

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

**ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА имени А. Н. БЕКЕТОВА**

**Б. С. Ильченко, В. Г. Котух, Е. Н. Палеева**

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В СИСТЕМАХ  
ГАЗОСНАБЖЕНИЯ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

*(для студентов 5 курса дневной и 6 курса заочной форм обучения  
образовательно-квалификационного уровня «магистр»  
специальности 192 – Строительство и гражданская инженерия,  
специализация Теплогазоснабжение и вентиляция)*

**Харьков  
ХНУГХ им. А. Н. Бекетова  
2018**

**Ильченко Б. С.** Автоматизированные системы управления технологическими процессами в системах газоснабжения : конспект лекций для студентов 5 курса дневной и 6 курса заочной форм обучения образовательно-квалификационного уровня «магистр» специальности 192 – Строительство и гражданская инженерия, специализация Теплогазоснабжение и вентиляция / Б. С. Ильченко, В. Г. Котух, Е. Н. Палеева ; Харьков. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова. – Харьков : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2018. – 169 с.

Авторы:

д-р техн. наук, проф. Б. С. Ильченко,  
канд. техн. наук, доц. В. Г. Котух,  
ассист. Е. Н. Палеева

Рецензент:

**И. И. Капцов**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации газовых и тепловых систем (Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова).

*Рекомендовано кафедрой эксплуатации газовых и тепловых систем, протокол № 3 от 30.03.2018.*

Конспект лекций составлен с целью оказания помощи студентам специальности 192 – Строительство и гражданская инженерия, специализация Теплогазоснабжение и вентиляция при подготовке к занятиям, зачетам и экзаменам по курсу «Автоматизированные системы управления технологическими процессами в системах газоснабжения».

© Б. С. Ильченко, В. Г. Котух, Е. Н. Палеева, 2018

© ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ .....	7
ВВЕДЕНИЕ .....	10
1 Основные понятия и определения АСУТП. Функции АСУТП.	
Состав АСУТП. Общие технические требования.....	12
1.1 Основные понятия и определения .....	12
1.2 АСУТП в системе управления промышленным предприятием.....	13
1.3 Функции АСУТП.....	14
1.4 Состав АСУТП .....	17
1.5 Общие технические требования .....	19
2 Классификация АСУТП. Основные понятия сетевой терминологии.....	20
2.1 Классификация АСУТП.....	20
2.2 Основные понятия сетевой терминологии .....	23
2.2.1 Основные определения и термины.....	23
2.2.2 Преимущества использования сетей.....	25
2.2.3 Архитектура сетей.....	26
2.3 Выбор архитектуры сети .....	30
3 Построение АСУТП на базе концепции открытых систем .....	32
3.1 Построение АСУТП на базе концепции открытых систем .....	32
3.1.1 Особенности АСУТП.....	32
3.1.2 Работа сети.....	32
3.1.3 Взаимодействие уровней модели OSI.....	33
3.1.4 Описание уровней модели OSI .....	34
3.2 Топология сети .....	37
3.2.1 Виды сетей .....	37
3.2.2 Топология типа «звезда» .....	38
3.2.3 Кольцевая топология .....	39
3.2.4 Шинная топология .....	41
3.2.5 Выбор топологии.....	43
3.2.6 Древовидная структура ЛВС .....	43
4 Компоненты локальной сети.....	45
4.1 Состав локальной сети.....	45
4.2 Файловый сервер (ФС) .....	45
4.3 Рабочие станции (РС).....	46
4.4 Сетевые адаптеры.....	47
4.4.1 Передача данных .....	47
4.4.2 Размещение данных в буфере .....	48
4.4.3 Создание кадра .....	48
4.4.4.Управление доступом к среде.....	48
4.4.5 Параллельное/последовательное преобразование.....	48
4.4.6 Кодирование/декодирование данных.....	49
4.4.7 Прием/передача данных .....	49

4.5 Сетевые программные средства.....	49
4.6 Кабели.....	51
4.6.1 Тонкий КК.....	53
4.6.2 Толстый КК.....	53
4.6.3 Витая пара (ВП).....	54
4.6.4 Оптоволоконный кабель (ОК) .....	54
5 Протоколы. Сетевые архитектуры .....	56
5.1 Описание протоколов .....	56
5.2 Работа протоколов.....	56
5.3 Стеки протоколов .....	57
5.3.1 Прикладные протоколы (ПП) .....	59
5.3.2 Транспортные протоколы.....	59
5.3.3 Сетевые протоколы .....	60
5.4 Сетевые архитектуры.....	60
5.4.1 ETHERNET .....	60
5.4.2 Кадр Ethernet.....	61
5.4.3 Кадр IEEE 802.3.....	62
5.4.4 Преамбула и начальный разделитель.....	62
5.4.5 Адрес назначения и исходный адрес .....	63
5.4.6 Длина .....	63
5.4.7 Данные и дополнение .....	64
5.4.8 Контрольная последовательность кадра.....	64
5.5 Стандарты IEEE на 10 Мбит/с .....	65
6 Требования, предъявляемые к современным сетям.	
Функциональные задачи АСУТП.....	68
6.1 Производительность .....	68
6.2 Надежность и безопасность .....	70
6.3 Расширяемость и масштабируемость.....	72
6.4 Прозрачность .....	72
6.5 Поддержка разных видов трафика .....	73
6.6 Управляемость.....	74
6.7 Совместимость.....	75
6.8 Функциональные задачи АСУТП.....	76
7 АСУТП как система функциональных задач .....	78
7.1 Алгоритмическое обеспечение задач контроля	
и первичной обработки информации .....	78
7.1.1 Назначение алгоритмов контроля .....	78
7.1.2 Аналитическая градуировка и коррекция показаний	
датчиков .....	81
7.1.3 Фильтрация и сглаживание .....	84
7.1.4 Интерполяция и экстраполяция.....	85
7.1.5 Экстраполяция.....	86



8	Статическая обработка экспериментальных данных .....	89
8.1	Статистическая обработка экспериментальных данных.....	89
8.1.1	Методы определения функций распределения.....	89
8.1.2	Методы определения математического ожидания .....	92
8.1.3	Методы определения функций корреляции .....	93
8.1.4	Методы определения спектральной плотности .....	95
8.1.5	Контроль достоверности исходной информации .....	96
9	Задачи характеристики. Архитектура АСУТП .....	99
9.1	Задачи характеристики .....	99
9.2	Архитектура АСУТП .....	101
9.2.1	Архитектура клиент-сервер .....	103
9.2.2	Оптимизация клиент-серверной обработки данных в Citect.....	103
9.2.3	Масштабируемая архитектура .....	104
10	Программируемые логические контроллеры .....	107
10.1	Место программируемого контроллера в АСУ предприятия .....	107
10.2	Терминология технических средств.....	109
10.3	Структура ПЛК.....	111
10.4	Операционная система ПЛК .....	113
11	Классификация промышленных логических контроллеров .....	116
11.1	Мощный ПЛК .....	118
11.2	ПЛК малого формата (MicroPLC) .....	120
12	Выбор промышленных контроллеров.....	123
12.1	Адекватность функционально-технологической структуры объекта.....	123
12.2	Производительность контроллеров для АСУТП .....	126
12.3	Специализированные модули контроллеров для АСУТП .....	128
13	Системы противоаварийной защиты в АСУТП.....	129
13.1	Необходимость применения противоаварийной защиты .....	129
13.2	Назначение системы безопасности гибких производств .....	129
13.3	Назначение системы ПАЗ в АСУТП.....	130
13.4	Обеспечение системы ПАЗ .....	131
13.5	Обеспечение надежности в системе ПАЗ .....	133
14	Мониторинг функционально-технического состояния парка газоперекачивающих агрегатов газотранспортной системы .....	135
14.1	Задачи мониторинга функционально-технического состояния газоперекачивающих агрегатов системы магистральных газопроводов Украины .....	135
14.2	Мониторинг функционально-технического состояния газоперекачивающих агрегатов на уровне компрессорной станции .....	136
15	Подсистема функциональной диагностики КЦ КС «Ужгородская» .....	142
15.1	Комплекс расчетных задач функциональной диагностики .....	142
15.2	Комплекс задач отображения и формирования предупредительных и аварийных сообщений.....	142

15.3	Комплекс задач архивирования входной и диагностической информации .....	148
16	Мониторинг функционально-технического состояния газоперекачивающих агрегатов на уровнях управления магистральными газопроводами и ДК «Укртрансгаз».....	149
16.1	Решение основных задач мониторинга на уровнях управления магистральными газопроводами и ДК «Укртрансгаз».....	149
16.2	Мониторинг функционально-технического состояния газоперекачивающих агрегатов на уровне управления магистральными газопроводами .....	150
16.2.1	Анализ оперативной входной информации .....	150
16.2.2	Анализ результатов определения КТС ГПА .....	151
17	Мониторинг функционально-технического состояния газоперекачивающих агрегатов на уровне ДК «Укртрансгаз».....	154
17.1	Атлас фактических характеристик центробежных нагнетателей парка эксплуатируемых газоперекачивающих агрегатов газотранспортной системы.....	155
17.2	Программный комплекс мониторинга ГПА ДК «Укртрансгаз» .....	158
17.3	Задачи верхнего уровня программного комплекса.....	160
18	Задачи нижнего уровня программного комплекса .....	163
18.1	Ведение и коррекция нормативно-справочной информации .....	163
18.2	Определение фактических приведенных характеристик ЦБН.....	164
18.3	Определение режимных параметров работы ЦБН .....	166
18.4	Ведение статистической базы данных фактических приведенных характеристик .....	166
18.5	Создание бумажной версии Атласа фактических характеристик ЦБН ГПА.....	168
	СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	169

## **ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ**

ATP – Apple Talk Transaction Protocol  
BNC – British Novel Connector  
BOOTP – Bootstrap Protocol  
CSMA/CD – Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection  
DCS – Distributed Control System  
DDP – Datagram Delivery Protocol  
DIX – Digital Intel Xerox connector  
DMA – direct memory access  
DNS – Directory Name Services  
EMI – electromagnetic interference  
ERP – Enterprise Resource Planning  
FCS – frame check sequence  
FTP – File Transfer Protocol  
I/O – Input/Output  
IP – Internet Protocol  
IPX – Internet work Packet Exchange  
LAN – Local Area Network  
MAC – media access control  
MES – Manufacturing Execution System  
MMI – Men-Marching Interface  
NBP – Name Binding Protocol  
NCP – Network Control Protocol  
NetBEUI – NetBIOS Extended User Interface  
NetBIOS – Network Basic Input/Output System  
NOS – Network Operation System  
OSI – open systems interconnection  
OUI – organizationally unique identifier  
PII – Process Input Image  
PLC – Programmable Logic Controller  
POI – Process Output Image  
SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition  
SMB – Server Message Blocks  
SMTP – Simple Mail Transfer Protocol  
SNA – System Network Architecture  
SNMP – Simple Network Management Protocol  
SPX – Sequential Packet Exchange

TAP – Terminal Access Point

TFTP – Trivial File Transfer Protocol

TSP – Transmission Control Protocol

WAN – Wide Area Network

АРМ – автоматизированное рабочее место

АСКУ – автоматизированная система контроля и управления

АСОУТ – автоматизированная система организационно-технологического управления

АСУ – автоматизированная система управления

АСУП – автоматизированная система управления предприятием

АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом

АТК – автоматизированный технологический комплекс

АТМ – автоматизированная технологическая машина

АЦП – аналого-цифровой преобразователь

БД – база данных

БЭАО – блок экстренного аварийного останова

ВП – витая пара

ИАСУ – интегрированная автоматизированная система управления

ИО – информационное обеспечение

ИП – источник питания

КК – коаксиальный кабель

КТС – комплекс технических средств

ЛВС – локальная вычислительная сеть

МПД – мультиплексор передачи данных

ОДР – область допустимых режимов

ОЗУ – оперативное запоминающее устройство

ОК – оптоволоконный кабель

ОО – организационное обеспечение

ОП – оперативный персонал

ОС – операционная система

ПАЗ – противоаварийная защита

ПЗУ – постоянное запоминающее устройство

ПК – персональный компьютер

ПК – программируемый контроллер

ПЛК – программируемый логический контроллер

ПО – программное обеспечение

ПТК – программно-технический комплекс

РС – рабочая станция  
СА – сетевая архитектура  
САР – система автоматического регулирования  
САУ – система автоматического управления  
СКО – среднеквадратическая ошибка  
СП – стек протоколов  
СУ – система управления  
ТЗ – техническое задание  
ТНД – турбина низкого давления  
ТО – техническое обеспечение  
ТОУ – технологический объект управления  
ТП – технологический процесс  
ТЭП – технико-экономический показатель  
УСО – устройство сопряжения с объектами  
ФС – файловый сервер  
ЦП – центральный процессор  
ЧПУ – числовое программное управление  
ЭАО – экстренный аварийный останов  
ЭВМ – электронно-вычислительная машина  
ЭС – экспоненциальное сглаживание

## ВВЕДЕНИЕ

Автоматизированные системы управления технологическими процессами, создаваемыми в настоящее время для управления промышленными предприятиями, в том числе и теплогазоснабжения, представляют собой, в общем случае, целую совокупность систем (или подсистем) различной сложности и назначения, объединенных в единую иерархическую автоматизированную систему управления. Объектом управления для такой системы являются все промышленные подразделения предприятия в целом, т. е. комплекс основных и вспомогательных производств, общезаводские транспортные и энергетические службы, материально-технические и финансовые средства предприятия. При этом система или подсистема, занимающая самый верхний уровень в общей иерархии управления предприятием, обычно определяет лишь общие, укрупненные показатели работы конкретного оборудования – задания на выработку продукции, нагрузки производств, значения общих входных (и выходных) потоков, отдельные качественные и стоимостные показатели.

Под уровнями иерархии понимают:

- первый или нижний уровень (установки, агрегаты, в отдельных случаях цеха), на котором главной задачей является управление технологическим процессом;

- второй или средний уровень (крупные цехи, производства, заводы, входящие в состав предприятия), на котором основными задачами являются оперативная координация работ отдельных производственных единиц, распределение нагрузок между ними;

- третий или верхний уровень, который обеспечивает планирование производственной и административно-хозяйственной деятельности предприятия.

В соответствии с ДСТУ 2960-94 автоматизированной системой управления предприятием (АСУП) называют автоматизированную систему управления (АСУ), предназначенную для решения основных задач производственно-хозяйственной деятельности промышленного предприятия в целом и (или) его самостоятельных частей на основе применения экономико-математических методов и вычислительной техники. Другими словами, под термином АСУП в большинстве случаев понимается автоматизированная система (подсистема) управления.

Проблема создания автоматизированной системы управления современным промышленным предприятием относится у числу весьма сложных и трудоемких. Как и любая другая автоматизированная система, АСУП предназначена для длительного функционирования с возможностью ее модернизации, дальнейшего развития и замены отдельных частей системы (подсистем, функциональных задач и др.). При создании АСУП должны быть учтены требования к структуре АСУП и организации ее функционирования, перечень функциональных задач и периодичность их решения, режим работы комплекса технических средств (односменный, двухсменный, круглосуточный) и условия их эксплуатации, требования совместимости системы с АСУ других уровней, технико-экономическая эффективность системы.

Наиболее часто в качестве критерия управления для АСУП принимается прибыль предприятия за планируемый период (год).

На современных промышленных предприятиях в последние годы стали создаваться интегрированные автоматизированные системы управления (ИАСУ), представляющие собой органичное объединение нескольких АСУ технологическими процессами и производствами между собой и (или) с АСУ организационно-производственными службами предприятия (подсистемами АСУП). Отличительной особенностью интегрированных АСУ в масштабе предприятия является наличие тесного взаимодействия отдельных систем (подсистем), охватывающих все стороны его деятельности (управление технологическими процессами, оперативное управление основным производством, решение административно-коммерческих задач и пр.) на основе единых принципов и системного подхода.

Различают следующие основные формы интеграции:

- функциональная, обеспечивающая единство целей, совокупность согласованных критериев управления и взаимодействия реализуемых системой функций;

- программно-алгоритмическая, предусматривающая наличие взаимосвязанного комплекса моделей, алгоритмов, операционных систем и прикладных программ;

- информационная, обеспечивающая возможность создания банка данных, базирующегося на единой системе накопления и обновления информации;

- техническая, при которой реализуется применение многомашинных комплексов, сетей ЭВМ и пр.;

- организационная, обеспечиваемая рациональным сочетанием возможностей персонала и техники в едином человеко-машинном комплексе, четким распределением задач, прав и обязанностей между участниками процесса управления, находящимися на всех уровнях иерархии.

Особенно большое значение АСУ имеют для крупных предприятий, что объясняется следующими их особенностями:

- сложностью функционально-производственной структуры, требующей больших вычислительных мощностей для отдельных систем и организации сложных информационных связей между ними;

- многоуровневой структурой (агрегаты, производства, предприятия) с различными требованиями к техническим и программным средствам управления разных уровней;

- наличием разнообразных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и сложностью организации их совместного функционирования с АСУП;

- высокими скоростями протекания взаимосвязанных производственных процессов и необходимостью координации их в реальном масштабе времени;

- пространственной разобщенностью систем, определяемой территориальными размерами предприятия.

# **1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ АСУТП. ФУНКЦИИ АСУТП. СОСТАВ АСУТП. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

Для технологических объектов отрасли, как объектов автоматизации, характерными являются следующие особенности: наличие разнородных функциональных задач, возникающих при автоматизации; сравнительно высокий уровень автоматизации существующих технологических объектов управления (ТОУ); повышение актуальности задач оптимизации и др. Управлять подобными объектами невозможно без современных средств автоматизации и вычислительной техники, без высокоэффективных автоматизированных систем управления технологическими процессами – далее АСУТП.

АСУТП относятся к классу сложных систем, которым присущи следующие черты: наличие у всех элементов общей цели; системный характер реализуемых алгоритмов обмена и обработки информации; большое число входящих в систему функциональных подсистем.

Современный этап развития АСУТП характеризуется применением индустриальных технологий создания и внедрения АСУТП на базе серийно выпускаемых промышленных контроллеров, совместимых с персональными компьютерами и мощных программно-технических комплексов (ПТК) поддержки программирования АСУТП – SCADA систем, а также развития и стандартизации сетевых технологий.

Построение АСУТП на основе концепции открытых систем позволяет аппаратно-программные средства различных производителей совмещать снизу доверху и обеспечивать проверку всей системы. При таком подходе значительно уменьшается общая стоимость системы в результате применения более дешевого оборудования (при аналогичных функциональных характеристиках), частичной и поэтапной замене имеющихся на предприятии аппаратно-программных средств или даже сохранении некоторого старого оборудования.

Важнейшими свойствами открытых систем являются: мобильность прикладных программ; мобильность персонала; четкие условия взаимодействия частей системы с использованием открытых спецификаций.

## **1.1 Основные понятия и определения**

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП) предназначена для выработки и реализации управляющих воздействий на технологический объект управления.

Технологический объект управления (ТОУ) – это совокупность технологического оборудования и реализованного на нем по соответствующим инструкциям или регламентам технологического процесса производства.

К технологическим объектам управления относятся:

– технологические агрегаты и установки (группы станков), реализующие самостоятельный технологический процесс;



– отдельные производства (цеха, участки) или производственный процесс всего промышленного предприятия, если управление этим производством носит в основном технологический характер, т. е. заключается в реализации рациональных режимов работы взаимосвязанных агрегатов (участков, производств).

Совместно функционирующие ТОУ и управляющая им АСУТП образуют автоматизированный технологический комплекс (АТК).

Автоматизированная система управления технологическим процессом – человеко-машинная система управления, обеспечивающая автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации управления технологическим объектом в соответствии с принятым критерием.

Такое определение АСУТП подчеркивает наличие в ее составе современных автоматических средств сбора и обработки информации, в первую очередь средств вычислительной техники; роль человека в системе как субъекта труда, принимающего содержательное участие в выработке решений по управлению; реализацию в системе процесса обработки технологической и технико-экономической информации; цель функционирования АСУТП, заключающуюся в оптимизации работы технологического объекта управления по принятому критерию (критериям) управления путем соответствующего выбора управляющих воздействий.

Критерий управления АСУТП – это соотношение, характеризующее качество функционирования технологического объекта управления в целом и принимающее конкретные числовые значения в зависимости от используемых управляющих воздействий. Таким образом, критерием управления обычно является технико-экономический показатель (например, себестоимость выходного продукта при заданном его качестве, производительность ТОУ при заданном качестве выходного продукта и т. п.) или технический показатель (например, параметры процесса, характеристики выходного продукта).

Система управления ТОУ является АСУТП в том случае, если она осуществляет управление ТОУ в целом в темпе протекания технологического процесса и если в выработке и реализации решений по управлению, участвуют средства вычислительной техники и другие технические средства и человек-оператор.

## **1.2 АСУТП в системе управления промышленным предприятием**

АСУТП как компоненты общей системы управления промышленным предприятием предназначены для целенаправленного ведения технологических процессов и обеспечения смежных и вышестоящих систем управления оперативной и достоверной технико-экономической информацией.

АСУТП, созданные для объектов основного и вспомогательного производства, представляют собой низовой уровень автоматизированных систем управления на предприятии.

АСУТП могут использоваться для управления отдельными производствами, включающими в свой состав взаимосвязанные ТОУ.

АСУТП производства обеспечивает оптимальное (рациональное) управление как всеми АТК и ТОУ, так и вспомогательными процессами (приемкой, транспортировкой, складированием входных материалов, заготовок и готовой продукции и т. д.), входящими в состав данного производства.

Организация взаимодействия АСУТП с системами управления высших уровней определяется наличием на промышленном предприятии автоматизированной системы управления предприятием (АСУП) и автоматизированных систем организационно-технологического управления (АСОТУ).

АСУТП получает от соответствующих подсистем АСУП или служб управления предприятием непосредственно или через АСОУТ задания и ограничения (номенклатуру подлежащих выпуску продуктов или изделий, объемы производства, технико-экономические показатели, характеризующие качество функционирования АТК, сведения наличия ресурсов) и обеспечивает подготовку и передачу этим системам необходимой для их работы технико-экономической информации, в частности о выполнении заданий, продукции, оперативной потребности в ресурсах, состоянии АТК (состоянии оборудования, ходе ТП, его технико-экономических показателях и т. п.).

При наличии на предприятии систем технической и (или) технологической подготовки производства обеспечивается взаимодействие АСУТП с этими системами. АСУТП получают от них техническую, технологическую и другую информацию, необходимую для проведения заданных технологических процессов, и направляют в эти системы фактическую оперативную информацию, необходимую для их функционирования, в том числе для корректировок регламентов проведения технологических процессов.

При создании на предприятии комплексной системы управления качеством продукции АСУТП являются ее исполнительными подсистемами, обеспечивающими заданное качество продукции ТОУ и подготовку фактической оперативной информации о ходе технологических процессов (статистический контроль и т. д.).

Перечень, форма представления и режим обмена информацией между АСУТП и взаимосвязанными с ней другими системами управления (как автоматизированными, так и неавтоматизированными) определяются в каждом конкретном случае в зависимости от специфики производства, его организации и принятой структуры управления им.

### **1.3 Функции АСУТП**

При создании АСУТП должны быть определены конкретные цели функционирования системы и ее назначение в общей структуре управления предприятием. Такими целями, например, могут быть:

- экономия топлива, сырья, материалов и других производственных ресурсов;
- обеспечение безопасности функционирования объекта;

- повышение качества выходного продукта (изделия) или обеспечение заданных значений параметров выходных продуктов (изделий);
- снижение затрат живого труда; достижение оптимальной загрузки (использования) оборудования;
- оптимизация режимов работы технологического оборудования (в том числе, маршрутов обработки в дискретных производствах) и т. д.

Функция АСУТП – это совокупность действий системы, направленных на достижение частной цели управления.

Совокупность действий системы представляет собой определенную и описанную в эксплуатационной документации последовательность операций и процедур, выполняемых частями системы. Следует отличать функции АСУТП в целом от функций, выполняемых всем комплексом технических средств системы или его отдельными устройствами.

Функции АСУТП подразделяются на управляющие, информационные и вспомогательные.

Управляющая функция АСУТП – это функция, результатом которой являются выработка и реализация управляющих воздействий на технологический объект управления.

К управляющим функциям АСУТП относятся:

- регулирование (стабилизация) отдельных технологических переменных;
- одноканальное логическое управление операциями или аппаратами;
- программное логическое управление группой оборудования;
- оптимальное управление установившимися или переходными технологическими режимами или отдельными участками процесса;
- адаптивное управление объектом в целом (например, самонастраивающимся комплексно-автоматизированным участком станков с числовым программным управлением).

Информационная функция АСУТП – это функция системы, содержанием которой являются сбор, обработка и представление информации о состоянии АТК оперативному персоналу или передача этой информации для последующей обработки.

К информационным функциям АСУТП относятся:

- централизованный контроль и измерение технологических параметров;
- косвенное измерение (вычисление) параметров процесса (технико-экономических показателей, внутренних переменных);
- формирование и выдача данных оперативному персоналу АСУТП или (АТК);
- подготовка и передача информации в смежные системы управления;
- обобщенная оценка и прогноз состояния АТК и его оборудования.

Отличительная особенность управляющих и информационных функций АСУТП их направленность на конкретного потребителя (объект управления, оперативный персонал, смежные системы управления).

Вспомогательные функции АСУТП – это функции, обеспечивающие решение внутрисистемных задач.

Вспомогательные функции не имеют потребителя вне системы и обеспечивают функционирование АСУТП (функционирование технических средств системы, контроль их состояния, хранение информации и т. п.).

В зависимости от степени участия людей в выполнении функций системы различаются два режима реализации функций: автоматизированный и автоматический.

Автоматизированный режим реализации управляющих функций характеризуется участием человека в выработке (принятии) решений и (или) их реализации. При этом возможны следующие варианты:

- ручной режим, при котором комплекс технических средств представляет оперативному персоналу контрольно-измерительную информацию о состоянии ТООУ, а выбор и осуществление управляющих воздействий производит человек-оператор;

- режим «советчика», при котором комплекс технических средств вырабатывает рекомендации по управлению, а решение об их использовании принимается и реализуется оперативным персоналом;

- диалоговый режим, при котором оперативный персонал имеет возможность корректировать постановку и условия задачи, решаемой комплексом технических средств системы при выработке рекомендаций по управлению объектом.

Автоматический режим реализации управляющих функций предусматривает автоматическую выработку и реализацию управляющих воздействий. При этом различаются:

- режим косвенного управления, когда средства вычислительной техники автоматически изменяют установки и (или) параметры настройки локальных систем автоматического управления (регулирования);

- режим прямого (непосредственного) цифрового (или аналого-цифрового) управления, когда управляющее вычислительное устройство формирует воздействие на исполнительные механизмы.

Автоматизированный режим реализации АСУТП информационных функций АСУТП предусматривает участие людей в операциях по получению и обработке информации.

В автоматическом режиме все необходимые процедуры обработки информации реализуются без участия человека.

АСУТП представляют собой системы управления, качественно отличные от систем автоматического регулирования (САР), предназначенных для стабилизации режимов процессов и агрегатов.

На рисунке 1.1 приведены структуры САР и АСУТП. Системы автоматического регулирования, как правило, представляют собой замкнутые системы управления, функционирующие без участия человека.

Основная цель САР – оптимальная отработка задания, обеспечивающего стабилизацию требуемой физической величины или технологического параметра. При этом значение задания считается известным и может быть как постоянным, так и изменяющимся по заранее известному закону.

