных заключений.

4. По конструктивному исполнению. Варианты конструктивного исполнения органов управления, отображения и мультимедиа характеризуются их наименованием и представлены на рис. 8.3.

Ввиду многообразия элементов интерфейса пульта управления в ходе его формирования следует учитывать процентное отношение органов управления, отображения и мультимедиа, как с точки зрения объёма и скорости информационного потока, с которым сталкивается обучающийся в ходе управления объектом (особенно для разработки пульта управления АЛП, так как пульт виртуального тренажёра в идеале должен повторить уже созданный пульт управления реальной ТС), так и частоты использования и информационной важности. Кроме того разработчик АЛП удалённого доступа должен обеспечить требуемый уровень обзорности элементов интерфейса пульта управления, удобный доступ обучающегося к элементам управления и отображения постоянного использования, гарантированный принудительный обзор элементов сигнализации аварийных состояний при этом не загромождая рабочую область экрана излишними элементами интерфейса.

При проектировании интерфейса пульта управления лабораторным стендом как системы "человек–пульт управления–машина", необходимо учитывать влияние человеческого фактора на функционирование системы в целом, степень загрузки органов чувств обучающегося в ходе проведения эксперимента, степень эффективности расходования

его энергии, затрачиваемой на освоение материала. В этой связи целесообразно обеспечить учёт следующих технических и психологических факторов в совместном взаимодействии конструктора, психолога и дизайнера в ходе разработки лабораторного практикума удалённого доступа и пульта управления:

- учёт воздействия внешних факторов информационно-образовательной среды, способствующих снижению точности (надёжности) и скорости обработки данных обучающимся;

- рассмотрение различных способов и форм представления информации о ходе проведения эксперимента и функционировании оборудования, а также учёт надёжности сигнализации аварийного состояния (являются ли индикаторные и сигнальные устройства простыми, однотипными, правильно ориентированными и удобными для отдельных органов чувств обучающегося);

- учёт объёма умственной работы обучающегося (его психофизическое состояние и реакции);

- удовлетворение ограничению по объёму обработки обучающимся информации в течение определённого отрезка времени и продолжительности времени наблюдения за одним элементом интерфейса с целью избегания притупления внимания и появления усталости;

- учёт возможности возникновения отказов оборудования;

- выполнение требования по частичной автоматизации проведения эксперимента в случае превышения допустимого предела возможностей обучающегося по получению и обработке информации.

Особенно важно учитывать психофизические проблемы, с которыми может столкнуться обучающийся в ходе проведения эксперимента на стенде, имеющем сложную и разветвленную систему управления, большое количество приборов, взаимосвязанных органов управления и индикаторов. В этом случае, как правило, предъявляются повышенные требования к вниманию, памяти, скорости и точности реакции обучающегося, которые необходимы для принятия правильного решения по ходу проведения эксперимента.

Важную роль при разработке пульта управления и всего тренажёрного комплекса играют математические модели функционирования и отказов ТС, а также модель деятельности человека-оператора.

В ходе анализа участия оператора в производственном процессе была разработана схема информационных потоков (рис. 8.4) и модель деятельности оператора M , используемые при разработке тренажёрного комплекса.



Рис. 8.4. Информационные потоки процесса обучения оператора ТС на тренажёрном комплексе

$$M = S(A, B, X, Y, O, Z, H),$$

где $A = \{a_i\}^n$ – множество n значений управляющих элементов пульта (переменные положения запорной арматуры, включения/выключения перемешивающих устройств, нагревателей и др.); $B = \{b_i\}^m$ – множество m значений индикаторов пульта (переменные значений объёмов реагентов, температуры в аппарате или теплоносителя, давления в аппарате и др.); $X = \{x_i\}^k$ – множество k воздействий на органы управления ТС; $Y = \{y_i\}^l$ – множество l значений параметров состояния оборудования технологической схемы; $O = \{o(x_i, y_i)\}^j$ – множество j ограничений на допустимые параметры технологического процесса (ограничения на объём или массу передаваемых реагентов, максимальные/минимальные значения температуры или давления в аппарате и др.); $Z = \{z_i\}^e$ – множество e логических функций изменения состояний; $H = \{h_i\}^f$ – множество f состояний функционирования ТС, формируемых на основе информационно-аналитического регламента системы и возможных действий оператора и инструктора; $S = S(a_i, b_i, x_i, y_i, o_i, z_i, h_i)$ – сценарий тренинга.

Информационно аналитический регламент представляет собой информационный комплекс, содержащий модули описания общей информации о технической системе, выпускаемых продуктах, аппаратурном оформлении, а также моделях деятельности операторов.

