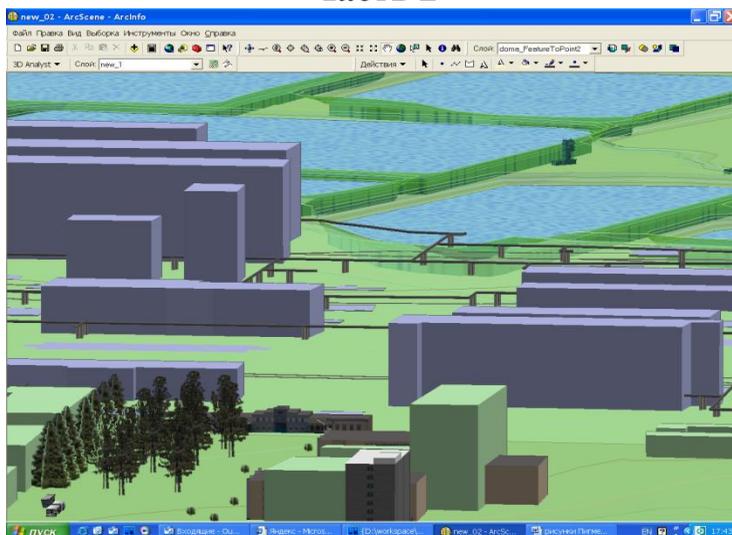


*В.А. Немтинов, С.В. Карпушкин, В.Г. Мокрозуб,
Е.Н. Малыгин, С.Я. Егоров, М.Н. Краснянский,
А.Б. Борисенко, Т.А. Фролова, Ю.В. Немтинова,
Ж.Е. Зимнухова*

Информационные технологии при проектировании и управлении техническими системами Часть 2



Тамбов
Издательство ТГТУ
2011

УДК 54.058(075)
ББК Н76я73
Н217

Р е ц е н з е н т ы:

Доктор технических наук, профессор кафедры информационных технологий в образовании ГОУ «Институт развития дополнительного профессионального образования»

Т.В. Истомина

Доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой систем автоматизированного проектирования ГОУ
ВПО "Тамбовский государственный технический университет"

В.Е. Подольский

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

Н217 Информационные технологии при проектировании и управлении техническими системами: учеб пособие: в 4-х ч. Ч 2) / Немтинов В.А., Карпушкин С.В., Мокрозуб В.Г., Малыгин Е.Н., Егоров С.Я., Краснянский М.Н., Борисенко А.Б., Фролова Т.А., Немтинова Ю.В., Зимнухова Ж.Е. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2011.–147 с.

[ISBN 978-5-94275-482-2.](https://doi.org/10.26907/2542-4502.2011.482-2)

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.

Данное учебное пособие 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 978-5-94275-482-2](https://doi.org/10.26907/2542-4502.2011.482-2)

© Немтинов В.А., Карпушкин С.В.,
Мокрозуб В.Г., Малыгин Е.Н.,
Егоров С.Я., Краснянский М.Н.,
Борисенко А.Б., Фролова Т.А.,
Немтинова Ю.В., Зимнухова Ж.Е.
2011

*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. Зимнухова*

**Информационные технологии при
проектировании и управлении
техническими системами
Часть 2**

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов
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 ТГТУ
2011

Учебное издание

*Владимир Алексеевич Немтинов,
Сергей Викторович Карпушкин,
Владимир Григорьевич Мокрозуб,
Евгений Николаевич Малыгин,
Сергей Яковлевич Егоров,
Михаил Николаевич Краснянский,
Андрей Борисович. Борисенко,
Татьяна Анатольевна Фролова,
Юлия Владимировна. Немтинова,
Жанна Евгеньевна Зимнухова*

**Информационные технологии при
проектировании и управлении
техническими системами**
часть 2

Учебное пособие

Редактор Т.М. Глинкина

Компьютерное макетирование Е.В. Кораблевой

Подписано в печать 05.03.11

ФОРМАТ 60 × 84 / 16. БУМАГА ОФСЕТНАЯ. ПЕЧАТЬ ОФСЕТНАЯ

Гарнитура Times New Roman. Объем: 6,87 усл. печ. л.; 6,8 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 187

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета,
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
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.....	18
Список литературы к главе 1.....	19
Глава 2. Автоматизированный выбор компоновочных решений оборудования химико- технологических систем. Постановка задачи	20
2.1. Словесная постановка задачи оптимального проектирования компоновки оборудования производственных систем.....	21
2.2. Математическое описание объектов компоновки.....	21
2.3. Аналитическая модель задачи компоновки.....	26
2.4. Методология решения задачи компоновки.....	29
2.5. Выбор типа конструкции цеха и влияние его на компоновку оборудования	35
2.5.1. Постановка задачи выбора объемно-планировочных параметров цеха	36
2.5.2. Аналитическая модель задачи выбора объемно-планировочных параметров цеха	39
Вопросы для самопроверки	41
Список литературы к главе 2	42
Глава 3. Управление режимными и конструктивными параметрами технологического оборудования	43
3.1. Принципы определения конструктивных и режимных характеристик технологического оборудования	44
3.2. Теоретические основы поиска режимных и конструктивных характеристик технической системы	46
3.3. Поиск основных режимных и конструктивных характеристик технологического оборудования.....	48
Вопросы для самопроверки	55
Список литературы к главе 3	55
Глава 4. Автоматизированный расчет и конструирование химического оборудования	57

4.1. Структура и назначение системы РИК-ХИМ	57
4.2. Программы технологических и прочностных расчетов	59
4.3 Информационно-справочная система	62
4.3.1. Марочник сталей	62
4.3.2. Стандартные элементы химического оборудования	64
4.3.3. Построение чертежей оборудования и химико-технологических систем	65
4.4. Удаленный вариант системы РИК-ХИМ	68
Вопросы для самопроверки	73
Список литературы к главе 4	74

Глава 5. Информационная поддержка принятия решений при проектировании технологических процессов изготовления технологического оборудования..... 75

5.1. Разработка технологии поддержки принятия решений для проектирования технологических процессов класса производственных систем сложной структуры (на примере машиностроительных производств).....	76
5.1.1. Использование теории сложных систем для решения задачи проектирования технологических процессов промышленных производств.....	76
5.1.2. Математическая постановка общей задачи проектирования технологических процессов производственных технических систем.....	78
5.2. Разработка информационно-логических моделей технологических процессов производственных технических систем.....	80
5.3. Разработка процедурных моделей принятия решений для проектирования технологических процессов производственных технических систем.....	81
5.4. Разработка информационных и процедурных моделей поддержки принятия решений для автоматизированной системы технологической подготовки производства изделий из металлов.....	82
5.4.1. Задача автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения.....	83
5.4.2. Задача автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров для упрочняющей обработки.....	88
5.4.3. Методика реализации информационных и процедурных моделей при решении задачи технологической подготовки машиностроительного производства.....	89
5.5. Практическая реализация информационных и процедурных моделей поддержки принятия решений.....	90
Вопросы для самопроверки	91

2писок литературы к главе 5	91
Глава 6. Информационное моделирование элементов инженерных коммуникаций	93
6.1. Модель информационного объекта	93
6.2. Аналитические модели для определения	96
6.3. Информационно-логические модели для определения значений свойств элементов информационного объекта	100
6.4. Реализация информационно-логических моделей для определения значений свойств элементов информационного объекта.....	106
Вопросы для самопроверки	107
Список литературы к главе 6	108
Глава 7. Прогнозирование емкости рынка малотоннажной многоассортиментной продукции с помощью аппарата нейронных сетей	109
7.1. Прогнозирование емкости рынка многоассортиментной малотоннажной продукции	109
7.2. Создание нейронной сети	111
7.3. Осуществление прогноза	119
7.4. Задание для выполнения лабораторной работы.....	120
Вопросы для самопроверки	121
Список литературы к главе 7	121
Глава 8. Проектирование виртуальных тренажеров для обучения операторов технических систем	123
8.1. Структура автоматизированной информационной системы тренинга операторов технических систем	125
8.2. Постановка задачи проектирования тренажерного комплекса для обучения персонала технических систем	127
8.3. Классификация элементов интерфейса виртуального пульта управления технических систем	128
8.4. Основные принципы создания виртуального тренажера	136
8.5. Разработка математической модели	136
8.6. Создание передней панели тренажера	138
8.7. Подходы к программной реализации тренажера	140
8.8. Разработка и реализация методов сетевого взаимодействия модулей тренажерного комплекса	145
Вопросы для самопроверки	147
Список литературы к главе 8	147

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 определенных 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 путем 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 определенных 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 выпус-

ком 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 приемы работы с автоматизированными информационными системами (АИС) компоновок ТО, технологических расчетов теплообменного оборудования, автоматизированного составления месячных графиков ремонтов ТО;
- приемы использования системы моделирования динамических процессов для оперативного управления промышленного 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 емкости 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"

Глава 1.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВЫБОР АППАРАТУРНОГО ОФОРМЛЕНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1.1. Общие сведения

В химической промышленности принято различать крупнотоннажные (объем выпуска от сотен до десятков тысяч тонн продукции в год) и мелкотоннажные (объем 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 емкостями 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 расчета аппаратурного оформления является число аппаратов на стадиях, а также рабочие объемы или площади рабочих поверхностей основных аппаратов. Рабочие объемы 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 се-

мейства 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 расчета 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 [5,6] приведена математическая постановка задачи выбора АО ХТС и методика ее 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, оснащенных 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 ее 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 т.н. «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 одноименных 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:

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

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

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

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

$z = \left[(Tc_i, w_i, r_{ij}, p_{ij}) \mid i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J_i} \right]$ – вектор параметров режима функционирования ХТС и оборудования ее 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; $r_{ij}=1/\gamma_{ij}$, $\gamma_{ij} > 1$ – γ_{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 объемы $Q = (q_1, \dots, q_I)$ и установленный срок H их выпуска;

$R = \left[(m_{ij} \mid i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J_i}), (t_{ij} \mid i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J_i}) \right]$ – данные технологических регламентов процессов синтеза продуктов, где m_{ij} – материальный индекс j -й стадии синтеза i -го продукта (совокупный объем 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 ее 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 ее 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 ММХП, представленных в работах [5,6], на кафедре «Автоматизированное проектирование технологического оборудования» Тамбовского государственного технического университета разработана система EquipDesign автоматизированного выбора АО ХТС, ориентированная на производства 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 ее стадий при выпуске каждого продукта.
4. Построение диаграммы функционирования аппаратов стадий ХТС (диаграммы Гантта) при выпуске указанного продукта.
5. Вывод результатов расчетов в установленной форме.

Упрощенно 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 объемы $Q = (q_1, \dots, q_I)$ выпуска продуктов, требуемая продолжительность H их выпуска. Затем вводятся стадии выпуска продуктов: указываются их наименования, обозначения на ХТС, типы основных аппаратов, причем выбор типа основного аппарата стадии осуществля-

ется 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 (емкость, фильтр, сушилка), идентификатор типа аппарата по загрузке/выгрузке (возможность совмещения операций загрузки и выгрузки с физико-химическими 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 емкость 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 объем аппарата, а для стадии, основной аппарат которой «Сушилка роторная вакуумная» – объемный материальный индекс стадии по сухому продукту и массовый по испаренной влаге, удельная производительность аппарата по испаренной влаге, процент основных операций от общего времени занятости обработкой одной партии, максимально допустимая степень заполнения, рабочий объем 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 от 0.0 до 1.0, процент основных операций может принимать значения от 0% до 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 введенных данных о типах основных аппаратов стадий и маршрутах обработки партий разных продуктов программа формирует рисунки в виде пиктограмм аппаратов, соединенных стрелками. Щелчок правой кнопкой мыши на пиктограмме любого аппарата открывает характеристики этой стадии для просмотра или редактирования. Перед началом расчетов 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 расчет 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 учетом материальных индексов и способа обработки партий на стадиях, – минимальные и максимальные значения рабочего объема 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 ее переработки аппаратами всех стадий, т.е. рассчитывается минимальный срок выпуска продукта в заданном объеме или максимальный объем выпуска продукта за заданный срок.

Обобщенная 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 выдается 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 решен 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 таблице 1.1.

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

Таблица 1.1

Ассортимент продукции ХТС №2

№ п/п	Наименование продукта	План выпуска (q_i)
1	Прямой серый светопрочный "СМ"	50 т
2	Прямой синий светопрочный	395 т
3	Прямой серый светопрочный	20 т
4	Прямой голубой светопрочный	20 т
5	Прямой черный "2С"	550 т

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

В таблице 1.2 представлены результаты расчета основной аппаратуры ХТС №2, а в таблице 1.3 – характеристики режима ее функционирования, причем 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 нем трех партий полупродукта.

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 3-го диазотирования (продукт №5)

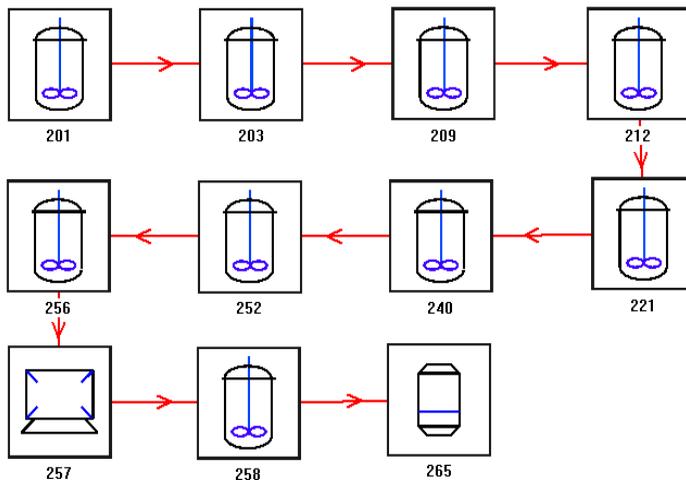
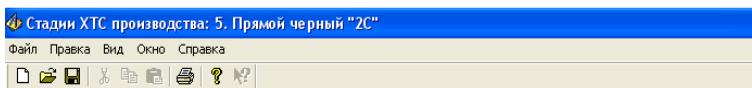


Рис 1.3. Маршрут обработки партий продукта №5

Таблица 1.2

Результаты расчета основной аппаратуры ХТС №2

№ осн. апп-та	Наименование реализуемого процесса	Число апп-тов	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

Таблица 1.3

Характеристики режима функционирования ХТС №2

№ продукта	Размер партии (w_i), т	Цикл обработки партии (Tc_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

На рис. 4 представлена сформированная системой диаграмма Гантта, наглядно представляющая состояние основных аппаратов стадий в течение одного цикла работы ХТС при выпуске продукта №5.

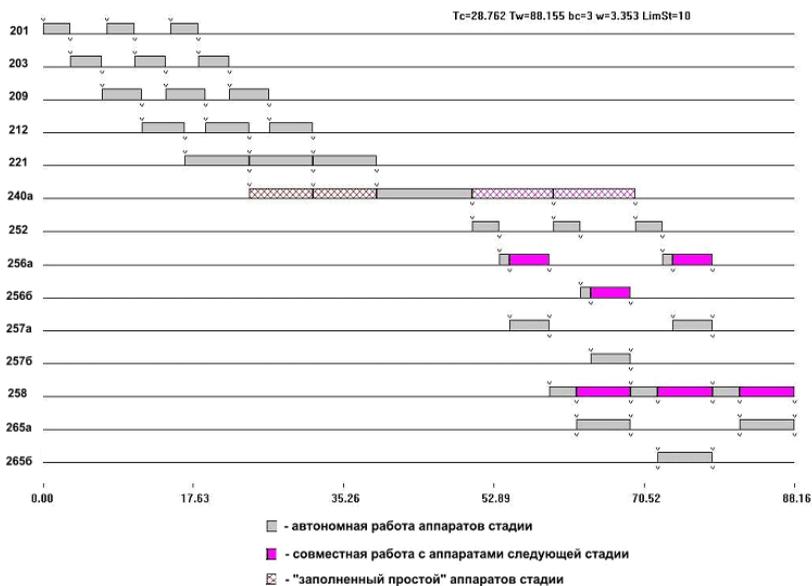


Рис.1.4. Диаграмма функционирования оборудования ХТС №2 при выпуске продукта №5

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определения основных характеристик режима функционирования ТС МХП.
2. Перечислите характеристики режима функционирования оборудования отдельных стадий ТС МХП.
3. Как формируются множества определяющих размеров аппаратов действующего МХП, пригодных для реализации стадий выпуска нового продукта?
4. Для каких стадий ТС МХП 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 МХП?
6. Как определить стадию ТС, лимитирующую ее производительность по времени? По размеру партии продукта?
7. Какова главная проблема расчета оборудования ТС при проектировании нового МХП?
8. Как формализуется в математической постановке задачи определения АО ТС проектируемого МХП возможность неполного совпадения технологий выпуска продуктов?
9. Какова цель решения вспомогательной задачи определения размеров партий продуктов ТС проектируемого МХП?
10. Обоснуйте выбор начальных значений параметров задачи определения АО ТС проектируемого МХП.

Список литературы к главе 1

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

5. Е.Н.Малыгин, С.В.Карпушкин, А.Б. Борисенко. Проектирование многоассортиментных химических производств: определение аппаратурного оформления химико-технологических схем. Вестник ТГТУ, 2002, Том 8, №2. с. 272-282.

6. Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, А.Б. Борисенко Методика определения аппаратурного оформления многопродуктовых химико-технологических систем. 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 т.ч. 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 самотека материальных потоков, совмещенность наработки различных продуктов на одном технологическом оборудовании делают этот этап одним из самых трудоемких в процессе проектирования.

Выбор оптимальных объемно-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 трудоемкого этапа проектирования химических производств - этапа определения рациональной компоновки производства, включающего в себя определение размеров цеха, а также оптимального расположения в нем оборудования ХТС и трасс трубопроводов [1]. Овладение студентами основами автоматизированного проектирования химических объектов поможет им 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 учетом 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).