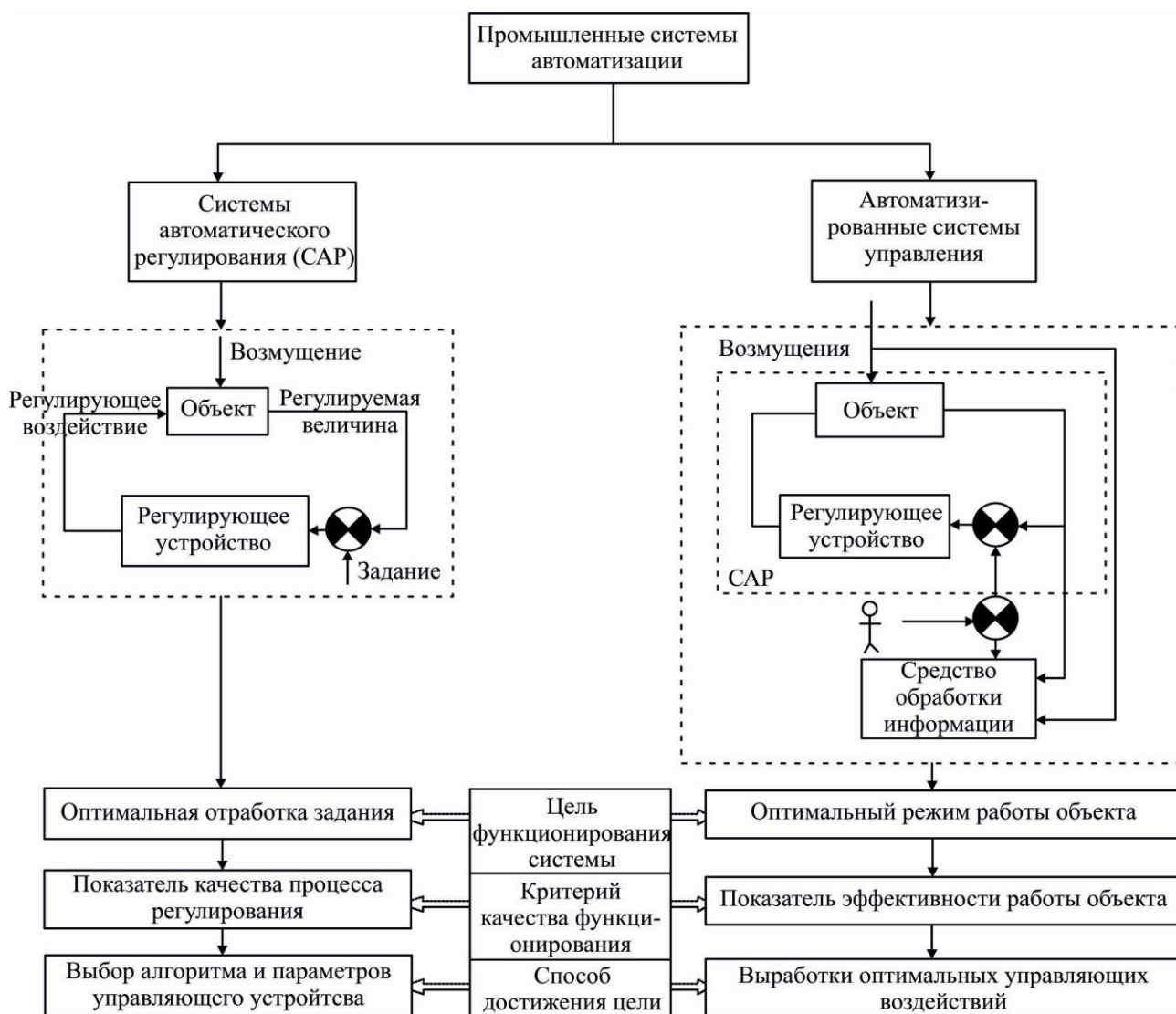


Рисунок 1.1 – Сравнение промышленных систем автоматизации

Структура АСУТП, в отличие от САР, предполагает непременно участие человека-оператора в принятии решений по управлению объектом. Структура АСУТП обязательно включает контур формирования оператором управляющих воздействий, поскольку цель АСУТП – реализация оптимального режима работы объекта.

Критериями оптимальности технологических режимов, как правило, являются технико-экономические показатели (коэффициент полезного действия, удельные расходы сырья, энергии, топлива, себестоимость продукции), которые обычно не могут быть непосредственно измерены, а получаются в результате соответствующих вычислительных процедур.

#### 1.4 Состав АСУТП

Для выполнения функций АСУТП необходимо взаимодействие следующих ее составных частей: технического обеспечения (ТО); программного обеспечения (ПО); информационного обеспечения (ИО); организационного обеспечения (ОО); оперативного персонала (ОП).

Техническое обеспечение АСУТП представляет собой полную совокупность технических средств, достаточную для функционирования АСУТП и реализации системой всех ее функций.

В состав комплекса технических средств (КТС АСУТП) входят вычислительные и управляющие устройства; средства получения (датчики), преобразования, хранения, отображения и регистрации информации (сигналов); устройства передачи сигналов и исполнительные устройства.

Программное обеспечение АСУТП – совокупность программ, необходимая для реализации функций АСУТП, заданного функционирования комплекса технических средств АСУТП и предполагаемого развития системы.

Программное обеспечение АСУТП подразделяется на общее ПО и специальное программное обеспечение.

Общее программное обеспечение АСУТП поставляется в комплекте со средствами вычислительной техники. К общему программному обеспечению АСУТП относятся необходимые в процессе функционирования и развития системы программы, программы для автоматизации разработки программ, компоновки программного обеспечения, организации функционирования вычислительного комплекса и другие служебные и стандартные программы (организующие программы, транслирующие программы, библиотеки стандартных программ и др.).

Специальное программное обеспечение АСУТП разрабатывается или заимствуется из соответствующих фондов при создании конкретной системы и включает программы реализации основных (управляющих и информационных) и вспомогательных (обеспечение заданного функционирования КТС системы, проверка правильности ввода информации, контроль работы КТС системы и т. п.) функций АСУТП.

Специальное программное обеспечение АСУТП разрабатывается на базе и с использованием программ общего программного обеспечения.

Программы специального программного обеспечения, имеющие перспективу многократного использования, после промышленной проверки могут передаваться в соответствующие фонды или заводам-изготовителям вычислительной техники для включения их в состав общего программного обеспечения.

Информационное обеспечение АСУТП включает:

- информацию, характеризующую состояние автоматизированного технологического комплекса;
- системы классификации и кодирования технологической и технико-экономической информации;
- массивы данных и документов, необходимых для выполнения всех функций АСУТП, в том числе нормативно-справочную информацию.

Организационное обеспечение АСУТП представляет собой совокупность описаний функциональной, технической и организационной структур, инструкций и регламентов для оперативного персонала АСУТП, обеспечивающее заданное функционирование оперативного персонала в составе АТК.

В состав оперативного персонала АСУТП входят:

- технологи-операторы, осуществляющие контроль работы и управление ТОУ с использованием информации и рекомендаций по рациональному управлению, выработанных комплексом технических средств АСУТП;

- эксплуатационный персонал АСУТП, обеспечивающий правильность функционирования комплекса технических средств АСУТП.

Ремонтный персонал в состав оперативного персонала АСУТП не входит. Создание АСУТП допускается осуществлять по подсистемам.

Подсистема АСУТП – это часть системы, выделенная по функциональному или структурному признаку.

Функциональный признак позволяет делить систему, например, на управляющую и информационную подсистемы или ряд подсистем в соответствии с целями.

Структурный признак позволяет делить АСУТП на подсистемы, обеспечивающие управление частью объекта или соответствующие самостоятельным частям комплекса технических средств и т. д.

### **1.5 Общие технические требования**

К АСУТП в целом предъявляются следующие основные требования. Она должна:

- осуществлять управление ТОУ в целом в темпе протекания технологического процесса и в выработке и реализации решений по управлению должны участвовать средства вычислительной техники и человек-оператор;

- обеспечивать управление ТОУ в соответствии с принятыми критериями эффективности функционирования АТК (критериями управления АСУТП);

- выполнять все возложенные на нее функции с заданными характеристиками и показателями качества управления;

- обладать требуемым уровнем надежности;

- обеспечивать возможность взаимосвязанного функционирования с системами управления смежных уровней иерархии и другими АСУТП;

- отвечать эргономическим требованиям, предъявляемым к системам, в частности к способам и форме представления информации оператору, к размещению технических средств и т. д.;

- обладать требуемыми метрологическими характеристиками измерительных каналов;

- допускать возможность модернизации и развития в пределах, предусмотренных техническим заданием (ТЗ) на создание АСУТП;

- нормально функционировать в условиях, указанных в ТЗ на систему;

- обеспечивать заданный средний срок службы с учетом проведения восстановительных работ, указанных в технической документации на основные составные части АСУТП.

## **2 КЛАССИФИКАЦИЯ АСУТП. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ СЕТЕВОЙ ТЕРМИНОЛОГИИ**

### **2.1 Классификация АСУТП**

При планировании, проведении и обобщении разработок АСУТП следует иметь в виду, что эти системы весьма разнообразны. Для решения ряда научных, технических и организационных вопросов необходимо пользоваться общей классификацией АСУТП, т. е. правилами разбиения всего множества этих систем на такие подмножества (классификационные группы), в пределах которых все входящие в них АСУТП одинаковы, близки или похожи в том или ином отношении.

АСУТП как объекты классификации характеризуются многими существенными факторами и показателями, каждый из которых может выступать в роли классификационного признака. Поэтому общая классификация АСУТП состоит из ряда частных классификаций, проводимых по одному из таких признаков.

В зависимости от поставленных целей необходимо пользоваться различными классификационными признаками или их разными сочетаниями. Приводимая ниже классификация АСУТП может использоваться в основном с целями:

- выбора систем-аналогов на ранних этапах разработки АСУТП;
  - оценки необходимых ресурсов при укрупненном планировании работ по созданию АСУТП;
  - определения качества (научно-технического уровня) АСУТП;
  - определения капиталоемкости АСУТП в условных единицах.
- К основным классификационным признакам АСУТП относятся:
- уровень, занимаемый ТОУ и АСУТП в структуре предприятия;
  - характер протекания технологического процесса во времени;
  - показатель условной информационной мощности;
  - уровень функциональной надежности АСУТП;
  - тип функционирования АСУТП.

Классификации по каждому из указанных признаков (а также по любым их сочетаниям) могут рассматриваться и использоваться как независимые: конкретному индексу одного (или нескольких) признака могут соответствовать любые индексы других признаков.

По уровню, занимаемому в структуре предприятия, АСУТП классифицируется в соответствии с таблицей 2.1.

Характер протекания управляемого технологического процесса во времени определяется непрерывностью (или дискретностью) поступления сырья и реагентов, наличием (или отсутствием) длительных установившихся и переходных режимов функционирования ТОУ, наличием и длительностью дискретных операций по переработке входных потоков материалов. По этому признаку АСУТП классифицируются в соответствии с таблицей 2.2.



Таблица 2.1 – Классификация АСУТП по уровню, занимаемому в организационно-производственной иерархии

Класс АСУТП	Кодовый индекс	ТОУ
АСУТП нижнего уровня	1	Технологические агрегаты, установки, участки
АСУТП верхнего уровня	2	Группы установок, цехи, производства; не включают АСУТП нижнего уровня
АСУТП многоуровневые	3	То же, что в классе 2, но включая АСУТП нижнего уровня

Таблица 2.2 – Классификация АСУТП по характеру протекания управляемого технологического процесса во времени

Класс АСУТП	Кодовый индекс	Характер технологического процесса
АСУ непрерывным технологическим процессом	н	Непрерывный с длительным поддержанием режимов, близких к установившимся, и практически безостановочной подачей сырья и реагентов
АСУ непрерывно-дискретным технологическим процессом	п	Сочетание непрерывных и прерывистых режимов функционирования различных технологических агрегатов или на различных стадиях процесса (в том числе периодические процессы)
АСУ дискретным технологическим процессом	д	Прерывистый, с несущественной для управления длительностью технологических операций

Условная информационная мощность ТОУ характеризуется числом технологических переменных, измеряемых или контролируемых в данной АСУТП. В зависимости от значения этого показателя АСУТП подразделяются на классы (табл. 2.3).

Таблица 2.3 – Классификация АСУТП по условной информационной мощности

Условная информационная мощность	Кодовый индекс	Число измеряемых или контролируемых технологических переменных	
		минимальное	максимальное
Наименьшая	1	10	40
Малая	2	41	160
Средняя	3	161	650
Повышенная	4	651	2500
Большая	5	2501	не ограничено

Требуемый (или достигнутый) уровень функциональной надежности АСУТП решающим образом влияет на структуру и многие технические характеристики системы, а также на реальные значения показателей ее эффективности. Укрупненная классификация АСУТП по уровню функциональной надежности приведена в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Классификация АСУТП по уровню функциональной надежности

Уровень функциональной надежности	Кодовый индекс	Краткая характеристика уровня надежности
Минимальный	1	Практически не регламентируется, не требует специальных мер
Средний	2	Регламентируется, но отказы в АСУТП не приводят к остановам ТОУ
Высокий	3	Жестко регламентируется, так как отказы в АСУТП могут привести к остановам ТОУ или авариям

Тип функционирования АСУТП приближенно характеризуется совокупностью автоматически выполняемых информационных и управляющих функций системы.

Классификация АСУТП по этому признаку дана в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Классификация АСУТП по типу функционирования

Условное наименование типа функционирования АСУТП	Кодовый индекс	Краткая характеристика особенностей функционирования системы
Информационный	и	Автоматически выполняются только информационные функции, решения по управлению принимает и реализует оператор
Локально-автоматический	л	Автоматически выполняются информационные функции и функции локального управления (регулирования). Решения по управлению процессом в целом принимает и реализует оператор
Советующий	с	Автоматически выполняются функции информационные, локального управления и с помощью модели процесса формируются советы по выбору управляющих воздействий с учетом критерия
Автоматический	а	Все функции АСУТП, включая управление процессом по критерию, выполняются автоматически

Определенный в соответствии с таблицей 2.5 класс АСУТП обозначается в кодовой или словесной форме.

Кодовое обозначение класса АСУТП состоит из основного и дополнительного кодов. Основной код строится из цифровых и буквенных индексов классификации, приведенных в таблице 2.5.

Например, словесному обозначению АСУ непрерывным технологическим процессом в агрегате «советующего» типа, с технологическими переменными и высшим уровнем функциональной надежности соответствует код 1и33с, легко определяемый по таблице 2.5.

Выбор систем-аналогов разрабатываемой АСУТП с использованием приведенной классификации осуществляется следующим образом:

- в соответствии с таблицей 2.5 определяют класс, к которому принадлежит разрабатываемая АСУТП, и ее составной классификационный индекс;

- в ведомственных, отраслевых и межотраслевых классификационных фондах находят несколько разработок АСУТП, имеющих составной классификационный индекс, совпадающий с индексом данной системы;

- среди найденных таким образом разработок АСУТП выбирают ту, которая в большей степени может считаться наиболее близким аналогом создаваемой, а принятые в ней решения подлежат анализу с целью определения возможности и целесообразности их повторного применения в создаваемой АСУТП.

Основу АСУТП составляют локальные сети.

## **2.2 Основные понятия сетевой терминологии**

### **2.2.1 Основные определения и термины**

Сеть – это совокупность объектов, образуемых устройствами передачи и обработки данных. Международная организация по стандартизации определила вычислительную сеть как последовательную бит-ориентированную передачу информации между связанными друг с другом независимыми устройствами.

Сети обычно находятся в частном ведении пользователя, и занимают некоторую территорию и по территориальному признаку разделяются на:

- локальные вычислительные сети (ЛВС) или Local Area Network (LAN), расположенные в одном или нескольких близко расположенных зданиях. ЛВС обычно размещаются в рамках какой-либо организации (корпорации, учреждения), поэтому их называют корпоративными;

- распределенные компьютерные сети, глобальные или Wide Area Network (WAN), расположенные в разных зданиях, городах и странах, которые бывают территориальными, смешанными и глобальными. В зависимости от этого глобальные сети бывают четырех основных видов: городские, региональные, национальные и транснациональные. В качестве примеров распределенных сетей очень большого масштаба можно назвать: Internet, EUNET, Relcom, FIDO.

В состав сети в общем случае включаются следующие элементы:

- сетевые компьютеры (оснащенные сетевым адаптером);
- каналы связи (кабельные, спутниковые, телефонные, цифровые, волоконно-оптические, радиоканалы и др.);
- различного рода преобразователи сигналов;
- сетевое оборудование.

Различают два понятия сети: коммуникационная сеть и информационная сеть (рис. 2.1).

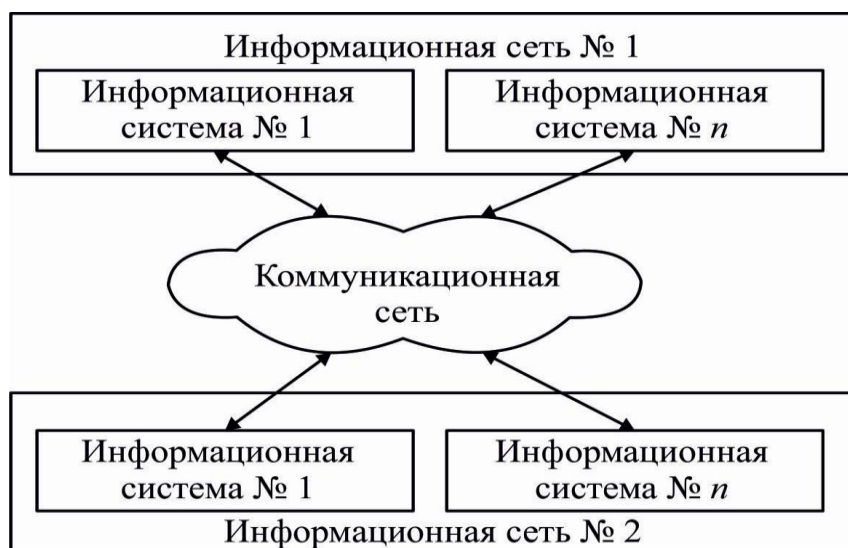


Рисунок 2.1 – Информационные и коммуникационные сети

Коммуникационная сеть предназначена для передачи данных, также она выполняет задачи, связанные с преобразованием данных.

Коммуникационные сети различаются по типу используемых физических средств соединения.

Информационная сеть предназначена для хранения информации и состоит из информационных систем. На базе коммуникационной сети может быть построена группа информационных сетей.

Под каналом связи следует понимать путь или средство, по которому передаются сигналы. Средство передачи сигналов называют абонентским, или физическим, каналом.

Каналы связи (data link) создаются по линиям связи при помощи сетевого оборудования и физических средств связи. Физические средства связи построены на основе витых пар, коаксиальных кабелей, оптических каналов или эфира. Между взаимодействующими информационными системами через физические каналы коммуникационной сети и узлы коммутации устанавливаются логические каналы.

Логический канал – это путь для передачи данных от одной системы к другой. Логический канал прокладывается по маршруту в одном или нескольких физических каналах. Логический канал – можно охарактеризовать, как маршрут, проложенный через физические каналы и узлы коммутации.

Информация в сети передается блоками данных по процедурам обмена между объектами. Эти процедуры называют протоколами передачи данных.

Протокол – это совокупность правил, устанавливающих формат и процедуры обмена информацией между двумя или несколькими устройствами.

Загрузка сети характеризуется параметром, называемым трафиком. Трафик (traffic) – это поток сообщений в сети передачи данных. Под ним понимают количественное измерение в выбранных точках сети числа проходящих блоков данных и их длины, выраженное в битах в секунду.

Существенное влияние на характеристику сети оказывает метод доступа. Метод доступа – это способ определения того, какая из рабочих станций сможет следующей использовать канал связи и как управлять доступом к каналу связи (кабелю).

В сети все рабочие станции физически соединены между собою каналами связи по определенной структуре, называемой топологией. Топология – это описание физических соединений в сети, указывающее какие рабочие станции могут связываться между собой. Тип топологии определяет производительность, работоспособность и надежность эксплуатации рабочих станций, а также время обращения к файловому серверу. В зависимости от топологии сети используется тот или иной метод доступа.

Состав основных элементов в сети зависит от ее архитектуры. Архитектура – это концепция, определяющая взаимосвязь, структуру и функции взаимодействия рабочих станций в сети. Она предусматривает логическую, функциональную и физическую организацию технических и программных средств сети. Архитектура определяет принципы построения и функционирования аппаратного и программного обеспечения элементов сети.

В основном выделяют три вида архитектур: архитектура терминал – главный компьютер, архитектура клиент-сервер и одноранговая архитектура.

Современные сети можно классифицировать по различным признакам: по удаленности компьютеров, топологии, назначению, перечню предоставляемых услуг, принципам управления (централизованные и децентрализованные), методам коммутации, методам доступа, видам среды передачи, скоростям передачи данных и т.д. Все эти понятия будут рассмотрены более подробно при дальнейшем изучении курса.

### **2.2.2 Преимущества использования сетей**

Компьютерные сети представляют собой вариант сотрудничества людей и компьютеров, обеспечивающего ускорение доставки и обработки информации. Объединять компьютеры в сети начали более 30 лет назад. Когда возможности компьютеров выросли и ПК стали доступны каждому, развитие сетей значительно ускорилось.

Соединенные в сеть компьютеры обмениваются информацией и совместно используют периферийное оборудование и устройства хранения информации (рис. 2.2).

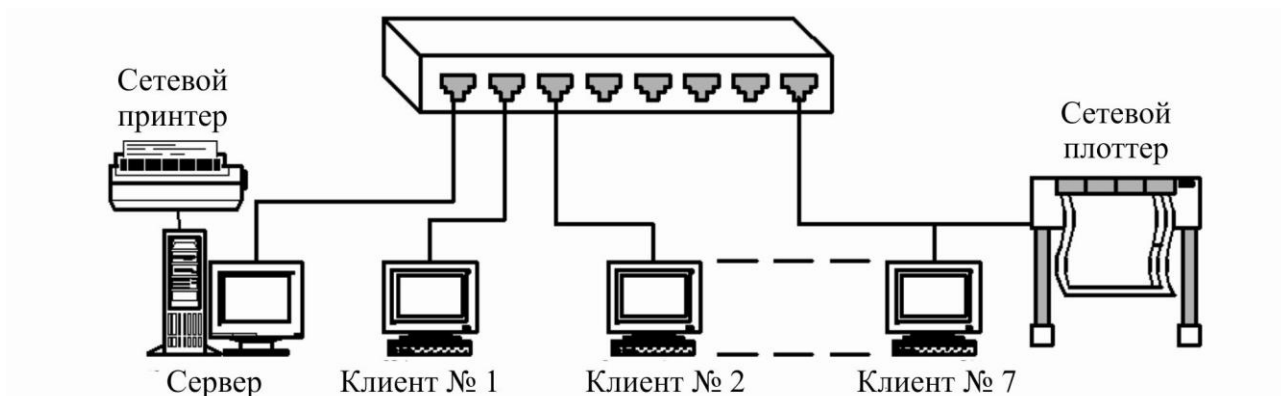


Рисунок 2.2 – Использование периферийного оборудования

С помощью сетей можно разделять ресурсы и информацию. Ниже перечислены основные задачи, которые решаются с помощью рабочей станции в сети, и которые трудно решить с помощью отдельного компьютера.

Компьютерная сеть позволит совместно использовать периферийные устройства, включая: принтеры; плоттеры; дисковые накопители; приводы CD-ROM; дисководы; стримеры; сканеры; факс-модемы.

Компьютерная сеть позволяет совместно использовать информационные ресурсы: каталоги; файлы; прикладные программы; игры; базы данных; текстовые процессоры.

Компьютерная сеть позволяет работать с многопользовательскими программами, обеспечивающими одновременный доступ всех пользователей к общим базам данных с блокировкой файлов и записей, обеспечивающей целостность данных. Любые программы, разработанные для стандартных ЛВС, можно использовать в других сетях.

Совместное использование ресурсов обеспечит существенную экономию средств и времени. Например, можно коллективно использовать один лазерный принтер вместо покупки принтера каждому сотруднику или беготни с дискетами к единственному принтеру при отсутствии сети.

Организация электронной почты. Можно использовать ЛВС как почтовую службу и рассылать служебные записки, доклады и сообщения другим пользователям.

### 2.2.3 Архитектура сетей

Архитектура сети определяет основные элементы сети, характеризует ее общую логическую организацию, техническое обеспечение, программное обеспечение, описывает методы кодирования. Архитектура также определяет принципы функционирования и интерфейс пользователя.

В данном курсе будет рассмотрено три вида архитектур:

- архитектура терминал – главный компьютер;
- одноранговая архитектура;
- архитектура клиент-сервер.

### **Архитектура терминал – главный сервер**

Архитектура терминал – главный компьютер (*terminal – host computer architecture*) – это концепция информационной сети, в которой вся обработка данных осуществляется одним или группой главных компьютеров.

Рассматриваемая архитектура предполагает два типа оборудования:

- главный компьютер, где осуществляется управление сетью, хранение и обработка данных;
- терминалы, предназначенные для передачи главному компьютеру команд на организацию сеансов и выполнение заданий, ввода данных для выполнения заданий и получения результатов.

Главный компьютер через мультиплексоры передачи данных (МПД) взаимодействует с терминалами, как представлено на рисунке 2.3. Классический пример архитектуры сети с главными компьютерами – системная сетевая архитектура (System Network Architecture – SNA).

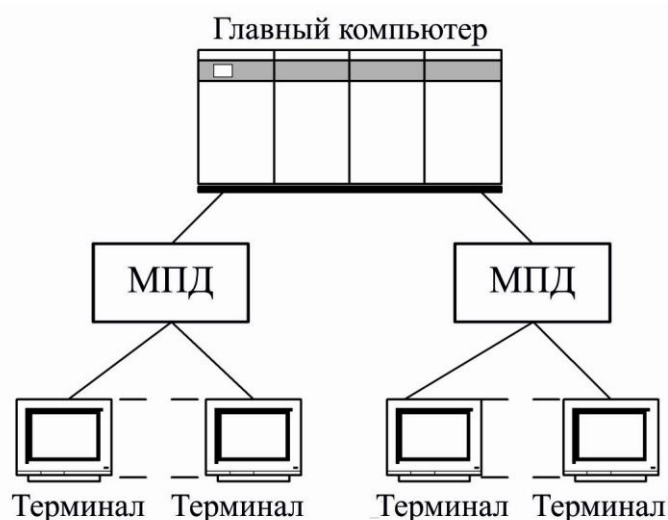


Рисунок 2.3 – Архитектура терминал – главный компьютер

### **Одноранговая архитектура**

Одноранговая архитектура (*peer-to-peer architecture*) – это концепция информационной сети, в которой ее ресурсы рассредоточены по всем системам. Данная архитектура характеризуется тем, что в ней все системы равноправны (рис. 2.4).

К одноранговым сетям относятся малые сети, где любая рабочая станция может выполнять одновременно функции файлового сервера и рабочей станции. В одноранговых сетях дисковое пространство и файлы на любом компьютере могут быть общими. Чтобы ресурс стал общим, его необходимо отдать в общее пользование, используя службы удаленного доступа сетевых одноранговых операционных систем. В зависимости от того, как будет установлена защита данных, другие пользователи смогут пользоваться файлами сразу же после их создания. Одноранговые сети достаточно хороши только для небольших рабочих групп.