В ходе реализации сценария тренинга происходит преобразование потоков X и Y в потоки A и B , определяемое функциями перехода:

$$A = \alpha(X) \text{ и } B = \beta(Y).$$

Для описания ядра продукции используем логические функции вида

ЕСЛИ условие, ТО действие 1, ИНАЧЕ действие 2

Например, для производства пигмента красного на стадии сочетания диазотированного 4-нитроанилина с натриевой солью 2-нафтола работу перемешивающего устройства можно описать следующим образом:

М 25;

Работа мешалки в аппарате 25

ЕСЛИ $B_1 \geq O_1 \wedge B_1 \leq O_1$ ТО $B_6 = 1$;

ЕСЛИ $B_1 \geq O_1 \wedge B_1 \leq O_1 \wedge B_2 \geq O_2 \wedge B_3 < O_3$,

ТО $B_4 = B_4 + 1$ ИНАЧЕ B_7 ;

ЕСЛИ $B_1 \geq O_1 \wedge B_1 \leq O_1 \wedge B_2 \geq O_2 \wedge B_3 < O_3 \wedge B_4 \geq O_4 \wedge A_5 = 0$,

ТО $B_7 \wedge A_5 = 1$,

где 1 – температура среды в аппарате; 2 – объём технической массы асидола; 3 – объём технической массы мела; 4 – время работы мешалки в аппарате; 5 – положение тумблера Кб; 6 – индикатор включения мешалки; 7 – сообщение об ошибке.

В подготовке операторов промышленных производств выделяются три этапа: теоретическое обучение, тренажёрная подготовка, подготовка на реальном объекте. Предлагаемая структура АИС тренинга операторов ТС и реализуемые модели деятельности операторов позволяют обеспечить все три этапа обучения, а также необходимый контроль полученных знаний, навыков и умений. Эффективность тренажёрной подготовки операторов с использованием данной системы обеспечивается достижением требуемого уровня качества подготовки операторов и приобретением ими способностей быстро и безошибочно определять и ликвидировать внештатные ситуации.

Разработанная АИС тренинга операторов ТС представляет собой программный комплекс, обеспечивающий отработку оператором навыков ведения продукта по схеме в штатном режиме и противодействия возникновению и развитию аварийных ситуаций.

Перед тренировкой на тренажёре оператор должен пройти теоретическую подготовку. Для этого предусмотрены:

1. Нормативная документация (регламент и ПЛАС), с которыми оператор должен быть ознакомлен в первую очередь, так как эти два документа регламентируют всю работу на схеме.

2. Мультимедийные ролики и скриншеты. Предназначены для ознакомления оператора с работой как за панелью управления реального объекта, так и за тренажёром.

3. 3D визуализация объекта. Представляет собой интерактивную модель цеха с возможностью перемещения по ней. Это способствует не только изучению расположения оборудования, но и улучшает общее представление оператора о работе схемы.

4. Тестовые задания. Разработанная система тестирования позволяет инструктору выявить "узкие места" в знаниях оператора и определить разделы, необходимые для дополнительной проработки. Тестовые задания имеют различную структуру вопросов и охватывают весь необходимый для проверки материал.

8.4. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЁРА

Как правило, основной задачей виртуального тренажёра является формирование навыков оператора в управлении технической системой. В этой связи можно сформулировать основные требования, которые необходимо предъявлять к виртуальным тренажёрам:

1. Наличие математической модели адекватной объекту исследования.

2. Соответствие передней панели тренажёра реальному пульта управления оператора.

3. Наличие системы обработки ошибок и хранения журналов занятий.

4. Эргономично расположенные органы управления и контроля.

Существует два основных режима работы тренажёра. Первый – это режим отработки навыков в штатных ситуациях. Разрабатывается согласно регламенту производственного процесса. Второй режим – функционирование во внештатных ситуациях. Разрабатывается согласно плану ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС).

8.5. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Первоначальным этапом в разработке тренажёра является создание и проверка адекватности математической модели.

Разработка математической модели ведётся на основе нормативной документации – регламент производственного процесса. Прежде всего, в регламенте необходимо выделить все временные и материальные характеристики производственного процесса. Далее составить таблицу с этими характеристиками для каждой стадии (табл. 8.1).

8.1. Временные и материальные характеристики производственного процесса

Наименование стадий и потоков реагентов	Продолжительность		Температура	Давление КПа (кг·с/см ²)	Масса загружаемого компонента		Прочие показатели (объём, л)
	ч	мин			техн.	100%	
1	2	3	4	5	6	7	8

На основе данной таблицы и описания технологического процесса из регламента целесообразно по пунктам составить последовательность действий оператора.

Пример фрагмента последовательности действий оператора.

Стадия приготовления раствора натриевой соли 2-нафтола. (Аппарат № 15)

1. *Загрузка воды (1000 л).*
2. *Загрузка 2-нафтола (140 кг).*
3. *Загрузка едкого натра (95 кг).*
4. *Перемешивание до полного растворения.*

Далее необходимо ввести буквенные обозначения действий оператора и технологических характеристик.

Пример обозначений действий оператора.

- K2 – открытие вентиля K2.*
- A2 – содержание едкого натра в аппарате 208.*
- B2 – едкого натра залито больше предельного количества.*
- C2 – едкого натра залито меньше предельного количества.*

Используя введённые обозначения, составим математическую модель деятельности оператора:

ЕСЛИ
 K2 И $1000 < A1 < 1100$,
 ТО
 ЕСЛИ

A2 < 330,
 ТО
 С2,
 ИНАЧЕ
 В2,
 ИНАЧЕ "Сообщение об ошибке".

Также необходимо схематично отобразить действия оператора в виде блок-схемы (рис. 8.5).