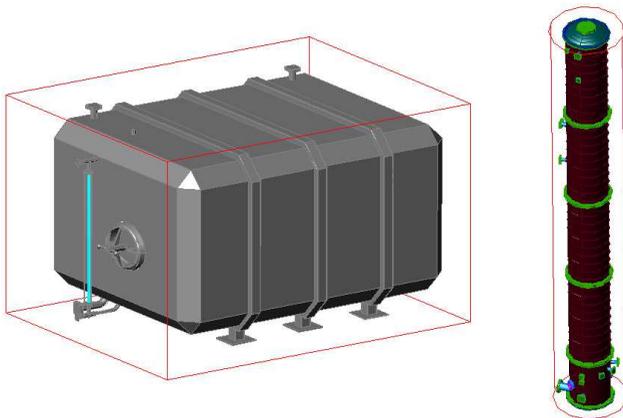


Рис. 2.1. Аппроксимация трехмерных геометрических объектов одной геометрической фигурой

Причем, количество и вид используемых простейших геометрических фигур для аппроксимации, зависит от конфигурации объекта компоновки. На рис. 2.2 показано последовательное усложнение способа аппроксимации одного и того же объекта. Пространственное положение i -го объекта в простейшем случае задается вектором $A_i = (X_i, Y_i, Z_i, Q_i)$, где X_i, Y_i, Z_i - координаты центра основания аппроксимирующей фигуры, а Q_i - угол поворота объекта относительно его начального положения. Такое описание объектов целесообразно использовать при предварительной компоновке объектов, например, при решении задачи размещения.

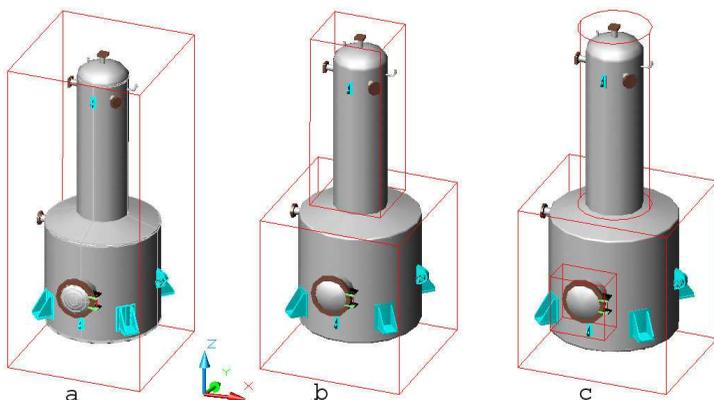


Рис. 2.2. Способы аппроксимации трёхмерных геометрических объектов: а - одной фигурой, б и с – совокупностью фигур

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

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.

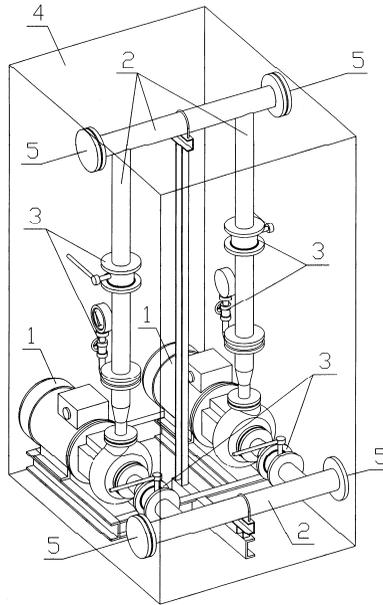


Рис.2.3. Описание блока насосов с обвязкой:

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

Допущение 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}) , $M = 1, K_j - 1$, - 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 разветвленными 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 разветвленных технологических коммуникаций позволяет оперировать всеми ее 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).

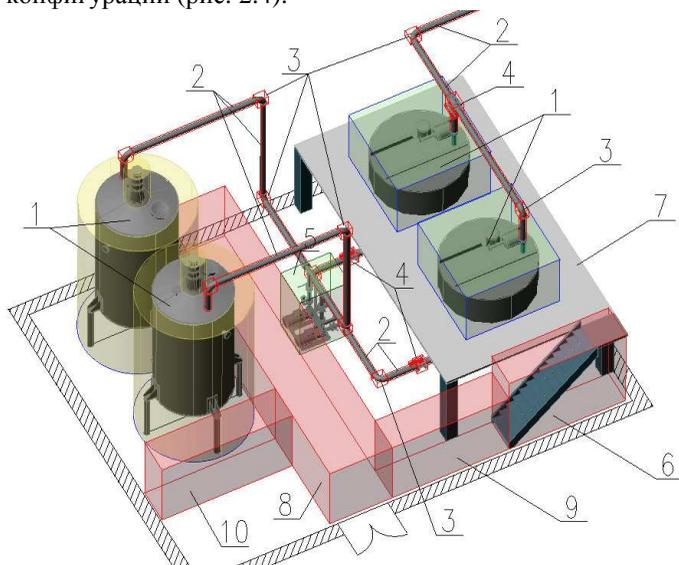


Рис. 2.4. Описание геометрических объектов фрагмента компоновки оборудования:

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 учетом введенных допущений задача компоновки оборудования формулируется как:

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

$$(2.1)$$

$h = (A, T, S, M, AR)$ - 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;

$$D = D_{AP} \times D_{TR} \times D_S \times D_M \times D_{AR}; \quad D_{AP} = \{A^{q1} | q1 = \overline{1, |n1|}\};$$

$$D_{TR} = \{T^{q2} | q2 = \overline{1, |n2|}\}; \quad D_S = \{S^{q3} | q3 = \overline{1, |n3|}\}; \quad D_M = \{M^{q4} | q4 = \overline{1, |n4|}\};$$

$$D_{AR} = \{F^{q5} | q5 = \overline{1, |n5|}\}; \quad D_{AP}, D_{TR}, D_S, D_M, D_{AR} - \text{множества всех возможных вариантов размещения оборудования, трассировки трубопроводов, размеров цеха, внутренних строительных конструкций (металлоконструкций), размещения арматуры; } |n1|, |n2|, |n3|, |n4|, |n5| - \text{мощности множеств } D_{AP}, D_{TR}, D_S, D_M, D_{AR}; m\text{-аналитическая модель проектного решения.}$$

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

$$S = SK \cdot E_H + SE = \sum_{i=1}^6 SK_i \cdot E_H + \sum_{j=1}^3 SE_j$$

$$(2.2)$$

$$SK = \sum_{i=1}^I (M_i + MK_i) \cdot E_n + (Nc \cdot 3c + Nk \cdot 3k) \cdot E_n + \sum_{i=1}^I \sum_{j=i}^I (R_j) \cdot \sum_{k=1}^K (L_{ijk} \cdot C_{ijk} + \beta_{ijk} \cdot CT_{ijk} + \sum_{m=1}^M CA_{ijkn}) \cdot E_u$$

$$(2.3)$$

$$SE = \sum_{i=1}^I (CKR_i \cdot KR_i + CTR_i \cdot TR_i) + \beta_{ijk} \cdot NT_{ijk} \cdot C \cdot t_{экснл} + \alpha_{ijk} \cdot (Tn_{ijk} - Tc_p) \cdot \Pi_{ijk} \cdot CTT$$

$$(2.4)$$

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:

$$X_c^{\min} \leq X_c \leq X_c^{\max}, Y_c^{\min} \leq Y_c \leq Y_c^{\max}, Z_c^{\min} \leq Z_c \leq Z_c^{\max} \quad (2.5)$$

- Кратность размера цеха размеру строительного модуля:

$$X_c/n_x = Y_c/n_y = Z_c/n_z = const \quad (2.6)$$

- Размещение оборудования внутри цеха:

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

- Наличие зон для движения транспортных устройств:

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

L и B – длина и ширина зоны движения;

- Наличие зон для ремонта и обслуживания оборудования:

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

- Зоны свободные от размещаемого оборудования:

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

- Зоны под каналы для прокладки трубопроводов:

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

Блок 2. Ограничения на размещение оборудования:

- Тяжелое оборудование размещается, как правило, на нижних этажах:

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

- Размещение однотипного оборудования в один ряд:

$$z_{i1} = z_{i2}, (y_{i1} = y_{i2}) \vee (x_{i1} = x_{i2}), \forall i_1, i_2 \in A^{p\text{яд}}$$

(2.13)

- Изолированное размещение оборудования:

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

(2.14)

- Фиксация размещения отдельных аппаратов:

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

(2.15)

- Обеспечение требуемого расстояния между аппаратами:

$$\rho(A_i, A_k) \geq [\rho 1]_{ik}, \quad i \neq k$$

(2.16)

- Расстояние между аппаратами и строительными конструкциями:

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

(2.17)

Блок 3. Ограничения на прокладку трасс трубопроводов:

- Ортогональность фрагментов трубопроводов в пространстве:

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

(2.18)

- Прокладка трасс трубопроводов в выделенных зонах:

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

(2.19)

- Обеспечение зазоров между трассами:

$$\rho(T_i, T_j) \geq [\rho 3]_{ij}, \quad i = 1..L, \quad j = 1..L, \quad i \neq j$$

(2.20)

- Расстояние между фрагментами трасс и аппаратами:

$$\rho(A_i, T_j) \geq [\rho 4]_{ij}, \quad i = 1..N, \quad j = 1..L$$

(2.21)

- Расстояние между трассами и строительными конструкциями:

$$\rho(C_k^{\text{констр}}, T_j) \geq [\rho 5]_{kj}, \quad k = 1..NK, \quad j = 1..L$$

(2.22)

Блок 4. Технологические ограничения:

- Часть оборудования рекомендуется размещать друг над другом:

$$x_{i1} = x_{i2}, y_{i1} = y_{i2}, \forall i_1, i_2 \in A^{\text{стояк}}$$

(2.23)

- Изолированное размещение оборудования в отделениях:

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

(2.24)

- Ограничение на длину трубопроводов с вязкими жидкостями:

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

(2.25)

- Обеспечение требуемой скорости потока в трубопроводах:

$$\omega_j^h \leq \omega_j \leq \omega_j^g, \quad \forall j = 1..L$$

(2.26)

- Ограничение на время загрузки-выгрузки оборудования:

$$\tau_{j \text{ min}} \leq \tau_j \leq \tau_{j \text{ max}}$$

(2.27)

- Обеспечение транспорта самотёком:

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

(2.28)

$$i = 1..N; j = 1..N; i \neq j.$$

- Исключение застойных зон для жидкостей:

$$\min\{z_{jn_1} - z_{jn_2}; z_{jn_3} - z_{jn_2}\} \leq 0$$

(2.29)

для газов: $\min\{z_{jn_2} - z_{jn_1}; z_{jn_2} - z_{jn_3}\} \leq 0,$

(2.30)

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

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

Блок 5. Условия не пересечения объектов:

- Не пересечение аппаратов друг с другом:

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

(2.31)

- Не пересечение аппаратов со строительной конструкцией:

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

(2.32)

- Не пересечение оборудования со вспомогательными:

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

(2.33)

- Не пересечение трасс друг с другом:

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

(2.34)

- Не пересечение трасс с аппаратами:

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

(2.35)

- Не пересечение трасс со строительными конструкциями:

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

(2.36)

- Трассы не должны проходить в зонах обслуживания оборудования:

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

(2.37)

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

Варьируя ограничениями модели (2.5-2.37) задачи компоновки и видоизменяя целевую функции (2.2) можно из исходной постановки получить практически любую частную постановку задачи, встречающуюся на этапе принятия объемно-планировочных решений производства. Так задачи: размещения оборудования ХТС по этажам или на этажах и задачи трассировки технологических трубопроводов рассматриваемые далее получаются путем 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 путем 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 ее 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, удается найти точное решение для большего числа размещаемых объектов. Так, в работе [2] задача сводится к задаче линейного программирования и сообщается о ее решении для 30-40 объектов.

Поэтому, наиболее целесообразным путем решения задачи компоновки является ее 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 следующей схеме (рис. 2.1).

В блоке 1 на основе анализа исходных данных об оборудовании ХТС, структуре технологических связей между аппаратами схемы, способах транспорта, физико-химических свойствах веществ, данных расчетов 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 упрощенных 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, т.к. еще 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 ее размеров, этажности, стоимости земли. Общий объем помещения пропорционален объему, занимаемому оборудованием с учетом зон обслуживания и мест для последующей трассировки трубопроводов.

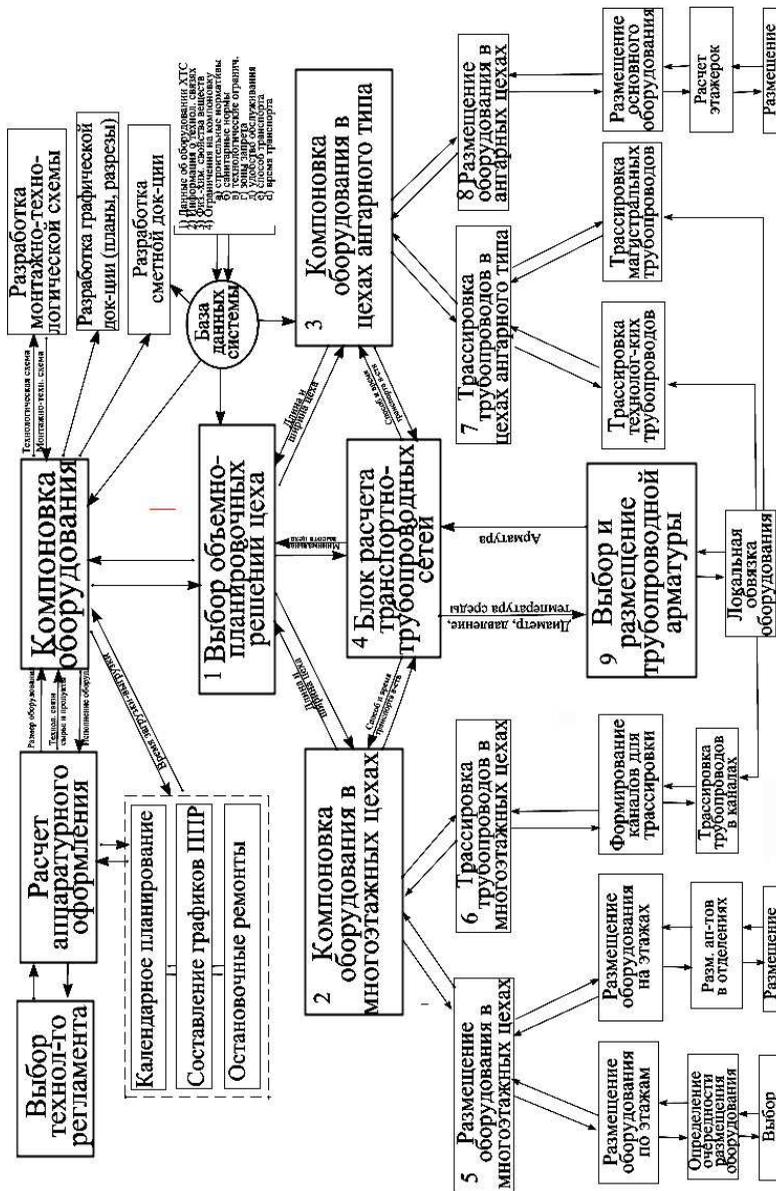


Рис.2.5. Схема решения задачи компоновки.

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 объемно-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 приемлимых вариантов строительных решений цеха наиболее подходящие для проектируемого производства.

В состав исходных данных для ее решения (координирующий сигнал $K_{\text{ОПР}}$) 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 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 КОМ). Целью задачи является определение пространственного расположения оборудования ХТС, трасс технологических трубопроводов и трубопроводной арма-

туры в производственном помещении. Координирующий сигнал $K_{КОМ}$ содержит ту же информацию, что и сигнал $K_{ОПР}$, но тип строительной конструкции, ее габариты, а также состав производственных отделений уже известны.

Критерий оптимальности решения задачи $КОМ$ – 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 путем итерационного решения задач меньшей размерности, имеющих самостоятельное значение в проектной практике. Это:

- задача размещения оборудования в многоэтажном производственном помещении (блок 5, задача $РОМ$);
- задача трассировки трубопроводов в многоэтажном производственном помещении (блок 6, задача $ТТМ$);
- задача расчета транспортно-трубопроводных сетей (блок 4, задача $ТТС$);
- задача выбора и размещения трубопроводной арматуры (блок 9, задача $РТА$).

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

Задача $РОМ$ (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 ее 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 $РОМ$ – минимальный производственный объем, занимаемый размещаемыми аппаратами, минимальные затраты на средства транспортировки веществ и минимальные затраты на монтаж оборудования. Основные ограничения:

- учет наличия зон, запретных для размещения технологического оборудования (установленное оборудование, строительные конструк-

ции, монтажные проемы, проезды и проходы, служебные помещения, лифты и лестницы);

- ограничения на взаимное расположение аппаратов с точки зрения допустимых видов транспорта веществ между ними (самотек);

- указания по размещению однотипных аппаратов (реакционные, фильтровальные, сушильные отделения);

- обеспечение норм обслуживания и ремонта оборудования.

Информационный сигнал I_{RO_M} 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 материалу трубопроводов формируют координирующий сигнал K_{TT_M} для задачи TT_M (блок 6).

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

- прокладка трасс трубопроводов в пределах разрешенных 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_{TT_M} содержит: результаты решения задачи TT_M - 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 определяют в блоке 4 – расчета ТТС).

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

Критерий оптимальности решения задачи KO_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 KO_A аналогична по своей структуре схеме решения задачи KO_M . Решаются те же подзадачи, что и в блоке 2;

- задача размещения оборудования в ангарном цехе (блок 7, задача PO_A);

- задача трассировки трубопроводов в ангарном цехе (блок 6, задача TT_A);

- задача расчета транспортно-трубопроводных сетей (блок 4, задача TTC);

- задача выбора и размещения трубопроводной арматуры (блок 9, задача PTA);

- задача проектирования и расчета металлоконструкций под оборудования XTC (блок 11, задача PM).

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

Информационный сигнал I_{TTC} содержит всю необходимую информацию о параметрах TTC необходимую для решения задач вышестоящего уровня (задачи OPP , задачи KO_M , задачи KO_A).