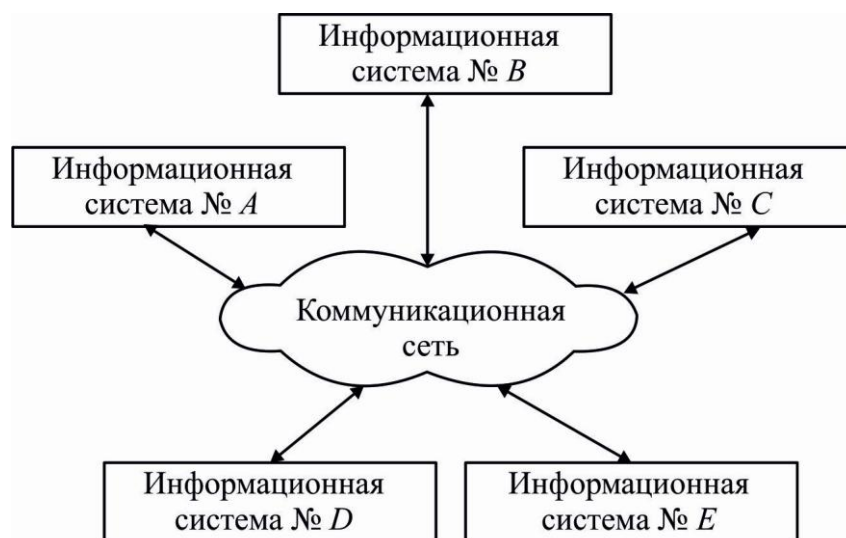


Рисунок 2.4 – Одноранговая архитектура

Одноранговые сети являются наиболее легким и дешевым типом сетей для установки. Они на компьютере требуют, кроме сетевой карты и сетевого носителя, только операционной системы Windows 2000/02 или Windows for Workgroups. При соединении компьютеров, пользователи могут предоставлять ресурсы и информацию в совместное пользование.

Одноранговые сети имеют следующие преимущества:

- они легки в установке и настройке;
- отдельные ПК не зависят от выделенного сервера;
- пользователи в состоянии контролировать свои ресурсы;
- малая стоимость и легкая эксплуатация;
- минимум оборудования и программного обеспечения;
- нет необходимости в администраторе;
- хорошо подходят для сетей с количеством пользователей, не превышающим десяти.

Проблемой одноранговой архитектуры является ситуация, когда компьютеры отключаются от сети. В этих случаях из сети исчезают виды сервиса, которые они предоставляли. Сетевую безопасность одновременно можно применить только к одному ресурсу, и пользователь должен помнить столько паролей, сколько сетевых ресурсов. При получении доступа к разделяемому ресурсу ощущается падение производительности компьютера. Существенным недостатком одноранговых сетей является отсутствие централизованного администрирования.

Использование одноранговой архитектуры не исключает применения в той же сети также архитектуры «терминал – главный компьютер» или архитектуры «клиент-сервер».

### ***Архитектура клиент-сервер***

Архитектура клиент-сервер (client-server architecture) – это концепция информационной сети, в которой основная часть ее ресурсов сосредоточена в серверах, обслуживающих своих клиентов (рис. 2.5).



Рассматриваемая архитектура определяет два типа компонентов: серверы и клиенты.

Сервер – это объект, представляющий сервис другим объектам сети по их запросам. Сервис – это процесс обслуживания клиентов.

Сервер работает по заданиям клиентов и управляет выполнением их заданий. После выполнения каждого задания сервер посылает полученные результаты клиенту, пославшему это задание.

Сервисная функция в архитектуре клиент-сервер описывается комплексом прикладных программ, в соответствии с которым выполняются разнообразные прикладные процессы.

Процесс, который вызывает сервисную функцию с помощью определенных операций, называется клиентом. Им может быть программа или пользователь.



Рисунок 2.5 – Архитектура клиент-сервер

На рисунке 2.6 приведен перечень сервисов в архитектуре клиент-сервер.

Клиенты – это рабочие станции, которые используют ресурсы сервера и предоставляют удобные интерфейсы пользователя. Интерфейсы пользователя – это процедуры взаимодействия пользователя с системой или сетью. Клиент является инициатором и использует электронную почту или другие сервисы сервера. В этом процессе клиент запрашивает вид обслуживания, устанавливает сеанс, получает нужные ему результаты и сообщает об окончании работы.

В сетях с выделенным файловым сервером на выделенном автономном ПК устанавливается серверная сетевая операционная система. Этот ПК становится сервером. Программное обеспечение (ПО), установленное на рабочей станции, позволяет ей обмениваться данными с сервером. Наиболее распространенные сетевые операционные системы:

- NetWare фирмы Novell;
- Windows NT фирмы Microsoft;
- UNIX фирмы AT&T;
- Linux.

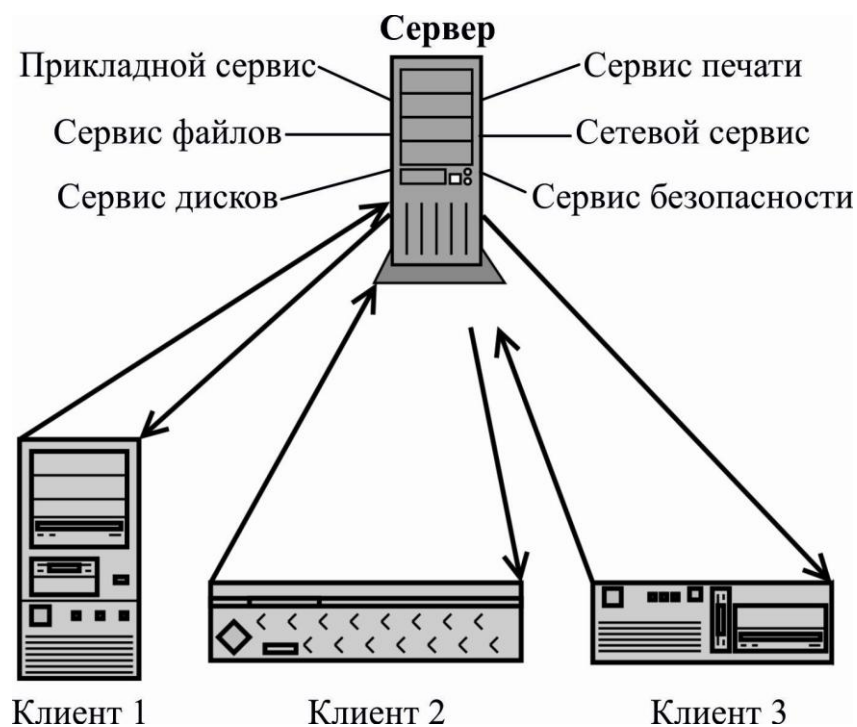


Рисунок 2.6 – Модель клиент – сервер

Помимо сетевой операционной системы необходимы сетевые прикладные программы, реализующие преимущества, предоставляемые сетью.

Сети на базе серверов имеют лучшие характеристики и повышенную надежность. Сервер владеет главными ресурсами сети, к которым обращаются остальные рабочие станции.

В современной клиент-серверной архитектуре выделяется четыре группы объектов: клиенты, серверы, данные и сетевые службы. Клиенты располагаются в системах на рабочих местах пользователей. Данные в основном хранятся в серверах. Сетевые службы являются совместно используемыми серверами и данными. Кроме того службы управляют процедурами обработки данных.

Сети клиент-серверной архитектуры имеют следующие преимущества:

- позволяют организовывать сети с большим количеством рабочих станций;
- обеспечивают централизованное управление учетными записями пользователей, безопасностью и доступом, что упрощает сетевое администрирование;
- эффективный доступ к сетевым ресурсам;
- пользователю нужен один пароль для входа в сеть и для получения доступа ко всем ресурсам, на которые распространяются права пользователя.

Наряду с преимуществами сети клиент-серверной архитектуры имеют и ряд недостатков:

- неисправность сервера может сделать сеть неработоспособной, как минимум потерю сетевых ресурсов;
- требуют квалифицированного персонала для администрирования;
- имеют более высокую стоимость сетей и сетевого оборудования.

## 2.3 Выбор архитектуры сети

Выбор архитектуры сети зависит от назначения сети, количества рабочих станций и от выполняемых на ней действий.

Следует выбрать одноранговую сеть, если:

- количество пользователей не превышает десяти;
- все машины находятся близко друг от друга;
- имеют место небольшие финансовые возможности;
- нет необходимости в специализированном сервере, таком как сервер БД, факс-сервер или какой-либо другой;
- нет возможности или необходимости в централизованном администрировании.

Следует выбрать клиент-серверную сеть, если:

- количество пользователей превышает десять;
- требуется централизованное управление, безопасность, управление ресурсами или резервное копирование;
- необходим специализированный сервер;
- нужен доступ к глобальной сети;
- требуется разделять ресурсы на уровне пользователей.

## **3 ПОСТРОЕНИЕ АСУТП НА БАЗЕ КОНЦЕПЦИИ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ**

### **3.1 Построение АСУТП на базе концепции открытых систем**

#### **3.1.1 Особенности АСУТП**

АСУТП относятся к классу сложных систем, которым присущи следующие черты:

- целенаправленность и управляемость системы, т. е. наличие у всех ее элементов общей цели;
- системный характер реализуемых алгоритмов обмена, требующий совместной обработки информации от разных источников;
- сложная иерархическая организация, предусматривающая сочетание централизованного управления с распределенностью и автономностью функциональных подсистем;
- наличие различных способов обработки информации, самоорганизации и адаптации;
- целостность и сложность поведения отдельных подсистем;
- большое число входящих в систему функциональных подсистем;
- наличие информационных связей между функциональными элементами в подсистемах, а также внешних связей с другими функциональными подсистемами, и широкого спектра дестабилизирующих воздействий, помех и т. п.

Аппаратно-программную базу АСУТП можно рассматривать как особый класс локальных вычислительных систем (ЛВС). Важнейшими свойствами открытой ЛВС будут:

- мобильность прикладных программ – возможность переноса программ с одной аппаратной платформы на другую с минимальными доработками или даже без них;
- мобильность персонала, т. е. возможность подготовки персонала для работы с системой с минимальными временными и трудовыми затратами;
- четкие условия взаимодействия частей системы и сетей с использованием открытых спецификаций.

При их построении применяется архитектурный подход. Под архитектурой будем понимать функциональные, логические, физические принципы организации сети, использующие архитектуру открытых систем (OSI – open systems interconnection).

#### **3.1.2 Работа сети**

Работа сети заключается в передаче данных от одного компьютера к другому. В этом процессе выделяются задачи:

- распознавание данных;
- разбиение данных на управляемые блоки;
- добавление информации к каждому блоку, чтобы указать местонахождение данных и получателя;
- добавление информации для синхронизации и проверки ошибок;
- размещение данных в сети и отправка их по заданному адресу.

Сетевые операционные системы (ОС) при выполнении всех задач следуют строгому набору процедур. Эти процедуры называются протоколами или правилами поведения. Протоколы регламентируют каждую сетевую операцию.

Стандартные протоколы позволяют программному и аппаратному обеспечению различных производителей нормально функционировать. Существует два главных набора стандартов: модель OSI и ее модификация – Project 802.

В 1984 г. ISO (международная организация стандартов) выпустила эталонную модель взаимодействия открытых систем (Open System Interconnection). Эта версия стала международным стандартом: именно ее спецификации используют производители при разработке сетевых продуктов, именно ее придерживаются при построении сетей.

Эта модель – широко распространенный метод описания сетевых сред. Являясь многоуровневой системой, она отражает взаимодействие программного и аппаратного обеспечения при осуществлении сеанса связи.

В модели OSI сетевые функции распределены между семью уровнями. Каждому уровню соответствует различные сетевые операции, оборудование и протоколы:

- 7 – прикладной уровень;
- 6 – представительский уровень;
- 5 – сеансовый уровень;
- 4 – транспортный уровень;
- 3 – сетевой уровень;
- 2 – канальный уровень;
- 1 – физический уровень.

На каждом уровне выполняются определенные сетевые функции, которые взаимодействуют с функциями соседних уровней.

Каждый уровень представляет несколько услуг (операций), подготавливающих данные для доставки по сети на другой компьютер. Уровни отделяются друг от друга границами – интерфейсами. Все запросы от одного уровня к другому передаются через интерфейс. Каждый уровень использует услуги нижележащего уровня.

### **3.1.3 Взаимодействие уровней модели OSI**

Задача каждого уровня это предоставление услуг вышележащему уровню, «маскируя» детали реализации этих услуг. При этом каждый уровень на одном компьютере работает так, будто он напрямую связан с таким же уровнем на другом компьютере. Эта логическая, или виртуальная, связь между одинаковыми уровнями показана на рисунке 3.1.

В действительности, связь между смежными уровнями одного компьютера осуществляет программное обеспечение (ПО), работающее на каждом уровне, реализующее определенные сетевые функции в соответствии с набором протоколов.



Рисунок 3.1 – Взаимосвязи между уровнями модели OSI

Перед подачей в сеть данные разбиваются на пакеты.

Пакет – это единица информации, передаваемая между устройствами сети как единое целое. Пакет проходит через все уровни ПО. На каждом уровне к пакету добавляется некоторая информация, форматирующая или адресная, которая необходима для успешной передачи по сети.

На принимающей стороне пакет проходит через все уровни в обратном порядке. ПО на каждом уровне читает информацию пакета, затем удаляет информацию, добавленную к пакету на этом же уровне отправляющей стороной, и передает пакет следующему уровню. Когда пакет дойдет до прикладного уровня, вся адресная информация будет удалена, и данные примут свой первоначальный вид.

Таким образом, за исключением самого нижнего уровня сетевой модели, никакой иной уровень не может непосредственно послать информацию соответствующему уровню другого компьютера. Информация на компьютере-отправителе должна пройти через все уровни. Затем она передается по сетевому кабелю на компьютер-получатель и опять проходит сквозь все слои, пока не достигнет того же уровня, с которого она была послана на компьютере-отправителе.

Взаимодействие смежных уровней осуществляется через интерфейс. Интерфейс определяет услуги, которые нижний уровень предоставляет верхнему и способ доступа к ним.

### 3.1.4 Описание уровней модели OSI

#### *Уровень 1 Физический (physical)*

Осуществляет передачу неструктурированного «сырого» потока битов по физической среде. Здесь реализуется электрический, оптический, механический и функциональный интерфейс с кабелем. Физический уровень также формирует сигналы, которые переносят данные от всех вышележащих уровней.

На этом уровне определяется способ соединения сетевого кабеля с платой сетевого адаптера, в частности, количество контактов и их функции. Кроме того, здесь определяется способ передачи данных по сетевому кабелю.

Физический уровень предназначен для передачи битов (0 и 1) от одного компьютера к другому. Содержание самих битов на данном уровне значения не имеет. Этот уровень отвечает за кодирование данных и синхронизацию битов, гарантируя, что переданная единица будет воспринята именно как 1, а не как 0. Физический уровень устанавливает длительность каждого бита, и способ перевода бита в соответствующие электрические или оптические импульсы, передаваемые по сетевому кабелю.

Физический уровень описывает физическую среду, составляющую сеть: медные провода, оптоволокно, космические спутники, пассивные и активные концентраторы, устройства связи, кабели и кабельную сеть, разъемы, мультиплексоры, трансмиттеры,

На физическом уровне определяются следующие элементы:

- типы сетевых соединений (многоточечные и двухточечные);
- физическая топология (схема сети): шинная, кольцевая, звездообразная;
- аналоговая и цифровая передача сигналов, включая различные методы кодирования данных;
- синхронизация битов между отправителем и получателем;
- передача в основной полосе частот и широкополосная передача – различные методы использования полосы пропускания;
- мультиплексирование – комбинация нескольких каналов передачи данных в один.

### ***Уровень 2 Канальный уровень(Data link)***

Осуществляет передачу кадров данных от сетевого уровня к физическому. Кадры – это логически организованная структура, в которую можно помещать данные. Канальный уровень компьютера-получателя упаковывает «сырой» поток битов, поступающих от физического уровня, в кадры данных.

Канальный уровень обеспечивает точность передачи кадров между компьютерами через физический уровень. Это позволяет сетевому уровню считать передачу данных по сетевому соединению фактически безошибочной.

Когда канальный уровень посылает кадр, он ожидает со стороны получателя подтверждения приема. Канальный уровень получателя проверяет наличие возможных ошибок передачи. Кадры, поврежденные при передаче, или кадры, получение которых не подтверждено, посылаются вторично.

Помимо данных, в каждом пакете содержится адресная информация и, иногда, запись о количестве данных в пакете. Таким образом, сеть может узнать об утрате части данных. Содержание и структура пакетов зависит от типа сети. Поэтому, если в сети используются два протокола канального уровня (например, Ethernet и Token Ring), то для того, чтобы они могли взаимодействовать между собой, следует использовать мост.

Устройствами, ассоциируемые с канальным уровнем являются мосты, интеллектуальные концентраторы и платы сетевого интерфейса.

### ***Уровень 3 Сетевой уровень (Network)***

Отвечает за адресацию сообщений и перевод логических адресов и имен в физические адреса. Исходя из конкретных сетевых условий, приоритета услуги и других факторов здесь определяется маршрут от компьютера-отправителя к компьютеру-получателю. На этом уровне решаются задачи, связанные с сетевым трафиком, как коммутация пакетов, маршрутизация и перегрузки.

Если сетевой адаптер маршрутизатора не может передавать большие блоки данных, посланные компьютером-отправителем, на сетевом уровне эти блоки разбиваются на меньшие, а сетевой уровень компьютера-получателя собирает эти данные в исходное состояние.

Протоколы сетевого уровня отвечают за определение наилучшего пути маршрутизации данных между компьютерами. Определяются сетевые адреса, такие как IP (часть протокола TCP/IP). Оптимальный путь доставки информации из одного сегмента сети в другой определяют маршрутизаторы. Протоколы не отвечают за доставку данных по конечному адресу, а только находят наилучший путь.

### ***Уровень 4 Транспортный уровень (Transport)***

Обеспечивает дополнительный уровень соединения – ниже сеансового уровня. Транспортный уровень гарантирует доставку пакетов без ошибок, в той же последовательности, без потерь и дублирования. На этом уровне сообщения переупаковываются: длинные разбиваются на несколько пакетов, а короткие объединяются в один. Это увеличивает эффективность передачи пакетов по сети. На транспортный уровень компьютера-получателя сообщения распаковываются, восстанавливаются в первоначальном виде, и посылается сигнал подтверждения приема. Транспортный уровень управляет потоком, проверяет ошибки и участвует в решении проблем, связанных с отправкой и получением пакетов.

Протоколы транспортного уровня, такие как SPX или TCP отвечают за доставку данных по логическим адресам, определяемым протоколами сетевого уровня.

### ***Уровень 5 Сеансовый уровень (Session)***

Позволяет двум приложениям на разных компьютерах устанавливать, использовать и завершать соединение, называемое сеансом. На этом уровне выполняются такие функции, как распознавание имен и защита, необходимые для связи двух приложений в сети.

Сеансовый уровень обеспечивает синхронизацию между пользовательскими задачами посредством расстановки в потоке данных контрольных точек. Таким образом, в случае сетевой ошибки, потребуется заново передать только данные, следующие за последней контрольной точкой. На этом уровне выполняется управление диалогом между взаимодействующими процессами, то есть регулируется, какая из сторон осуществляет передачу, когда, как долго и т. д.

Службы сеансового уровня предоставляет NetBIOS.



### ***Уровень 6 Представительский уровень (Presentation)***

Определяет формат, используемый для обмена данными между сетевыми компьютерами. Этот уровень можно назвать переводчиком. На компьютере-отправителе данные, поступившие от прикладного уровня, на этом уровне переводятся в общепонятный промежуточный формат. На компьютере получателя на этом уровне происходит перевод из промежуточного формата в тот, который используется Прикладным уровнем данного компьютера. Представительский уровень отвечает за преобразование протоколов, трансляцию данных, их шифрование, смену или преобразование применяемого набора символов (кодовой таблицы и расширение графических команд). Представительский уровень, кроме того, управляет сжатием данных для уменьшения передаваемых битов.

На этом уровне работает утилита, называемая редиректором. Ее назначение – переадресовывать операции ввода/вывода к ресурсам сервера.

### ***Уровень 7 Прикладной уровень (Application)***

Представляет собой окно для доступа прикладных программ к сетевым услугам. Этот уровень обеспечивает услуги, напрямую поддерживающие приложения пользователя, такие как программное обеспечение для передачи файлов, доступа к базам данных и электронная почта. Нижеследующие уровни поддерживают задачи, выполняемые на прикладном уровне. Прикладной уровень управляет общим доступом к сети, потоком данных и обработкой ошибок.

## **3.2 Топология сети**

### **3.2.1 Виды сетей**

Способ соединения компьютеров в сети называется топологией. Существуют следующие виды сетей: LAN (Local Area Network); MAN (Metropolitan Area Network); WAN (Wide Area Network); GAN (Global Area Network).

В данном курсе будем рассматривать только локальные сети.

Локальная сеть представляет собой соединение нескольких компьютеров с помощью соответствующего аппаратного и программного обеспечения.

Преимущества от сети:

- распределение данных. Данные в сети хранятся на центральном компьютере и могут быть доступны для любого, подключенного к сети. Поэтому не надо на каждом рабочем месте иметь накопители для хранения одной и той же информации;

- распределение ресурсов. Периферийные устройства могут быть доступны для всех пользователей сети (факс, принтер и др.);

- распределение программ. Все пользователи сети могут иметь доступ к программам, которые были один раз централизованно установлены. При этом должна работать сетевая версия соответствующих программ;

- электронная почта. Все пользователи сети могут передавать или принимать сообщения.

Центральный компьютер всей локальной сети называется файловый сервер (сервер). Остальные компьютеры рабочие станции – клиенты.

### 3.2.2 Топология типа «звезда»

Концепция топологии сети в виде звезды пришла из области больших ЭВМ, в которой головная машина получает и обрабатывает все данные с периферийных устройств как активный узел обработки данных. Этот принцип применяется в системах передачи данных, например, в электронной почте сети Relcom. Вся информация между двумя периферийными рабочими местами проходит через центральный узел вычислительной сети.

Пропускная способность сети определяется вычислительной мощностью узла и гарантируется для каждой рабочей станции. Коллизий (столкновений) данных не возникает.

Кабельное соединение довольно простое, так как каждая рабочая станция связана с узлом. Затраты на прокладку кабелей высокие, особенно когда центральный узел географически расположен не в центре топологии.

При расширении вычислительных сетей не могут быть использованы ранее выполненные кабельные связи: к новому рабочему месту необходимо прокладывать отдельный кабель из центра сети.

Топология в виде звезды (рис. 3.2) является наиболее быстродействующей из всех топологий вычислительных сетей, поскольку передача данных между рабочими станциями проходит через центральный узел (при его хорошей производительности) по отдельным линиям, используемым только этими рабочими станциями. Частота запросов передачи информации от одной станции к другой невысока, по сравнению с достигаемой в других топологиях.

Производительность вычислительной сети в первую очередь зависит от мощности центрального файлового сервера. Он может быть узким местом вычислительной сети. В случае выхода из строя центрального узла нарушается работа всей сети.

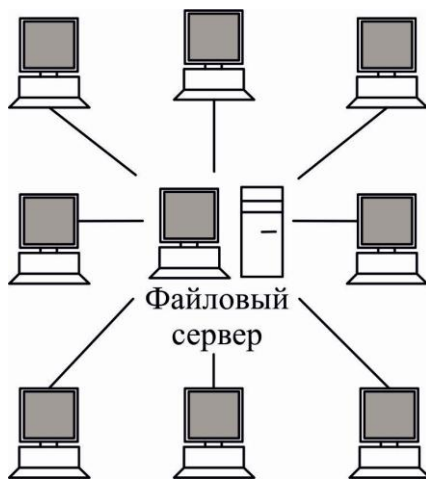


Рисунок 3.2 – Топология звезда

Центральный узел управления – файловый сервер реализует оптимальный механизм защиты против несанкционированного доступа к информации. Вся вычислительная сеть может управляться из ее центра.

Сеть типа звезда имеет достоинства:

- повреждение кабеля является проблемой для одного конкретного компьютера и в целом не сказывается на работе сети;
- просто выполняется подключение, так как рабочая станция (РС) должна соединяться только с сервером;
- надежный механизм защиты от несанкционированного доступа;
- высокая скорость передачи данных от рабочей станции к серверу.

Недостатки:

- если сервер находится не в центре сети, то подключение к нему удаленных станций может быть дорогим;
- передача данных от рабочих станций к серверу и обратно происходит быстро, а скорость передачи данных между отдельными рабочими станциями мала;
- мощность всей сети зависит от возможностей сервера. Если он недостаточно оснащен или плохо сконфигурирован, то будет являться тормозом для всей системы.
- невозможна коммуникация между отдельными компьютерами без сервера.

### 3.2.3 Кольцевая топология

При кольцевой топологии сети (рис. 3.3) рабочие станции связаны одна с другой по кольцу, т. е. рабочая станция 1 с рабочей станцией 2, рабочая станция 3 с рабочей станцией 4 и т. д. Последняя рабочая станция связана с первой. Коммуникационная связь замыкается в кольцо.

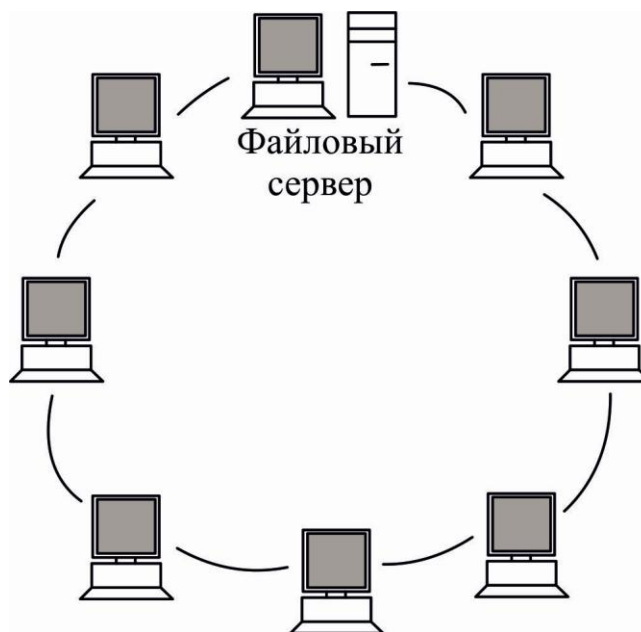


Рисунок 3.3 – Кольцевая топология

Прокладка кабелей от одной рабочей станции до другой может быть довольно сложной и дорогостоящей, особенно если географическое расположение рабочих станций далеко от формы кольца (например, в линию).

Сообщения циркулируют регулярно по кругу. Рабочая станция посылает по определенному конечному адресу информацию, предварительно получив из кольца запрос. Пересылка сообщений является очень эффективной, так как большинство сообщений можно отправлять «в дорогу» по кабельной системе одно за другим. Очень просто можно сделать кольцевой запрос на все станции. Продолжительность передачи информации увеличивается пропорционально количеству рабочих станций, входящих в вычислительную сеть.

Основная проблема при кольцевой топологии заключается в том, что каждая рабочая станция должна активно участвовать в пересылке информации, и в случае выхода из строя хотя бы одной из них вся сеть парализуется. Неисправности в кабельных соединениях локализуются легко.

Подключение новой рабочей станции требует краткосрочного выключения сети, так как во время установки кольцо должно быть разомкнуто. Ограничения на протяженность вычислительной сети не существует, так как оно, в конечном счете, определяется исключительно расстоянием между двумя рабочими станциями.

Специальной формой кольцевой топологии является логическая кольцевая сеть (рис. 3.4).

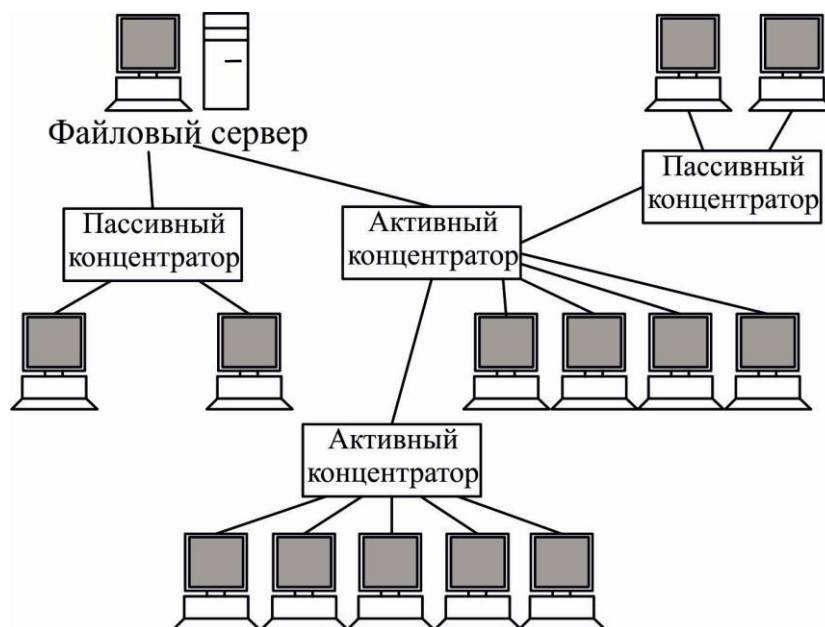


Рисунок 3.4 – Кольцевая логическая топология

Физически кольцевая логическая топология монтируется как соединение звездных топологий. Отдельные звезды включаются с помощью специальных коммутаторов (англ. Hub – концентратор), которые по-русски также иногда называют «хаб». В зависимости от числа рабочих станций и длины кабеля между рабочими станциями применяют активные или пассивные концентраторы.