Примеры обозначений элементов блок-схемы:

М1 – включение мешалки в аппарате 208;

А3 – время работы мешалки;

В3 – время работы мешалки больше предельного;

С3 – время работы мешалки меньше предельного;

К4 – открытие вентиля К7;

А4 – содержание бета нафтола в аппарате 208;

В4 – бета нафтола залито больше предельного количества;

С4 – бета нафтола залито меньше предельного количества.

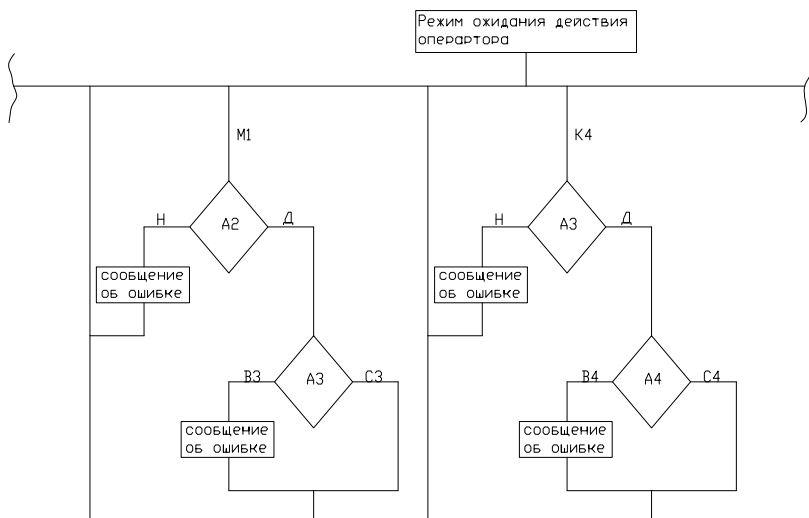


Рис. 8.5. Фрагмент блок-схемы последовательности действий оператора

Если тренажёр разрабатывается как для отработки штатного режима функционирования, так и для обучения ПЛАС, то целесообразно при проектировании математической модели заложить в неё набор самых распространённых аварийных ситуаций.

8.6. СОЗДАНИЕ ПЕРЕДНЕЙ ПАНЕЛИ ТРЕНАЖЁРА

Создание виртуального тренажёра необходимо начинать с прорисовки его передней панели. Передняя панель в общем случае представляет собой пульт управления оператора и окно отображения технологического процесса с набором органов контроля и управления. Пример передней панели представлен на рис. 8.6.

Как видно на рисунке, справа изображен пульт управления оператора, а слева отображается ход технологического процесса.

Создавать переднюю панель, необходимо с учётом реального расположения оборудования, т.е. если опорожнение аппарата 25 происходит самотёком в аппарат 44, то он не может располагаться ниже аппарата 44.

Изображение аппаратов рекомендуется создавать в векторном формате, это облегчает задачу масштабирования и компоновки аппаратов. Аппараты должны соответствовать регламенту производства продукта. Например, если в регламенте написано, что аппарат с мешалкой, то необходимо наличие привода мешалки. Или если в регламенте сказано, что аппарат с рубашкой, то необходимо это также показать.

Кроме того существует вариант создания передней панели на основе общепринятых схематичных изображений элементов ТС (рис. 8.7) – www.frps.ru .

После создания передней панели необходимо нанести на неё все органы управления и контроля, при этом необходимо учитывать основные правила эргономики. Все виртуальные инструменты должны быть расставлены с учётом удобства их использования (например, не следует ставить датчик расхода далеко от запорной арматуры). Передняя панель должна быть максимально приближена к реальному объекту. Если, например, на реальном объекте датчик давления находится непосредственно на аппарате, то не следует в тренажёре его выносить на пульт управления. Допускается использование различных цветовых эффектов. Например, трубопроводы с холодной водой можно отображать синим цветом, а с горячей красным.