Анализ информационного сигнала I_{TTC} совместно с информационными сигналами других задач может привести к выводу о необходимости изменения ранее принятых решений в задачах вышестоящего уровня. Так, результаты гидравлического расчета определяют основные параметры трубопроводов, что может привести к изменению проекта трассировки трубопроводов (задачи TT_M и TT_A), что, в свою очередь, может потребовать изменения решений по размещению оборудования (задачи PO_M и PO_A) и, в конечном итоге, к пересмотру решений задачи OPP .

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 расчет 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 (рис. 1.4);
- 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 проемы.

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 производства 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, дает 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 учет 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 проемы. Помещения этих категорий лучше размещать у наружных стен.

2.5.1. Постановка задачи выбора объемно-планировочных параметров цеха

Словесно задачу выбора ОПР цеха можно сформулировать так:

Определить значения объемно-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 введем 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 метров.

Информационные и управляющие сигналы задачи представлены на рис.2.6.

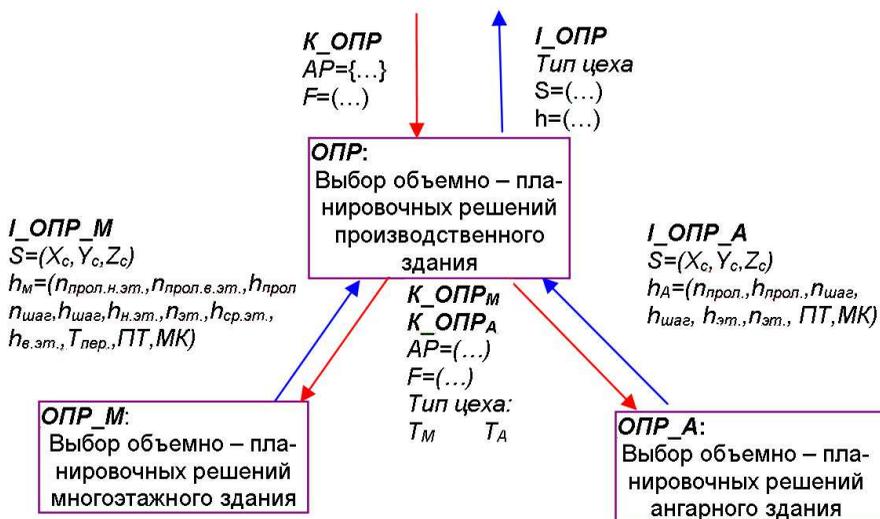


Рис. 2.6. Информационные и управляющие сигналы задачи выбора ОПР.

Исходные данные для задачи выбора ОПР (координирующий сигнал $K_ОПР$) включают:

- информацию о оборудовании ХТС;

$$AP = \left\{ AP_i = \left(xap_i, yap_i, zap_i, lap_i^x, lap_i^y, lap_i^z, map_i \right), i = 1 \dots NA \right\}$$

AP_i – совокупность параметров, описывающих информацию о аппарате

с номером i ;

MA – общее число оборудования ХТС в цехе;

xap_i, yap_i, zap_i – координаты расположения оборудования в цехе (в данной задаче неизвестны);

$lap_i^x, lap_i^y, lap_i^z$ – размеры параллелепипеда, описывающего i -

ый аппарат по осям X, Y, Z ;

map_i – вес аппарата;

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

$$F = f_{4 \times L} = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1l} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2l} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{l01} & f_{l02} & \dots & f_{l0l} \end{pmatrix} \text{ - матрица связей, где}$$

где f_{1l} – номер аппарата источника связи l ;

f_{2l} – номер аппарата приемника связи l ;

f_{3l} – стоимость связи l ;

f_{4l} – способ транспорта по связи l ;

1 – самотек при периодической работе аппаратов;

2 – самотек при непрерывной работе аппаратов;

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

4 – перекачивание;

5 – транспорта сыпучих материалов;

$f_{5l} - f_{l0l}$ – 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**;

$S = (X_c, Y_c, Z_c)$ – габаритные размеры цеха (длина, ширина, высота);

- **информацию о объемно-планировочных параметрах цеха**;

а) – для многоэтажного цеха:

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

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

1 – подвешенный транспорт используется;

$$ПТ =$$

0 – подвешенный транспорт не используется.

1 – мостовой кран используется;

$$МК =$$

0 – мостовой кран не используется.

б) – для ангарного цеха:

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

$n_{\text{прол.}}$ - число пролетов; $h_{\text{пролетов}}$ - 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 объемно-планировочных параметров цеха

Основные соотношения модели включают:

I Ограничения на размеры цеха.

- На предельно допустимые размеры цеха:

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

- На минимальную высоту цеха:

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

- На высоту цеха с учетом транспорта веществ:

Пусть $A^j = \{A_i^j \mid i = 1, 2, \dots, l_j\}$ подмножество аппаратов объединенных следующими правилами:

$$\begin{aligned} \text{а) } & \forall A_i^j, A_{i+1}^j \in A^j \exists \quad 0 \leq p \leq L \quad f_{1p} = A_i^j, f_{2p} = A_{i+1}^j \wedge f_{4p} = 1 \\ \text{б) } & \forall l (l = \overline{1, L}) \quad f_{4l} = 1 \quad f_{1l} \neq A_i^j \quad f_{2l} \neq A_i^j \quad \text{тогда } Z_{\min} \geq \sum_{i \in A^j} la_i^z \quad (2.40) \end{aligned}$$

- Зависимость размеров цеха от основных объемно-планировочных параметров цеха:

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

- На площадь цеха:

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

$$\text{- На объем цеха: } \quad X_{ц} Y_{ц} Z_{ц} \geq k' * \sum_{p=1}^{NA} V_p + \sum_{m=1}^M V_m \quad (2.43)$$

II Ограничения на определяемые объемно – планировочные параметры строительной конструкции цеха.

- На количество этажей в цехе:

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

- На число пролетов в цехе:

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

- На использование в цехе подвешенного транспорта и мостового крана:

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

- На высоты этажей:

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

- На тип перекрытия:

$$\begin{aligned}
T_{пер.} &= 1 \text{ если } (h_{шага} = 6) \wedge (h_{прол.} = 9) \wedge (h_{эм.} = 3.6) \vee \\
&T_{пер.} = 2 \text{ если } MK=1 \\
&T_{пер.} \in (1,2) \text{ при } (h_{шага} = 6) \wedge (h_{прол.} = 6) \wedge MK = 0
\end{aligned}
\tag{2.48}$$

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 ($I_{нас}$).

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

С учетом изложенного выше, задача выбора ОПР цеха формулируется так: определить тип цеха, габариты цеха $S = (X_{ц}, Y_{ц}, Z_{ц})$, а также его объемно – планировочные параметры: $h_M = (n_{прол.эм.}, n_{прол.эм.}, h_{прол.}, n_{шагов}, h_{шага}, h_{н.эм.}, n_{эм.}, h_{ср.эм.}, h_{в.эм.}, T_{пер.}, ПТ, МК)$ или $h_A = (n_{прол.}, h_{прол.}, n_{шагов}, h_{шага}, n_{ур.}, ПТ, МК)$, при которых критерий (2.50) достигает минимума, при выполнении ограничений математической модели (2.37-2.50).

Т к. при решении задачи выбора ОПР цеха размещение оборудования (координаты $xар_i, yар_i, zар_i$ аппаратов) еще не известны, поэтому при расчете 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 расчета 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 ребер графа G . Далее в координатной сетке G_r строится стандартный граф $G_{\Delta}=(X_{\Delta}, U_{\Delta})$, имеющий такое же число вершин и ребер, как и граф G . Построение ведется путем последовательного помещения в сетку сначала всех ребер G_{Δ} , длина которых равна 1. Если число ребер графа G_{Δ} с длиной 1 равно или больше числа ребер графа G , то процесс построения заканчивается. В противном случае последовательно добавляются ребра с длинами 2, 3 и далее до тех пор, пока общее число ребер графа G_{Δ} не станет равным числу ребер графа G . Затем производится ранжирование ребер

графа G по весам таким образом, что $\varphi(U_i) \geq \varphi(U_{i+1}) \quad \forall i = \overline{1, l}$, где $\varphi(U_i)$ – вес U_i -го ребра, длина которого равна 1 и эти веса приписываются ребрам графа $G \Delta$ в соответствии с порядком построения его ребер. Подсчитав суммарную стоимость ребер графа $G \Delta$, получим нижнюю оценку минимальной суммарной длины для графа G .

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

Процедурная модель выбора ОПР 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 ОПР 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 объемно-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 объемно-планировочных решений цеха?

Список литературы к главе 2

1. Немтинов В.А. Информационные технологии при проектировании и управлении техническими системами: учебное пособие: в 4 ч. Ч.1 / В.А. Немтинов, С.В. Карпушкин, В.Г.Мокрозуб [и др.]; М-во обр. и науки Тамбов: "Издательский дом ТГУ им. Г.Р.Державина, 2010. – 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.

Глава 3.

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 учета 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, до середины прошлого века и даже позднее, осуществлялась. 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, как конструктор в области химических производств, основная деятельность которого сводилась к определению ряда вспомогательных конструктивных парамет-

ров и проведении с их учетом прочностных расчетов, 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 определенного 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 ГИП – главный инженер проекта, в других прикладных областях, например, в самолетостроении – главный конструктор, но это не означало, что деятельность конструктора в области самолетостроения сводилась к изготовлению технической документации и проведению поверочных прочностных расчетов. 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 т.к. 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.

Ниже 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 их 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 т.п. 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 расчетов.

3.2. Теоретические основы поиска режимных и конструктивных характеристик технической системы

Как было указано выше, решить «в лоб» задачу поиска режимных и конструктивных характеристик удастся 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 учетом 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. Коор-

динирующие 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 расчета (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 упрощенных 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 получаются не системы автоматизированного проектирования в «чистом» виде, а система, которая обеспечивает поддержку принятия решений.

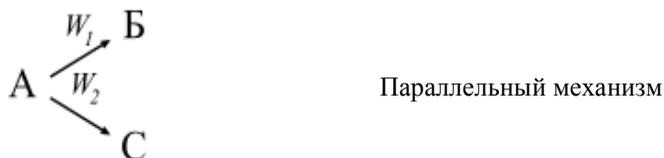
Для корректного применения методов математического моделирования, системного анализа, теории оптимизации проектант (исследователь) должен обладать достаточно высокой теоретической подготовкой [2,3,4,5]. Если указанный выше уровень знаний должен быть при работе в любой предметной области, то без должной 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 характери-

стик 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 трем кинетическим механизмам – последовательному, параллельному и смешанному:



Здесь А, В, С – реагенты, W_1, W_2, W_3 – скорости химических реакций по маршрутам кинетического механизма. При этом А – сырье, В, 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 ско-

рости 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:

- в последовательном механизме скорость W_1 - максимальна, а W_2 - минимальна;
- в параллельном механизме W_1 - максимальна, W_2 - минимальна;
- 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, $K = K_0 \cdot \exp\left(\frac{-E}{RT}\right)$ - уравнение Аррениуса;

c_i - концентрация i -го реагента; v_i - стехиометрический коэффициент; n - число реагентов; K_0 - предэкспоненциальный множитель; T - температура $^{\circ}\text{K}$; 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, помещенный в трубное пространство реактора.

В упрощенном виде конструкция трубчатого реактора имеет следующий вид, рис. 3.1:

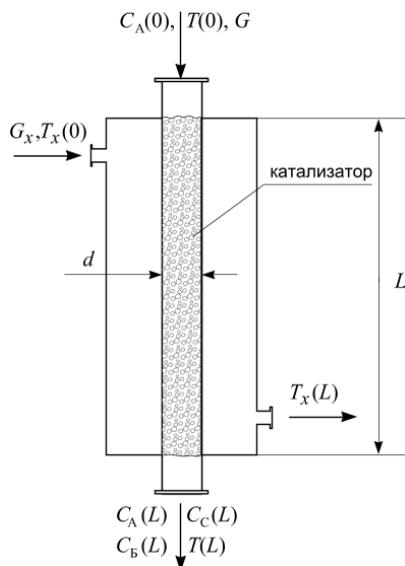


Рис.3.1. Схема трубчатого реактора

Трубка, внутренним диаметром d помещена в рубашку, через которую прокачивается хладо(тепло)агент. На вход реактора поступает сырье $C_A(0)$, 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, т.к. 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 приведенном 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 (расходе) 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 учетом принятых допущений, уравнения, описывающие изменение концентраций и температур в зоне реакции и межтрубном пространстве можно представить в следующем виде:

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

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

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

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

где C, C_x – теплоемкость сырья и хладоагента; K_T – коэффициент теплопередачи; c, γ, ν - 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 такие $d, L, n, C_A(0), G, T(0), T_x(0), G_x$ что критерий оптимальности

$$I = C_B(L)[d, L, n, C_A(0), G, T(0), T_x(0), G_x] \text{ достигает максимума}$$

при выполнении условий (3.1, 3.2).

Здесь n – число трубок реактора, которое определяет его производительность. Далее расчет 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 назовем 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 еще 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:

$$\begin{aligned} \frac{dC_A(l)}{dl} &= -\frac{S_0 * F}{G}(W_1 + W_3); \\ \frac{dC_B(l)}{dl} &= \frac{S_0 * F}{G}(W_1 - W_2); \\ C_A(0) &= C_{A0}; \quad C_B(0) = 0; \end{aligned} \tag{3.3}$$

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

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

$$0 \leq l \leq L; \quad T_{\min} \leq T(l) \leq T_{\max};$$

$$G_{\min} \leq G \leq G_{\max}; \quad C_{A\min} \leq C_A \leq C_{A\max}; \quad C_{B\min} \leq C_B \leq C_{B\max};$$

$d \in \{d_m\}, m = \overline{1, M}$ где M – число стандартных диаметров трубки.

Задача теоретической оптимизации трубчатого реактора относится к классу вариационных задач, т.к. 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:

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

для класса непрерывных функций, и

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

или
(3.5)

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

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 (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, 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.

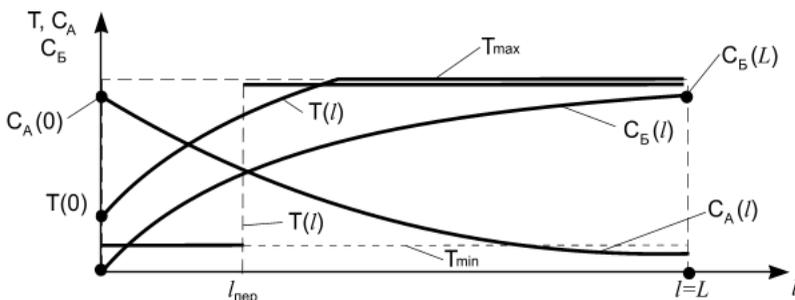


Рис.3.2. Результаты решения задачи теоретической оптимизации

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 дает проектировщику возможность оценить свои действия и знать, насколько он приблизился к верхней оценке выхода целевого продукта.

Решение задачи реализации представлено на рис.3.3.

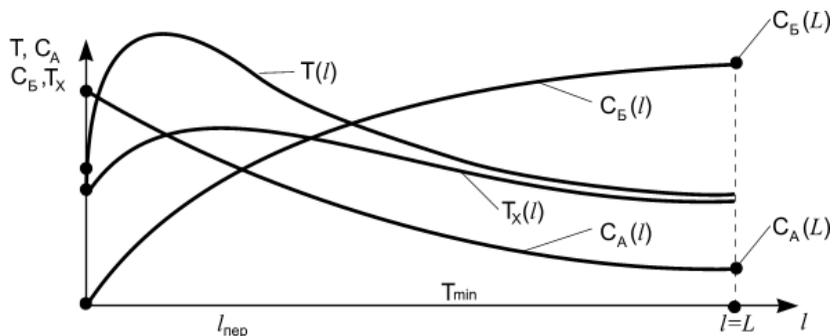


Рис.3.3. Решение задачи реализации режимных и конструктивных характеристик трубчатого реактора

В результате решения задачи реализации получены следующие результаты: максимальное значение $C_B(L)$, величины $C_A(0), T(0), G, G_x, T_x(0), d$, проскок 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 трех реакций кинетического механизма, полученные результаты правомерны для фиксированного диаметра трубки. Как правило, рассматриваются 3-4 диаметра трубки по ГОС-Ту и выбирается лучший вариант. Число трубок определяется требуемой производительностью реактора.

Решение задачи реализации учитывает реальные условия теплообмена. Как частный случай решения 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. Такаха. - 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 / Л. Акофф Рассел. – М.: МИР, 1982.

Глава 4.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВА- НИЯ

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 трехмерных 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 расчетов в области машиностроения. Расчеты на прочность, динамический и кинематический анализы. Расчеты зубчатых передач, пружин, ПО для общих и специализированных расчетов.

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 расчета и конструирования химического оборудования РИК-ХИМ, разработанный на кафедре АПТО Тамбовского государственного технического университета 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 дис-

циплинам, связанным с разработкой химических производств. Система «РИК-ХИМ» имеет два взаимодополняющих варианта исполнения:

- работающее локальной сети;
- 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 так же автоматизацию расчетов элементов химического оборудования и построения чертежей предоставляют программы работающие в локальной сети кафедры или устанавливаемые на персональном компьютере обучающегося.

Система РИК-ХИМ состоит из следующих независимых частей, рис. 4.1. Индивидуальные задания по проектированию и расчету оборудования в соответствии с учебными планами.