Активные концентраторы дополнительно содержат усилитель для подключения от 4 до 16 рабочих станций. Пассивный концентратор является исключительно разветвительным устройством (максимум на три рабочие станции). Управление отдельной рабочей станцией в логической кольцевой сети происходит так же, как и в обычной кольцевой сети. Каждой рабочей станции присваивается соответствующий ей адрес, по которому передается управление (от старшего к младшему и от самого младшего к самому старшему). Разрыв соединения происходит только для нижерасположенного (ближайшего) узла вычислительной сети, так что лишь в редких случаях может нарушаться работа всей сети.

Преимущества:

- так как информация постоянно циркулирует по кругу между последовательно соединенными компьютерами, то существенно сокращается время доступа к этим данным;

- нет ограничений на длину всей сети, то в сети имеет значение только расстояние между отдельными компьютерами.

Недостатки:

- время передачи данных увеличивается пропорционально числу соединенных в кольцо компьютеров;

- каждая рабочая станция причастна к передаче данных. Выход из строя одной станции может парализовать всю сеть, если не используются специальные переходные соединения;

- при подключении новых рабочих станций сеть должна быть кратковременно выключена.

### 3.2.4 Шинная топология

При шинной топологии среда передачи информации представляется в форме коммуникационного пути, доступного для всех рабочих станций, к которому они должны быть подключены. Все рабочие станции могут непосредственно вступать в контакт с любой рабочей станцией, имеющейся в сети (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Структура шинной топологии

Рабочие станции в любое время без прерывания работы всей вычислительной сети, могут быть подключены к ней или отключены. Функционирование вычислительной сети не зависит от состояния отдельной рабочей станции.

В стандартной ситуации для шинной сети Ethernet часто используют тонкий кабель или Cheapernet-кабель с тройниковым соединителем.

Отключение и особенно подключение к такой сети требуют разрыва шины, что вызывает нарушение циркулирующего потока информации и зависание системы.

Новые технологии предлагают пассивные штепсельные коробки, через которые можно отключать и/или подключать рабочие станции во время работы вычислительной сети.

Благодаря тому, что рабочие станции можно подключать без прерывания сетевых процессов и коммуникационной среды, очень легко прослушивать информацию, т. е. ответвлять информацию из коммуникационной среды.

В ЛВС с прямой (не модулируемой) передачей информации всегда может существовать только одна станция, передающая информацию. Для предотвращения коллизий в большинстве случаев применяется временной метод разделения, согласно которому для каждой подключенной рабочей станции в определенные моменты времени предоставляется исключительное право на использование канала передачи данных. Поэтому требования к пропускной способности вычислительной сети при повышенной нагрузке повышаются, например, при вводе новых рабочих станций. Рабочие станции присоединяются к шине посредством устройств ТАР (Terminal Access Point – точка подключения терминала). ТАР представляет собой специальный тип соединения к коаксиальному кабелю. Зонд игольчатой формы внедряется через наружную оболочку внешнего проводника и слой диэлектрика к внутреннему проводнику и присоединяется к нему.

В ЛВС с модулированной широкополосной передачей информации различные рабочие станции получают, по мере надобности, частоту, на которой рабочие станции могут отправлять и получать информацию. Пересылаемые данные модулируются на соответствующих несущих частотах, т. е. между средой передачи информации и рабочими станциями находятся соответственно модемы для модуляции и демодуляции. Техника широкополосных сообщений позволяет одновременно транспортировать в коммуникационной среде довольно большой объем информации. Для дальнейшего развития дискретной транспортировки не играет роли, какая первоначальная информация подана в модем (аналоговая или цифровая), так как она все равно в дальнейшем будет преобразована.

Достоинства:

- небольшие затраты на кабель;
- рабочие станции в любой момент времени могут быть установлены или отключены без прерывания работы всей сети;
- рабочие станции могут коммутироваться без сервера.

Недостатки:

- при обрыве кабеля выходит из строя весь участок от места разрыва;
- возможность несанкционированного подключения к сети, поскольку для увеличения числа РС нет необходимости в прерывании работы сети.

### 3.2.5 Выбор топологии

Существует множество факторов, которые необходимо учитывать при выборе наиболее подходящей к данной ситуации топологии (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Основные характеристики и топологии вычислительных сетей

Характеристики	Топологии вычислительных сетей		
	Звезда	Кольцо	Шина
Стоимость расширения	Незначительная	Средняя	Средняя
Присоединение абонентов	Пассивное	Активное	Пассивное
Защита от отказов	Незначительная	Незначительная	Высокая
Размеры системы	Любые	Любые	Ограниченны
Защищенность от прослушивания	Хорошая	Хорошая	Незначительная
Стоимость подключения	Незначительная	Незначительная	Высокая
Поведение системы при высоких нагрузках	Хорошее	Удовлетворительное	Плохое
Возможность работы в реальном режиме времени	Очень хорошая	Хорошая	Плохая
Разводка кабеля	Хорошая	Удовлетворительная	Хорошая
Обслуживание	Очень хорошее	Среднее	Среднее

### 3.2.6 Древовидная структура ЛВС

Наряду с известными топологиями вычислительных сетей «кольцо», «звезда», «шина», на практике применяется и комбинированная, например древовидная (рис. 3.6). Она образуется в основном в виде комбинаций вышеназванных топологий вычислительных сетей. Основание дерева вычислительной сети (корень) располагается в точке, в которой собираются коммуникационные линии информации (ветви дерева).

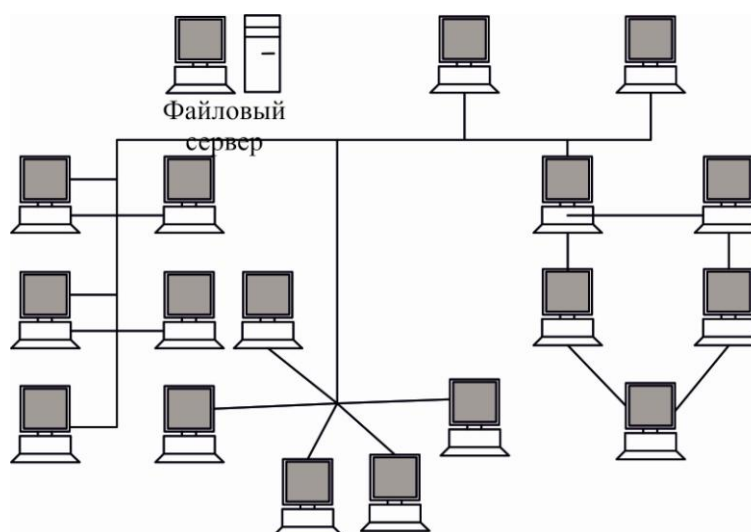


Рисунок 3.6 – Древовидная структура ЛВС

Вычислительные сети с древовидной структурой применяются там, где невозможно непосредственное применение базовых сетевых структур в чистом виде. Для подключения большого числа рабочих станций соответственно адаптерным платам применяют сетевые усилители и/или коммутаторы. Коммутатор, обладающий одновременно и функциями усилителя, называют активным концентратором.

На практике применяют две их разновидности, обеспечивающие подключение соответственно восьми или шестнадцати линий.

Устройство, к которому можно присоединить максимум три станции, называют пассивным концентратором. Пассивный концентратор обычно используют как разветвитель. Он не нуждается в усилителе. Предпосылкой для подключения пассивного концентратора является то, что возможное максимальное расстояние до рабочей станции не должно превышать нескольких десятков метров.



## **4 КОМПОНЕНТЫ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ**

### **4.1 Состав локальной сети**

Локальная сеть состоит из трех основных аппаратных компонент и двух программных, которые должны работать согласованно. Для корректной работы устройств в сети их нужно правильно установить и установить рабочие параметры. Основными аппаратными компонентами сети являются следующие:

- абонентские системы: компьютеры (рабочие станции или клиенты и серверы); принтеры; сканеры и др.;
- сетевое оборудование: сетевые адаптеры; концентраторы (хабы); мосты; маршрутизаторы и др.;
- коммуникационные каналы: кабели; разъемы; устройства передачи и приема данных в беспроводных технологиях.

Основными программными компонентами сети являются следующие:

- сетевые операционные системы, где наиболее известные из них это: Windows NT; Windows for Workgroups; LANtastic; NetWare; Unix; Linux и т. д.;
- сетевое программное обеспечение (Сетевые службы): клиент сети; сетевая карта; протокол; служба удаленного доступа.

Локальная сеть – это совокупность компьютеров, каналов связи, сетевых адаптеров, работающих под управлением сетевой операционной системы и сетевого программного обеспечения.

В ЛВС каждый ПК называется рабочей станцией, за исключением одного или нескольких компьютеров, которые предназначены для выполнения функций.

### **4.2 Файловый сервер (ФС)**

Файловому серверу в сети принадлежит центральная роль и поэтому должен использоваться достаточно мощный компьютер с развитой периферией в зависимости от числа подключенных рабочих станций (Pentium). Компьютер с шинами EISA, MCA, VLB, PCI гарантирует более быструю передачу данных, чем шина ISA.

ФС предоставляет средства, позволяющие пользователям сети совместно работать с файлами. Файловый сервис реализуется с помощью сетевых приложений с функциями хранения, извлечения и перемещения данных. В настоящее время существуют такие популярные ФС Windows NT, Windows Server, Net Ware, Banyan VINES.

Типы файлового сервиса: передача файлов; хранение файлов и перенос данных; синхронизация файлов при обновлении; архивирование файлов;

Передача файлов – пользователи пересылают файлы между клиентами и серверами. Каждая сетевая операционная система (ОС) имеет свой уровень защиты файлов.

Хранение файлов и перенос данных. Сетевой администратор должен находить наиболее приемлемый и эффективный способ хранения всех данных.

Существуют три основные категории устройств для хранения: оффлайновые (автономные), онлайнные (неавтономные); полуавтономные.

Неавтономные устройства представляют собой жесткие диски. Информацию с них можно получать очень быстро. Память дорога. Диски нельзя часто менять.

В автономных устройствах используются магнитные ленты и сменные оптические диски. Вмещают большие объемы информации. Недостаток – необходимость их установки на компьютер.

Полуавтономные устройства недороги и вмещают большие объемы информации. Установка их происходит автоматически.

Синхронизация файлов при обновлении необходима для обеспечения наличия у каждого пользователя последней версии файла (Ф). Отслеживая метку даты/времени Ф и имена пользователей, синхронизация Ф гарантирует внесение в них изменений в хронологическом порядке и правильное обновление.

Архивирование файлов – это процесс резервного копирования на автономные устройства.

Кроме файловых серверов существуют: серверы печати; серверы приложений; серверы сообщений; серверы баз данных.

### **4.3 Рабочие станции (РС)**

Их оснащение в сети зависит от сервера. Если ФС выделена центральная роль, то в качестве РС могут использоваться менее мощные машины.

В одноранговой сети, чем лучше отдельные станции, тем лучше распределение ресурсов внутри всей сети. Дорогие периферийные устройства (модемы, факсы, принтеры, жесткие сменные диски и т. д.) необходимо устанавливать на одной рабочей станции (ресурсы доступны всем пользователям).

Рабочая станция (workstation) – это абонентская система, специализированная для решения определенных задач и использующая сетевые ресурсы. К сетевому программному обеспечению рабочей станции относятся следующие службы:

- клиент для сетей;
- служба доступа к файлам и принтерам;
- сетевые протоколы для данного типа сетей;
- сетевая плата;
- контроллер удаленного доступа.

Рабочая станция отличается от обычного автономного персонального компьютера следующим:

- наличием сетевой карты (сетевое адаптера) и канала связи;
- на экране во время загрузки ОС появляются дополнительные сообщения, которые информируют о том, что загружается сетевая операционная система;
- перед началом работы необходимо сообщить сетевому программному обеспечению имя пользователя и пароль. Это называется процедурой входа в сеть;

- после подключения к ЛВС появляются дополнительные сетевые дисковые накопители;
- появляется возможность использования сетевого оборудования, которое может находиться далеко от рабочего места.

#### **4.4 Сетевые адаптеры**

Компьютеры в сеть подключаются с помощью плат сетевых адаптеров. Плата сетевого адаптера в сочетании с драйвером обеспечивает выполнение функций протоколов Канального уровня, используемых компьютером, подключенным к сети, такой как Ethernet или Token Ring, а также части функций Физического уровня. Помимо этого сетевой адаптер устанавливает связь между протоколом Сетевого уровня, который целиком и полностью реализуется средствами операционной системы, и сетевой средой передачи данных, в большинстве случаев являющейся кабелем, подсоединенным к адаптеру. Рабочая станция отправляет запрос через сетевой адаптер к файловому серверу и получает ответ через сетевой адаптер, когда файловый сервер готов. Сетевые адаптеры вместе с сетевым программным обеспечением способны распознавать и обрабатывать ошибки, которые могут возникнуть из-за электрических помех, коллизий или плохой работы оборудования.

Последние типы сетевых адаптеров поддерживают технологию Plug and Play (вставляй и работай). Если сетевую карту установить в компьютер, то при первой загрузке система определит тип адаптера и запросит для него драйверы.

Различные типы сетевых адаптеров отличаются не только методами доступа к каналу связи и протоколами, но еще и следующими параметрами:

- скорость передачи;
- объем буфера для пакета;
- тип шины;
- быстродействие шины;
- совместимость с различными микропроцессорами;
- использованием прямого доступа к памяти (DMA);
- адресация портов ввода/вывода и запросов прерывания;
- конструкция разъема.

Сетевой адаптер и его драйвер осуществляют основные функции, необходимые для доступа компьютера к сети. Процесс пересылки данных состоит из следующих шагов (которые, естественно, при получении пакета располагаются в обратном порядке).

##### **4.4.1 Передача данных**

Данные, размещенные в оперативной памяти компьютера, передаются сетевому адаптеру через системную шину. При этом применяется одна из следующих технологий: прямой доступ к памяти (DMA – direct memory access), общая память или программируемый ввод/вывод.

#### **4.4.2 Размещение данных в буфере**

Скорость, с которой компьютер обрабатывает информацию, отличается от скорости передачи данных по сети. Как следствие, плата сетевого адаптера содержит буферы памяти, которые используются для накопления и хранения данных с той целью, чтобы эти данные можно было обрабатывать порциями фиксированного объема. Обычная плата адаптера Ethernet имеет буфер размером 4 Кбайт, поделенный на части для передачи и приема, по 2 Кбайт каждая. Платы Token Ring и адаптеры Ethernet высокого класса могут обладать буфером размером 64 Кбайт и более, который может быть разбит на области приема и передачи произвольным образом.

#### **4.4.3 Создание кадра**

Сетевой адаптер получает данные, упакованные протоколом сетевого уровня, и инкапсулирует их в кадр, который включает собственно заголовок Канального уровня и постинформацию. В зависимости от размера пакета и используемого протокола Канального уровня, адаптеру, возможно, также потребуется поделить данные на сегменты соответствующего размера для передачи их в сеть. Кадры Ethernet, например, переносят 1500 байт данных, в то время как кадры Token Ring могут содержать сегменты размером до 4500 байт. Для входящего трафика сетевой адаптер считывает информацию в кадры Канального уровня, проверяет их на наличие ошибок и определяет, должен ли пакет быть передан следующему уровню протокольного стека. Если да, то адаптер удаляет оболочку кадра Канального уровня и передает вложенные данные протоколу Сетевого уровня.

#### **4.4.4 Управление доступом к среде**

Сетевой адаптер также несет ответственность за арбитраж доступа системы к общей среде передачи данных, что обеспечивается соответствующим механизмом управления доступом к среде (MAC, media access control). Нам известно, что необходимо предотвращать передачу данных по сети несколькими системами одновременно, так как неконтролируемая передача может привести к потере данных в результате возникновения коллизии пакетов. Механизм управления доступом к среде – отдельный, наиболее подробно описываемый в руководствах, элемент протокола Канального уровня. Метод множественного доступа с контролем несущей и обнаружением коллизий (CSMA/CD, Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), применяемый в сетях Ethernet, радикально отличается от аппарата доступа с передачей маркера, поддерживаемого сетями Token Ring, но основные функции этих механизмов, в конечном счете, одни и те же (для входящего трафика нет необходимости в использовании механизма управления доступом к среде).

#### **4.4.5 Параллельное/последовательное преобразование**

Системная шина, соединяющая сетевой адаптер и массив основной памяти компьютера, осуществляет обмен данными в параллель –

по 16 бит или 32 бита одновременно, в то время как адаптер передает и принимает данные из сети последовательно – по одному биту. Сетевой адаптер отвечает за размещение получаемых параллельно данных в своем буфере и преобразование этих данных в последовательный поток битов для последующей передачи через сетевую среду. Для данных, получаемых из сети, описанный процесс носит обратный характер.

#### 4.4.6 Кодирование/декодирование данных

Компьютер работает с данными в двоичной форме, поэтому, прежде чем они смогут быть переданы по сети, их необходимо закодировать способом, подходящим для сетевой среды передачи данных, а входящие сигналы должны быть, соответственно, декодированы при приеме. Рассматриваемый и следующий шаг являются процессами физического уровня, реализуемыми непосредственно сетевым адаптером. Для медного кабеля данные переводятся в электрические импульсы, для оптоволоконной линии – преобразуются в световые импульсы. Другие среды передачи могут использовать радиоволны, инфракрасное излучение или иные технологии. Схема кодирования определяется задействованным протоколом канального уровня. Например, в Ethernet применяется манчестерская перекодировка, а в сетях Token Ring – разностное манчестерское кодирование.

#### 4.4.7 Прием/передача данных

На этом шаге сетевой адаптер усиливает сигнал до подходящей амплитуды и посылает закодированные им данные через сетевую среду. Это – чисто физический процесс, целиком и полностью зависящий от природы сигнала, используемого сетевой средой.

Платы сетевого адаптера используют различные шины компьютера. Характеристики этих шин и соответствующие им пропускные способности приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Типы, разрядность и быстродействие шин ПК

Тип шины	Разрядность	Частота шины	Теоретическая максимальная пропускная способность
ISA	16 разрядов	8,33 МГц	66,64 Мбит/с (8,33 Мбайт/с)
MCA	32 бита	10 МГц	320 Мбит/с (40 Мбайт/с)
EISA	32 разряда	8,33 МГц	266,56 Мбит/с (33,32 Мбайт/с)
VLB	32 разряда	33,33 МГц	1066,56 Мбит/с (133,33 Мбайт/с)
PCI	32 разряда	33,33 МГц	1066,56 Мбит/с (133,33 Мбайт/с)

#### 4.5 Сетевые программные средства

Основное направление развития современных Сетевых Операционных Систем (англ. Network Operation System – NOS) – перенос вычислительных операций на рабочие станции, создание систем с определенной обработкой данных. Это в первую очередь связано с ростом вычислительных возможностей персональных компьютеров и все более активным внедрением мощных

многозадачных операционных систем: OS/2, Windows NT и Windows Me. Кроме этого внедрение объектно-ориентированных технологий (OLE, ActiveX, ODBC и т. д.) позволяет упростить организацию распределенной обработки данных. В такой ситуации основной задачей NOS становится объединение неравноценных операционных систем рабочих станций и обеспечение транспортного уровня для широкого круга задач: обработка баз данных, передача сообщений, управление распределенными ресурсами сети (англ. directory/name service).

NOS определяет группу протоколов, обеспечивающих основные функции сети. К ним относятся:

- адресация объектов сети;
- функционирование сетевых служб;
- обеспечение безопасности данных;
- управление сетью.

В современных NOS применяют три основных подхода к организации управления ресурсами сети.

Первый – это Таблицы Объектов (англ. Bindery). Используется в сетевых операционных системах NetWare 4.0 и NetWare 3.XX. Такая таблица находится на каждом файловом сервере сети. Она содержит информацию о пользователях, группах, их правах доступа к ресурсам сети (данным, сервисным услугам, печати через сетевой принтер и т. п.). Такая организация работы удобна, если в сети только один сервер. В этом случае требуется определить и контролировать только одну информационную базу. При расширении сети, добавлении новых серверов объем задач по управлению ресурсами сети резко возрастает. Администратор системы вынужден на каждом сервере сети определять и контролировать работу пользователей. Абоненты сети, в свою очередь, должны точно знать, где расположены те или иные ресурсы сети, а для получения доступа к этим ресурсам регистрироваться на выбранном сервере. Конечно, для информационных систем, состоящих из большого количества серверов, такая организация работы не подходит.

Второй подход используется в LAN Server и Windows NT Server – Структура доменов (англ. Domain). Все ресурсы сети и пользователи объединены в группы. Домен можно рассматривать как аналог таблиц объектов (англ. bindery), только здесь такая таблица является общей для нескольких серверов, при этом ресурсы серверов являются общими для всего домена. Поэтому пользователю, для того чтобы получить доступ к сети, достаточно подключиться к домену (зарегистрироваться), после этого ему становятся доступны все ресурсы домена, ресурсы всех серверов и устройств, входящих в состав домена. Однако и с использованием этого подхода также возникают проблемы при построении информационной системы с большим количеством пользователей, серверов и, соответственно, доменов, например, сети для предприятия или большой разветвленной организации. Здесь эти проблемы уже связаны с организацией взаимодействия и управления несколькими доменами, хотя по содержанию они такие же, как и в первом случае.

Третий подход – Служба Наименований Директорий или Каталогов (англ. Directory Name Services – DNS) лишен этих недостатков. Все ресурсы сети: сетевая печать, хранение данных, пользователи, серверы и т.п. рассматриваются как отдельные ветви или директории информационной системы. Таблицы, определяющие DNS, находятся на каждом сервере. Это, во-первых, повышает надежность и живучесть системы, а во-вторых, упрощает обращение пользователя к ресурсам сети. Зарегистрировавшись на одном сервере, пользователю становятся доступны все ресурсы сети. Управление такой системой также проще, чем при использовании доменов, так как здесь существует одна таблица, определяющая все ресурсы сети, в то время как при доменной организации необходимо определять ресурсы, пользователей, их права доступа для каждого домена отдельно.

В настоящее время наиболее распространенными сетевыми операционными системами являются NetWare 3.XX и 4.XX (Novell Inc., Windows NT Server Microsoft Corp. и LAN Server IBM Corp.).

Наиболее распространенными сетевыми ОС являются: Apple Talk фирмы Apple; LANtastic фирмы Artisoft; NetWare фирмы Novell; NetWare Lite фирмы Novell; Personal Net Ware фирмы Novell; NFS фирмы Sun Nickosystems; OS/2 LAN Manager фирмы Microsoft; OS/2 LAN Manager фирмы IBM; Windows NT Server фирмы Microsoft; POWERLAN фирмы Performance Technology; Vines фирмы Banyan.

## 4.6 Кабели

В сети данные циркулируют по кабелям, соединяющим отдельные компьютеры различным образом в зависимости от выбранной топологии сети.

Наибольшую известность в мире получили три вида локальных сетей: Ethernet, Arcnet, Token Ring, которые различаются методами доступа к каналам передачи данных. Среди этих сетей наибольшее распространение получил Ethernet (низкие цены на сети, работающие по этому стандарту).

Кабель имеет центральный проводник (металлический проводник или оптоволоконную жилу), заключенный в пластмассовую оболочку. Типы кабеля: витая пара, коаксиальный кабель и волоконно-оптический кабель. Витая пара (twisted pair) может быть неэкранированной (unshielded – UTP) и экранированной (shielded – STP). В таблице 4.2 перечислены характеристики типов кабельной среды.

При выборе оптимального типа носителя следует учитывать вышеприведенные характеристики среды передачи данных:

- стоимость каждой среды передачи данных следует сравнивать с ее производительностью и доступными ресурсами;
- инсталляция каждой сети имеет свои особенности и надо найти наиболее приемлемое жизнеспособное решение;
- пропускная способность. Возможность среды передачи данных оценивается по полосе пропускания. Носитель с высокой пропускной способностью имеет большую полосу пропускания, с низкой – малую;

– число узлов – это число компьютеров, которые можно легко подключать к сетевым кабелям;

– затухание сигналов. При передаче электромагнитные сигналы слабеют. Это явление называется затуханием. Транслируемые сигналы теряют свою мощность, поглощаются и уходят в неверном направлении, что накладывает ограничения на расстояние, преодолеваемое сигналами до наступления неприемлемого уровня. Превышение такого ограничения может привести к ошибкам или отказу сети;

– электромагнитные помехи (electromagnetic interference – EMI) влияют на передаваемый сигнал. Они вызываются внешними электромагнитными волнами, искажающими полезный сигнал, что затрудняет его декодирование принимающим компьютером.

Таблица 4.2 – Характеристики кабеля

Фактор	UTP	STP	Коаксиальный	Волоконно-оптический
Стоимость	Самая низкая	Умеренная	Умеренная	Самая высокая
Инсталляция	Простая	Достаточно простая	Достаточно простая	Сложная
Полоса пропускания	От 1 до 155 Мбит/с	От 1 до 155 Мбит/с	Типичная 10 Мбит/с	2 Гбит/с
Количество узлов в сегменте	2	2	30(10Base2) 100(10Base5)	2
Затухание	сильное	сильное	низкое	низкое
EMI	наиболее подвержен электромагнитным помехам и перехвату сигнала	менее уязвим, чем UTP, но также подвержен электромагнитным помехам и перехвату сигнала	менее уязвим, чем UTP, но также подвержен электромагнитным помехам и перехвату сигнала	не подвержен EMI и перехвату сигнала

Проблемой является возможность перехвата сигнала, особенно если в сети необходима высокая степень защиты.

В большинстве сетей применяются три основных группы кабелей:

– коаксиальный кабель (КК) (coaxial cable);  
– витая пара (ВП) (twisted pair): неэкранированная (unshielded); экранированная (shielded); оптоволоконный кабель (ОК) (fiber optic).

КК состоит из медной жилы, изоляции жилы, экрана в виде металлической оплетки и внешней оболочки. Некоторые типы кабелей покрывает металлическая сетка - экран, который не позволяет помехам



исказить данные. Жила окружена изоляционным слоем. Снаружи КК покрыт непроводящим слоем из резины, тефлона или пластика. КК более помехоустойчив, затухание сигнала в нем меньше, чем в витой паре.

Существует два типа КК: тонкий и толстый. Выбор типа КК зависит от потребностей конкретной сети.

#### **4.6.1 Тонкий КК**

Тонкий КК – гибкий кабель Ø 0,5 см. Прост в применении и годится практически для любого типа сети. Подключается непосредственно к платам сетевого адаптера компьютера. Тонкий КК способен передавать сигнал на расстояния до 185 м без заметного искажения. Тонкий КК относится к семейству RG-58, его волновое сопротивление 58 Ом: RG-58/U (сплошная медная жила); RG-58A/U (переплетение проводов); RG-58C/U (военный стандарт для RG – 58A/U); RG-59 (используется для широкополосной передачи); RG-6 (имеет больший Ø, чем RG-59, для более высоких частот); RG-62 (используется в сетях Arc Net).