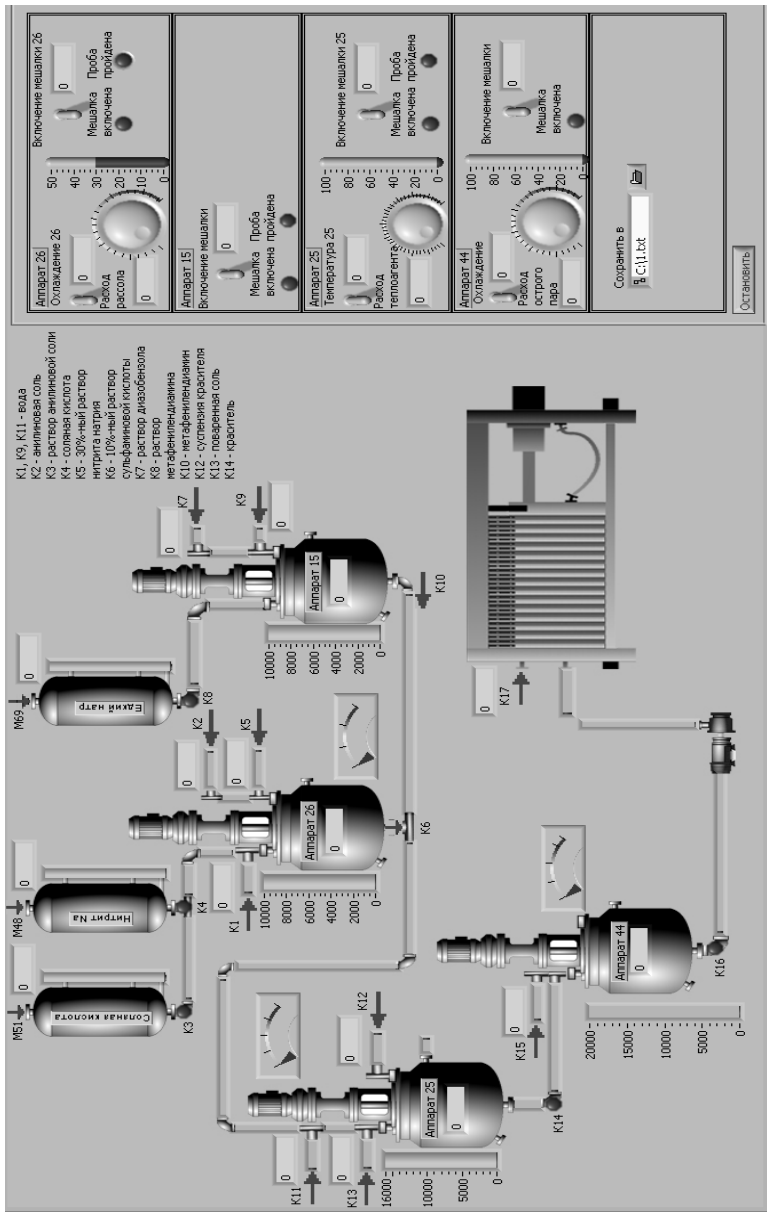


Рис. 8.6. Пример 1 передней панели тренажёра

8.7. ПОДХОДЫ К ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ТРЕНАЖЁРА

Прежде всего после создания передней панели тренажёра необходимо задать начальные значения для каждого виртуального инструмента. Это необходимо, прежде всего, для удобства дальнейшей работы, так как иначе после каждого запуска не будет происходить сброс значений приборов, а будут использоваться предыдущие, что повлечёт к сбоям в работе программы.

Работу тренажёра удобнее всего организовывать с использованием цикла WHILE LOOP с внутренним набором кадров FRAME (рис. 8.8). При этом в каждом последующем кадре будет запрограммировано некоторая отдельная технологическая операция, например, заполнение ёмкости или процесс перемешивания. Обычно в каждом кадре происходит отслеживание определённого действия оператора, т.е. если был переключён тумблер включения мешалки, то сначала должна произойти проверка истинности данного действия, по регламенту, и только после этого начнёт отрабатывать фрагмент математической модели, отвечающей за процесс перемешивания. Если же мешалка была включена не вовремя, то должна быть зафиксирована ошибка и произведена запись в журнал учёта действий оператора.

При проектировании тренажёров для химической промышленности всегда присутствует элемент заполнения ёмкостей. При этом для наглядности целесообразно сделать заполняющийся трубопровод, при открытии вентиля. Для этих целей удобнее всего использовать набор элементов slide, разместив их на передней панели с учётом расположения реальных трубопроводов. Таким образом, мы получаем возможность визуально показать направление движения жидкости и процесс заполнения ёмкости. Трубопровод может заполняться мгновенно или постепенно. Для того чтобы сделать заполнение постепенным, необходимо создать вложенный frame, в котором каждое последующее колено трубопровода будет заполняться только после полного заполнения предыдущего. Пример передней панели виртуального инструмента для заполнения трубопровода показан на рис. 8.9. Сначала заполняется slide 4, затем slide и т.д. Для корректного заполнения трубопровода необходимо учесть, что заполнение slide начнётся только после заполнения и остановки slide 4. Пример решения данной задачи показан на рис. 8.10 и 8.11.

Стадия заполнения slide 4 показана на рис. 8.10. В данном случае для визуального заполнения трубопровода необходимо уменьшать значение в slide 4, потому что заполнение идёт сверху вниз. При помощи функции select осуществляется контроль за значением в slide 4. При полном заполнении элемента slide 4, т.е. когда его значение достигает 0, дальнейшее уменьшение не требуется.