Программы технологических и прочностных расчетов включают в себя:

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

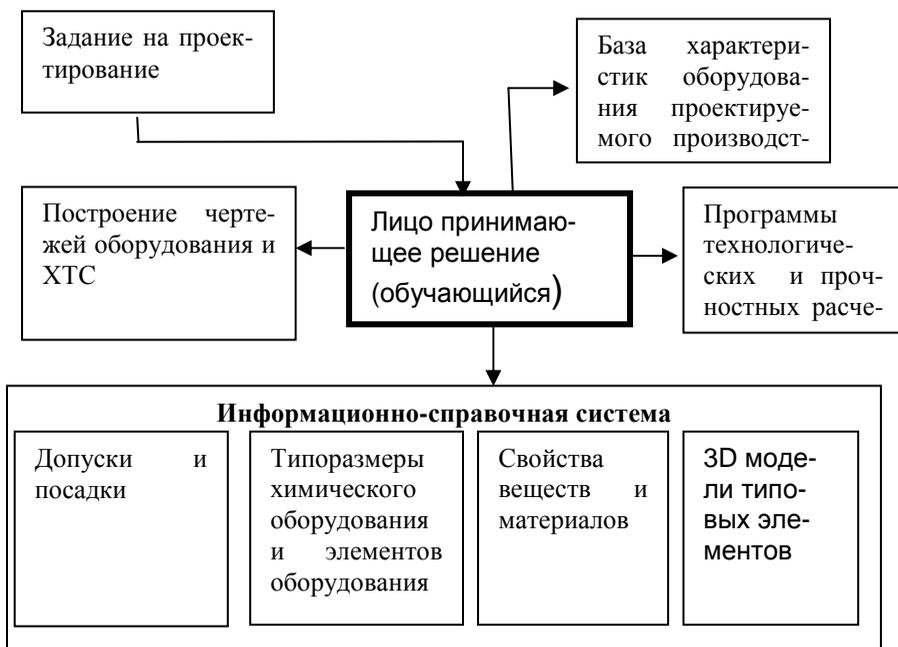


Рис. 4.1. Структура системы РИК-ХИМ

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

- каталог физико-механических характеристиках металлов и химических веществ;
- каталог применяемости сталей для изготовления различных элементов химического оборудования в зависимости от условий эксплуатации (среда, температура, давление)
- поисковую систему, позволяющая 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.) 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 расчетов

Основной средой разработки программ технологических и прочностных расчетов в первой очереди системы РИК-ХИМ является MatchCad. Все программы оформлены в виде электронных книг с максимальным приближением к руководящему документу, по которому осуществляется расчет [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.

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

Система содержит следующие нормативные документы:

- ГОСТ Р 52857.1 - 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования;

- ГОСТ Р 52857.2 - 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек;
- ГОСТ Р 52857.3 - 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлении. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер;
- ГОСТ Р 52857.4 - 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений;
- ГОСТ Р 52857.5 - 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок;



Рис. 4.2. Первичное меню электронных книг механических расчетов

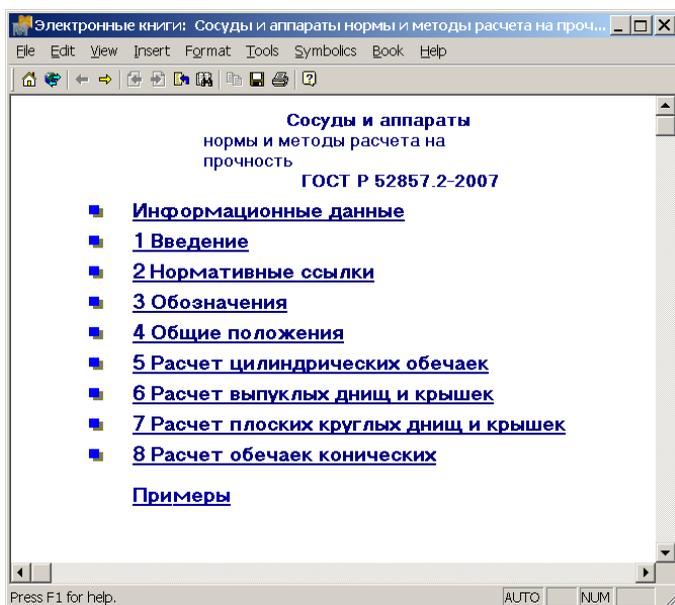


Рис. 4.3. Первичное меню стандарта ГОСТ Р 52857.2-2007

- ГОСТ Р 52857.6 - 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках.

- ГОСТ Р 52857.7 - 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты.

- ГОСТ Р 52857.8 - 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды с рубашками;

- ГОСТ Р 52857.9 - 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета 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 расчета на прочность. Сосуды и аппараты, работающие с сероводородными средами;

- ГОСТ Р 52857.11 - 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Метод расчета на прочность обечаек и днищ с учетом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости обечаек;

- РДРТМ 26-01-72-82. Валы вертикальные аппаратов с перемешивающими устройствами. Методы расчета;
- ГОСТ 24757-81. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность;
- ГОСТ 24756-81. Сосуды и аппараты. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых и сейсмических воздействий.
- Гидродинамический и тепловой расчет вертикальных аппаратов с перемешивающими устройствами. РД 26-01-90-85.
- Механический расчет элементов аппаратов барабанного типа.
- Технологический расчет теплообменной аппаратуры.
- Технологический расчет насадочной ректификационной колонны непрерывного действия для разделения бинарных смесей в пленочном 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 теплоемкость 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 применяемости 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 . корроззионност . жарост . жаропр .		ГОСТ 5632-61
Области и условия применения		Марки сталей
Адипиновая кислота <CH2CH2CO2P>2		0X17T
Азотистая кислота HN02		1X17H2
Азотная кислота HN03		X25T
Алюминий азотнокислый A1CN03>2		X17
Алюминий сернокислый A12<S04>3		X18H10T
Алюминий уксуснокислый A1<C2H3O2>3		X17H13M2T
Алюминий хлоридный A1Cl3		

Поиск	Области и условия применения
10	Применяется для изготовления следующих элементов:
10Г2	Трубные пучки витых теплообменных аппаратов
10Г2БД	Трубные пучки нормализованных кожухотрубчатых теплообменников
10Г2С1	Детали кот. предъявляют требования высокой пластичности
10п	Детали с выст. твердостью поверхности и невис. прочностью сердц
10пс	*****
10X14AГ15	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
10XНД1	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 РСХ, представляющих собой эскизы стандартных элементов;
- набора текстовых файлов с расширением MN, в котором находится меню навигации по базе;
- управляющей программы.

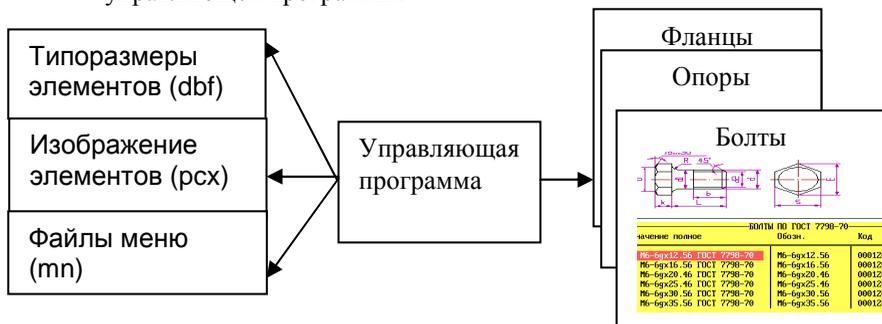


Рис. 4.6. Структура базы данных стандартных элементов

Состав базы данных стандартных элементов:

- фланцы для аппаратов;
- фланцы для трубопроводов;
- рубашки для емкостных аппаратов;
- обечайки, днища емкостных 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

На рис. 4.7 представлено пример информации о размерах фланца.

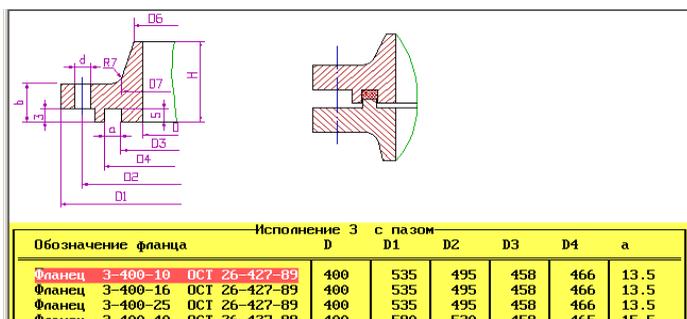


Рис. 4.7. Пример представления информации в базе стандартных элементов

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 схемы с базой данных свойств элемента. Так, например, для емкостного аппарата можно узнать его объем, 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;

- 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.

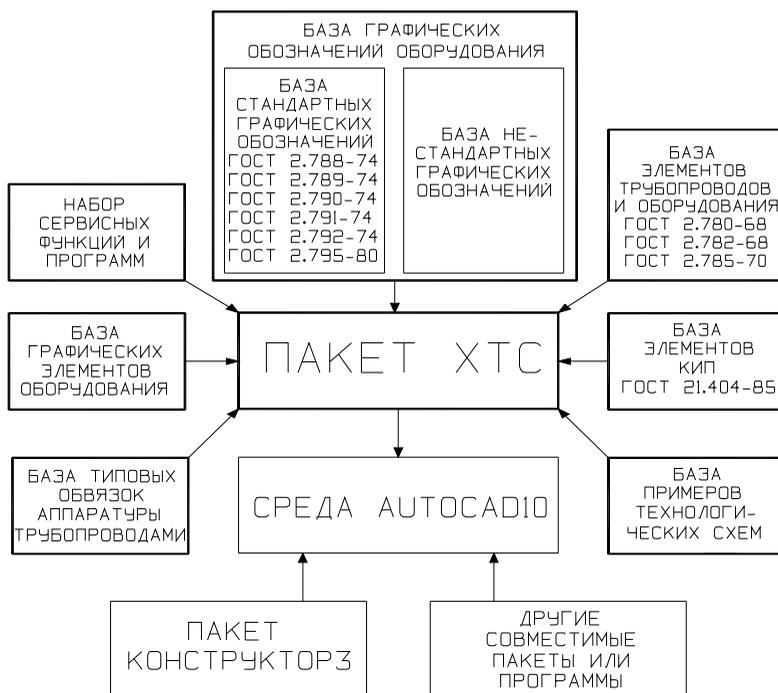


Рис. 4.8. Структура пакета «ХТС»

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.).

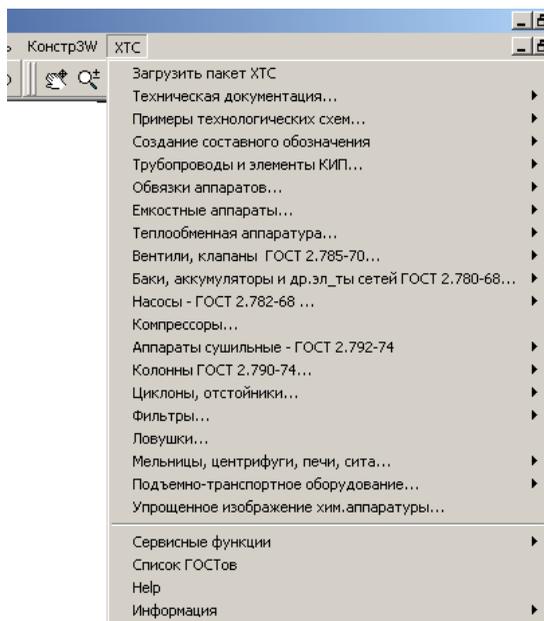


Рис. 4.9. Основное меню пакета XTC

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

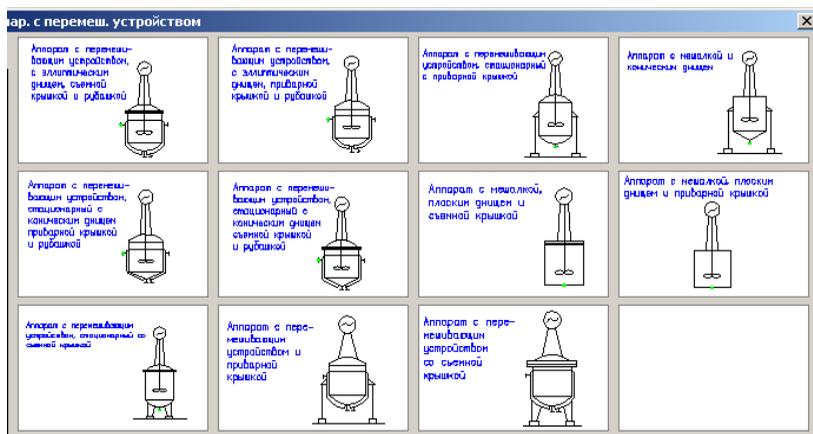


Рис. 4.10. Типовые изображения аппаратов с перемешивающими устройствами

4.4. Удаленный вариант системы РИК-ХИМ

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

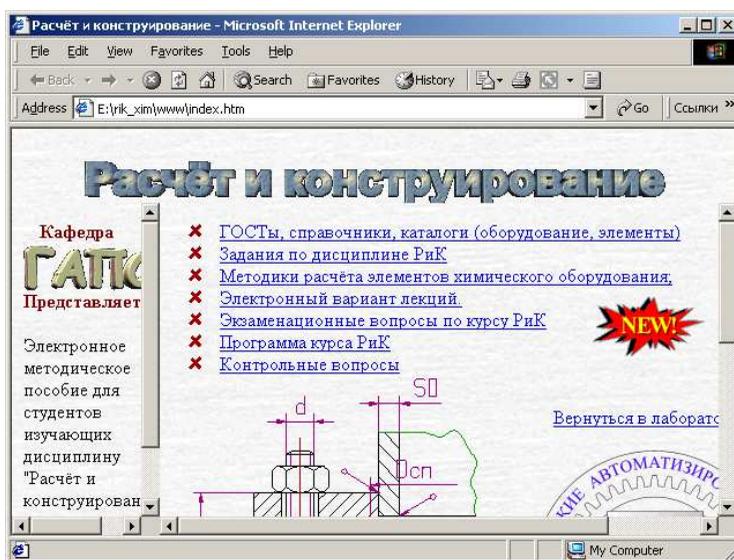


Рис. 4.11. Удаленный вариант системы РИК-ХИМ.

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

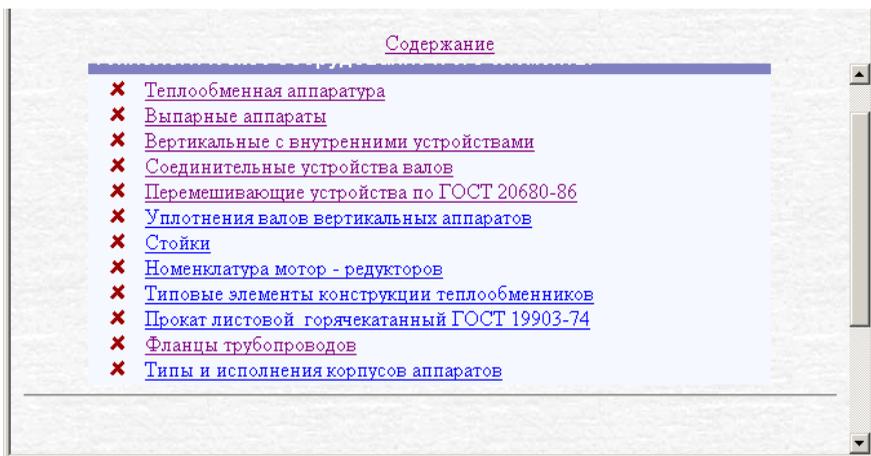


Рис. 4.12. Нормативно справочная документация

Информация в удаленной 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).

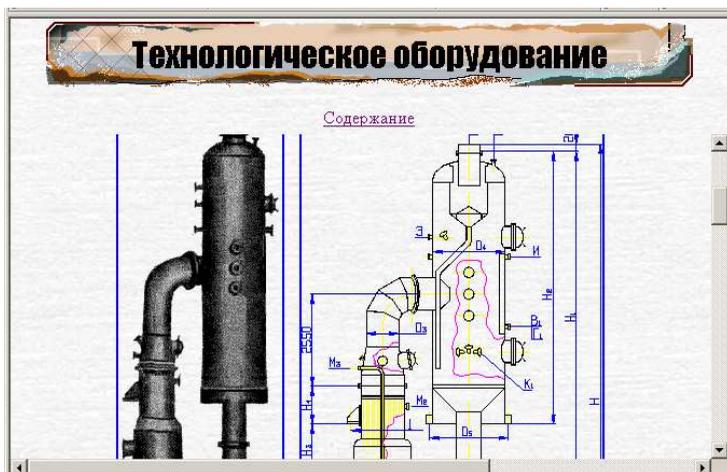


Рис. 4.13. Чертеж аппарата

По адресу www.170514.tstu.ru (рис. 4.14) находится виртуаль-

ный кабинет конструирования химического оборудования и виртуальный кабинет приспособлений, инструментов и технологии машиностроения.

В кабинете конструирования представлены трехмерные твердотельные 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;
- емкостные аппараты;
- кожухотрубчатый теплообменник.