#### **4.6.2 Толстый КК**

Толстый КК – с Ø 1 см. Чем толще кабель, тем большее расстояние способен преодолеть сигнал. Толстый КК передает до 500 м. Для подключения к толстому КК применяют специальное устройство – трансивер. Трансивер снабжен специальным коннектором (соединитель), и называется «зуб вампира» или пронизывающий ответвитель.

Тонкий КК гибок, прост в установке и относительно не дорог. Толстый КК трудно гнуть и устанавливать, дороже тонкого, но он передает сигналы на большие расстояния.

Для подключения тонкого КК к компьютеру используются BNC-коннекторы (British Novel Connector). В этом семействе несколько основных компонентов:

- BNC-коннектор припаивается или обжимается на конце кабеля;
- BNC Т-коннектор соединяет сетевой кабель с сетевой платой компьютера;
- BNC баррел-коннектор применяется для сращивания двух отрезков тонкого КК;
- BNC-терминатор.

Выбор того или иного класса КК зависит от того, где кабель будет прокладываться. Существует два типа:

- поливинилхлоридные прокладывают на открытых участках помещений, при горении выделяют ядовитые газы.
- пленумные прокладывают в области пленума (небольшое пространство между фальшь-потолком и перекрытием – для вентиляции).

Слой изоляции и внешняя оболочка пленумного кабеля выполнены из специальных огнеупорных материалов, которые при горении выделяют минимальное количество дыма.

### 4.6.3 Витая пара (ВП)

Существует два вида тонкого кабеля: неэкранированная (unshielded) витая пара (UTP) и экранированная (shielded) витая пара (STP). Завивка проводов позволяет избавиться от электрических помех, наводимых соседними парами и другими источниками (двигатели, реле, трансформаторы).

Неэкранированная ВП (спецификация 10 Base T) широко используется в локальных сетях. Существует несколько спецификаций, которые регулируют количество витков на единицу длины – в зависимости от назначения кабеля. Стандарт EIA/TIA 568 устанавливает пять категорий UTP:

- категория 1 – традиционный телефонный кабель, по которому можно передавать только речь, а не данные;
- категория 2 – кабель, способный передавать данные со скоростью до 4 Мбит/с; состоит из 4-х витых пар;
- категория 3 – кабель, способный передавать данные со скоростью до 10 Мбит/с; состоит из 4-х ВП с 9-ю витками на метр;
- категория 4 – кабель, способный передавать данные со скоростью до 16 Мбит/с; состоит из 4-х ВП;
- категория 5 – кабель, способный передавать данные со скоростью до 100 Мбит/с; состоит из 4-х ВП.

Экранированная витая пара имеет медную оплетку, которая обеспечивает большую защиту, чем неэкранированная ВП.

### 4.6.4 Оптоволоконный кабель (ОК)

В ОК цифровые данные распространяются по оптическим волокнам в виде модулированных световых импульсов. Это надежный способ передачи данных. Оптоволоконные линии предназначены для перемещения больших объемов данных на очень больших скоростях, сигнал в них не затухает и не искажается.

Для передачи по кабелю кодированных сигналов используют две технологии – узкополосную передачу и широкополосную.

Узкополосные (baseband) передают данные в виде цифрового сигнала одной частоты. Сигналы представляют собой дискретные электрические или световые импульсы. При таком способе вся емкость коммуникационного канала используется для передачи одного импульса или цифровой сигнал использует всю полосу пропускания кабеля. Полоса пропускания – это разница между максимальной и минимальной частотой. Каждое устройство в сетях с узкополосной передачей посылает данные в обоих направлениях. Продвигаясь по кабелю, сигнал постепенно затухает и может исказиться. Чтобы избежать этого, в узкополосных системах используют репитеры, которые усиливают сигнал и ретранслируют его в дополнительные сегменты.

Широкополосные (broadband) системы передают сигнал в виде аналогового сигнала, который использует некоторый интервал частот. Сигналы представляют собой непрерывные электромагнитные или оптические волны. При таком способе сигналы передаются по физической среде в одном направлении. Если обеспечить необходимую полосу пропускания,

то по одному кабелю одновременно может работать несколько систем и компьютеры должны быть настроены так, чтобы работать именно с выделенной частью полосы пропускания. В широкополосной системе сигнал передается только в одном направлении, и чтобы устройства могли принимать и передавать данные, необходимо обеспечить два пути прохождения сигнала. Ниже приведена таблица 4.3 для сравнения кабелей.

Таблица 4.3 – Таблица сравнения кабелей

Характеристика	Тонкий КК (10 Base 2)	Толстый КК (10 Base 5)	Витая пара (10 Base T)	Оптоволоконный кабель
Стоимость	Дороже ВП	Дороже тонкого КК	Самый дешевый	Самый дорогой
Эффективная длина кабеля	185 м	500 м	100 м	2 км
Скорость передачи	10 Мбит/с	10 Мбит/с	4-100 Мбит/с	100 Мбит/с и выше
Гибкость	Довольно гибкий	Менее гибкий	Самый гибкий	Не гибкий
Простота установки	Прост в установке	Прост в установке	Очень прост в установке	Труден в установке
Подверженность помехам	Хорошая защита	Хорошая защита	Подвержен помехам	Не подвержен помехам
Особые свойства	Электронные компоненты дешевле, чем у витой пары	То же		Поддерживает речь, видео, данные
Рекомендуемые применения	Средние или большие сети с высокими требованиями к защите данных	То же	UTP – самый дешевый вариант; STP – Token Ring любого размера	Сети любого размера с высокими требованиями к скорости передачи, уровню защиты и целостности данных

Все приведенные в таблице 4.3 характеристики необходимо учитывать при выборе кабеля.

## **5 ПРОТОКОЛЫ. СЕТЕВЫЕ АРХИТЕКТУРЫ**

### **5.1 Описание протоколов**

Протоколы – это правила и технические процедуры, позволяющие нескольким компьютерам при объединении в сеть общаться друг с другом.

Следует запомнить три основных момента:

- существует множество протоколов. Все они участвуют в реализации связи, но каждый протокол имеет различные цели, выполняет различные задачи, обладает своими преимуществами и ограничениями;

- протоколы работают на разных уровнях модели OSI. Функции протокола определяются уровнем, на котором он работает. Например, протокол на физическом уровне, – это означает, что он обеспечивает прохождение пакетов через плату сетевого адаптера и их поступление в сетевой кабель;

- несколько протоколов могут работать совместно. Это стек, или набор протоколов.

Как сетевые функции распределены по всем уровням модели OSI, так и протоколы совместно работают на различных уровнях стека протоколов. Уровни в стеке протоколов соответствуют уровням модели OSI. В совокупности протоколы дают полную характеристику функциям и возможностям стека.

### **5.2 Работа протоколов**

Передача данных по сети, с технической точки зрения, должна быть разбита на ряд последовательных шагов, каждому из которых соответствуют свои правила и процедуры, или протокол. Таким образом, сохраняется строгая очередность в выполнении определенных действий.

Кроме того, эти действия должны быть выполнены в одной и той же последовательности на каждом сетевом компьютере. На компьютере-отправителе эти действия выполняются в направлении вниз, а на компьютере-получателе снизу вверх.

Компьютер-отправитель в соответствии с протоколом выполняет следующие действия:

- разбивает данные на небольшие блоки, называемые пакетами, с которыми может работать протокол;

- добавляет к пакетам адресную информацию, чтобы компьютер-получатель мог определить, что эти данные предназначены ему;

- подготавливает данные к передаче через плату сетевого адаптера и далее – по сетевому кабелю.

Компьютер-получатель в соответствии с протоколом выполняет те же действия, но только в обратном порядке:

- принимает пакеты данных из сетевого кабеля;

- через плату сетевого адаптера передает пакеты в компьютер;

- удаляет из пакета всю служебную информацию, добавленную компьютером-отправителем;

- копирует данные из пакетов в буфер для объединения в исходный блок данных;
- передает приложению этот блок данных в том формате, который он использует.

Работа различных протоколов должна быть скоординирована так, чтобы исключить конфликты или незаконченные операции. Этого можно достичь с помощью разбиения на уровни.

### 5.3 Стеки протоколов

Стеки протоколов – это комбинация протоколов. Каждый уровень определяет различные протоколы для управления функциональными связями или ее подсистемами. Каждому уровню присущ свой набор правил. На рисунке 5.1 показана модель OSI и уровни протоколов.

Прикладной уровень	Инициация или прием запроса
Представительский уровень	Добавление в пакет форматирующей, отображающей и шифрующей информации
Сеансовый уровень	Добавление информации и трафике с указанием момента отправки пакета
Транспортный уровень	Добавление информации для обработки ошибок
Сетевой уровень	Добавление адресной информации и информации о месте пакета в последовательности передаваемых пакетов
Канальный уровень	Добавление информации для проверки ошибок и подготовка данных для передачи по физическому соединению
Физический уровень	Передача пакета как потока битов

Рисунок 5.1 – Модель OSI и уровни протоколов

Так же как и уровни в модели OSI, нижние уровни стека описывают правила взаимодействия оборудования, изготовленного разными производителями. А верхние уровни описывают правила проведения сеансов связи и интерпретации приложений. Чем выше уровень, тем сложнее становятся решаемые им задачи и связанные с этими задачами протоколы.

Привязка позволяет с достаточной гибкостью настраивать сеть, то есть сочетать протоколы и платы сетевых адаптеров, как того требует ситуация. Например, два стека протоколов IPX/SPX могут быть привязаны к одной плате СА. Если на компьютере более одной платы СА, то стек протоколов (СП) может быть привязан как к одной, так и нескольким платам СА.

Порядок привязки определяет очередность, с которой ОС выполняет протоколы. Если с одной платой СА связано несколько протоколов,

то порядок привязки определяет очередность, с которой будут использоваться протоколы при попытках установить соединение. Обычно привязку выполняют при установке ОС или протокола. Например, если TCP/IP первый протокол в списке привязки, то именно он будет использоваться, при попытке установить связь. Если попытка неудачна, компьютер попытается установить соединение, используя следующий по порядку протокол в списке привязки.

Привязка не ограничивается установкой соответствия стеков протоколов плате СА. СА должен быть привязан к компонентам, уровни которых и выше, и ниже его уровня. Так TCP/IP наверху может быть привязан к сетевому уровню NetBIOS, а внизу – к драйверу платы СА. Драйвер, в свою очередь, привязан к плате СА.

В компьютерной промышленности в качестве стандартных моделей протоколов разработано несколько стеков. Важные: набор протоколов ISO/OSI; IBM System Network Architecture (SNA); Digital DECnet<sup>TM</sup>; Novell NetWare; Apple AppleTalk®; набор протоколов Интернета TCP/IP.

На рисунке 5.2 показано отображение протоколов на модель OSI.

	Базовая среда IP	Базовая среда IP	Windows OS/2	Windows OS/2	NetWare
Уровень приложений	Telnet, FTP, SMTP, HTTP	SNMP, TFTP, DNS, BOOTP	SMB	SMB	NCP
Уровень предоставления данных					
Сеансовый уровень					
Транспортный уровень	TCP	UDP	UDP/TCP		SPX/SPXII
Сетевой уровень	IP	IP	IP		IPX
Канальный уровень	LLC Ethernet, LLC Token Ring, FDDI, Региональные сети	LLC Ethernet, LLC Token Ring, FDDI, Региональные сети	LLC Ethernet, LLC Token Ring, FDDI, Региональные сети	LLC Ethernet, LLC Token Ring, FDDI, Региональные сети	LLC Ethernet, LLC Token Ring, FDDI, Региональные сети
Физический уровень	Любой носитель информации	Любой носитель информации	Любой носитель информации	Любой носитель информации	Любой носитель информации

Рисунок 5.2 – Отображение популярных протоколов на модель OSI

Протоколы этих стеков выполняют работу специфичную для своего уровня. Однако, коммуникационные задачи, которые возложены на сеть, приводят к разделению протоколов на три типа: прикладной; транспортный, сетевой (рис. 5.3).

Прикладной уровень	Пользователи услугами сети прикладного уровня
Представительский уровень	
Сеансовый уровень	
Транспортный уровень	Транспортные службы
Сетевой уровень	Сетевые службы
Канальный уровень	
Физический уровень	

Рисунок 5.3 – Модель OSI и типы протоколов

### 5.3.1 Прикладные протоколы (ПП)

Прикладные протоколы работают на верхнем уровне модели OSI. Они обеспечивают взаимодействие приложений и обмен данными между ними. К наиболее популярным ПП относятся:

- Telnet – протокол Интернета для регистрации на удаленных хостах и обработки данных на них;
- FTP (File Transfer Protocol) – протокол Интернета для передачи файлов;
- SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) – протокол Интернета для обмена электронной почтой;
- SNMP (Simple Network Management Protocol) – протокол Интернета для мониторинга сети и сетевых компонентов;
- TFTP (Trivial File Transfer Protocol) – простейший протокол передачи данных для доставки выполняемого файла бездисковой клиентской системе;
- DNS (Domain Name System) – служба централизованного разрешения имен;
- BOOTP (Bootstrap Protocol) – протокол динамической конфигурации хоста;
- SMB (Server Message Blocks) – блоки серверных сообщений;
- NCP (Network Control Protocol) – протокол управления сетью с целью определения параметров соединения для каждого из протоколов Сетевого устройства;
- NetBIOS (Network Basic Input/Output System) – сетевая базовая система ввода вывода
- NetBEUI (NetBIOS Extended User Interface) – расширенный пользовательский интерфейс сетевой BIOS.

### 5.3.2 Транспортные протоколы

Транспортные протоколы поддерживают сеансы связи между компьютерами и гарантируют надежный обмен данными между ними.

К популярным транспортным протоколам относятся:

- TSP (Transmission Control Protocol – протокол для гарантированной доставки данных, разбитых на последовательность фрагментов;
- SPX – часть набора протоколов IPX/SPX (Interwork Packet Exchange/Sequential Packet Exchange) – для данных, разбитых на последовательность фрагментов, фирмы Novell;
- NetBEUI – устанавливает сеансы связи между компьютерами (NetBIOS) и представляет верхним уровням транспортные услуги (NetBEUI);
- ATP (Apple Talk Transaction Protocol), NBP (Name Binding Protocol) – протоколы сеансов связи и транспортировки данных фирмы Apple.

### **5.3.3 Сетевые протоколы**

Сетевые протоколы обеспечивают услуги связи. Эти протоколы управляют несколькими типами данных: адресацией, маршрутизацией, проверкой ошибок и запросами на повторную передачу. Сетевые протоколы, кроме того, определяют правила для осуществления связи в конкретных сетевых средах, например, Ethernet или Token Ring.

К популярным сетевым относятся:

- IP (Internet Protocol) – протокол для передачи пакетов;
- IPX (Internet work Packet Exchange) – протокол фирмы NetWare для передачи и маркировки пакетов;
- DDP (Datagram Delivery Protocol) – Apple Talk протокол для транспортировки данных.

## **5.4 Сетевые архитектуры**

Понятие сетевые архитектуры (СА) включает общую структуру сети, т. е. все компоненты, благодаря которым сеть функционирует, в том числе аппаратные средства и системное программное обеспечение. Наиболее часто используемые архитектуры: Ethernet, Token Ring, Arc Net.

### **5.4.1 ETHERNET**

ETHERNET – самая популярная сетевая архитектура. Она использует узкополосную передачу со скоростью 10 Мбит/с, топологию «шина», а для регулирования трафика в основном сегменте кабеля CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection – множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий) – метод доступа, используемый в топологиях «шина» и «звезда». Алгоритм множественного доступа с прослушиванием несущей и разрешением коллизий приведен на рисунке 5.4.

Рабочие станции «прослушивают» канал передачи данных, чтобы определить, не осуществляет ли уже другая станция передачу кадра данных. Если ни одна из станций не передает, «слушающая станция» посылает свои данные. Суть «прослушивания» проверить наличие несущей (определенного уровня напряжения или света).





Рисунок 5.4 – Алгоритм CSMA/CD

Среда (кабель) Ethernet является пассивной, т. е. получает питание от компьютера. Следовательно, она прекратит работу из-за физического повреждения или неправильного подключения терминатора.

Сеть Ethernet имеет следующие характеристики:

- традиционная топология – линейная шина;
- другие топологии – звезда, шина;
- тип передачи – узкополосная;
- метод доступа – CSMA/CD;
- спецификации – IEEE 802.3;
- скорость передачи данных – 10 и 100 Мбит/с;
- кабельная система – толстый и тонкий коаксиальный, UTP.

#### 5.4.2 Кадр Ethernet

Кадр Ethernet – это последовательность бит, которая начинает и заканчивает каждый пакет Ethernet, передаваемый по сети. Кадр состоит из заголовка и постинформации, которые окружают и инкапсулируют данные,

генерируемые протоколами вышележащих уровней модели OSI. Информация в заголовке и постинформации указывает адрес системы, пославшей пакет, и системы, которая должна получить его, а также выполняет несколько других функций, важных для доставки к месту назначения.

### 5.4.3 Кадр IEEE 802.3

Основной формат кадра Ethernet, определенный стандартом IEEE 802.3, выглядит, как показано на рисунке 5.5. Функции отдельных полей рассматриваются ниже.

	Преамбула (7 байтов) Начальный разделитель (1 байт)
	Адрес назначения (6 байтов)
	Адрес источника (6 байтов)
	Длина (2 байта)
	Данные и заполнение (46-1500 байтов)
	Контрольная последовательность кадра (4 байта)

Рисунок 5.5 – Кадр Ethernet окружает информацию, передаваемую от сетевого уровня вниз по стеку протоколов, и подготавливает её для передачи

### 5.4.4 Преамбула и начальный разделитель

Преамбула состоит из 7 байтов с перемежающимися значениями 0 и 1, которые системы используют для синхронизации генераторов тактовых импульсов, а затем отбрасывают. Применение в Ethernet манчестерской системы кодирования требует, чтобы генераторы тактовых импульсов, взаимодействующих систем были синхронизированы, т. е. заключили соглашение о длительности времени, прохождения бита.

Большинство производимых сегодня сетевых адаптеров разработаны для синхронизации в течение временного интервала, достигающего времени прохождения 11 бит, но это не абсолютное значение. Для того чтобы указать начало действительной передачи пакета, отправитель передает 1-байтовый начальный разделитель, который продолжает последовательность из перемежающихся 0 и 1, за исключением двух последних бит, которые оба содержат 1. Это – сигнал получателю, что любые последующие за ним данные являются частью пакета и должны быть считаны в буфер памяти сетевого адаптера для последующей обработки.

Системы в холостом режиме (т. е. не осуществляющие в данный момент передачу или процесс исправления коллизии) не способны принимать какие-либо данные, пока они обрабатывают сигналы последовательности бит преамбулы в ходе подготовки к последующей передаче данных.

Во время передачи преамбулы принимающая система синхронизирует генератор тактовых импульсов с генератором отправителя, но при этом получатель не знает о том, как много бит из 7 байт преамбулы прошли, прежде чем он включился в синхронизацию.

#### **5.4.5 Адрес назначения и исходный адрес**

Адресация является наиболее важной функцией кадра Ethernet. Так как кадр можно представить как «конверт» для данных сетевого уровня, переносимых внутри него, то ему требуется наличие адресов отправителя и получателя. Адреса протокола Ethernet, использующиеся для идентификации систем сети, имеют длину шесть байт и «защиты» в платы сетевых адаптеров машины. Эти адреса называются аппаратными адресами или MAC-адресами. Аппаратный адрес каждого адаптера Ethernet уникален. IEEE присваивает трехбайтовый префикс производителям плат сетевых адаптеров. Он называется уникальным идентификатором изготовителя (OUI, organizationally unique identifier). Остальные три байта аппаратного адреса производители назначают сами.

Поле адреса назначения идентифицирует систему, которой был отправлен пакет. Адрес может указывать на конечную систему, которой предназначен пакет, если эта система находится в локальной сети, либо адрес может принадлежать устройству, предоставляющему доступ в другую сеть, например, маршрутизатору. Адреса канального уровня всегда указывают на следующую точку остановки пакета в локальной сети. Контроль прохождения по всему маршруту между конечными точками осуществляет сетевой уровень, который и предоставляет адрес места назначения пакета.

Каждый узел в сети Ethernet считывает целевой адрес из заголовка пакета, передаваемого по сети, для того, чтобы определить, не содержит ли заголовок адрес этого узла. Система, считавшая заголовок кадра и зная свой собственный адрес, считывает пакет целиком в буфер памяти и обрабатывает его. Адрес назначения, полностью состоящий, из двоичных единиц означает, что пакет широковещательный, т. е. предназначен для всех систем сети. Определенные адреса могут быть групповыми. Они идентифицируют группу систем в сети, которые все должны принять посланное сообщение.

Поле исходного адреса содержит шестибайтовый MAC-адрес системы, отправившей пакет.

Значения полей адреса назначения, и адреса источника формирует драйвер сетевого адаптера системы, передающей пакет.

#### **5.4.6 Длина**

Поле длины кадра IEEE 802.3 составляет два байта и указывает на количество данных (в байтах), переносимых кадром в качестве полезной нагрузки. Его значение включает только действительные содержащиеся

в пакете данные вышележащих уровней. Оно не включает размеры полей заголовка, информации, а также любой нагрузки, которая могла быть добавлена к данным для того, чтобы обеспечить минимальный размер для пакета Ethernet (64 байта). Максимальный размер для пакета Ethernet, включая кадр, составляет 1518 байт. Поскольку кадр состоит из 18 байт, то наибольшее значение поля длины равно 1500.

#### **5.4.7 Данные и дополнение**

Рассматриваемое поле содержит полезные данные пакета, т. е. внутреннее содержимое оболочки. Передаваемые вниз протоколом сетевого уровня данные включают первоначальное сообщение, созданное приложением или процессом верхнего уровня, и информацию заголовка, добавляемую протоколами промежуточных уровней. Помимо этого пакет, соответствующий стандарту 802.3, содержит 3-байтовый заголовок уровня управления логической связью (LLC), также размещенный в поле данных.

Например, пакет, содержащий имя хоста Интернета, которое должно быть преобразовано DNS-сервером в IP-адрес, состоит из первоначального сообщения DNS, заголовка, добавленного на транспортном уровне протоколом UDP, заголовка, добавленного на сетевом уровне протоколом IP, и заголовка LLC. Хотя эти три дополнительных заголовка не являются частью первоначального сообщения, для протокола Ethernet они представляют просто полезные данные, которые переносятся в поле данных, равно как и любая информация. Также как и почтовые работники, которые не подозревают о содержимом передаваемого ими письма, протокол Ethernet не имеет знаний о содержимом внутри оболочки.

Чтобы механизм выявления коллизий мог функционировать, готовый пакет Ethernet (исключая преамбулу и начальный разделитель) должен быть длиной минимум 64 байта. Таким образом, за вычетом 18 байт кадра, поле данных должно иметь размер не менее 46 байт. Если «полезная нагрузка» полученная от протокола сетевого уровня, слишком короткая, то адаптер добавляет строку ничего не значащих битов для того, чтобы дополнить поле данных до необходимого размера.

Наибольшая длина для пакета Ethernet составляет 1518 байт, соответственно, поле данных не может быть больше, чем 1500 байт (включая заголовок LLC).

#### **5.4.8 Контрольная последовательность кадра**

Последние 4 байта кадра, следующие за полем данных (и дополнением, если оно есть), содержат значение контрольной суммы, которое принимающий узел задействует для определения целостности пакета. Непосредственно перед передачей сетевой адаптер узла, отправляющего сообщение, вычисляет избыточный циклический код (CRC) для всех остальных полей пакета (за исключением преамбулы и начального разделителя), используя полиномиальный алгоритм AUTODIN II. Значение CRC уникально для данных, используемых для его вычисления.

Когда пакет достигает своего места назначения, сетевой адаптер принимающей системы считывает содержимое кадра и выполняет вычисления по тому же алгоритму. Сравнивая свежеполученное значение с тем, что содержится в поле контрольной последовательности кадра (FCS, frame check sequence), система с высокой вероятностью может убедиться в том, что один из битов пакета не был изменен. Если значения совпадают, система принимает пакет и помещает его в буферы памяти для дальнейшей обработки. Если значения не совпадают, система объявляет ошибку сверки (alignment error) и отбрасывает кадр. Система также отвергает кадр, если количество бит в пакете не кратно 8. Если кадр отброшен, то протоколы вышележащих уровней выявляют его отсутствие и организуют повторную передачу.

Сети Ethernet используют различные варианты кабелей и топологий, основанные на спецификации IEEE.

### 5.5 Стандарты IEEE на 10 Мбит/с

В стандартах IEEE на 10 Мбит/с существует 4 топологии: 10 Base T; 10 Base 2; 10 Base 5; 10 Base FL.

10 BASE T (10-скорость передачи данных 10 Мбит/с, BASE- узкополосная, T-витая пара) сеть Ethernet для соединения компьютеров обычно используют неэкранированную витую пару (UTP), можно и экранированную (STP).

Большинство сетей этого типа строятся в виде звезды, но по системе передачи сигналов представляют собой шину (рис. 5.6). Обычно концентратор сети 10 Base T выступает как многопортовый репитер (усилитель).

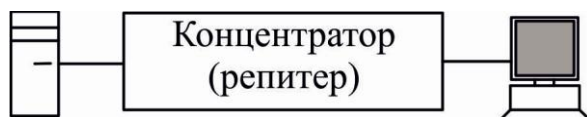


Рисунок 5.6 – Топология 10 Base T

Характеристика топологии 10 Base T представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Характеристика топологии 10 Base T

Категория	Характеристика
Кабель	Категория 3, 4 или 5 UTP
Соединители	RG-45 на концах кабеля
Трансивер (устройство для приема и передачи сигналов)	Нужен каждому компьютеру
Расстояние от трансивера до концентратора	100 max
Магистраль для соединения концентраторов	Коаксиальный или оптоволоконный кабель
Общее количество PC в ЛС	По спецификации до 1024

10 BASE 2 (где 10 – 10 Мбит/с, Base-узкополосная передача, расстояние до 185 м).

Сеть такого типа ориентирована на тонкий коаксиальный кабель, или тонкий Ethernet с максимальной длиной сегмента 185 м, минимальная длина кабеля 0,5 м (рис. 5.7).

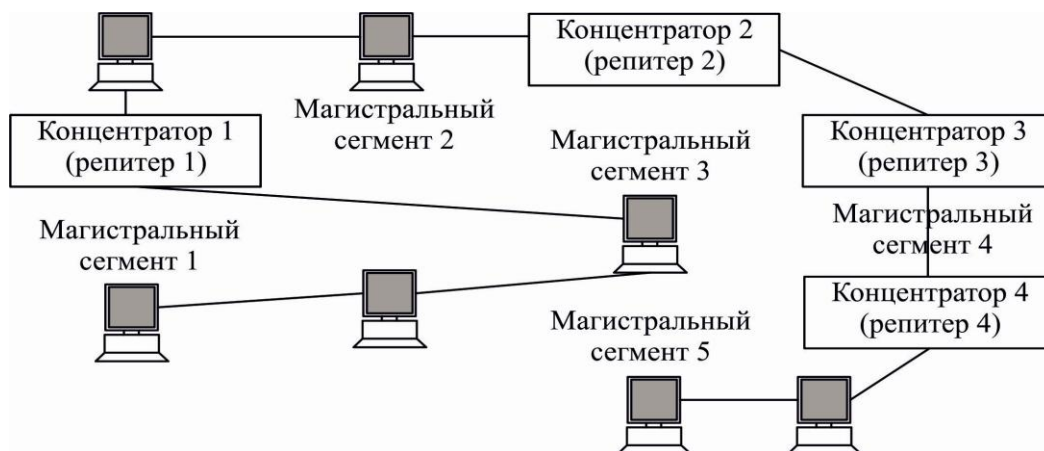


Рисунок 5.7 – Топология 10 Base 2

Компоненты кабеля «тонкий Ethernet»:

- BNC баррел-коннекторы (для удлинения кабеля);
- BNC T-коннекторы (соединяют сетевой кабель с сетевой платой);
- BNC-терминаторы.