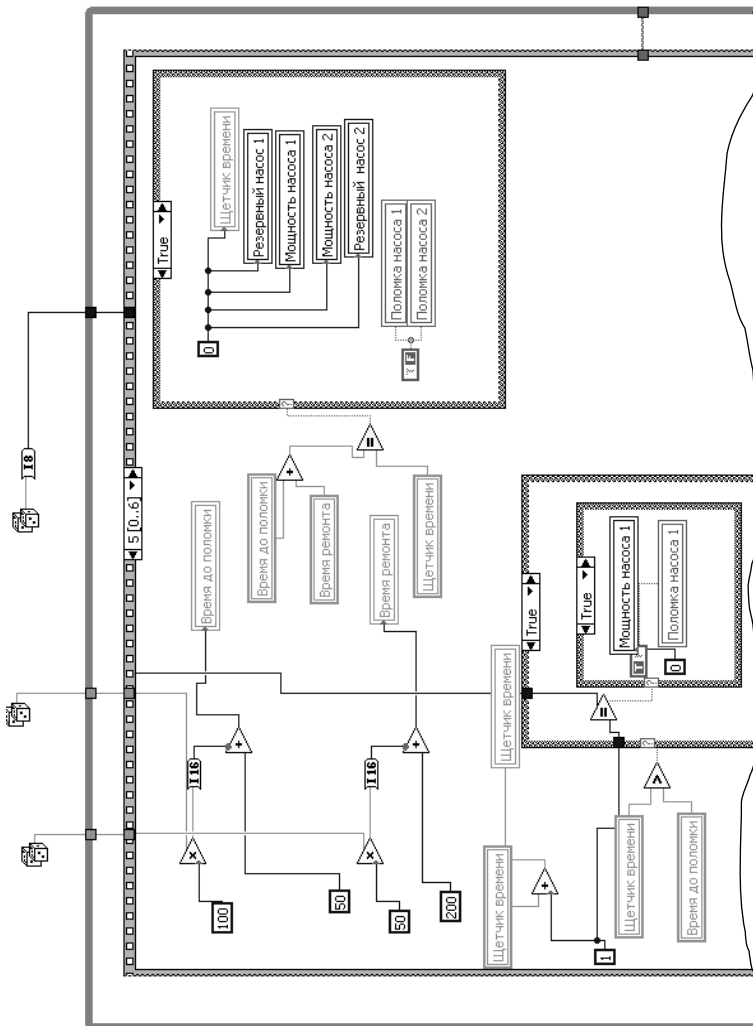


Рис. 8.8. Фрагмент программного кода виртуального гребняёра

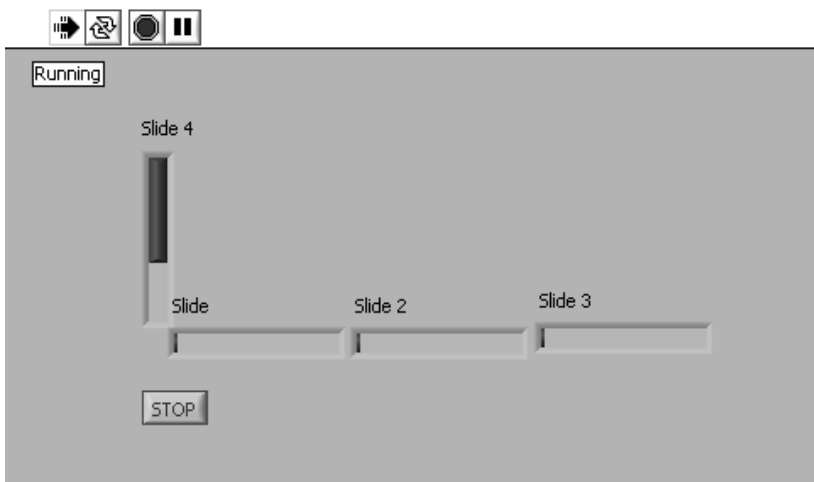


Рис. 8.9. Передняя панель виртуального инструмента для заполнения трубопровода

Когда slide 4 полностью заполнен, переходят к заполнению следующего колена трубопровода. Для этого логично использовать условные case structure, как показано на рис. 8.11.

Следует помнить, что если трубопровод не используется, то необходимо присвоить элементам slide значения 0 или 100.

Ещё одним параметром, который встречается во всех тренажёрах, является задержка. Она представляет собой небольшое время между каждым проходом цикла. Это необходимо для возможности масштабирования по времени действий оператора.

При создании тренажёра необходимо учитывать, что для обучения требуется программа, разработанная в среде программирования LabVIEW, а также обучающие ролики и набор тестовых заданий. Так как после выполнения курсового проекта он размещается на сайте кафедры www.170514.tstu.ru, то необходимо подготовить Интернет-страничку, написанную на языке HTML, в которой должны быть следующие разделы:

1. Программа тренажёр.
2. Демонстрационные ролики по работе тренажёра (формат swf).
3. Система тестирования (не менее 15 вопросов).
4. Скриншот передней панели тренажёра.
5. Фрагмент регламента.
6. Руководство пользователя.