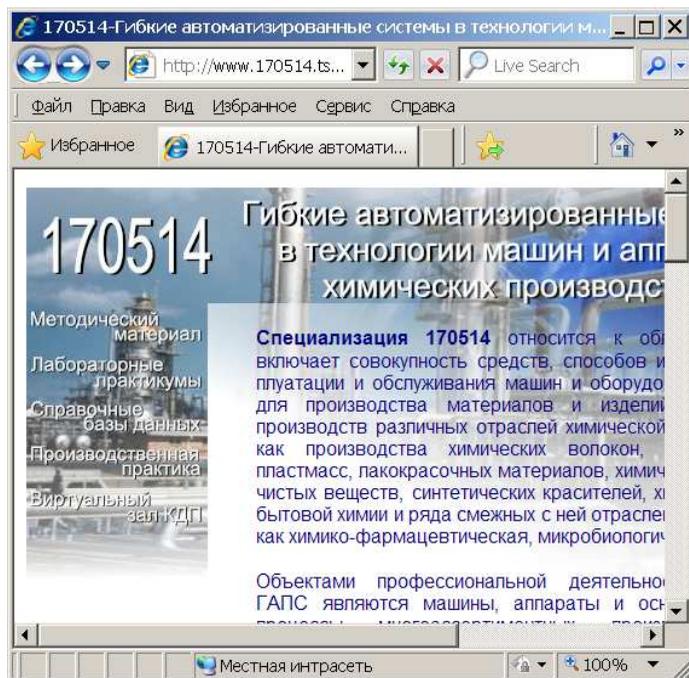


Рис. 4.14. Сайт по адресу www.170514.tstu.ru

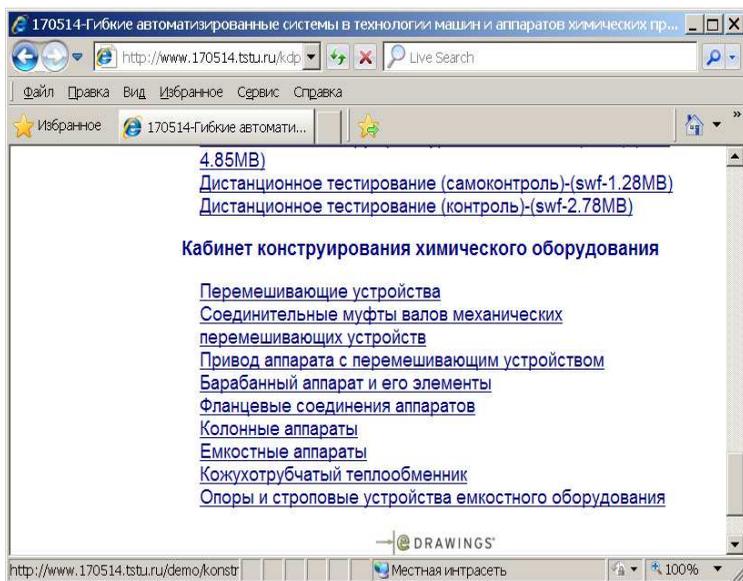


Рис. 4.15. Меню виртуального кабинета конструирования химического оборудования

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

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 .

На рис. 4.17 представлено сечение мешалки, полученное в EDrawing с помощью команды «вставить сечение».

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 решеток;

- пневматические машины для обработки труб;
- устройство для очистки котельных труб серии "Сток".

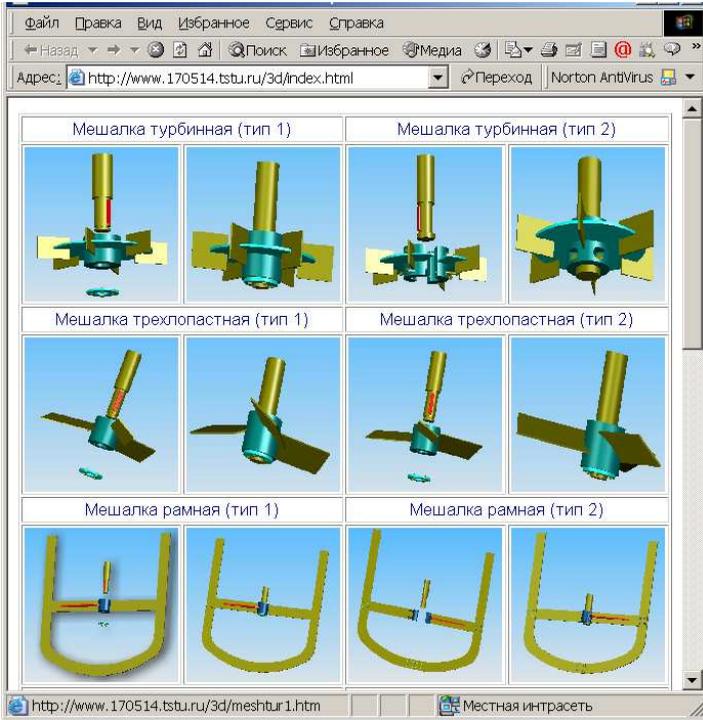


Рис. 4.16. Примеры 3D моделей перемешивающих устройств

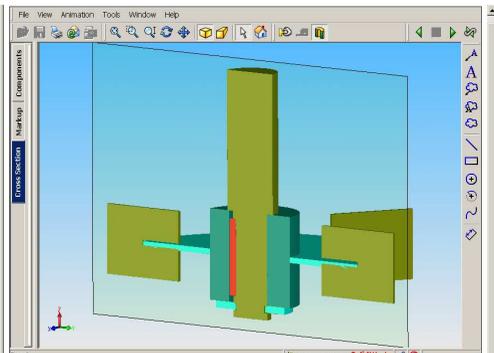


Рис. 4.17. Сечение мешалки, полученное в EDrawing

Примеры инструмента представлены на рис. 4.18.

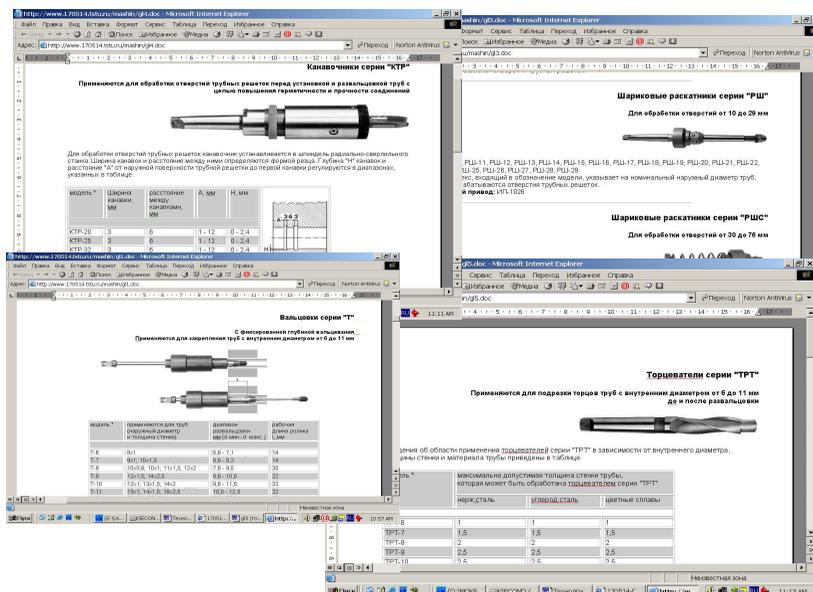


Рис. 4.18. Примеры инструмента

Представленная система предназначена не только для обучения студентов, но и для профессионального применения. Ее 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 удаленного варианта системы РИК-ХИМ.

Список литературы к главе 4

1 В.Г. Мокрозуб Механические расчеты элементов химического оборудования // Свидетельство о регистрации разработки в отраслевом фонде алгоритмов и программ №9125 от 28 сентября 2007 года

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

3 В.Г. Мокрозуб 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 октября 2007 года

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕ- СКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕ- СКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В соответствии с решением комиссии при Президенте РФ 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 технологической документации в себестоимости машиностроительных изделий неоправданно высока. Между тем в настоящее время существуют предпосылки (развитие теории экспертных систем, наличие соот-

ветствующего 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, то есть 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 учетом различных аспектов: физических, химических, экономических и т.п., то есть 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).

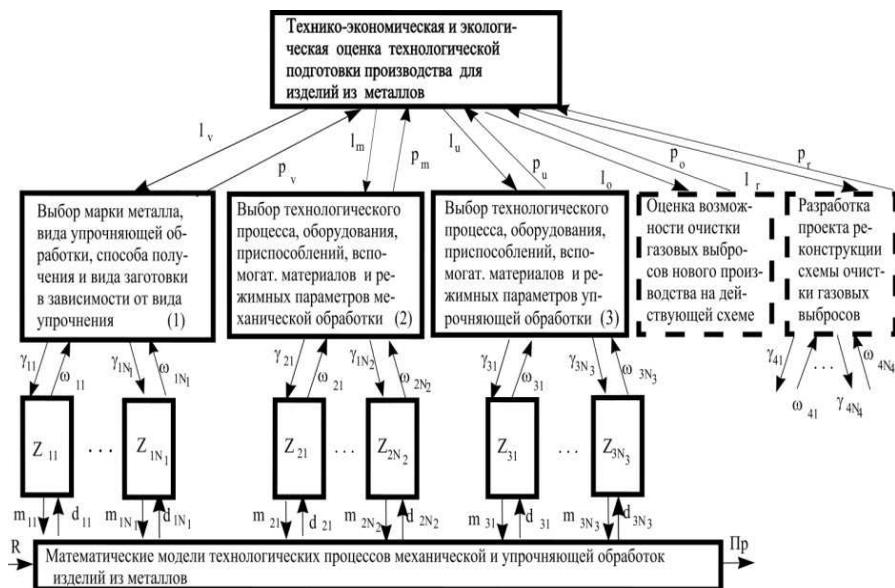


Рис. 5.1. Структурная схема подзадач, решаемых АИС, при проектировании технологических процессов производства изделий из металлов

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

Пр – 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 дру-

гих) нижнего уровня, например, геометрические размеры детали, технологические свойства и прочностные характеристики детали и другие;

$D_v, D_m, D_u, W_v, W_m, W_u, P_v, P_m, P_u$ – 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.

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 учетом оценки вариантов по всем рассматриваемым критериям; принципа нормализации, приводящему все критерии к единому масштабу измерения и позволяющего производить их сопоставления; принципа учета приоритета, позволяющего отдавать предпочтение более важным, по мнению технологов, критериям.

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

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

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:

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

Здесь $w_i^*, c_j^*, w_i^{**}, c_j^{**}$ – соответственно минимальные и максимальные значения в ограничениях (2) и (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 задается условие (5.4); $\overline{\Phi}_l$ – функциональный оператор; Δ_{lm} – 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.

Обобщенный критерий $F(w)$ можно записать как

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

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

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

$\rho_i \cdot \omega^i(w)$ – 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.

$$\omega^k(w) = \frac{F^k(w) - F^{k0}}{F_{(\max)}^k - F^{k0}}, \quad w \in W, \quad k = 1, K_1,$$

$$\omega^k(w) = \frac{F^{k0} - F^k(w)}{F^{k0} - F_{(\min)}^k}, \quad w \in W, \quad k = 1, K_2,$$

где $F^k_{(\max)}$ и $F^k_{(\min)}$ – 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 применен 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:

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

(5.9)

где $\rho_1^{lb}, \dots, \rho_{S_1}^{lb}$ – 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:

$$\rho_i^{lb} : \left\{ \text{if} \left(\left(\left(\delta_1^{lb} A_1 z_1^{lb'} \right) \Lambda_1 \left(\delta_2^{lb} A_2 z_2^{lb'} \right) \Lambda_2 \dots \Lambda_{n-1} \left(\delta_n^{lb} A_n z_n^{lb'} \right) \right) \text{then} \left(\delta_{1k}^{lb''} A'_1 z_{1k}^{lb''} \right) \right) \right\}, \quad (5.10)$$

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; $\delta_s^{lb'}$, $\delta_{1k}^{lb''}$ – соответственно входные и выходные данные модели μ_{1b} ; $Z^{lb'} = \{z_1^{lb'}, \dots, z_n^{lb'}\}$ – множество значений входных данных $\delta_s^{lb'}$; $z_{1k}^{lb''} \in \{z_{11}^{lb''}, \dots, z_{1k}^{lb''}\}$ – значение для выходных данных $\delta_{1k}^{lb''}$; 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, путем 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: $F^h \cdot r \leq F^{opt}$, $r < 1$, $h = 1, 2, \dots, H$, 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.

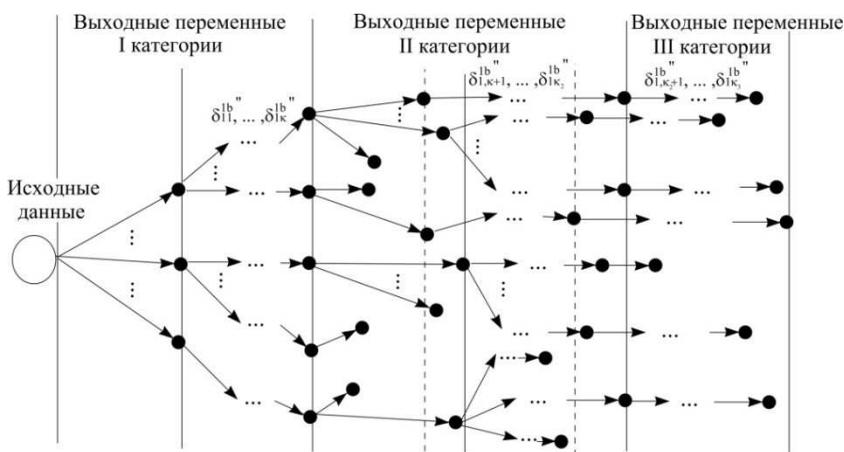


Рис. 5.2. Схема реализации процедурной модели автоматизированной системы поддержки принятия решений

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 проек-

тирования 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 надежность изготавливаемых деталей машин зависят от материала и его конструктивной прочности, то есть 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 $W_1 = M^d \times Tu^d \times Z^d \times P_z^d \times V_z^d$ найти такой вариант $w_1^* \in W_1$, для которого стоимость получения заготовки из выбранной 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 проведе-

ния методов получения заготовок V_z^d .

В формализованном виде задача заключается в поиске минимума целевой функции $F_1^{\text{opt}} = \min_{W_1} ((S_M + S_{TZ} + S_{VS} + S_{OB}) \cdot K_{SS} + S_{TR} + S_{HVT})$ 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 $L_{p_{zt}}^{\min} \leq L_{p_{zt}} \leq L_{p_{zt}}^{\max}$, $p_{zt} \in P_z^d$, твердость материала детали для механической обработки $HRC_{m^d}^{\min} \leq HRC_{ope} \leq HRC_{m^d}^{\max}$, $m^d \in M^d$, 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 $\bar{\psi}: M^d \times Tu^d \times X^d \times P_z^d \times V_z^d \rightarrow W_1^{\text{dop}}$. 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_{HVT} – 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 (9) – (10) 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 ИЛИМ описывают данные и связи между ними, которые используются при определении марки материала и вида упрочняющей обработки. Приведем 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 $u_{pr} = \text{"объемные"}$) \vee $u_{pr} = \text{"поверхностные"}$) \wedge (время приложения нагрузки $u_{vr} = \text{"статические"}$) \wedge (среда $u_{sr} = \text{"атмосфера"}$) \wedge (диапазон температур $u_t = -80 \dots 0$ °C)) then (вид химико-термической обработки $t_u = \text{"азотирование"}$).

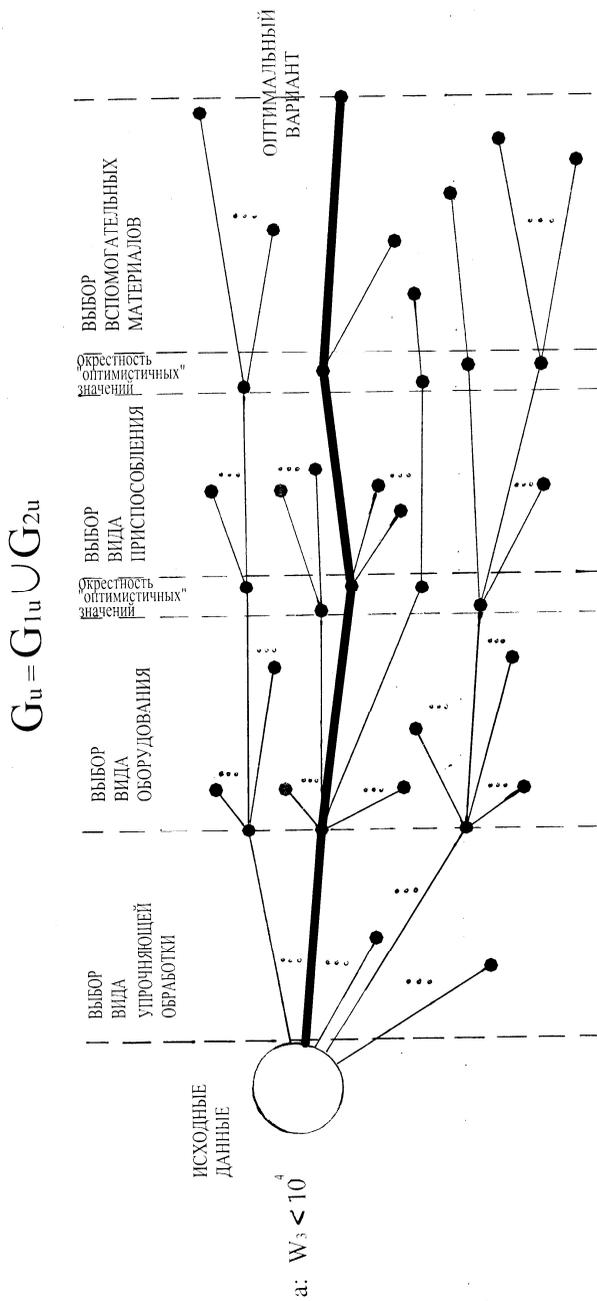
5.4.1.3. Процедурная модель принятия решения задачи автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения

Процедурная модель принятия решений задачи включают ряд эвристических процедур, реализованных в соответствии с обобщенной процедурной моделью, описанной в пункте 3 (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.

Поскольку размерность множества W_1 конечна (<10000 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, удастся 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).