Сети на тонком Ethernet имеют топологию «шина».

Характеристика топологии 10 Base 2 представлена в таблице 5.2.

Таблиц 5.2 – Характеристика топологии 10 Base 2

Категория	Характеристика
Максимальная длина сегмента	185 м
Соединение с платой сетевого адаптера	BNC T-коннектор
Количество магистральных сегментов и репитеров	Используя 4 репитера, можно соединить 5 сегментов
Максимальное количество РС на сегмент	По спецификации 30
Количество сегментов, к которым можно подключить РС	3 сегмента из 5
Максимальная общая длина сети	925 м
Общее количество РС в сети	1024

10 BASE 5 – Стандартный Ethernet (10 – скорость передачи 10 Мбит/с, Base – узкополосная передача, 5 – сегменты по 500 м).

Компоненты кабельной сети:

- трансиверы, обеспечивают связь между РС и главным кабелем ЛС, совмещены с «зубом вампира», соединенным с кабелем;
- кабели трансиверов соединяют трансивер с платой сетевого адаптера;
- DIX-коннектор (Digital Intel Xerox connector), или AUI-коннектор;
- этот коннектор расположен на кабеле трансивера;
- коннекторы N-серии и терминаторы N-серии.

Характеристика топологии 10 Base 5 представлена в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Характеристика топологии 10 Base 5

Категория	Характеристика
Максимальная длина сегмента	500 м
Трансиверы	Соединены с сегментом
Максимальное расстояние между компьютером и трансивером	50 м
Минимальное расстояние между трансиверами	2,5 м
Количество магистральных сегментов и репитеров	Используя 4 репитера, можно соединить 5 сегментов
Количество сегментов, к которым могут быть подключены РС	3 сегмента из 5

Сравнительная характеристика топологий сети Ethernet представлена в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Сравнительная характеристика топологий сети Ethernet

Топология	10 Base 2	10 Base 5	10 Base T
	Шина	Шина	Звезда, Шина
Тип кабеля	RG-58 (тонкий, коаксиальный)	Толстый Ethernet Кабель трансивера экранированная витая пара	Неэкранированная витая пара категории 3, 4 или 5
Соединение с платой СА	BN CT- коннектор	DIX-коннектор, AUI-коннектор	RG-45
Сопротивление терминатора, Q	50	50	Не используется
Волновое сопротивление	50±2	50±2	85-115 для UTP 135-165 для STP
Расстояние, м	От 0,5 между РС	От 2,5 между Тр и до 50 между Тр и РС	До 100 между трансивером (Тр) и концентратором
Максимальная длина кабельного сегмента	185	500	100
Максимальное число соединенных сегментов	5 (с использованием 4-х репитеров)	Тоже	Не определено
Максимальная длина сети	925	2460	Не используется
Максимальное число РС на сегмент	30 (в сети м.б. 1024 РС)	100	1 (каждая РС имеет собственный кабель)

Таким образом, были рассмотрены существующие протоколы и сетевые структуры.

## **6 ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СОВРЕМЕННЫМ СЕТЯМ. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ АСУТП**

### **6.1 Производительность**

Потенциально высокая производительность – это одно из основных свойств распределенных систем, к которым относятся локальные сети. Это свойство обеспечивается возможностью распараллеливания работ между несколькими компьютерами сети. К сожалению, эту возможность не всегда удается реализовать.

Существует несколько основных характеристик производительности сети:

- время реакции;
- пропускная способность;
- задержка передачи и вариация задержки передачи.

Время реакции сети является интегральной характеристикой производительности сети с точки зрения пользователя. Именно эту характеристику имеет в виду пользователь, когда говорит: «Сегодня сеть работает медленно».

В общем случае время реакции определяется как интервал времени между возникновением запроса пользователя к какой-либо сетевой службе и получением ответа на этот запрос.

Значение этого показателя зависит от типа службы, к которой обращается пользователь, от того, какой пользователь и к какому серверу обращается, а также от текущего состояния элементов сети – загруженности сегментов, коммутаторов и маршрутизаторов, через которые проходит запрос, загруженности сервера и т. п.

Поэтому имеет смысл использовать также и средневзвешенную оценку времени реакции сети, усредняя этот показатель по пользователям, серверам и времени дня (от которого в значительной степени зависит загрузка сети).

Время реакции сети обычно складывается из нескольких составляющих. В общем случае в него входит время подготовки запросов на клиентском компьютере, время передачи запросов между клиентом и сервером через сегменты сети и промежуточное коммуникационное оборудование, время обработки запросов на сервере, время передачи ответов от сервера клиенту и время обработки получаемых от сервера ответов на клиентском компьютере.

Ясно, что пользователя разложение времени реакции на составляющие не интересует – ему важен конечный результат, однако для сетевого специалиста очень важно выделить из общего времени реакции составляющие, соответствующие этапам собственно сетевой обработки данных, – передачу данных от клиента к серверу через сегменты сети и коммуникационное оборудование.

Знание сетевых составляющих времени реакции дает возможность оценить производительность отдельных элементов сети, выявить узкие места и в случае необходимости выполнить модернизацию сети для повышения ее общей производительности.



Пропускная способность отражает объем данных, переданных сетью или частью в единицу времени. Пропускная способность уже не является пользовательской характеристикой, так как она говорит о скорости выполнения внутренних операций сети – передачи пакетов данных между узлами сети через различные коммуникационные устройства. Зато она непосредственно характеризует качество выполнения основной функции сети – транспортировки сообщений – и поэтому чаще используется при анализе производительности сети, чем время реакции.

Пропускная способность измеряется либо в битах в секунду, либо в пакетах в секунду. Пропускная способность может быть мгновенной, максимальной, средней.

Средняя пропускная способность вычисляется путем деления общего объема переданных данных на время их передачи, причем выбирается достаточно длительный промежуток времени – час, день или неделя.

Мгновенная пропускная способность отличается от средней тем, что для усреднения выбирается очень маленький промежуток времени – например, 10 мс или 1 с.

Максимальная пропускная способность – это наибольшая мгновенная пропускная способность, зафиксированная в течение периода наблюдения.

Чаще всего при проектировании, настройке и оптимизации сети используются такие показатели, как средняя и максимальная пропускные способности. Средняя пропускная способность отдельного элемента или всей сети позволяет оценить работу сети на большом промежутке времени, в течение которого в силу закона больших чисел пики и спады интенсивности трафика компенсируют друг друга. Максимальная пропускная способность позволяет оценить возможности сети справляться с пиковыми нагрузками, характерными для особых периодов работы сети, например утренних часов, когда сотрудники предприятия почти одновременно регистрируются в сети и обращаются к разделяемым файлам и базам данных.

Пропускную способность можно измерять между любыми двумя узлами или точками сети, например, между клиентским компьютером и сервером, между входным и выходным портами маршрутизатора. Для анализа и настройки сети очень полезно знать данные о пропускной способности отдельных элементов сети.

Важно отметить, что из-за последовательного характера передачи пакетов различными элементами сети общая пропускная способность сети любого составного пути в сети будет равна минимальной из пропускных способностей составляющих элементов маршрута. Для повышения пропускной способности составного пути необходимо в первую очередь обратить внимание на самые медленные элементы – в данном случае таким элементом, скорее всего, будет маршрутизатор. Следует подчеркнуть, что если передаваемый по составному пути трафик будет иметь среднюю интенсивность, превосходящую среднюю пропускную способность самого медленного элемента пути, то очередь пакетов к этому элементу будет расти теоретически до бесконечности, а практически –

до тех пор, пока не заполнится его буферная память. А затем пакеты просто начнут отбрасываться и теряться.

Иногда полезно оперировать с общей пропускной способностью сети, которая определяется как среднее количество информации, переданной между всеми узлами сети в единицу времени. Этот показатель характеризует качество сети в целом, не дифференцируя его по отдельным сегментам или устройствам.

Обычно при определении пропускной способности сегмента или устройства в передаваемых данных не выделяются пакеты какого-то определенного пользователя, приложения или компьютера – подсчитывается общий объем передаваемой информации. Тем не менее, для более точной оценки качества обслуживания такая детализация желательна, и в последнее время системы управления сетями все чаще позволяют ее выполнять.

Задержка передачи определяется как задержка между моментом поступления пакета на вход какого-либо сетевого устройства или части сети и моментом появления его на выходе этого устройства. Этот параметр производительности по смыслу близок ко времени реакции сети, но отличается тем, что всегда характеризует только сетевые этапы обработки данных, без задержек обработки компьютерами сети. Обычно качество сети характеризуют величинами максимальной задержки передачи и вариацией задержки. Не все типы трафика чувствительны к задержкам передачи, во всяком случае, к тем величинам задержек, которые характерны для компьютерных сетей, – обычно задержки не превышают сотен миллисекунд, реже – нескольких секунд. Такого порядка задержки пакетов, порождаемых файловой службой, службой электронной почты или службой печати, мало влияют на качество этих служб с точки зрения пользователя сети. С другой стороны, такие же задержки пакетов, переносящих голосовые данные или видеозображение, могут приводить к значительному снижению качества предоставляемой пользователю информации – возникновению эффекта эха, невозможности разобрать некоторые слова, дрожание изображения и т. п.

Пропускная способность и задержки передачи являются независимыми параметрами, так что сеть может обладать, например, высокой пропускной способностью, но вносить значительные задержки при передаче каждого пакета.

## **6.2 Надежность и безопасность**

Одной из первоначальных целей создания распределенных систем, к которым относятся и локальные сети, являлось достижение большей надежности по сравнению с отдельными вычислительными машинами.

Важно различать несколько аспектов надежности. Для технических устройств используются такие показатели надежности, как среднее время наработки на отказ, вероятность отказа, интенсивность отказов. Однако эти показатели пригодны для оценки надежности простых элементов и устройств, которые могут находиться только в двух состояниях – работоспособном или неработоспособном. Сложные системы, состоящие из многих элементов, кроме состояний работоспособности и неработоспособности, могут иметь

и другие промежуточные состояния, которые эти характеристики не учитывают. В связи с этим для оценки надежности сложных систем применяется другой набор характеристик.

Готовность или коэффициент готовности (availability) означает долю времени, в течение которого система может быть использована. Готовность может быть улучшена путем введения избыточности в структуру системы: ключевые элементы системы должны существовать в нескольких экземплярах, чтобы при отказе одного из них функционирование системы обеспечивали другие.

Чтобы систему можно было отнести к высоконадежным, она должна как минимум обладать высокой готовностью, но этого недостаточно. Необходимо обеспечить сохранность данных и защиту их от искажений. Кроме этого, должна поддерживаться согласованность (непротиворечивость) данных, например, если для повышения надежности на нескольких файловых серверах хранится несколько копий данных, то нужно постоянно обеспечивать их идентичность.

Так как сеть работает на основе механизма передачи пакетов между конечными узлами, то одной из характерных характеристик надежности является вероятность доставки пакета узлу назначения без искажений. Наряду с этой характеристикой могут использоваться и другие показатели: вероятность потери пакета (по любой из причин – из-за переполнения буфера маршрутизатора, из-за несовпадения контрольной суммы, из-за отсутствия работоспособного пути к узлу назначения и т. д.), вероятность искажения отдельного бита передаваемых данных, отношение потерянных пакетов к доставленным.

Другим аспектом общей надежности является безопасность (security), то есть способность системы защитить данные от несанкционированного доступа. В распределенной системе это сделать гораздо сложнее, чем в централизованной. В сетях сообщения передаются по линиям связи, часто проходящим через общедоступные помещения, в которых могут быть установлены средства прослушивания линий. Другим уязвимым местом могут быть оставленные без присмотра персональные компьютеры. Кроме того, всегда имеется потенциальная угроза взлома защиты сети от неавторизованных пользователей, если сеть имеет выходы в глобальные сети общего пользования.

Еще одной характеристикой надежности является отказоустойчивость (fault tolerance). В сетях под отказоустойчивостью понимается способность системы скрывать от пользователя отказ отдельных ее элементов. Например, если копии таблицы базы данных хранятся одновременно на нескольких файловых серверах, то пользователи могут просто не заметить отказ одного из них. В отказоустойчивой системе отказ одного из ее элементов приводит к некоторому снижению качества ее работы (деградации), а не к полному останову. Так, при отказе одного из файловых серверов в предыдущем примере увеличивается только время доступа к базе данных из-за уменьшения степени распараллеливания запросов, но в целом система будет продолжать выполнять свои функции.

### **6.3 Расширяемость и масштабируемость**

Термины расширяемость и масштабируемость иногда используют как синонимы, но это неверно – каждый из них имеет четко определенное самостоятельное значение.

Расширяемость (extensibility) означает возможность сравнительно легкого добавления отдельных элементов сети (пользователей, компьютеров, приложений, служб), наращивания длины сегментов сети и замены существующей аппаратуры более мощной. При этом принципиально важно, что легкость расширения системы иногда может обеспечиваться в некоторых весьма ограниченных пределах. Например, локальная сеть Ethernet, построенная на основе одного сегмента толстого коаксиального кабеля, обладает хорошей расширяемостью, в том смысле, что позволяет легко подключать новые станции. Однако такая сеть имеет ограничение на число станций – их число не должно превышать 30 – 40. Хотя сеть допускает физическое подключение к сегменту и большего числа станций (до 100), но при этом чаще всего резко снижается производительность сети. Наличие такого ограничения и является признаком плохой масштабируемости системы при хорошей расширяемости.

Масштабируемость (scalability) означает, что сеть позволяет наращивать количество узлов и протяженность связей в очень широких пределах, при этом производительность сети не ухудшается. Для обеспечения масштабируемости сети приходится применять дополнительное коммуникационное оборудование и специальным образом структурировать сеть. Например, хорошей масштабируемостью обладает многосегментная сеть, построенная с использованием коммутаторов и маршрутизаторов и имеющая иерархическую структуру связей. Такая сеть может включать несколько тысяч компьютеров и при этом обеспечивать каждому пользователю сети нужное качество обслуживания.

### **6.4 Прозрачность**

Прозрачность (transparency) сети достигается в том случае, когда сеть представляется пользователям не как множество отдельных компьютеров, связанных между собой сложной системой кабелей, а как единая традиционная вычислительная машина с системой разделения времени. Известный лозунг компании Sun Microsystems «Сеть – это компьютер» говорит именно о такой прозрачной сети.

Прозрачность может быть достигнута на двух различных уровнях – на уровне пользователя и на уровне программиста. На уровне пользователя прозрачность означает, что для работы с удаленными ресурсами он использует те же команды и привычные для него ему процедуры, что и для работы с локальными ресурсами. На программном уровне прозрачность заключается в том, что приложению для доступа к удаленным ресурсам требуются те же вызовы, что и для доступа к локальным ресурсам. Прозрачность на уровне

пользователя достигается проще, так как все особенности процедур, связанные с распределенным характером системы, маскируются от пользователя программистом, который создает приложение. Прозрачность на уровне приложения требует сокрытия всех деталей распределенности средствами сетевой операционной системы.

Сеть должна скрывать все особенности операционных систем и различия в типах компьютеров. Пользователь компьютера Macintosh должен иметь возможность обращаться к ресурсам, поддерживаемым UNIX – системой, а пользователь UNIX должен иметь возможность разделять информацию с пользователями Windows 2000. Подавляющее число пользователей ничего не хочет знать о внутренних форматах файлов или о синтаксисе команд UNIX. Пользователь терминала IBM 3270 должен иметь возможность обмениваться сообщениями с пользователями сети персональных компьютеров без необходимости вникать в секреты трудно запоминаемых адресов.

Концепция прозрачности может быть применена к различным аспектам сети. Например, прозрачность расположения означает, что от пользователя не требуется знаний о месте расположения программных и аппаратных ресурсов, таких как процессоры, принтеры, файлы и базы данных. Имя ресурса не должно включать информацию о месте его расположения, поэтому имена типа `machine1:prog.c` или `\\ftp_serv\pub` прозрачными не являются. Аналогично, прозрачность перемещения означает, что ресурсы должны свободно перемещаться из одного компьютера в другой без изменения своих имен. Еще одним из возможных аспектов прозрачности является прозрачность параллелизма, заключающаяся в том, что процесс распараллеливания вычислений происходит автоматически, без участия программиста, при этом система сама распределяет параллельные ветви приложения по процессорам и компьютерам сети. В настоящее время нельзя сказать, что свойство прозрачности в полной мере присуще многим вычислительным сетям, это скорее цель, к которой стремятся разработчики современных сетей.

## **6.5 Поддержка разных видов трафика**

Компьютерные сети изначально предназначены для совместного доступа пользователя к ресурсам компьютеров: файлам, принтерам и т. п. Трафик, создаваемый этими традиционными службами компьютерных сетей, имеет свои особенности и существенно отличается от трафика сообщений в телефонных сетях или, например, в сетях кабельного телевидения. Однако 90-е годы стали годами проникновения в компьютерные сети трафика мультимедийных данных, представляющих в цифровой форме речь и видеоизображение. Компьютерные сети стали использоваться для организации видеоконференций, обучения и развлечения на основе видеофильмов и т. п. Естественно, что для динамической передачи мультимедийного трафика требуются иные алгоритмы и протоколы, и, соответственно, другое оборудование. Хотя доля мультимедийного трафика пока невелика, он уже начал свое проникновение, как в глобальные,

так и локальные сети, и этот процесс, очевидно, будет продолжаться с возрастающей скоростью.

Главной особенностью трафика, образующегося при динамической передаче голоса или изображения, является наличие жестких требований к синхронности передаваемых сообщений. Для качественного воспроизведения непрерывных процессов, которыми являются звуковые колебания или изменения интенсивности света в видеоизображении, необходимо получение измеренных и закодированных амплитуд сигналов с той же частотой, с которой они были измерены на передающей стороне. При запаздывании сообщений будут наблюдаться искажения.

В то же время трафик компьютерных данных характеризуется крайне неравномерной интенсивностью поступления сообщений в сеть при отсутствии жестких требований к синхронности доставки этих сообщений. Например, доступ пользователя, работающего с текстом на удаленном диске, порождает случайный поток сообщений между удаленным и локальным компьютерами, зависящий от действий пользователя по редактированию текста, причем задержки при доставке в определенных (и достаточно широких с компьютерной точки зрения) пределах мало влияют на качество обслуживания пользователя сети. Все алгоритмы компьютерной связи, соответствующие протоколы и коммуникационное оборудование были рассчитаны именно на такой пульсирующий характер трафика, поэтому необходимость передавать мультимедийный трафик требует внесения принципиальных изменений, как в протоколы, так и оборудование. Сегодня практически все новые протоколы в той или иной степени предоставляют поддержку мультимедийного трафика.

Особую сложность представляет совмещение в одной сети традиционного компьютерного и мультимедийного трафика. Передача исключительно мультимедийного трафика компьютерной сетью хотя и связана с определенными сложностями, но вызывает меньшие трудности. А вот случай сосуществования двух типов трафика с противоположными требованиями к качеству обслуживания является намного более сложной задачей. Обычно протоколы и оборудование компьютерных сетей относят мультимедийный трафик к факультативному, поэтому качество его обслуживания оставляет желать лучшего. Сегодня затрачиваются большие усилия по созданию сетей, которые не ущемляют интересы одного из типов трафика. Наиболее близки к этой цели сети на основе технологии АТМ, разработчики которой изначально учитывали случай сосуществования разных типов трафика в одной сети.

## **6.6 Управляемость**

Управляемость сети подразумевает возможность централизованно контролировать состояние основных элементов сети, выявлять и разрешать проблемы, возникающие при работе сети, выполнять анализ производительности и планировать развитие сети. В идеале средства

управления сетями представляют собой систему, осуществляющую наблюдение, контроль и управление каждым элементом сети – от простейших до самых сложных устройств, при этом такая система рассматривает сеть как единое целое, а не как разрозненный набор отдельных устройств.

Хорошая система управления наблюдает за сетью и, обнаружив проблему, активизирует определенное действие, исправляет ситуацию и уведомляет администратора о том, что произошло и какие шаги предприняты. Одновременно с этим система управления должна накапливать данные, на основании которых можно планировать развитие сети. Наконец, система управления должна быть независима от производителя, и обладать удобным интерфейсом, позволяющим выполнять все действия с одной консоли.

Решая тактические задачи, администраторы и технический персонал сталкиваются с ежедневными проблемами обеспечения работоспособности сети. Эти задачи требуют быстрого решения, обслуживающий сеть персонал должен оперативно реагировать на сообщения о неисправностях, поступающих от пользователей или автоматических средств управления сетью. Постепенно становятся заметны более общие проблемы производительности, конфигурирования сети, обработки сбоев и безопасности данных, требующие стратегического подхода, то есть планирования сети. Планирование, кроме этого, включает прогноз изменений требований пользователей к сети, вопросы применения новых приложений, новых сетевых технологий и т. п.

Полезность системы управления особенно ярко проявляется в больших сетях: корпоративных или публичных глобальных. Без системы управления в таких сетях нужно присутствие квалифицированных специалистов по эксплуатации в каждом здании каждого города, где установлено оборудование сети, что в итоге приводит к необходимости содержания огромного штата обслуживающего персонала.

В настоящее время в области систем управления сетями много нерешенных проблем. Явно недостаточно действительно удобных, компактных и многопротокольных средств управления сетью.

Большинство существующих средств вовсе не управляют сетью, а всего лишь осуществляют наблюдение за ее работой. Они следят за сетью, но не выполняют активных действий, если с сетью что-то произошло или может произойти. Мало масштабируемых систем, способных обслуживать как сети масштаба отдела, так и сети масштаба предприятия, – очень многие системы управляют только отдельными элементами сети и не анализируют способность сети выполнять качественную передачу данных между конечными пользователями сети.

## **6.7 Совместимость**

Совместимость или интегрируемость означает, что сеть способна включать в себя самое разнообразное программное и аппаратное обеспечение, то есть в ней могут сосуществовать различные операционные системы, поддерживающие разные стеки коммуникационных протоколов,

и работать аппаратные средства и приложения от разных производителей. Сеть, состоящая из разнотипных элементов, называется неоднородной или гетерогенной, а если гетерогенная сеть работает без проблем, то она является интегрированной. Основной путь построения интегрированных сетей – использование модулей, выполненных в соответствии с открытыми стандартами и спецификациями.

## **6.8 Функциональные задачи АСУТП**

Функциональные возможности практически любой системы управления (СУ) определяются особенностями объекта, для которого создается эта система. Для АСУТП объектом является технологический объект управления (ТОУ).

С точки зрения материально-технической и организационной структур производства, а также характера протекания ТП, все многообразие ТОУ можно разделить на три составные группы: непрерывные, дискретные, непрерывно-дискретные.

С точки зрения управления по виду уравнений связи между входными и выходными переменными ТОУ обычно классифицируют на одномерные и многомерные, линейные и нелинейные, с голономными и неголономными связями, сосредоточенными параметрами, на стационарные и нестационарные.

Простейшими ТОУ являются одномерные, стационарные, сосредоточенные, линейные системы с голономными связями, более сложными – многомерные, нестационарные, нелинейные, с распределенными параметрами и с неголономными связями.

Для объектов лесного комплекса характерны следующие особенности как объектов автоматизации:

- наличие разнородных функциональных задач, возникающих при автоматизации: контроль параметров технологических режимов, диагностика состояния и управления режимами ТОУ. Для класса непрерывных ТОУ характерны задачи стабилизации определенных переменных, а для периодических ТОУ типичны задачи программного регулирования;

- сравнительно высокий уровень автоматизации существующих ТОУ, определяемый локальными системами. Этот уровень позволяет в классе непрерывных ТОУ обеспечить стационарность их режимов, однако не гарантирует оптимальности с точки зрения технико-экономических показателей (ТЭП);

- повышение актуальности задачи оптимизации в целом. Обычно эта задача формулируется для получения основных и побочных продуктов ТП с наименьшими затратами при их качестве, регламентированном по ГОСТу, а также при наличии определенных технологических ограничений. Для ее решения локальной автоматики недостаточно и необходим системный подход, т. е. комплексная автоматизация. Она связана с усложнением схем управления и перехода к многоуровневым иерархическим САУ, а также с укрупнением оперативной информации о ТОУ (вычисление ТЭП, диагностических оценок, моделей ситуаций и т. д.);



– необходимость адаптации систем управления ТОУ к изменяющимся внешним и внутренним условиям (из-за изменения характеристик сырья в ТОУ; характеристик обрабатываемого материала в ТОУ или изменения характеристик оборудования ТОУ в связи с падением напряжения; наличие возмущений по нагрузке из-за включения-отключения параллельных станков и т. д.). Такая адаптация САУ может быть как локальной САУ (например, подстройкой параметров САР), так и глобальной, связанной с подстройкой уставок систем стабилизации, определяющих стационарный режим ТП и его оптимальность в целом;

– для класса непрерывных ТОУ достаточно, если локальные модели будут представлены в виде линеаризованных динамических характеристик каналов «управление – регулируемая переменная», «контролируемое возмущение – регулируемая переменная» (эти модели используются для синтеза локальных САР). Глобальные модели – в виде статических характеристик отдельных агрегатов ТОУ и выражения для критерия оптимальности в виде ТЭП технико-экономические показатели. Эти модели используются для оптимизации ТОУ в целом.

## 7 АСУТП КАК СИСТЕМА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

Анализ особенностей ТОУ, как объектов автоматизации, позволяет сформулировать положения, определяющие состав функциональных задач, которые должна решать АСУТП: основные задачи управления ТОУ всегда формулируются как оптимизационные; среди задач контроля и управления имеется определенная иерархичность.

Указанное, в итоге, определяет состав наиболее важных и часто встречающихся задач, которые должны решаться в соответствующих функциональных подсистемах АСУТП (рис. 7.1).



Рисунок 7.1 – АСУТП как система функциональных задач

В системах АСУТП выделяется пять классов типовых задач управления (табл. 7.1).

### 7.1 Алгоритмическое обеспечение задач контроля и первичной обработки информации

#### 7.1.1 Назначение алгоритмов контроля

Алгоритмы централизованного контроля предназначены для сбора и передачи измерительной информации от датчиков, установленных на ТОУ, а также для первичной обработки этой информации с целью:

- определение текущих и прогнозируемых значений измеряемых величин и оценки неизмеряемых искомых величин по косвенным параметрам;
- вычисление учетных и технико-экономических величин по косвенным параметрам;
- обнаружение нарушений и неисправностей на производстве, требующих немедленного управления.

Таблица 7.1 – Классы АСУТП

Задача АСУТП	Связь (алгоритм):				
	С ЭВМ	С объектом	С документом	С оператором	С ЭВМ высшего порядка
Первичная обработка информации	Организация сбора информации	Циклическая по группам, по приоритету	нет	По вызову	
	Определение статистических моментов	Разомкнутая периодическая	Вывод на печать		
	Оценка состояния	Разомкнутая постоянная	Вывод на печать		Прямая
	Прогнозирование воздействий	Замкнутая периодическая		Есть индикация	Обратная
	Статический контроль	Разомкнутая периодическая	Вывод на печать		
	Вычисление косвенных параметров	Разомкнутая периодическая	Вывод на печать		
	Определение функций распределения	Разомкнутая эпизодическая		Индикация	
Идентификация (активные и пассивные методы)	Алгоритмы генерирования сигналов	Разомкнутая эпизодическая		Есть	
	Определение статистической модели	Замкнутая, периодическая	Печать коэффициента регрессии	Есть	Есть
	Определение динамической модели	Замкнутая, периодическая	Печать основных характеристик	Есть	
	Определение функций чувствительности	Замкнутая, эпизодическая	Печать	Есть	
Статистическая оптимизация	Методы планирования эксперимента	Разомкнутая периодическая	Печать оптимального режима	Есть	
	Методы экстремального регулирования	Замкнутая, постоянная			
	Адаптивные алгоритмы	Замкнутая, эпизодическая			Есть
	Программное оптимальное управление	Разомкнутая постоянная	Ввод информации с носителя	Есть	
Динамическая оптимизация	Управление с обратной связью	Замкнутая, постоянная			
	Управление по возмущению	Замкнутая, постоянная			
Управление заданным качеством	Типовые алгоритмы регулирования П, ПИ, ПИД	Замкнутая, постоянная			
	Компенсация возмущений	Замкнутая, постоянная			
Пуск, остановка		Разомкнутая разовая		Есть	
Анализ аварийных ситуаций		Разомкнутая постоянная	Печать	Есть	

Результаты первичной обработки являются теми исходными данными, по которым рассчитываются все выходные параметры алгоритмов управления.