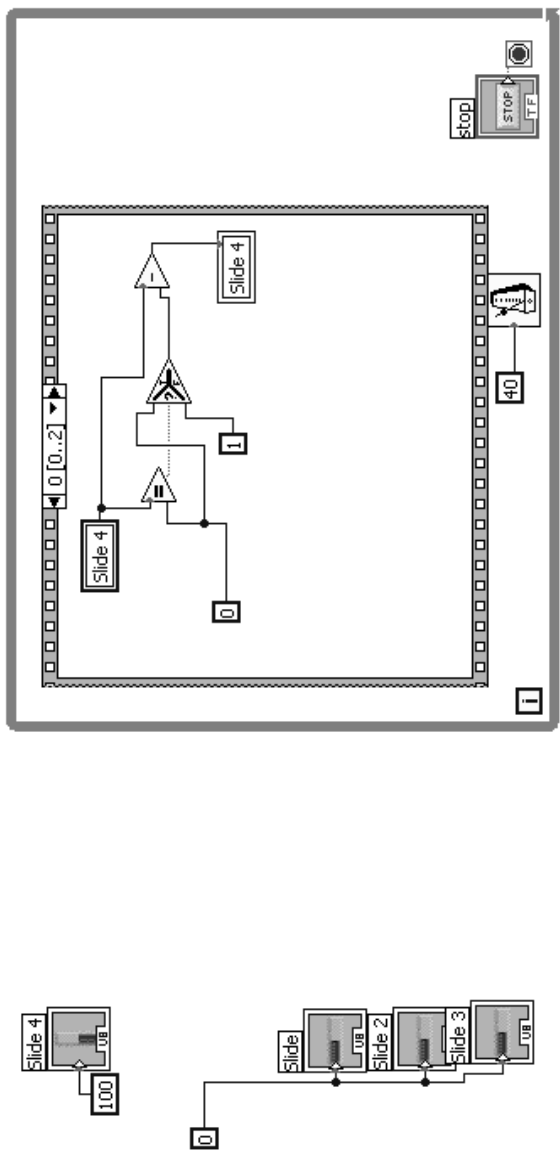


Рис. 8.10. Функциональная панель виртуального инструмента для заполнения трубопровода (фрагмент 1)

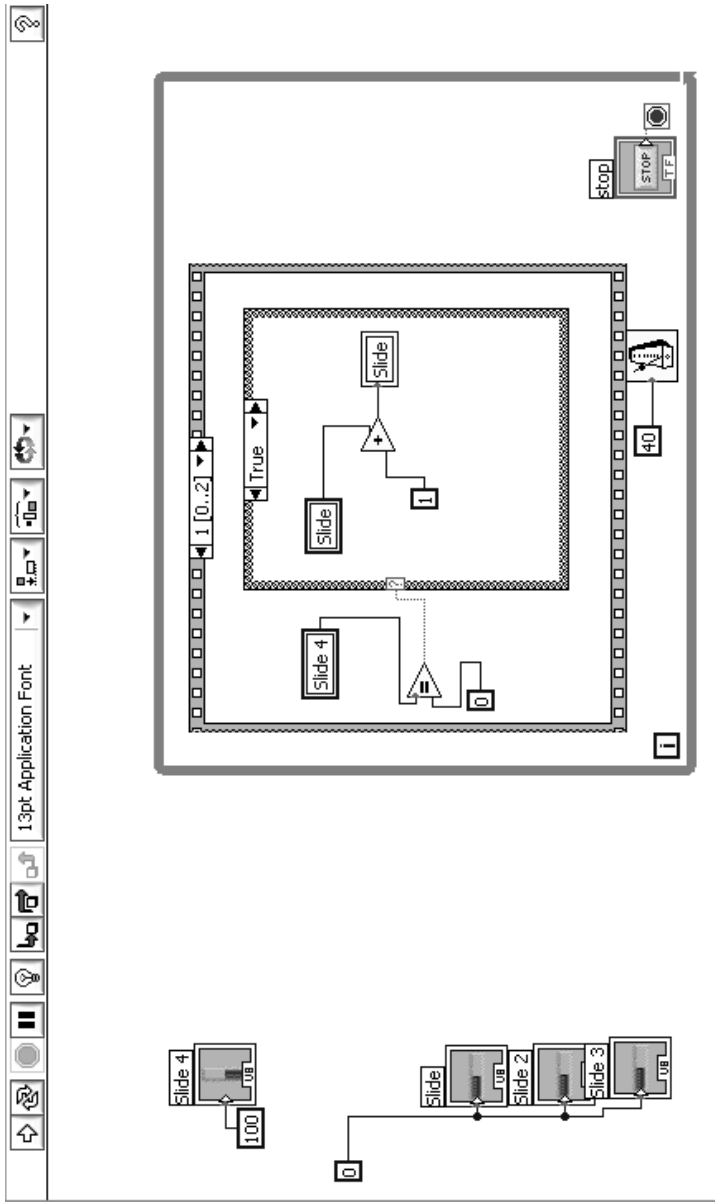


Рис. 8.11. Функциональная панель виртуального инструмента для заполнения трубопровода (фрагмент 2)

Примеры оформления, а также дизайн, в котором необходимо выполнить страничку, можно посмотреть на сайте www.170514.tstu.ru.

Для создания swf роликов следует использовать программу Adobe Captivate [5].

8.8. РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ СЕТЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОДУЛЕЙ ТРЕНАЖЁРНОГО КОМПЛЕКСА

Прежде всего для разработки тренажёра с возможностью его использования в сети Internet, необходимо разработать структуру информационных потоков, а также выбрать технологию взаимодействия программы тренажёра с обучающимся. Для передачи данных в многофункциональных системах существует технология Remote Panel. Так как тренажёр имеет целый комплекс органов управления и контроля, то использование данной технологии целесообразно.

В данной технологии основой для передачи данных служит Web сервер и инструмент WEB Publishing Tool, которые входят в любой из вариантов поставки LabVIEW Basic, Full Development System или Professional. Web сервер LabVIEW генерирует HTML документы, публикует изображения передней панели в Сети путём встраивания виртуального инструмента в Web страничку. Пользователю доступны возможности разграничения доступа браузеров к публикуемым передним панелям и назначения элементов управления и/или индикации, которые будут видны в Интернете. Дополнительные возможности управления виртуальным инструментом и защиты публикуемых данных от несанкционированного доступа реализуются через LabVIEW Enterprise Connectivity Toolset. Вначале требуется разрешить запуск Web сервера и определить его настройки, а затем подготовить публикуемые HTML документы. После запуска приложения LabVIEW (когда код загружен в память ПК сервера), передняя панель будет доступна клиентам через Интернет с помощью LabVIEW или Web браузера.