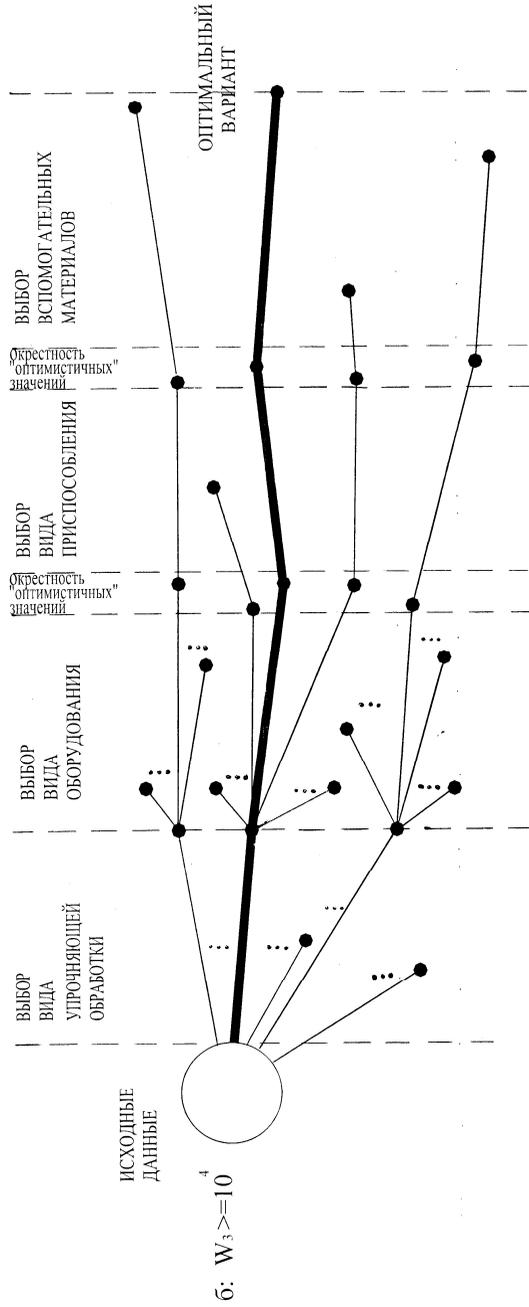


$$G_{2u} = (V(G_{2u}), E(G_{2u}))$$

$$G_{1u} = (V(G_{1u}), E(G_{1u}))$$

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

$$G_u = G_{1u} \cup G_{3u}$$



$$G_{3u} = (V(G_{3u}), E(G_{3u}))$$

$$G_{1u} = (V(G_{1u}), E(G_{1u}))$$

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

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 произведение подмножеств ТП Tp^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 $\bar{\phi}: Tp^d \times O_u^d \times P_u^d \times V_u^d \rightarrow W_3^{\text{dop}}$, где W_3^{dop} – 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 надежность используемого оборудования. Поэтому задача 3 рассмотрена как многокритериальная.

Критерий надежности оборудования для реализации совокупности процессов упрочняющей обработки. Надежность 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, техни-

ческого обслуживания и ремонтов:

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

где Pt_j – вероятность безотказной работы оборудования при проведении j -го процесса упрочняющей обработки; $E_{пу}$ – 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 автоматизированного 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) (рис. 5.1), используя критерий F_1 , мы получаем H_1 вариантов ее решения. Это обусловлено тем, что при решении задачи используется укрупненная оценка затрат и времени на изготовление детали (ее 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_{z1} 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) (рис. 5.1). При решении задачи 3, используя обобщенный 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 надежности 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 ее 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 укрупненно, поэтому решение задачи 3 служит для уточнения затрат на ее 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_{z1} 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 надежность всей системы в целом, упрощает его дальнейшее совершенствование. Каждый 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 ее 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-15Ц, 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 относится задача (1) – (5)?
4. Какой метод используется при определении важности функ-

- ций 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 чем суть методики реализации информационных и процедурных моделей при решении задачи технологической подготовки машиностроительного производства?

Список литературы к главе 5

1. Немтинов В.А., Зимнухова Ж.Е. О подходе к построению автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений для проектирования процессов производства изделий из металлов // Информационные технологии. 2008. № 9. С. 29–34.
2. Николаев Е.Н. Термическая обработка металлов и оборудование термических цехов. М.: Высшая школа, 1980. 192 с.
3. Орлов П.Н., Скороходова Е.А. Краткий справочник металлста 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. Серия: 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 др., 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 ее хранение на электронных носителях и обеспечить эффективную обработку.

6.1. Модель информационного объекта

Введем 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 ее 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; Sp_o - множество способов задания свойств объекта;

M_o - множество моделей, позволяющих определить значения свойств, характерных для

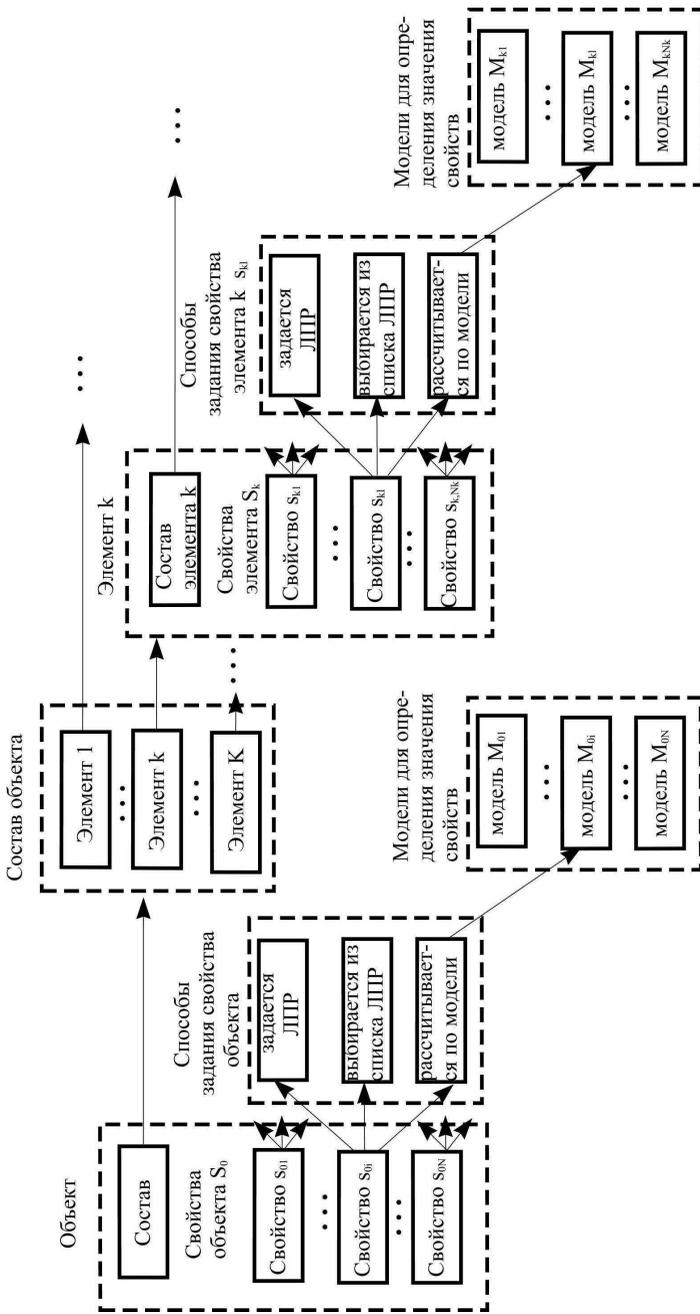


Рис. 6.1. Схема представления знаний об информационном объекте, описывающем трубопроводную систему

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:

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

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 - того свойства

В свою очередь, каждый k - ый 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, рассмотренных ниже, 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 определенного 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 определенного 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]:

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

где: h_{in} – 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]:

$$\lambda = 0.11 \left(\frac{k_e}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25},$$

где: k_e - коэффициент эквивалентной шероховатости, м; V - скорость движения воды в трубе, м/с; d - внутренний диаметр трубопровода, м; Re - безразмерное число Рейнольдса; $\nu = 1.3 \cdot 10^{-6}$ 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 давление в трубопроводе при внезапной остановке движущейся в нем жидкости. Гидравлический удар наблюдается при быстром закрывании запорных устройств, установленных на трубопроводах (задвижка, кран), внезапной установке 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 учетом потерь в местных сопротивлениях могут быть определены по формуле:

$$h_o = h_{lin} + h_m = (1.05 \div 1.1) h_{lin}$$

где $1.05 \div 1.1$ – 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 - соответственно 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:

$$\xi_{v_s} = \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2,$$

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 определен 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 (отнесенный к сечению трубопровода):

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

где ω_0, ω - соответственно площадь отверстия диафрагмы и площадь сечения трубы.

Для диафрагмы, расположенной на выходе в трубопровод другого диаметра

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

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 значе- ний 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, соединенных логическими связками И, ИЛИ. Консеквент (заключение) включает одно или несколько предложений, которые выражают либо некоторый факт, либо указание на определенное 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:

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

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^k, d_{1m}^k - соответственно входные и выходные данные модели, $Z^k = \{z_1^k, \dots, z_n^k\}$ - множество значений

данных антецедента $d_s^i, z_1^k \in \{z_{11}^k, \dots, z_{1M}^k\}$ - значение для данных консеквента d_{1k}^n , 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 $ST_{\text{насоса}}$:

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

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

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

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

Примеры этих данных приведены в табл. 6.1 – табл. 6.3, а примеры правил определения значений свойств «диагноз текущего состояния» и «рецепт устранения неисправности» для элемента «насосный агрегат» – в табл. 6.4.- 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 $P_{\text{насоса}}$:

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

$$P_{\text{насоса}} = \{p_{\text{насоса},1}, \dots, p_{\text{насоса},j}, \dots, p_{\text{насоса},I_{\text{PH}}}\}, j = \overline{1, I_{\text{PH}}}.$$

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.

Таблица 6.1

Возможные состояния насосного агрегата

№	Наименование
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	$s_{\text{насоса},7}$ = "поврежден статор"
8	$s_{\text{насоса},8}$ = "поврежден ротор"
9	$s_{\text{насоса},9}$ = "протекают уплотнения"
10	$s_{\text{насоса},10}$ = "низкое давление нагнетания"
...	...

Таблица 6.2

Возможные причины неисправностей насосного агрегата

№	Наименование
1	$pr_{\text{насоса},1}$ = "новые статор и ротор слипаются"
2	$pr_{\text{насоса},2}$ = "поврежден 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	$pr_{\text{насоса},10}$ ="затрудненное всасывание"
11	$pr_{\text{насоса},11}$ ="всасывание воздуха через уплотнение или сальник"
...	...

Таблица 6.3

Возможные действия по устранению неисправностей насосного агрегата

№	Наименование
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 поврежденные 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 счет 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"
	...

Таблица 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	$s_{\text{насоса},2} \ \& \ s_{\text{насоса},3} \ \& \ s_{\text{насоса},4} \ \& \ s_{\text{насоса},7} \ \& \ s_{\text{насоса},10}$	$pr_{\text{насоса},17}$

Таблица 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	$pr_{\text{насоса},12}$	$d_{\text{насоса},12}$	$st_{\text{насоса},12}$
...

Таблица 6.6

Возможные значения параметров для подбора насосов (m - вязкость (сантИсток), q – производительность (куб.м/час))

№	Наименование
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	$p_{\text{насоса.13}} = "m=200, q=16"$
...	...

Таблица 6.7

Возможные типы насосных агрегатов

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

Таблица 6.8

Примеры правил по подбору насосных агрегатов

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

10	$p_{\text{насоса},37} \& p_{\text{насоса},38} \& p_{\text{насоса},39} \& p_{\text{насоса},40}$	$tip_{\text{насоса},10}$
...

6.4. Реализация информационно-логических моделей для определения свойств элементов информационного объекта

Для реализации выше приведенных 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 в Вашем случае

- 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 введенных данных наберите DONE.

- A
- E
- F
- G
- H
- DONE

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

CLIPS>

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение информационного объекта.
2. В чем 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 производственные 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-minskijj.html>.
2. Абрамов, Н.Н. Расчет водопроводных сетей. / Н.Н. Абрамов, М.М. Пospelova, 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. 124с.
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 ЕМКОСТИ 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, приемов 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 емкости 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 дан-

ных большого объема. Например, для аппроксимации зависимости, имеющей 30 входных переменных, требуется степенной многочлен, содержащий примерно 46000 корректируемых параметров.

В наши дни возрастает необходимость в системах, которые способны не только выполнять однажды запрограммированную последовательность действий над заранее определенными 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 емкости рынка многоассортиментной малотоннажной продукции формулируется следующим образом:

Для известных объёмов спроса на продукцию ассортимента: $i, i=1...I$:

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

$$\dots \dots \dots$$

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

и факторных признаков:

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

$$\dots \dots \dots$$

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

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 емкости 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 определенным 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 все" 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 дает принципиальный теоретико-вероятностный подход к задачам классификации.

Алгоритм создания нейронной сети включает следующие этапы.

1) Создается таблица (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 - объем продаж препарата за прошедшие 12 месяцев, а Var2-Var7- 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 значе-

ния курса доллара, Var7 - известные значения количества заболевших людей.

	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. Таблица исходных данных

Пакет ST Neural Networks сохраняет данные в формате системы ST, что позволяет использовать ее возможности для импорта файлов данных, сохраненных 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 распознает 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, потребуются больше памяти и времени на обучение, а также большее количество обучающих примеров (наблюдений). При не-

достаточном объеме 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) На следующем этапе запускается модуль «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» остается по умолчанию. При конфигурировании сети для анализа временных рядов изменяется метод пре-процессирования 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) Выбирается тип сети (рис.7.3). Выбор типа сети 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 наилуч-

шую. (В данном примере, как образец, выбрано 3 типа сети: линейная, трехслойный персептрон, радиальная базисная функция).

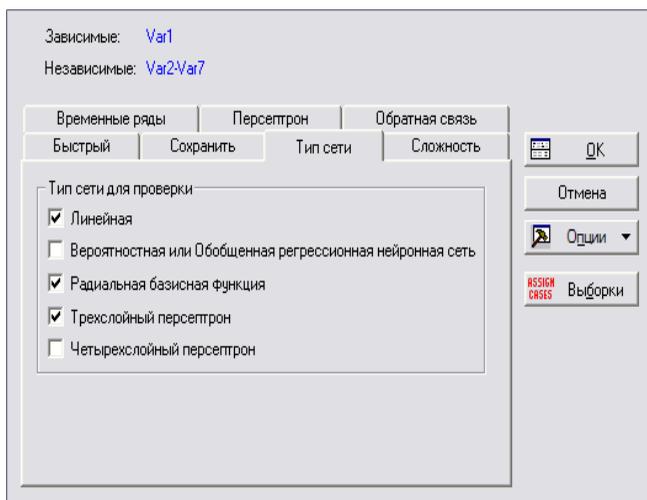


Рис. 7.3. Тип сети

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

Зависимые: Var1
 Независимые: Var2-Var7

Быстрый | Сохранить | Тип сети | Сложность | Обратная связь

Длительность анализа

N сетей:

Часы/минуты:

Сохранять сетей:

Создать ансамбль из сохраненных сетей

Выбрать подмножество независимых переменных

Задайте длительность анализа, установите время анализа, либо количество создаваемых сетей.

Рис. 7.4. Длительность анализа

Зависимые: Var1
 Независимые: Var2-Var7

Быстрый | Сохранить | Тип сети | Сложность | Обратная связь

Сохранять сетей:

Критерий выбора сохраняемой сети

Наименьшая ошибка (на контрольной выборке)

Баланс между ошибкой и сложностью

Если файл переполнен

Увеличить размер файла

Заменить выбранные модели

Рис. 7.5. Количество сохраняемых сетей

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

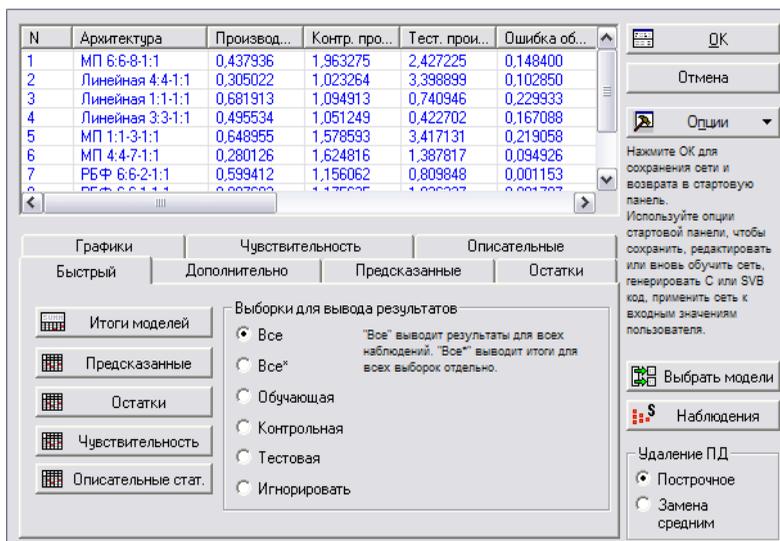


Рис. 7.6. Выбор наилучшей сети

7) Предсказание значений по выбранной сети. Выбрав сеть, строится предсказание значений на 12 интервалов вперед, то есть на 12 месяцев (рис.7.8). Например, первоначально выбирается тип сети – трехслойный перцептрон, изю всех архитектур (рис.7.7) выбирается сеть с наибольшей производительностью.