Большинство результатов первичной обработки используется для оперативного формирования управляющих воздействий, поэтому соответствующие задачи первичной обработки должны решаться в реальном масштабе времени. Однако, некоторые показатели, например, технико-экономические (за час, за смену и т. п.), являются исходной информацией не в системе АСУТП, а передаются на более высокий уровень. Такая информация обычно обрабатывается в уменьшенном масштабе времени.

Задача разработки алгоритмов контроля формируется следующим образом.

Заданы все исходные величины (в том числе показатели и события), которые должна определять подсистема контроля, и указаны требуемые параметры каждой выходной величины (точность ее определения, частота выдачи оператору или в другие подсистемы, форма выдачи и т. д.). Имеется совокупность измерительных средств, которая может быть использована в качестве источников исходной информации для определения заданных выходных величин. Требуется определить рациональный комплекс алгоритмов, перерабатывающий сигналы датчиков в искомые выходные величины и удовлетворяющий заданным требованиям на параметры выходных величин.

К задачам контроля относятся: линеаризация и коррекция, фильтрация и сглаживание сигналов датчиков, экстра- и интерполяция данных по дискретным замерам, контроль достоверности получаемой информации, вычисление различных статистических характеристик сигналов датчиков, оценка состояния объекта при наличии шумов измерений и доступных измерению ряда переменных, выявление аварийных ситуаций и диагностика в ТОУ, расчет ТЭП.

После определения комплекса выходных величин, выданных подсистемой контроля, и установления совокупности измерительных средств, они могут быть использованы в качестве источников исходной информации на автоматизируемом объекте для разработки блок-схем переработки сигналов датчиков в искомые выходные величины подсистемы централизованного контроля. Для этого следует воспользоваться разделением всего процесса переработки измерительной информации на ряд последовательно выполняемых типовых операций. Последовательность выполнения операций следующая:

- аналитическая градуировка датчиков;
- экстраполяция и интерполяция дискретно измеряемых величин;
- контроль достоверности информации о процессе;
- определение суммарных и средних значений величин за заданные интервалы времени;
- коррекция динамической связи между измеряемой и искомой величиной и т. д.

Необходимо по каждой заданной выходной величине произвести набор операций, осуществляющих ее формирование из имеющихся измерительных сигналов, и указать последовательность выполнения этих операций.

Рассмотрим кратко алгоритмы некоторых из перечисленных вычислительных операций.

### 7.1.2 Аналитическая градуировка и коррекция показаний датчиков

Значение выходного сигнала датчика  $y$  связано с измеряемой величиной  $x$  в общем случае монотонной зависимостью  $y = f(x)$ . Для задач управления необходимо знать истинное значение измеряемой величины  $x$ , поэтому возникает необходимость вычислить  $x$  по значению показателя датчика  $y$ , т. е. нахождение функциональной зависимости

$$x = f^{-1}(y) = F^{-1}(y). \quad (7.1)$$

Задача решается просто, если указанная зависимость линейная. В случае если функция  $F^{-1}(y)$  является нелинейной, то используют либо метод линейной интерполяции табличного значения  $F(x)$  либо аппроксимацию функции  $F^{-1}(y)$  при помощи степенного полинома  $P_n(y)$ .

Для большинства датчиков механических и электрических величин, датчиков уровня и некоторых других характерна линейная зависимость:

$$y = ax + b; \quad x = \frac{y - b}{a}. \quad (7.2)$$

Если функция  $f(y)$  является нелинейной, можно выразить ее с помощью известных алгебраических и трансцендентных функций, однако этот путь довольно сложен и применяется редко. Обычно функция  $F(x)$  задается в табличном виде, например, по экспериментально снятым точкам в диапазоне предполагаемых измерений. Простейшим алгоритмом нахождения  $x$  при этом считается линейная интерполяция таблицы с заданным шагом  $\Delta x$ .

Недостатком такого алгоритма является большой объем памяти ЭВМ, так как необходимо запоминать всю таблицу. Поэтому наиболее удобным методом оказывается аппроксимация функции  $f(y)$  при помощи степенного полинома

$$P_n(y) = a_0 + a_1 y + \dots + a_n y^n.$$

При этом объем вычислений мал, а в памяти машины хранятся только  $n$  коэффициентов полинома (обычно  $n$  невелико). Для вычисления значений полинома в любой точке применяется схема Горнера, когда аппроксимация  $f(y)$  записывается в виде

$$P_n(y) = \dots a_n y + a_{n-1} + a_{n-2} y + \dots + a_1 y + a_0. \quad (7.3)$$

Коэффициенты полинома  $a_i$ ,  $i = 0, 1, \dots, n$  заносятся в память машины в порядке убывания номеров их индексов. Блок-схема алгоритма приведена на рисунке 7.2.

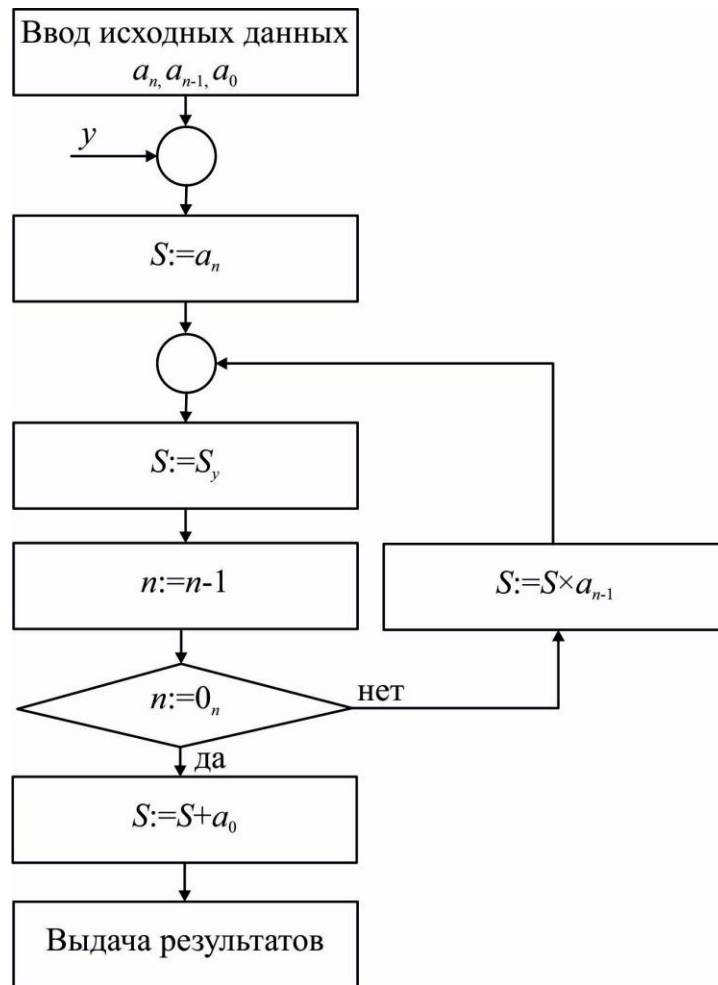


Рисунок 7.2 – Блок-схема алгоритма аппроксимации по схеме Горнера

Аппроксимацию табличных данных обычно проводят либо полиномом равномерного наилучшего приближения, либо с помощью полинома регрессии. В первом случае полученный полином дает минимальное значение максимальной ошибки линеаризации в диапазоне аппроксимации, во втором – минимальное значение среднеквадратической погрешности (при фиксированной степени полинома  $n$ ).

Для уменьшения времени вычислений и требуемой памяти ЦВМ желательно выбирать аппроксимирующий полином наименьшей степени, но обеспечивающий допустимую погрешность  $\Delta x_{\text{доп}}$ . При аппроксимации полиномом равномерного наилучшего приближения должно выполняться требование

$$\delta_i \leq \delta_{\max} \leq \Delta x_{\text{доп}}, \quad (7.4)$$

где  $\delta_i$  – погрешность аппроксимации в каждой заданной точке  $y_i$   $i = 1, 2, \dots, n$ , выражающаяся формулой

$$\delta_i = P_n y_i - x_i.$$

Это условие можно записать в виде

$$\delta_{\max} + P_n y_i - x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (7.5)$$

$$\delta_{\max} + x_i + P_n y_i \geq 0; \quad (7.6)$$

$$\delta_{\max} \geq 0. \quad (7.7)$$

Для полинома равномерного наилучшего приближения требуется найти минимум линейной формы, которой в данном случае является величина

$$L_n = \delta_{\max} a_n \dots a_0 \rightarrow \min_{a_i}. \quad (7.8)$$

Эта задача сводится к задаче линейного программирования, где (7.8) является целевой функцией, а (7.5) – (7.7) ограничениями. Если допустимая величина ошибки  $\Delta x_{\text{доп}}$  меньше  $L_{n+1}$ , следует увеличить степень полинома на единицу, найти для него  $L_{n+1}$  и опять проверить неравенство  $\Delta x_{\text{доп}} \geq L_{n+1}$ .

Итак, если аппроксимирующий полином есть, значения измеряемой величины вычисляются по схеме Горнера на основе показаний датчика; если аппроксимирующий полином не задан и в памяти ЦВМ записана вся градуировочная таблица, то расчет значений проводится по интерполяционной формуле.

В ряде АСУТП информация об измеряемых параметрах выражается в ЭВМ правильной дробью  $\alpha$ , изменяющейся от 0 до 1 при изменении параметра от минимального до максимального значения. Тогда вычисление абсолютных величин давления, перемещения, объема, осуществляется по формуле

$$P_t = P_{\max} \times \alpha, \quad (7.9)$$

где  $P_t$  – текущее значение параметра ( $\text{кг/см}^2$ , м,  $\text{м}^3$ );

$P_{\max}$  – максимальное значение шкалы датчика соответствующего параметра.

Преобразование температурных (параметров) сигналов производится по формуле

$$\theta_t = \theta_{\min} + \theta_{\max} - \theta_{\min} \alpha, \quad (7.10)$$

где  $\theta_{\max}$ ,  $\theta_{\min}$  – максимальное и минимальное значения шкалы датчика температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Объемные ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) и весовые ( $\text{кг/ч}$ ) расходы определяются соответственно по формулам

$$\theta_t = \theta_{\min} \sqrt{a}; \quad (7.11)$$

$$G_t = G_{\min} \sqrt{a}. \quad (7.12)$$

### 7.1.3 Фильтрация и сглаживание

Задача фильтрации по Винеру формулируется следующим образом. Пусть входной сигнал представляет собой случайный процесс  $Z(t)$  при  $-\infty < t < \infty$  да и пусть  $Z(t)$  представляет собой смесь (не обязательно аддитивную) полезного сигнала  $y(t)$  и помехи  $\xi(t)$ . Требуется построить систему (фильтр) такой обработки входного сигнала, которая позволила бы получить на выходе желаемый сигнал  $d(t)$ , являющийся результатом определенной операции  $L$  над одним лишь полезным сигналом  $x(t)$ :  $d(t) = L x(t)$ .

Обычно рассматривают следующие частные случаи:

- $d(t) = x(t) - a$  – задача фильтрации и сглаживания;
- $d(t) = x(t)$  – задача чистой фильтрации;
- $b(t) = y(t) + a$  – задача фильтрации и упреждения; где  $a > 0$ .

При  $\xi(t) = 0$  задачи (а) и (б) определяются как задачи чистого сглаживания и упреждения соответственно.

Существуют самые различные фильтры (Винера, Калмана, упрощенный фильтр Калмана,  $\alpha - \beta$  фильтр и т. д.) отличающиеся своими характеристиками.

Выбор фильтра определяется рядом противоречивых факторов (требованиями системы к точности объекта, относительной точностью фильтров, чувствительностью характеристик системы к изменению параметров модели, требованиями фильтров к вычислительным средствам и т. д.), поэтому исходят из компромиссного решения между точностью фильтра, его требованиями к вычислительным средствам и ограничениями системы.

С точки зрения требований к объему вычислений выгодно использовать фильтр экспоненциального сглаживания (ЭС):

$$y(t) = \gamma e^{\gamma t},$$

где  $\gamma$  – параметр фильтра.

Сравнение реализаций фильтра в непрерывном и дискретном варианте показало, что дискретный фильтр обладает практически большими преимуществами при использовании его в системе централизованного контроля. Всякий дискретный фильтр описывается разностным уравнением

$$\begin{aligned} a_n x(i-n) &= a_{n-1} x(i-n+1) + \dots + a_0 x(i) = \\ &= b_m d(i-m) + b_{m-1} d(i-m+1) + \dots + b_0 d(i), \end{aligned} \quad (7.13)$$

где  $x(i)$  – дискретный входной сигнал;

$d(i)$  – дискретный выходной сигнал.



Z-преобразование уравнения (7.13) позволяет получить выражение для передаточной функции фильтра в следующем виде

$$Y(z) = \frac{d(z)}{x(z)} = \frac{a_n z^{-n} + \dots + a_0}{b_m z^{-m} + \dots + b_0}. \quad (7.14)$$

Для фильтра экспоненциального сглаживания (ЭС)

$$Y(z) = \frac{yz}{z + \gamma - 1}. \quad (7.15)$$

Для реализации на ЦВМ фильтра ЭС получено выражение

$$d_n = x_n + \xi_n + 1 - \gamma \cdot x_{n-1} + \xi_{n-1} + \dots + 1 - \gamma^{n-1} x + \xi_1 + 1 - \gamma^n x + \xi_0, \quad (7.16)$$

где  $x_n$  – значение входного сигнала в момент времени  $t = nT$  ( $T$  – интервал дискретности);

$\xi_n$  – значение помехи в момент  $t = nT$ ;

$\gamma$  – параметр фильтра  $0 \leq \gamma \leq 1$ .

В рекуррентной форме соотношение (7.16) имеет вид

$$d_n(z) = \gamma z \cdot d_{n-1}(z) + 1 - \gamma \cdot d_{n-1}(z), \quad (7.17)$$

где

$$z \cdot d_n = x_n + \xi_n. \quad (7.18)$$

Сглаживание является частным случаем общей задачи фильтрации сигнала.

#### 7.1.4 Интерполяция и экстраполяция

Интерполяция – построение приближенного или точного аналитического выражения функциональной зависимости, когда о ней известны только соотношения между аргументом и соответствующими значениями функции в конечном ряде точек – имеет следующие применения в АСУТП:

- линеаризация и интерполяция сигналов датчиков;
- формирование непрерывно-изменяющегося сигнала по коэффициенту временного полинома или числовой программе в системах программного регулирования;
- получение аналитического выражения статической (обычно в виде квадратичной формы от входных воздействий) или динамической (обычно в виде дробно-рациональной передаточной функции) характеристик по экспериментально полученным точкам в задачах идентификации и характеристики;
- получение аналитического выражения корреляционных функций или спектральных плотностей при статистической обработке данных;

– переход от одной формы математического описания к другой в задачах характеристики;

– интерполяция таблиц, номограмм, диаграмм, хранящихся в памяти ЭВМ, для определения каких-либо параметров, например, параметров ПИД-регулятора по номограммам.

Для интерполирования функции по точным значениям применяют интерполяционные формулы:

– при линейной интерполяции значения функции  $f$  в точке  $x_i < x < x_{i+1}$  берется равным

$$\hat{f}(x) = \frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i} [f(x_{i+1}) - f(x_i)]; \quad (7.19)$$

– при интерполировании по Лагранжу, когда известны значения функции в  $m$  точках  $x_1 \dots x_m$ , образуется многочлен степени  $m-1$ :

$$L(x) = \hat{f}(x) = \sum_{k=1}^m f(x_k) \frac{(x - x_1)(x - x_2) \dots (x - x_{k-1})(x - x_{k+1}) \dots (x - x_m)}{(x - x_1)(x - x_2) \dots (x - x_{k-1})(x - x_{k+1}) \dots (x - x_m)}; \quad (7.20)$$

– при интерполировании по Ньютону, когда известны значения функции в  $m$  точках  $x_1 \dots x_m$ , расположенных на равных расстояниях друг от друга, образуется многочлен

$$P_{m-1}(x) = f(x) = f(x_1) + \frac{t}{1!} \Delta f + \frac{t(t-1)}{2!} \Delta^2 f + \dots + \frac{t(t-1) \dots (t-m)}{(m-1)!} \Delta^{m-1} f, \quad (7.21)$$

где

$$t = \frac{x - x_1}{n - 1};$$

$$\Delta t = f(x_2) - f(x_1);$$

$$\Delta^2 f = f(x_3) - 2f(x_2) + f(x_1);$$

$$\Delta^k f = f(x_{k+1}) - C_k^1 f(x_k) + C_k^2 f(x_{k-1}) + \dots + (-1)^k f(x_1).$$

Задача интерполяции при наличии помех измерений называется задачей сглаживания.

### 7.1.5 Экстраполяция

Экстраполяция – распространение результатов, полученных из наблюдений над одной частью явления на другую его часть, недоступную для наблюдения. Имеет следующее применение в АСУТП:

– повышение качества управления (быстродействия, устойчивости и т. п.), обычно – за счет введения в закон управления производных;

– предсказание (прогнозирование) возмущающих воздействий или возмущающего движения при создании оптимальных систем комбинированного типа, содержащих две составляющих управления, из которых одна является функцией текущего состояния, а вторая – функцией предсказанного возмущения;

– предсказание положения в стационарной точке в задачах планирования экстремальных экспериментов или экстремального регулирования для ускорения процесса поиска;

– предсказание аварийных ситуаций и редко измеряемых переменных, когда для управления процессом требуется более частый опрос переменных, чем реально возможный.

Рассмотрим постановку задачи экстраполяции в условиях помех.

Пусть последовательность измерений в дискретные моменты опроса имеет вид

$$y_i = x_i + \xi, \quad i = 1, 2, \dots,$$

где  $x_i$  – регулярная составляющая;

$\xi$  – случайная помеха измерения с нулевым средним и дисперсией  $\sigma_\xi^2$ ;

$i$  – моменты опроса.

Будем искать регулярную составляющую (временную модель измеряемой переменной) в одном из следующих видов:

– полиномиальная модель

$$x_i = \sum_{j=0}^m \frac{a_j}{j!} i^j; \quad (7.22)$$

– экспоненциальная модель

$$x_i = \sum_{j=0}^m a_j e^{\frac{i}{T_j}}; \quad (7.23)$$

– тригонометрическая модель

$$x_i = \sum_{j=0}^m a_j \sin \omega_j i + \varphi_j. \quad (7.24)$$

В качестве критерия предсказания обычно выбирают среднеквадратичную ошибку (СКО) между предсказанным на  $k$  тактов (обычно  $k = 1$ ) и фактическими значениями

$$\varepsilon'^2 = M \sum_{a_j} (x_{i+1} - y_{i+k})^2 \rightarrow \min. \quad (7.25)$$

Эта задача решается в несколько этапов:

- выбирается интервал наблюдения (или количество исходных для предсказания замеров);
- по критерию минимума СКО вычисляются оценки коэффициентов  $a_j$ , обеспечивающие наилучшую интерполяцию исходных замеров принятой моделью (эту процедуру называют сглаживанием);
- модель процесса с найденным коэффициентом используют для предсказания.

Количество исходных точек не может быть ниже порядка  $m$  модели. При их равенстве коэффициенты находятся однозначно из  $m$  уравнений, однако, точность здесь невысока из-за наличия помех. Обычно используют существенно большее число измерений, при этом избыточную информацию используют для повышения точности предсказания. Интервал между замерами берут равным  $0,10 \dots 0,25 T_y$ .

В большинстве случаев предсказание можно осуществлять и без построения временной модели переменной. Применяют следующие алгоритмы предсказания.

Ступенчатая аппроксимация, когда предсказываемое значение переменной совпадает с ее величиной (при сглаженной помехе) в последней точке замера (этот метод не требует никаких вычислений, однако его погрешность максимальна по сравнению с другими алгоритмами) – дисперсия ошибки предсказания на время  $\Delta t$  для эргодического процесса равна

$$\varepsilon'^2 = 2 \left[ R_y(0) - R_y(\Delta t) + \sigma_\xi^2 \right], \quad (7.26)$$

где  $R_y$  – корреляционная функция процесса  $y(t)$ .

Наилучшие результаты дает дискретный фильтр-экстраполятор Калмана-Бьюси. Однако здесь требуются наиболее трудоемкие вычисления. Для стационарных процессов результаты, близкие к максимально достижимым, дает фильтр Винера

$$x_{i+k} = \sum_{j=0}^m a_j y_{i-j}, \quad (7.27)$$

где  $m$  – память фильтра;

$a_j$  – коэффициенты, настраиваемые по критерию минимума СКВ предсказания.

## 8 СТАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

### 8.1 Статистическая обработка экспериментальных данных

Важным моментом задачи исследования и управления ТОУ является обработка большого потока экспериментальной информации, имеющей, как правило, случайный характер. И это обуславливает необходимость использования методов математической статистики для извлечения ценной информации из экспериментальных данных.

С учетом необходимости работы АСУТП в реальном масштабе времени, статистическая обработка информации должна быть оперативной. То есть обработка должна осуществляться в ходе эксперимента в темпе поступления информации непосредственно от исследуемых объектов за минимальное время и с получением результатов обработки в виде, удобном для дальнейшего использования. В связи с этим для обеспечения оперативности обработки экспериментальной информации должны использоваться простые методы и алгоритмы статистической обработки.

Целью оперативной статистической обработки экспериментальной информации в рамках анализа реализаций случайных процессов является получение системы статистических оценок с определенной доверительной вероятностью и точностью в реальном масштабе времени.

Оценки плотностей вероятностей эмпирических распределений в виде многомерного функционала при условии стационарности и эргодичности случайных процессов  $x_1 t$ ,  $x_2 t$  – является исчерпывающей характеристикой совокупности процессов  $x_k t$ . Это дает возможность в рамках корреляционно-регрессионного анализа получить функции корреляции, дисперсий, спектральных плотностей, безусловных и условных математических ожиданий и других числовых характеристик, связанных с физическими параметрами объекта, а также ошибки (дисперсии или СКО), спектральные характеристики и т. д., по которым можно судить о качественном состоянии объекта.

Рассмотрим некоторые алгоритмы статистической обработки экспериментальной информации.

#### 8.1.1 Методы определения функций распределения

Известны следующие методы определения функций распределения:

- метод изменения относительного времени пребывания реализации случайного процесса выше заданного уровня;
- метод, основанный на разложении функции распределения в ряд по ортонормированным функциям;
- метод, основанный на разложении функции распределения в ряд по моментам;
- метод гистограмм.

Первый метод основан на соотношении

$$1 - F(x_0) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum \Delta t_i [x(t) > x_0] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{t}{T}, \quad (8.1)$$

где  $F(x_0)$  – интегральная функция распределения;

$T$  – время анализа;

$t = \sum \Delta t_i$  – сумма интервалов времени в течении  $T$ , когда реализация  $x(t)$  превышает  $x_0$ .

При достаточно больших  $T$  алгоритм вычисления ординат  $F(x_0)$  определяется соотношением

$$1 - F(x_0) \cong \frac{t}{T}. \quad (8.2)$$

Для вычисления ординат дифференциального закона распределения  $F(x)$  можно воспользоваться соотношением

$$F(x) = \frac{\Delta F(x)}{\Delta x} \cong \frac{\sum \Delta t_{ij}}{T \Delta x}, \quad (8.3)$$

где  $\Delta t_{ij}$  – суммарное время пребывания реализации случайного процесса  $x(t)$  в равных интервалах  $\Delta x$ , задаваемых на различных уровнях.

Второй метод основан на представлении плотности вероятности в виде

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \Psi_n(x), \quad (8.4)$$

где  $\Psi_n(x)$  – система ортонормированных функций;

$C_n = \int_{-\infty}^{\infty} \Psi_n(x) f(x) dx$  – коэффициенты Фурье.

Поскольку  $x(t)$  – реализация случайного процесса, следовательно

$$C_n = M \Psi_n[x(t)],$$

где  $M$  – символ математического ожидания:

$$M \Psi_n[x(t)] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \Psi_n[x(t)] dt,$$

т. е. коэффициенты  $C_n$  могут быть определены усреднением во времени функций  $\Psi_n[x(t)]$  исследуемого случайного процесса.

Таким образом, алгоритм нахождения оценки  $f(x)$  по этому методу следующий:

– выполнить преобразование

$$y_n(t) = \Psi_n[x(t)];$$

– получить оценку математического ожидания

$$\hat{C}_n = \frac{1}{T} \int_0^T y_n(t) dt;$$

– найти оценку плотности вероятности

$$\hat{f}(x) = \sum_{n=1}^k \hat{C}_n \Psi_n(x).$$

Выбирая определенное число фильтров, можно получить хорошее приближение  $\hat{f}(x)$  к искомой  $f(x)$ .

Оценка интегральной функции распределения находится из соотношения

$$\hat{F}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(x) dx.$$

Третий метод во многом аналогичен предыдущему и отличается лишь тем, что разложение искомой функции плотности вероятности производится по системе функций, не являющейся ортонормированной, вследствие чего алгоритм получается менее эффективным, чем в предыдущем случае.

Метод гистограмм наиболее часто используется на практике для оперативной оценки многомерных плотностей вероятностей.

Выборки случайного стационарного процесса кодируются, распределяются по фиксированным адресам ОЗУ, принимаемым за каналы гистограмм. Одновременно формируются числовые значения ординат гистограмм, реализующих алгоритм вычисления оценки многомерной плотности вероятности  $\hat{f}[x_k(t)]$ .

Числовое значение каждой ординаты в случае одномерного анализа характеризует частоту появления значений случайной функции в соответствующем интервале квантования по уровню. В случае многомерного анализа оно определяет частоту появления совместного события, при котором значения случайных функций будут находиться в определенных интервалах квантования по уровню (по амплитуде).

Практическая трудность использования алгоритмов вычисления многомерных гистограмм заключена в необходимом объеме фиксированных адресов. Для устранения этой трудности бывает целесообразным заменить оценки многомерной плотности вероятности системой оценок собственных

и смешанных двумерных плотностей вероятностей, охватывающих все комбинации парных связей для нескольких аргументов. При такой замене необходимый объем памяти ЦВМ резко снижается.

### 8.1.2 Методы определения математического ожидания

Наиболее распространенной задачей является задача определения математического ожидания или среднего значения случайного процесса  $m_1 x$ . Для определения  $m_1 x$  обычно применяют метод усреднения по времени, имеющий ряд модификаций.

При использовании данных в дискретные моменты оценка  $m_1 x$  определяется соотношением

$$\hat{m}_1 x = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i \Delta t, \quad (8.5)$$

где  $N$  – количество наблюдений ( $N = \frac{T}{\Delta t} - 1$ ).

Возможно, нахождение оценки среднего значения по предварительно найденной оценке дифференциального закона распределения  $\hat{f} x$ :

$$\hat{m}_1 x = \int_{-\infty}^{\infty} x \hat{f} x dx. \quad (8.6)$$

Если  $\hat{f} x$  определяется по реализации случайного процесса длительностью  $T$  одновременно для всех значений  $x$ , то оценка среднего, полученная этим способом, тождественно совпадает с оценкой, полученной усреднением этой реализации за тот же интервал времени.

Методы определения моментных характеристик порядка выше первого аналогичны методам, используемым при нахождении оценки  $m_1 x$ . Так, определение оценки для начального момента  $k$ -го порядка для дискретных наблюдений по формуле

$$\hat{m}_k x = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i^k \Delta t.$$

Оценки первых четырех начальных момента используют для определения оценок дисперсии, асимметрии, эксцесса.