Рассмотрим структуру сетевого взаимодействия обучающегося с тренажёрным комплексом, опирающуюся на технологию Remote Panel (рис. 8.12).

Тренажёрный комплекс ориентирован на обучение двух и более операторов, осуществляющих управление технической системой. В процессе обучения каждый оператор отрабатывает необходимые действия за своей рабочей станцией. Инструктор в реальном времени следит за ведением операторами продукта по схеме и может вносить любые изменения в технологический процесс.

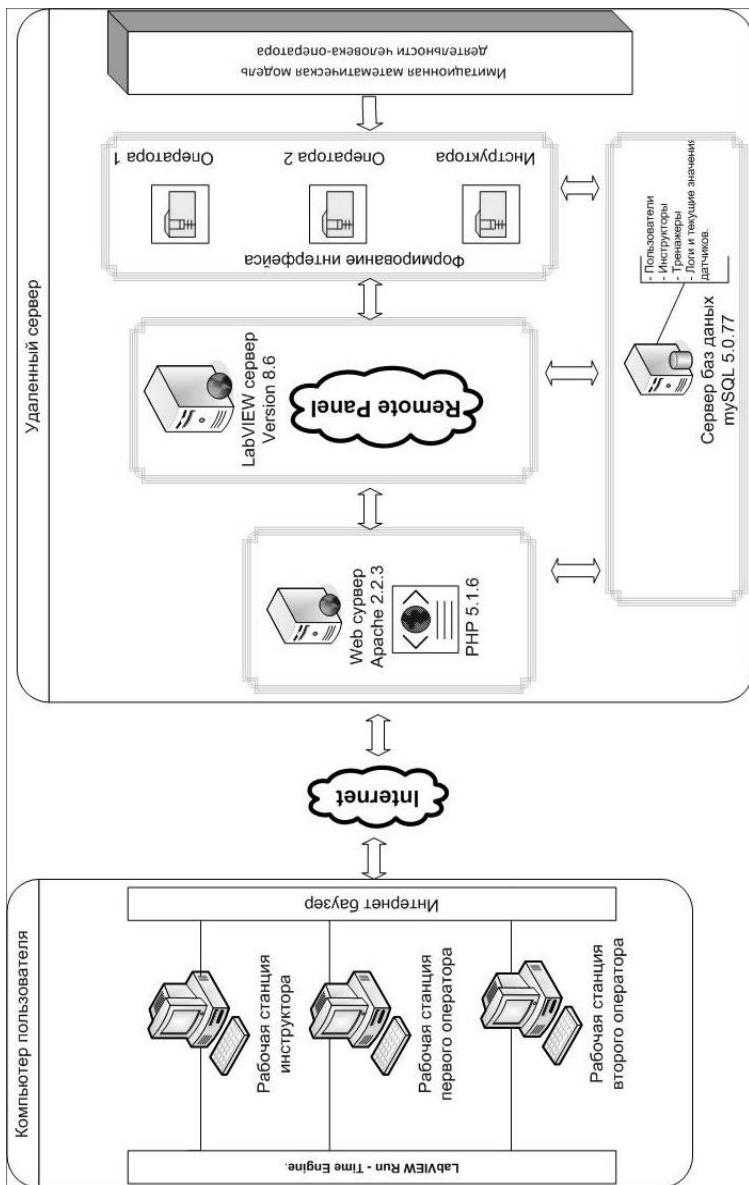


Рис. 8.12. Структура сетевого взаимодействия элементов тренажёрного комплекса

Для работы на тренажёре пользователю необходимо иметь на своей рабочей станции Internet браузер, а также установить приложение LabVIEW Run_Time Engine. Данное приложение относится к классу свободно распространяемых, поэтому дополнительных затрат на приобретение программного обеспечения (ПО) не требуется. При первом обращении к станции тренажёра, автоматически выдаётся запрос на установку данного приложения. LabVIEW Run_Time Engine отвечает за отображение передней панели тренажёра в окне браузера, а также за возможность использования органов управления тренажёра.

Тренажёрный комплекс расположен на удалённом сервере, доступ к которому осуществляется посредством Internet браузера. Вводя в браузере адрес сайта виртуального тренажёра, попадаем на страницу, где предоставляется выбор тренажёра для обучения. Далее запрос обрабатывается сервером Apache и перенаправляется на LabVIEW сервер. С использованием технологии Remote Panel генерируется html страница и передаётся для отправки клиенту сервером LabVIEW. После этого в окне браузера клиента появляется передняя панель тренажёра.

При работе с тренажёром обработка действий оператора осуществляется непосредственно в используемом приложении на основании набора правил, которые сформулированы в имитационной математической модели деятельности человека-оператора.

Основным недостатком технологии Remote Panel является невозможность одновременного использования приложения в активном режиме различными рабочими станциями. Поэтому для решения данной проблемы, а также для упорядочивания информационных потоков была проведена декомпозиция тренажёра на четыре модуля:

- 1) модуль обработки действий оператора 1;
- 2) модуль обработки действий оператора 2;
- 3) модуль обработки действий инструктора;
- 4) модуль взаимодействия.