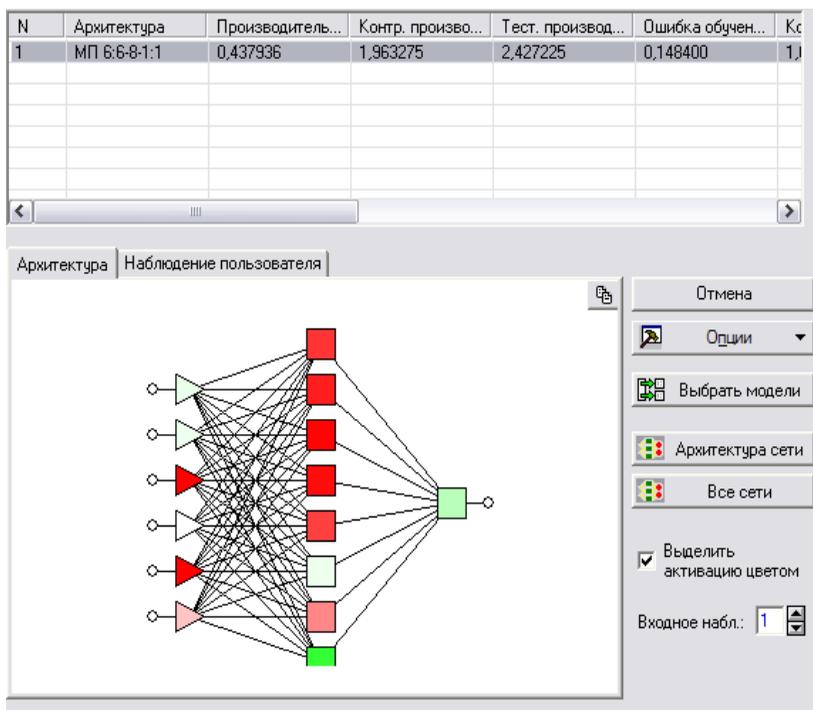


Рис. 7.7. Архитектура перцептрона

- 8) Далее строится предсказание на 12 интервалов вперед и выводится таблица прогнозируемых данных.
- 9) Далее выбирается следующий тип сеть – 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. 7.8. Предсказание сети для перцептрона

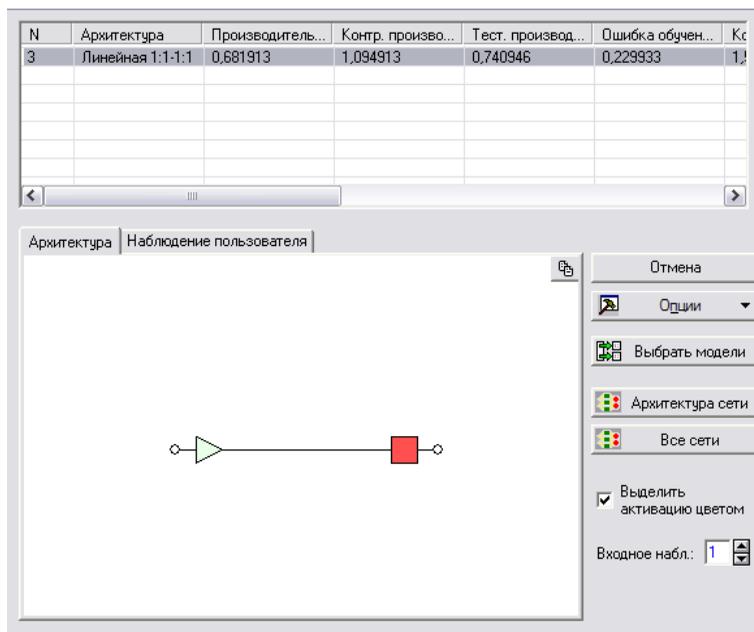


Рис. 7.9. Архитектура линейной сети

Для этого типа сети строится предсказание на 12 интервалов вперед 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, и строится предсказание на 12 интервалов вперед и выводится таблица прогнозируемых данных (рис.7.12).

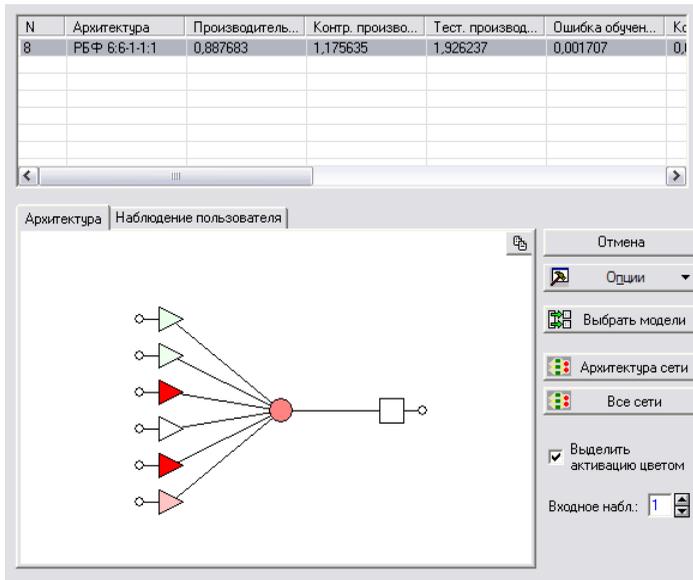


Рис. 7.11. Архитектура РБФ

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 персептрона 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).

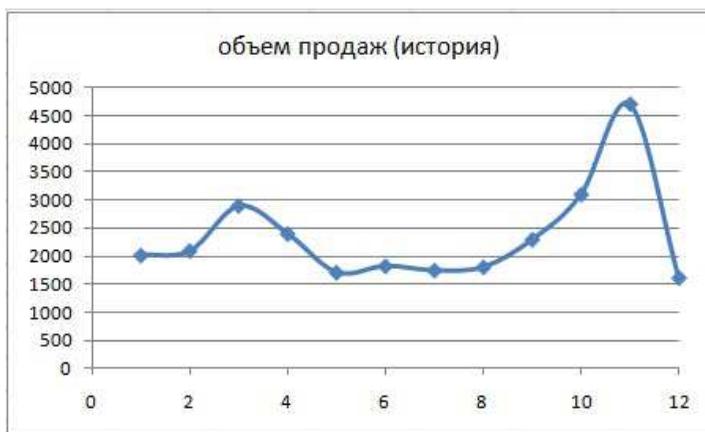


Рис. 7.13. Объем продаж по истории

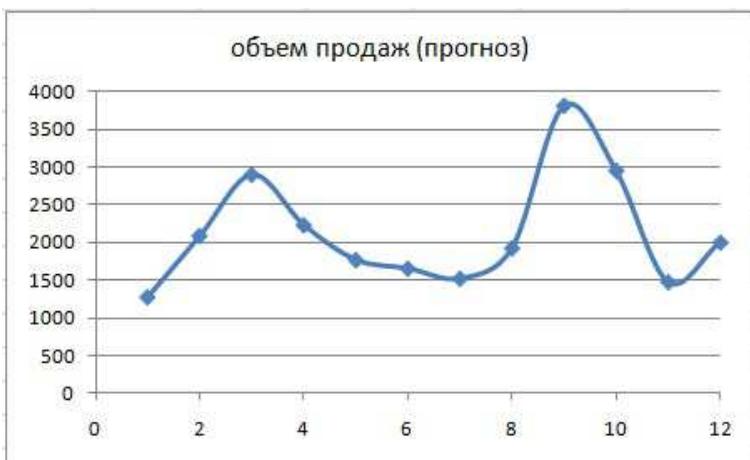


Рис. 7.14. Объемы продаж по прогнозу

7.4. Задание для выполнения лабораторной работы

Необходимо осуществить прогноз объемов 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 определенного препарата на заданный срок.

В главе 7 авторами предложен алгоритм прогнозирования емкости 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 ранка 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. Анил К. Джейн. Введение в искусственные нейронные сети. / Анил К. Джейн, Жианчаенг Мао. Мичиганский Государственный Университет. 1996.
3. Льюис, К.Д. Методы прогнозирования экономических показателей. М.: «Финансы и статистика», 1986. 132 с.
4. Шустер, Г. Детерминированный хаос: введение. Франкфурт, 1984. 234 с.
5. Малыгин, Е.Н. Практический маркетинг. / Е.Н. Малыгин, Т.А. Фролова, М.Н. Краснянский. Тамбов.: Учебное пособие, 1997.

6. Малыгин, Е.Н. 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. 39с.
7. 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 ТРЕНАЖЕРОВ 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 тренажеров 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, т.к. современные устройства сбора данных позволяют в реальном времени снимать показания приборов со всей системы и передавать ее на пульт управления оператора. Поэтому и разработку виртуальных тренажеров логично производить именно с использованием SCADA-систем, так как это позволяет добиться почти полного соответствия передней панели тренажера и пульта управления оператора [1].

Среда графического программирования LabVIEW получает все большее распространение в промышленности и образовании, при проведении научных исследований и выполнении проектных работ. Этому способствуют ее 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.[2,3,4]

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 ее функциональные возможности. Язык LabVIEW не похож на другие языки программирования. С его помощью создается не программа,

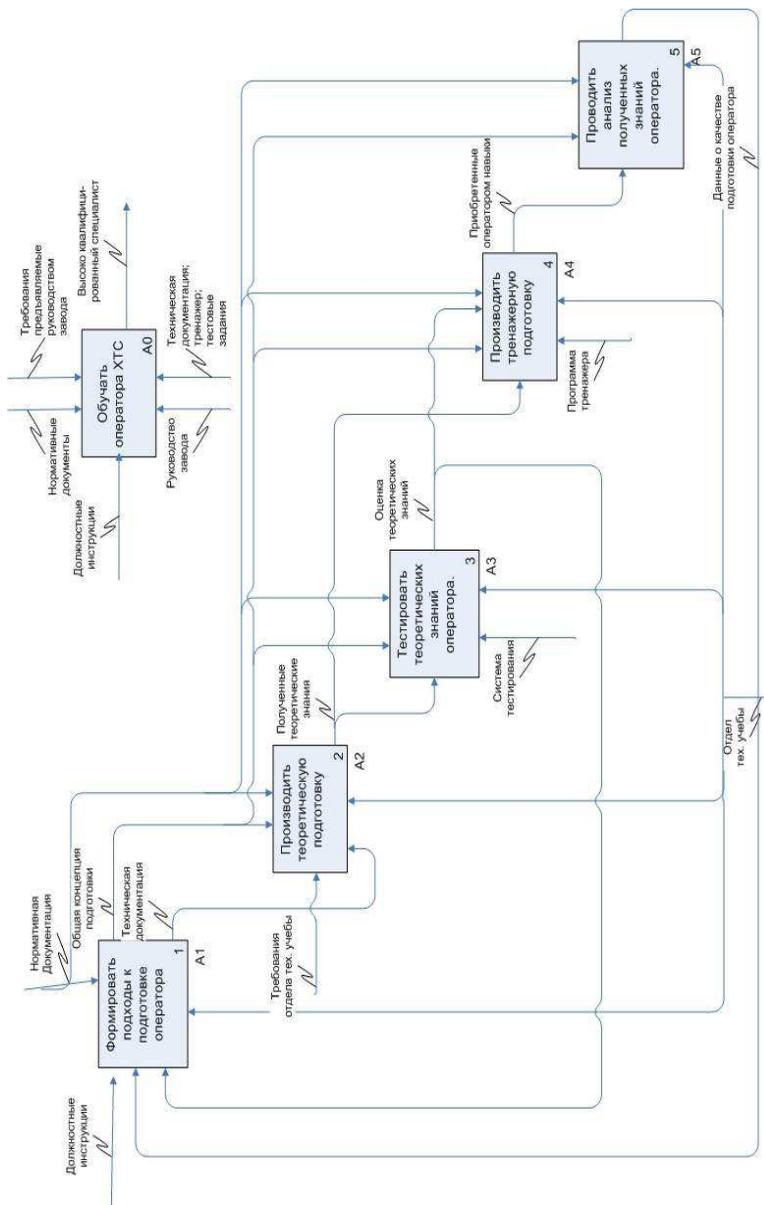


Рис. 8.1. Функциональная модель обучения оператора химико-технологической системы (ХТС)

как мы привыкли ее 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 следующая 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. Тренажерный комплекс, предназначенный для выработки практических навыков управления ТС в штатных режимах, а также проверки 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.

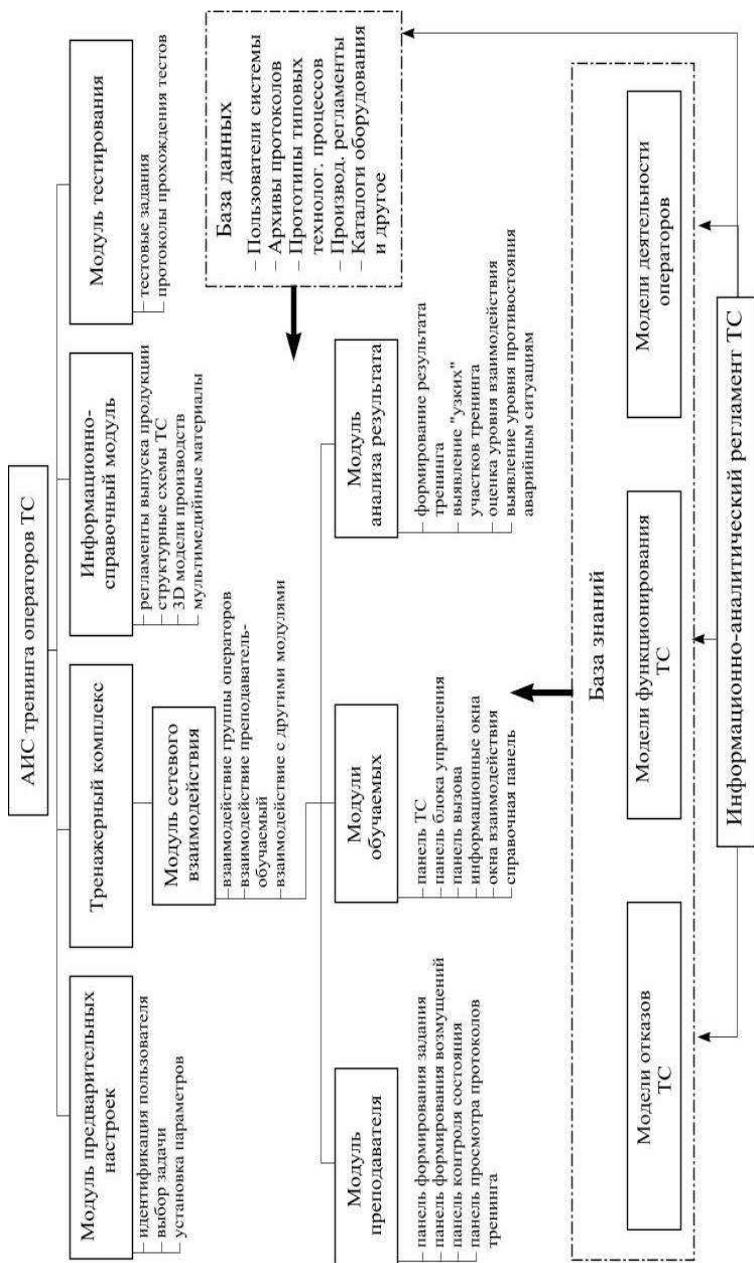


Рис. 8.2. Структура АИС тренинга операторов технических систем химико-технологического профиля

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 тренажерного комплекса для обучения персонала технических систем

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

Необходимо разработать тренажерный комплекс для обучения персонала ТС, включающий:

– кластер функциональных блоков панелей управления системой $[\Phi]$

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

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; $[\mathcal{E}_i]$ – 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

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

Используемая в постановке задачи матрица элементов функционального блока $[\mathcal{E}_i]$ 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 тренажерного 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 тренажером или лабораторными стендами обучающийся осуществляет при помощи элементов интерфейса, каждый из которых характеризуется набором параметров, таких как размер, конструктивное исполнение (дизайн), цветовое исполнение и т. п. Рассмотрим классифика-

Виртуальный пульт

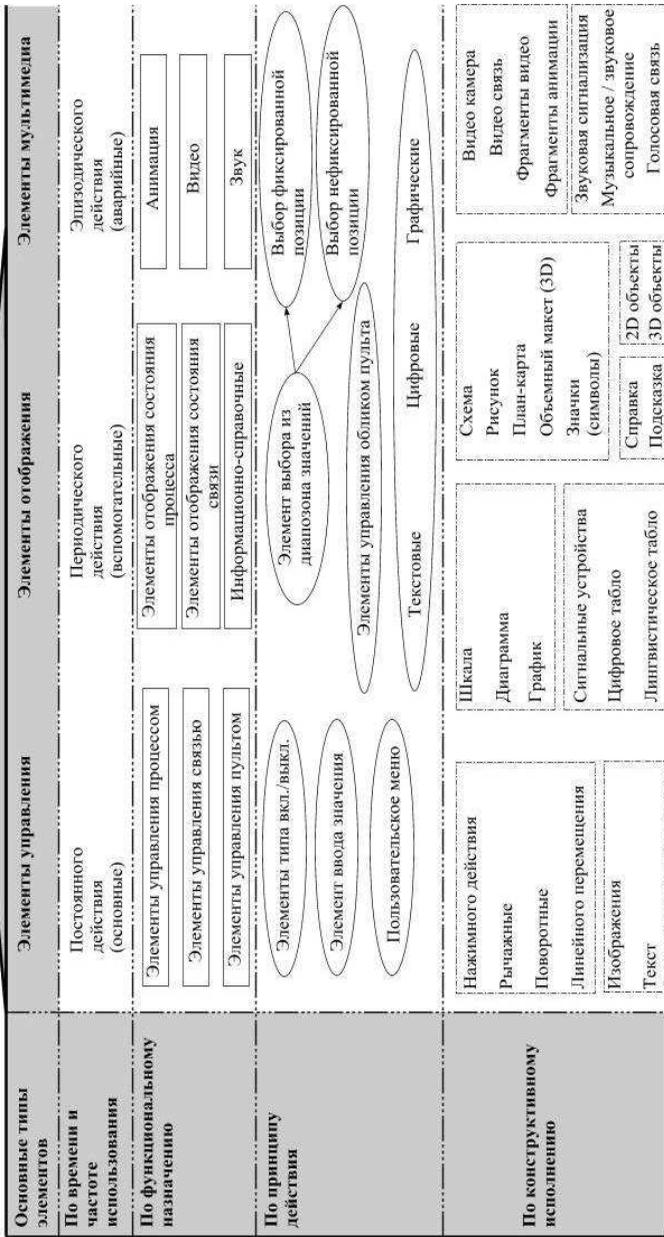


Рис. 8.3. Классификация элементов интерфейса виртуального пульта управления ТС

цию 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.

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 приема информации, например за счет использования звука или анимации, что позволяет соответственно снизить уровень усталости.

Кроме того, были выделены следующие уровни классификации.

1. По времени и частоте использования.

– 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.

– 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.

– 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.

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).

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.

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 объема и скорости информационного потока, с которым сталкивается обучающийся в ходе управления объектом (особенно для разработки пульта управления АЛП, так как пульт виртуального тренажера в идеале должен повторить уже созданный пульт управления реальной ТС), так и частоты использования и информационной важности. Кроме того, разработчик АЛП удаленного 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 загружая 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

ся в ходе проведения эксперимента, степень эффективности расходования его энергии, затрачиваемой на освоение материала. В этой связи целесообразно обеспечить учет следующих технических и психологических факторов в совместном взаимодействии конструктора, психолога и дизайнера в ходе разработки лабораторного практикума удаленного доступа и пульта управления:

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

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

- учет объема умственной работы обучающегося (его психофизическое состояние и реакции);

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

- учет 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 тренажерного 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 *М*, используемые при разработке тренажерного комплекса.