Взаимодействие между этими модулями происходит через протоколы TCP/IP. Первые три модуля осуществляют приём данных о действиях пользователей и пересылку их в четвёртый модуль, где с использованием правил имитационной математической модели деятельности человека оператора проводится анализ полученной информации и формируются ответные реакции. Такое разделение даёт возможность полностью разграничить права пользователей.

Тренажёрный комплекс включает базу данных, в которой хранится следующая информация:

1. Информация о пользователях. Содержит анкетные данные пользователя, а также набор производств, которые должны быть отработаны на тренажёрах.

2. Информация об инструкторах. Содержит анкетные данные инструкторов, а также список производств, которые они контролируют.

3. Тренажёры. Содержит информацию обо всех производствах, оснащенных тренажёрами.

4. Журнал обучения и текущие значения датчиков. Содержит ошибки пользователей, оценку их действий, информацию о времени прохождения тренинга, а также информацию о текущем положении датчиков в процессе работы тренажёра.

Использование современных технологий позволило создать систему дистанционного обучения операторов химико-технологических систем. Данный вид обучения является единственным доступным способом формирования практических навыков у операторов химико-технологических производств по причине нерентабельности или невозможности производства полномасштабных тренажёров.

Оснащение проектируемых эргатических ТС комплексами виртуальных тренажёров позволит организовать системную подготовку обслуживающего персонала, повышение его квалификации при переходе с одного производства на другое, а также обучение студентов инженерного профиля при прохождении производственной практики и выполнении АЛП по дисциплинам специализации, что в значительной степени должно снизить негативное влияние человеческого фактора на надёжность функционирования ТС.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Перечислите основные модули, входящие в состав автоматизированной информационной системы тренинга операторов технических систем химико-технологического профиля.

2. Поясните назначение модуля сетевого взаимодействия тренажёрного комплекса.

3. Опишите схему информационных потоков процесса обучения оператора на тренажёрном комплексе.

4. Перечислите этапы подготовки оператора химико-технологического производства.

5. Какая нормативная документация используется при разработке виртуального тренажёра?

6. Сформулируйте основные требования, предъявляемые к виртуальным тренажёрам.

7. Какие структуры используются при разработке программного обеспечения виртуального тренажёра?

8. Какие регуляторы используются для демонстрации процесса заполнения трубопровода на передней панели виртуального тренажёра?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 8

1. Краснянский, М.Н. Системный подход к проектированию автоматизированной информационной системы обучения студентов и тренинга операторов химико-технологических систем / М.Н. Краснянский, С.В. Карпушкин, Д.Л. Дедов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2009. – № 4. – С. 926 – 935.

2. Виноградова, Н.А. Разработка прикладного программного обеспечения в среде LabVIEW / Н.А. Виноградова, Я.И. Листратов, Е.А. Свиридов. – М. : Изд-во МЭИ, 2005.

3. Краснянский, М.Н. Применение среды программирования LabVIEW при разработке информационных систем программного управления технологических машин / М.Н. Краснянский, С.В. Карпушкин, А.Б. Борисенко. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2009.

4. Краснянский, М.Н. Разработка и применение средств мультимедиа при создании информационных систем обучения персонала предприятий химического и машиностроительного профиля / М.Н. Краснянский, С.В. Карпушкин, А.Б. Борисенко. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2009.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебное пособие охватывает широкий спектр задач математического и программного обеспечения различных подсистем автоматизированного проектирования и управления техническими системами. В частности описаны теоретические основы поиска режимных и конструктивных характеристик технологического оборудования, различные методы прогнозирования емкости рынка многоассортиментной малотоннажной продукции с помощью аппарата нейронных сетей, методика проектирования тренажерного комплекса для обучения персонала технической системы.

В данном учебном пособии в методически правильном порядке рассмотрены основные вопросы автоматизированного проектирования технологических машин и оборудования. Упорядочен большой объём информации, появившейся за последнее время в области автоматизированного проектирования, исследований, конструирования и теории по рассматриваемым вопросам.

Все задачи, описанные в данной работе, рассмотрены более подробно, чем в существующей литературе. Следует отметить, что каждая глава заканчивается вопросами для самоконтроля, что позволяет студенту самостоятельно оценить уровень полученных знаний.

Учебное издание

НЕМТИНОВ Владимир Алексеевич,
КАРПУШКИН Сергей Викторович,
МОКРОЗУБ Владимир Григорьевич,
МАЛЫГИН Евгений Николаевич,
ЕГОРОВ Сергей Яковлевич,
КРАСНЯНСКИЙ Михаил Николаевич,
БОРИСЕНКО Андрей Борисович,
ФРОЛОВА Татьяна Анатольевна,
НЕМТИНОВА Юлия Владимировна,
ЗИМНУХОВА Жанна Евгеньевна

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Часть 2

Учебное пособие

Редактор З.Г. Чернова

Инженер по компьютерному макетированию И.В. Евсева

Подписано в печать 01.03.2011

Формат 60×84 /16. 9,3 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 87

Издательско-полиграфический центр ГОУ ВПО ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14