Рис 8.4. Информационные потоки процесса обучения оператора ТС на тренажерном 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 объемов 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 объем 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;

$$S = S(a_i, b_i, x_i, y_i, o_i, z_i, h_i) \text{ – сценарий тренинга.}$$

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 – объем технической массы асидола; 3 – объем 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, тренажерная 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 тренажерной 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 тренажере 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 тренажером.

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 тренажера

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

1. Наличие математической модели адекватной объекту исследования.

2. Соответствие передней панели тренажера реальному пульту управления оператора.

3. Наличие системы обработки ошибок и хранения журналов занятий.

4. Эргономично расположенные органы управления и контроля.

Существует два основных режима работы тренажера. 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 тренажера является создание и проверка адекватности математической модели.

Разработка математической модели ведется 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 (таблица 8.1).

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

Таблица 8.1.

Временные и материальные характеристики производственного процесса

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

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 введенные 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.

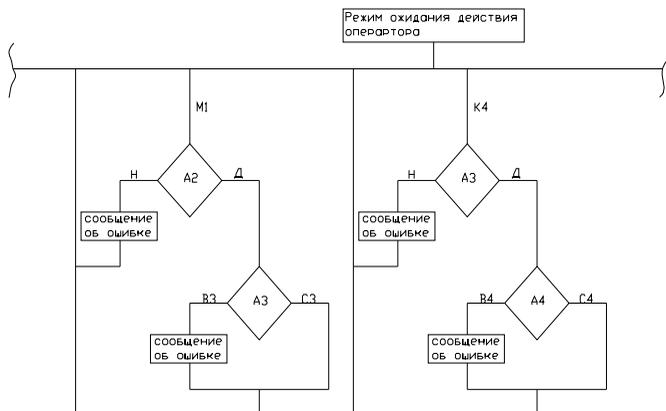


Рис.8 5. Фрагмент блок-схемы последовательности действий оператора

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

8.6. Создание передней панели тренажера.

Создание виртуального тренажера 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 учетом реального расположения оборудования, т.е. если опорожнение аппарата 25 происходит самотеком 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. Аппа-

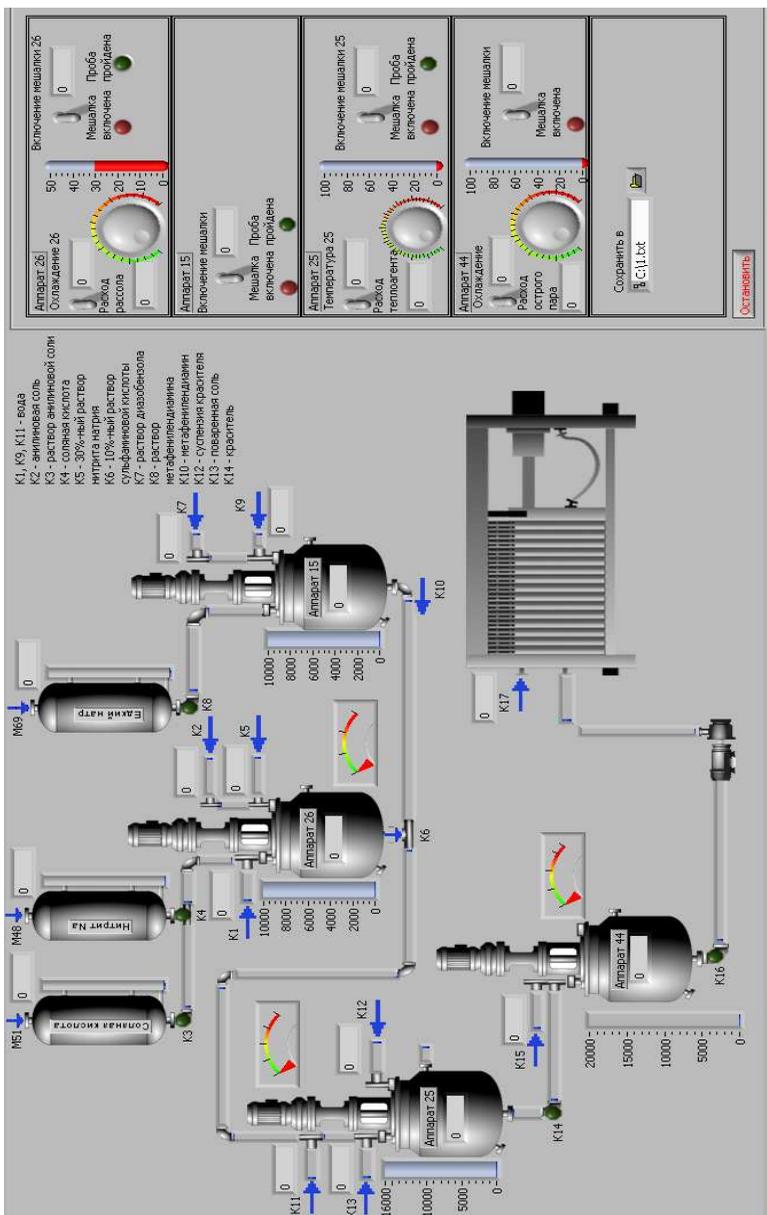


Рис. 8.5. Пример 1 передней панели тренажера

раты 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.fpps.ru.

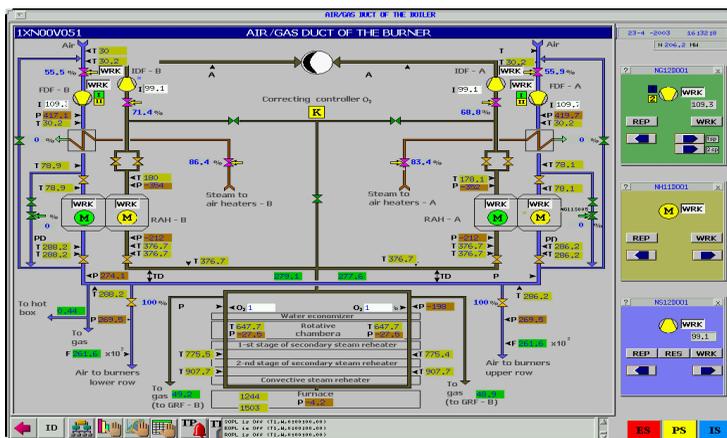


Рис. 8.7. Пример 2 передней панели тренажера

После создания передней панели необходимо нанести на нее все органы управления и контроля, при этом необходимо учитывать основные правила эргономики. Все виртуальные инструменты должны быть расставлены с учетом 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 тренажере его выносить на пульт управления. Допускается использование различных цветовых эффектов. Например, трубопроводы с холодной водой можно отображать синим цветом, а с горячей красным.

8.7. Подходы к программной реализации тренажера

Прежде всего, после создания передней панели тренажера необходимо задать начальные значения для каждого виртуального инструмента.

Это необходимо, прежде всего, для удобства дальнейшей работы, т.к. иначе после каждого запуска не будет происходить сброс значений приборов, а будут использоваться предыдущие, что повлечет к сбоям в работе программы.

Работу тренажера удобнее всего организовать 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 емкости или процесс перемешивания. Обычно в каждом кадре происходит отслеживание определенного действия оператора, т.е. если был переключен тумблер включения мешалки, то сначала должна произойти проверка истинности данного действия, по регламенту, и только после этого начнет обрабатываться фрагмент математической модели, отвечающей за процесс перемешивания. Если же мешалка была включена не вовремя, то должна быть зафиксирована ошибка и произведена запись в журнал учета действий оператора.

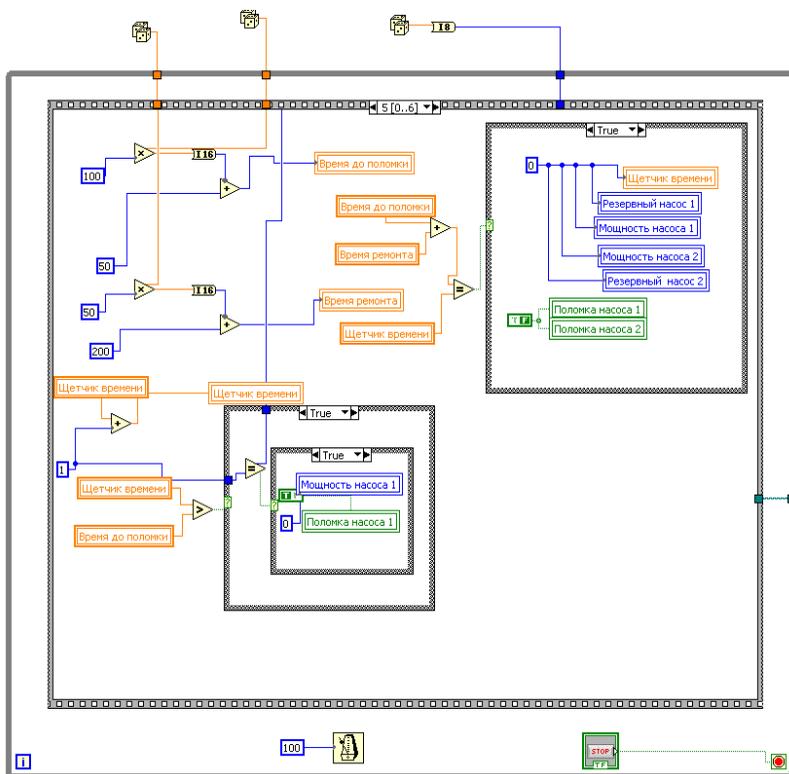


Рис 8.8. Фрагмент программного кода виртуального тренажера

При проектировании тренажеров для химической промышленности всегда присутствует элемент заполнения емкостей. 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 учетом расположения реальных трубопроводов. Таким образом, мы получаем возможность визуально показать направление движения жидкости и процесс заполнения емкости. Трубопровод может заполняться мгновенно или постепенно. Для того что бы сделать заполнение постепенным необходимо создать вложенный frame, в котором каждое последующее колесо трубопровода будет заполняться только после полного заполнения предыдущего. На рис. 8.9 показан пример трубопровода. Сначала заполняется slide 4, затем slide и т.д. Для корректного заполнения трубопровода необходимо учесть, что заполнение slide начнется только после заполнения и остановки slide 4. На рис. 8.10, 8.11 показан пример решения данной задачи.

На рис. 8.10 показана стадия заполнения slide 4. В данном случае для визуального заполнения трубопровода необходимо уменьшать значение в slide 4, потому что заполнение идет 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. 8.9. Передняя панель виртуального инструмента для заполнения трубопровода

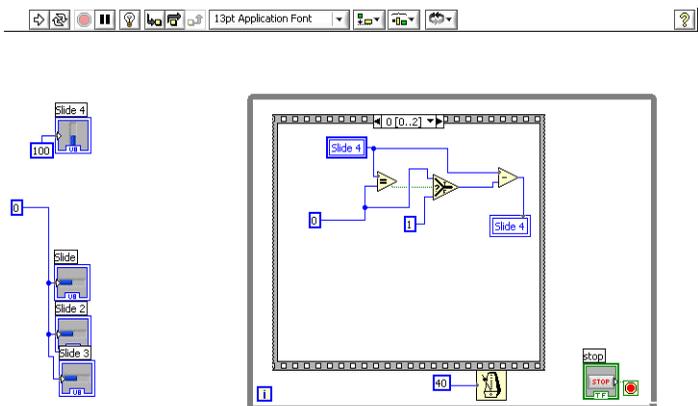


Рис. 8.10. Функциональная панель виртуального инструмента для заполнения трубопровода (фрагмент 1)

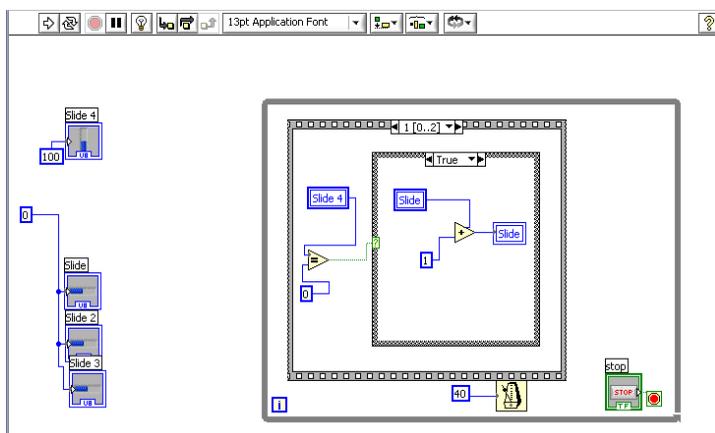


Рис. 8.11. Функциональная панель виртуального инструмента для заполнения трубопровода (фрагмент 2)

Когда slide 4 полностью заполнен, то необходимо перейти к заполнению следующего колена трубопровода. Для этого логично использовать условие case structure, как показано на рис. 8.11.

Необходимо помнить, что если трубопровод не используется, то необходимо присвоить элементам slide необходимые значения, т.е. 0 или 100.

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

При создании тренажера 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:

- Программа тренажер.
- Демонстрационные ролики по работе тренажера (формат swf).
- Система тестирования (не менее 15 вопросов).
- Скриншот передней панели тренажера.
- Фрагмент регламента.
- Руководство пользователя.

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

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

8.8. Разработка и реализация методов сетевого взаимодействия модулей тренажерного комплекса

Прежде всего, для разработки тренажера с возможностью его использования в сети Интернет, необходимо разработать структуру информационных потоков, а также выбрать технологи взаимодействия программы тренажера с обучающимся. Для передачи данных в многофункциональных системах существует технология Remote Panel. Так как тренажер 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 путем 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 видимы в Интернете. Дополнительные возможности управления виртуальным инструментом и защиты публикуемых дан-

ных 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 тренажерным комплексом, опирающуюся на технологию Remote Panel (рис. 8.12).

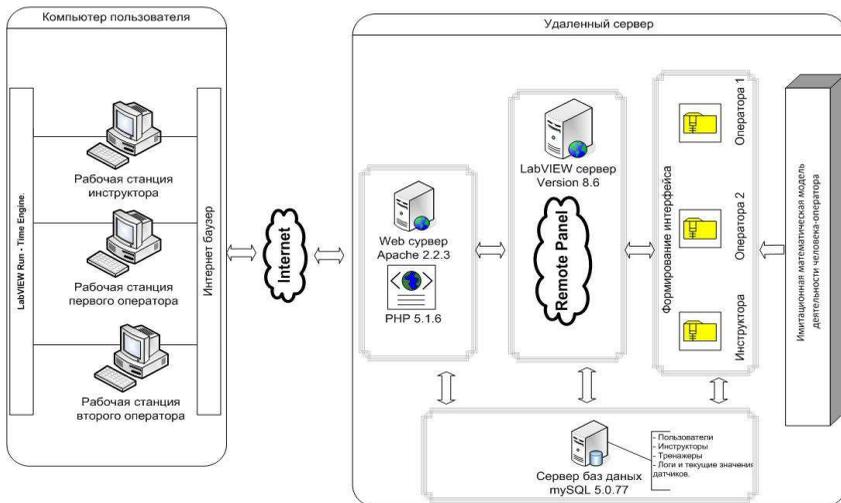


Рис 8.12. Структура сетевого взаимодействия элементов тренажерного комплекса

Тренажерный 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.

Для работы на тренажере пользователю необходимо иметь на своей рабочей станции Интернет 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 тренажера, автоматически выдается запрос на установку данного приложения. LabVIEW Run_Time Engine отвечает

за отображение передней панели тренажера в окне браузера, а также за возможность использования органов управления тренажера.

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

При работе с тренажером 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 тренажера на 4 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 прием данных о действиях пользователей и пересылку их в четвертый модуль, где с использованием правил имитационной математической модели деятельности человека оператора проводится анализ полученной информации и формируются ответные реакции. Такое разделение дает возможность полностью разграничить права пользователей.

Тренажерный 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 тренажерах;
- 2) Информация об инструкторах. Содержит анкетные данные инструкторов, а также список производств, которые они контролируют;
- 3) Тренажеры. Содержит информацию обо всех производствах, оснащенных тренажерами;
- 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 тренажера;

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 тренажеров.

Оснащение проектируемых эргатических ТС комплексами виртуальных тренажеров 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 надежность 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 тренажерного комплекса.

3. Опишите схему информационных потоков процесса обучения оператора на тренажерном комплексе.

4. Перечислите этапы подготовки оператора химико-технологического производства.

5. Какая нормативная документация используется при разработке виртуального тренажера?

6. Сформулируйте основные требования, предъявляемые к виртуальным тренажерам?

7. Какие структуры используются при разработке программного обеспечения виртуального тренажера?

8. Какие регуляторы используются для демонстрации процесса заполнения трубопровода на передней панели виртуального тренажера?

Список литературы к главе 8

1. Краснянский М.Н. Карпушкин С.В., Дедов Д.Л. Системный подход к проектированию автоматизированной информационной сис-

темы обучения студентов и тренинга операторов химико-технологических систем. // Вестник ТГТУ. – 2009.- №4.- С. 926-935

2. Виноградова Н.А., Листратов Я.И., Свиридов Е.А. Разработка прикладного программного обеспечения в среде LabVIEW. // Издательство МЭИ – 2005.

3. Суранов А.Я. LabVIEW 7: справочник по функциям. // ДМК Пресс, 2005.

4. Краснянский М.Н., Карпушкин С.В., Борисенко А.Б. Применение среды программирования LabVIEW при разработке информационных систем программного управления технологических машин. // Издательство ТГТУ, 2009.

5. Краснянский М.Н., Карпушкин С.В., Борисенко А.Б. Разработка и применение средств мультимедиа при создании информационных систем обучения персонала предприятий химического и машиностроительного профиля. // Издательство ТГТУ, 2009.