Оценка дисперсии:

$$\hat{\sigma}^2 x = \hat{m}_2 x - \left( \hat{m}_1 x \right)^2. \quad (8.7)$$



Оценка коэффициента асимметрии

$$\hat{K}_x = \frac{\left[ \hat{m}_3 x - 3\hat{m}_1 x \hat{m}_2 x + 2\left(\hat{m}_1 x\right)^3 \right]}{\left[ \hat{m}_2 x - \left(\hat{m}_1 x\right)^2 \right]^{3/2}}. \quad (8.8)$$

Оценка эксцесса

$$\hat{\gamma}_x^2 = \frac{\hat{m}_4 x - 4\hat{m}_3 x \hat{m}_1 x + 6\hat{m}_2 x \left(\hat{m}_1 x\right)^2 - 3\left(\hat{m}_1 x\right)^4}{\left[ \hat{m}_2 x - \left(\hat{m}_1 x\right)^2 \right]^2}. \quad (8.9)$$

Вычисление оценки условной дисперсии производится по формуле

$$\hat{\sigma}^2 \left\{ \frac{x(t)}{y_n(t+\tau)} \right\} = \hat{m}_2 \left\{ \frac{x(t)}{y_n(t+\tau)} \right\} - \left[ \hat{m}_1 \left\{ \frac{x(t)}{y_n(t+\tau)} \right\} \right]^2. \quad (8.10)$$

### 8.1.3 Методы определения функций корреляции

Задача экспериментального определения функций корреляции является одной из наиболее важных и широко распространенных на практике исследования случайных процессов. Разработаны многочисленные методы определения корреляционных функций. Рассмотрим наиболее распространенные из этих методов.

#### *Мультипликативный метод*

Мультипликативный метод является основным методом экспериментального определения функций корреляций. В случае дискретных наблюдений оценки корреляционной функции вычисляют по формуле

$$\hat{R}_{xy}(\tau) = \frac{1}{N-n} \sum_{i=0}^{N-n-1} x(i\Delta t) y[i(n\Delta t) + (i+n)\Delta t], \quad \tau = n\Delta t. \quad (8.11)$$

При этом предполагается, что  $m_1 x$  и  $m_1 y$  известны и равны нулю. Рассмотрим алгоритм машинной оперативной корреляционной обработки случайного дискретного процесса, представленный в виде последовательности  $x_{ij}$  выборки, по алгоритму

$$\hat{R}_{xy}(\tau) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i(t) x_i(t+\tau). \quad (8.12)$$

### **Метод разложения функции корреляции в ряд**

Этот метод также имеет широкое распространение. Чаще всего используется разложение по ортогональным полиномам Лаггера  $L_n \alpha \tau$ .

Известно, что автокорреляционная функция может быть представлена в виде ряда

$$R_{xx}(\tau) = \sum_{n=0}^{\infty} b_n L_n \alpha \tau, \quad (8.13)$$

где

$$b_n = \int_0^{\infty} R_{xx}(\tau) e^{-\alpha \tau} L_n \alpha \tau d\tau = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) y_n(t) dt;$$

$$y_n(t) = \int_0^{\infty} x(t-\tau) \alpha e^{-\alpha \tau} L_n \alpha \tau d\tau.$$

Таким образом, задача получения коэффициентов  $b_n$  может быть решена путем усреднения по времени произведений исходной реализации  $x(t)$  и этой же реализации, пропущенной через линейный фильтр с весовой функцией

$$h_n(\tau) = \alpha e^{-\alpha \tau} L_n \alpha \tau,$$

что соответствует передаточной функции фильтра

$$W_n = \frac{\alpha p_n}{\alpha + p^{n+1}}.$$

По найденным значениям можно определить искомую функцию корреляции

$$R_{xx}(\tau) = \sum_{n=0}^{k-1} b_n L_n \alpha \tau, \quad (8.14)$$

где  $k$  – число фильтров Лаггера ( $k = 5-6$ ).

Основным достоинством указанного метода является отсутствие элементов задержки.

Иногда может оказаться удобным и разложение  $R_{xx}(\tau)$  в ряд Маклорена. В этом случае

$$R_{xx}(\tau) = \overline{x^2(t)} + \sum_{n=1}^{\infty} x^{(2n)}(t) \frac{\alpha^{2n}}{(2n)!}, \quad (8.15)$$

где

$$x^{(2n)}(t) = \frac{d^{2n} x(t)}{dt^{2n}}.$$

Этот метод удобен в тех случаях, когда могут быть непосредственно измерены производные случайного процесса.

Метод, основанный на использовании двумерной плотности вероятности, позволяет вычислить  $R_{xy}(\tau)$  из соотношения

$$R_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} xy f(x, y, \tau) dx dy, \quad (8.16)$$

где  $f(x, y, \tau)$  – двумерная плотность вероятности процессов  $y(t+\tau)$  и  $x(t)$ .

Следовательно, для определения оценки корреляционной функции необходимо иметь оценку двумерной плотности вероятности.

Метод дискретных апериодических выборок использует следующее соотношение для корреляционной функции

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n}{N} \sum_{i=0}^{N-1} y(t_i + \tau), \quad (8.17)$$

где  $t_i$  – моменты времени, в которых процесс  $x(t)$  пересекает уровень  $\eta$  ( $\eta$  – константа, принимающая любые значения, кроме нуля), т. е.  $x(t_i) = \eta$ .

Для нормальных случайных процессов показано, что существует оптимальное значение константы  $\eta$ , равное  $\sqrt{2} \times \sigma_x$ , при котором ошибка в вычислении функции корреляции за конечное время анализа минимальна.

#### 8.1.4 Методы определения спектральной плотности

Спектральная плотность  $S(\omega)$  позволяет судить о частотных свойствах случайного процесса. Она характеризует его интенсивность на различных частотах или, иначе, среднюю мощность, приходящуюся на единицу полосы частот.

Поскольку спектральная и корреляционная функция случайного стационарного процесса связаны прямым и обратным соотношениями Винера-Хинчина

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau; R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega, \quad (8.18)$$

то при изучении частотных свойств процесса достаточно определить любую из этих функций. Однако в ряде случаев определение  $S(\omega)$  является более предпочтительным.

Алгоритмы определения спектральной плотности можно разделить на четыре основные группы:

- алгоритмы, построенные на принципе узкополосной фильтрации;
- алгоритмы, использующие преобразование Фурье от реализации случайного процесса;

- алгоритмы, использующие аппроксимацию  $S \omega$  ортогональными полиномами,
- алгоритмы, основывающиеся на преобразовании Фурье от корреляционной функции.

Различают также методы получения спектральных характеристик последовательного действия, в которых анализ происходит последовательно на каждой частоте, и параллельного действия, которые позволяют анализировать  $S \omega$  параллельно во времени для нескольких значений частот. При этом следует отметить, что время изменения  $S \omega$  для последовательного метода значительно больше, чем для параллельного.

### 8.1.5 Контроль достоверности исходной информации

Назначение алгоритмов контроля достоверности исходной информации – повысить точность и надежность работы АСУТП. Точность работы отдельных датчиков может быть несколько улучшена при одновременном контроле ряда параметров технологического процесса за счет рационального использования информации, поступающей от других датчиков объекта, либо за счет информации, хранимой в памяти ЦВМ. При этом рациональное корректирование работы отдельных датчиков позволяет значительно повысить достоверность информации, выдаваемой ЦВМ операторам.

Рассмотрим некоторые методы решения такой задачи.

Возможность повышения точности определения измеряемой величины появляется при ее одновременном замере несколькими датчиками, либо замере и одновременно возможности ее вычисления (на основе математической модели) по исходным данным, получаемым от других датчиков. Распространенными примерами таких ситуаций являются замеры расходов материальных потоков или энергетических потоков в начале и конце трубопровода; замер расхода вещества датчиком и одновременное вычисление его из уравнения баланса для узла, потребляющего или выделяющего данное вещество; непосредственное измерение искомой величины рядом датчиков, резервирующих друг друга и т. д.

Использование математической модели позволяет либо обнаружить и скорректировать источник недостоверной информации (неисправный датчик), либо установить нарушение математической модели, что может служить сигналом об аварийной ситуации, например, разрушение трубопровода.

Пусть  $\bar{x} = x_1, x_2, \dots, x_n$  – вектор расхода  $n$  потоков на производстве, которые связаны  $m$  ( $m < n$ ) уравнениями материального баланса:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i = 0 \text{ при } j = 1, \dots, m, \quad (8.19)$$

где  $a_{ij}$  – параметры уравнений.

Частично или полностью эти потоки измеряются соответствующими расходомерами, которые выдают значения расходов с погрешностями  $\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_{n-1}$ , где  $n_1 \leq n$ . При этом каждый датчик имеет свою известную среднюю квадратичную погрешность оценки  $\sigma_x, \sigma_{x1}, \dots, \sigma_{xm}$ . Естественно, за счет этих погрешностей на практике уравнения баланса удовлетворяются неточно. Это позволяет поставить задачу повышения достоверности работы датчиков расхода за счет использования дополнительной информации, содержащейся в уравнениях баланса.

Корректировка величин потоков заключается в определении такого вектора  $\bar{x}$ , который удовлетворял бы уравнению материального баланса и минимизировал бы квадратичную ошибку отклонения от измеренного значения:

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma_{xi}} \right)^2 \rightarrow \min. \quad (8.20)$$

Поставленная задача является задачей математического программирования и может быть решена методом неопределенных множителей Лагранжа.

Еще одним случаем появления избыточной информации является наличие в технологических процессах нескольких конструктивно идентичных параллельных технологических ниток, оснащенных одинаковыми измерительными приборами и работающими в одинаковом режиме. Параметры состояния ниток, замеренные в их конструктивно идентичных точках, близки по значению.

Здесь, как и в приведенных выше двух других случаях (дублирование замеров особо важных технологических параметров и проверка показаний датчиков методом косвенного измерения, с использованием математических моделей отдельных технологических узлов), имеется избыточная информация. Ее требуется использовать для оценки надежности источника контролируемой величины и выбора наиболее достоверного значения или для присвоения контролируемой переменной заданного заменяющего значения, если все три анализируемых значения будут признаны недостоверными.

Эта задача обычно решается с помощью следующего алгоритма контроля достоверности информации:

- по кворумной схеме два из трех, позволяющего выбрать наиболее достоверное значение из трех значений одной и той же величины, полученных из разных источников;
- из трех близких по технологическому смыслу и численному значению величин;
- для присвоения контролируемой величине заданного заменяющего значения, если все три анализируемые величины будут признаны недостоверными. Суть алгоритма заключается в следующем.

Проверяется выполнение неравенств:

$$x_1 - x_2 \leq a_1; \quad (8.21)$$

$$x_1 - x_3 \leq a_2; \quad (8.22)$$

$$x_2 - x_3 \leq a_3, \quad (8.23)$$

где  $x_1$  – исходное значение контролируемой величины;

$x_2, x_3$  – избыточное значение контролируемой величины;

$a_1, a_2, a_3$  – константы.

Выходной величине присваивается значение в соответствии с таблицей 8.1.

Таблица 8.1 – Присвоение значения выходной величины

Вариант	Выполнение неравенств	Выходная величина
1	(8.21), (8.22), (8.23)	$y = x_1$
2	(8.21), (8.22)	$y = x_1$
3	(8.21), (8.23)	$y = x_2$
4	(8.22), (8.23)	$y = x_3$
5	(8.21)	$y = x_1$
6	(8.21)	$y = x_1$
7	(8.21)	$y = z$
8	–	$y = z$

В вариантах 5 и 6 дополнительно выдается сообщение о ненадежности источника значения  $x_1$ .

В вариантах 7 и 8 дополнительно выдается сообщение о ненадежности источников значений  $x_2$  и  $x_3$  соответственно. В качестве заменяющего значения  $z$  используется константа или любая другая переменная, например, одна из величин  $x_1, x_2, x_3$ .

Константы  $a_1, a_2, a_3$  выбираются исходя из условий конкретного варианта использования алгоритма с учетом:

- проектной точности источников контролируемых и избыточных значений;
- вероятности ложного обнаружения недостоверности;
- вероятности нефиксации недостоверности;
- смещение влияния погрешности контролируемого значения на точность последующих расчетов;
- затрат, необходимых для поддержания точности контролируемого значения в пределах, определяемых выбранными значениями констант  $a_1, a_2, a_3$ .

При завышенных значениях констант увеличивается допустимая погрешность контролируемой величины, что отрицательно сказывается на последующих их расчетах. При заниженных значениях констант возрастает число замен, поэтому необходима уверенность в том, что заменяющие значения достаточно доброкачественны.

## 9 ЗАДАЧИ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ. АРХИТЕКТУРА АСУТП

### 9.1 Задачи характеристики

Целью характеристики, т. е. математического описания объекта управления является установление форм связи между параметрами процесса. Уравнения связи, в которых отражаются физические законы, определяющие протекание процесса в данном объекте управления, могут быть записаны в различных формах. Форма характеристики процесса должна быть адекватной в смысле требований, предъявляемых к ней. Такими требованиями могут быть:

- наглядность или простота физического смысла связей между переменными (при теоретическом анализе);
- простота нахождения параметров связей (при идентификации);
- простота синтеза оптимального управления;
- простота анализа ТОУ при решении конкретных задач анализа качества систем управления, устойчивости и др.

Поскольку всем требованиям одновременно удовлетворять трудно, то на разных этапах синтеза программного обеспечения ТП можно использовать различные формы характеристики, которые связаны между собой и при необходимости могут переходить от одних форм к другим, более удобным на данном этапе для решения поставленных задач, используя алгоритмы перехода. Структурная схема связей между различными формами характеристики изображена на (рис. 9.1).

Так как реальные процессы являются многомерными, нестационарными, с голономными связями, с распределенными параметрами, то необходимо применять приемы упрощения математических моделей, к которым относятся:

- расчленение многомерной системы на ряд систем меньшей размерности;
- понижение размерности модели за счет оставления в ней наиболее существенных воздействий и учета прочих в параметрической форме;
- принятие гипотезы стационарности или квазистационарности модели;
- линеаризация нелинейных связей в модели управления в некоторой области изменения переменных;
- пренебрежение динамическими свойствами объекта управления.

Перечисленные допущения позволяют описывать динамические свойства объекта обыкновенными линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами.

Использование ЦВМ для управления процессом приводит к тому, что на вход объекта подается управляющий сигнал, квантованный по времени. Выходной сигнал также рассматривается только в дискретные моменты времени. В этом случае для характеристики процесса можно применять соответствующую ему дискретную модель в виде линейных разностных уравнений с постоянными коэффициентами и др.

На практике применяют два способа характеристики объектов управления:

- с помощью характеристик «вход – выход»;
- с помощью уравнений для переменных состояния.

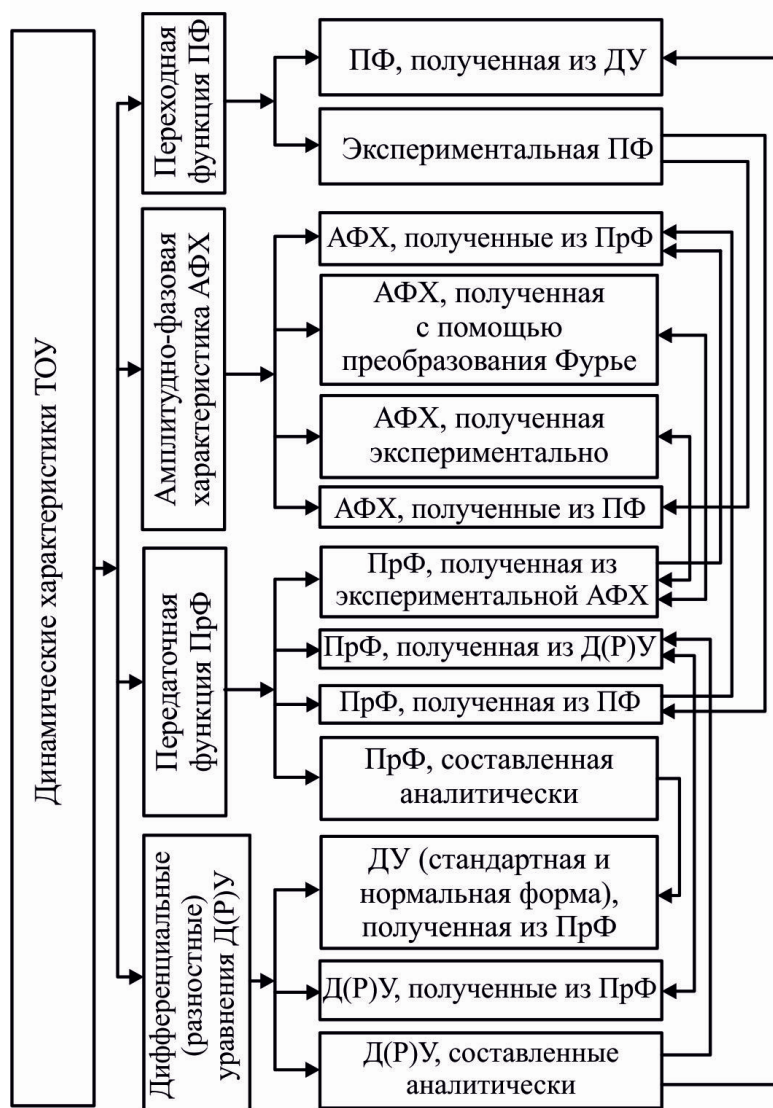


Рисунок 9.1 – Связь между различными формами характеристики

Описание объекта первым способом является субъективным и неполным. Оно отражает динамические свойства только агрегированных моделей каналов прохождения управляющих и возмущающих воздействий. Другой подход связан с описанием поведения объекта управления в абстрактном пространстве состояний. Этот путь оказывается более плодотворным, так как описание в терминах пространства состояний более объективно и полно, чем описание характеристиками «вход – выход», которые определяют лишь одну часть объекта, а именно, полностью управляемую и наблюдаемую часть.

В АСУТП более эффективными, с вычислительной точки зрения, являются алгебраические методы линеаризации в виде матрично-векторных уравнений состояния, записанных в рекуррентной форме

$$X_k = F_k X_{k-1}, V_{k-1}, Z_{k-j} ,$$

где  $X_n = X - K \times \Delta t$  – состояние объекта управления в дискретный момент времени;

$\Delta t$  – интервал дискретизации;



$V_{k-1}$  – управление объектом в момент  $k-i \times \Delta t$  (величина  $i \geq 1$  характеризует возможное запаздывание по каналу управления);

$Z_{k-j}$  – возмущение в момент  $k-i \times \Delta t$  (величина  $j \geq 1$  характеризует возможное запаздывание по каналу возмущения);

$F_k$  – вектор-функция связей между переменными.

Вычисляемые ЭВМ значения управляющих воздействий должны быть найдены как функции от состояния (настоящего и прошлого) и возмущений (настоящих и будущих)

$$V_k = \varphi_k(X_k, \dots, X_{k-p}, Z_k, \dots, Z_k + S),$$

где  $\varphi_k$  – вектор-функция;

$$p \geq 0, S \geq 0.$$

Основная задача, которую должны решать инженеры АСУ на предприятиях, состоит не только в том, чтобы добиваться максимальной производительности при минимальной стоимости системы, но и заложить основы расширения системы в будущем для удовлетворения возрастающих требований предприятия. Поскольку производственный процесс и технологии постоянно изменяются, система мониторинга и управления должна адекватно отслеживать эти изменения, т. е. легко модифицироваться при изменении задачи и расти по мере развития предприятия. Это возможно лишь в том случае, когда архитектура АСУТП является масштабируемой.

## 9.2 Архитектура АСУТП

В прошлом инженеры должны были выбирать между двумя взаимоисключающими архитектурами – централизованной или распределенной. К сожалению, ни одна из них не может удовлетворять потребностям современного предприятия. В начале 80-х годов централизованная архитектура приобрела популярность, поскольку один большой компьютер мог осуществлять все управление производственным процессом и хранить данные в единой БД (рис. 9.2). Все операторы в такой системе имели одинаковый доступ к данным, поскольку они хранились в одном месте, и только один компьютер нуждался в обновлении при изменении требований производственного процесса.

Однако эта архитектура имеет ряд серьезных недостатков:

- начальные инвестиции слишком высоки для небольших приложений;
- фиксированная емкость системы не допускает последовательного увеличения системы при расширении предприятия или изменении конфигурации;
- резервирование может быть достигнуто только дублированием всей системы в целом;
- требования к технической квалификации обслуживающего персонала очень высоки и часто требуют дорогостоящего обучения.

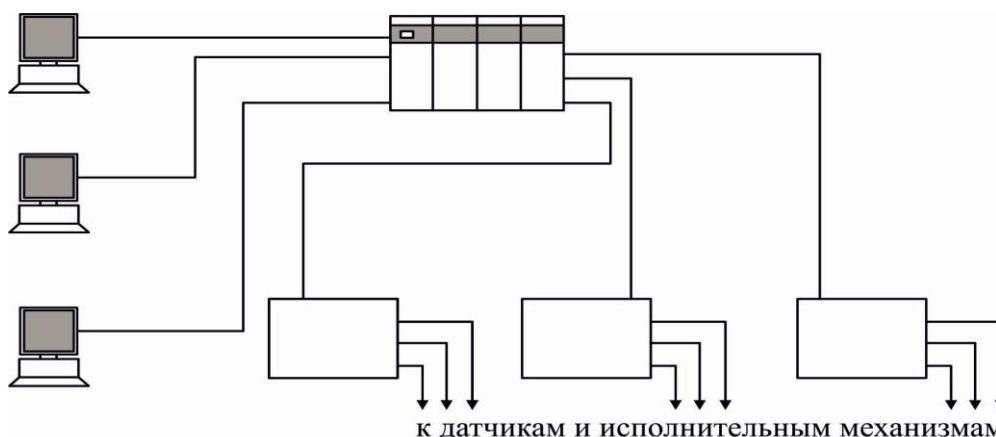


Рисунок 9.2 – Централизованная архитектура

При полностью распределенной архитектуре, популярной в конце восьмидесятых годов, задачи управления и сбора данных выполняются на нескольких небольших компьютерах (как правило, ПК). Каждый компьютер решает собственную задачу и работает со своей базой данных (БД), как показано на рисунке 9.3.



Рисунок 9.3 – Распределенная архитектура

Распределенная система является весьма гибкой при малой величине начальных инвестиций. Требования к квалификации операторов невысоки, и специализированное обучение требуется в ограниченном объеме.

Резервирование может применяться выборочно к задачам, критически важным для предприятия. Такая система решает проблемы, присущие централизованным архитектурам управления.

Однако распределенные системы также имеют свои недостатки:

- обработка данных происходит на каждом компьютере, что приводит к крайне неэффективному использованию вычислительных мощностей;
- отсутствует оптимизация запросов к данным производства – если два оператора запрашивают одни и те же сведения, запрос повторяется дважды.

Преимущества централизованной архитектуры являются недостатками распределенной системы и наоборот.

Осознание того факта, что необходим принципиально иной подход к построению АСУТП, привело в начале девяностых годов к появлению новых разработок. Автором наиболее известного решения является фирма CiTechnologies, предложившая в 1992 г. программный пакет Citect для Windows.

Citect для Windows предлагает инновационный подход в реализации системной архитектуры, использующий лучшие свойства централизованной и распределенной обработки данных. Архитектура Citect является революционной не только по отношению к АСУТП, но распространяется и на другие приложения, работающие с распределенными ресурсами, объединенными в сети.

### 9.2.1 Архитектура клиент-сервер

Основная проблема таких систем заключается в способе распределения БД. Когда ПК объединены в локальную сеть (ЛВС), БД может быть централизована, а данные поступают к индивидуальным узлам. Если необходимо извлечь определенную информацию из БД непосредственное обращение к БД и поиск в ней осуществляются только компьютером, ответственным за управление этой базой. Такой компьютер, обладающий необходимым интерфейсом по обработке запросов, функционирует как сервер информации. Когда узел отображения (или иной клиент) посылает запрос к БД, он не должен осуществлять поиск в базе самостоятельно, а лишь запрашивать эти данные у сервера. Это и составляет основу архитектуры клиент-сервер.

### 9.2.2 Оптимизация клиент-серверной обработки данных в Citect

Для того чтобы понимать, как Citect использует архитектуру клиент-сервер, необходимо иметь четкое представление об основных задачах Citect: ввод/вывод; отображение; тревоги; графики; отчеты.

Каждая из этих задач управляет собственной БД независимо от других. Такое разделение БД поддерживается даже тогда, когда все задачи исполняются на одном и том же компьютере (рис. 9.4).

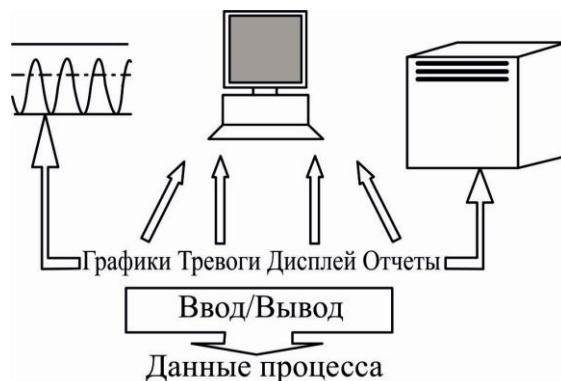


Рисунок 9.4 – Системная архитектура Citect

Ввод/вывод является интерфейсом между системой управления–контроля и производственным процессом. Он оптимизирует и управляет процессом обмена данными на предприятии между физическими устройствами.

Тревоги отвечают за генерацию сигналов тревог путем анализа состояния дискретных переменных и сравнения значений аналоговых переменных с заданным порогом.

Графики управляют всеми данными, которые необходимо отображать с течением времени. Собранные и обработанные они посылаются задаче

отображения по запросу последней.

Задача по обработке отчетов собирает необходимые данные, в том числе из тревог и графиков, и генерирует отчеты по заданному критерию. Отчеты могут вырабатываться периодически, при наступлении некоторого события или инициироваться оператором.

Отображение информации является связующим звеном с оператором, основной составляющей ЧМИ. Этот процесс управляет всеми данными, предназначенными для отслеживания оператором и выполнения действий, инициированных оператором. В рамках отображения осуществляется доступ ко всем тревогам, графикам и отчетам.

Каждый из описанных выше процессов функционирует независимо от других. Ввод/вывод, тревоги, графики и отчеты имеют общую черту – поскольку они нуждаются в доступе к одним и тем же данным производственного процесса; такие задачи лучше решаются в рамках централизованной архитектуры. Задача отображения больше подходит распределенной архитектуре, поскольку, как правило, в системе присутствует более одного оператора.

Клиент-серверная архитектура – с распределенными задачами как клиентами и общими задачами как серверами – оптимизирует распределение информации между БД. Citect для Windows может поддерживать высокую производительность даже при распределении задач по многим компьютерам.

### **9.2.3 Масштабируемая архитектура**

Поскольку архитектура клиент-сервер позволяет распределять подзадачи, конструкторы системы не связаны обычными аппаратными ограничениями. Результатом является масштабируемая архитектура, которая, может быть адаптирована к приложениям любого размера – решения, устраняющего множество ограничений обычных систем и обеспечивающего результаты, до сих пор невозможные в АСУ.

Лучшим способом выявления большого потенциала масштабируемой архитектуры для любого приложения может быть ее применение в серии небольших примеров из практики. В небольших приложениях один компьютер управляет всеми тревогами, графиками, отчетами и задачами ввода/вывода. Система может быть полностью независимой или интегрированной в существующую структуру (рис. 9.5).

По мере расширения приложения (например, добавляются два узла) дополнительный компьютер может быть использован для каждого узла – и на каждом устанавливается ПО Citect для Windows (рис. 9.6).

Однако такую схему можно улучшить добавлением ЛВС и выделенного сервера ввода/вывода. Такая централизация устраняет ненужные вычисления. Задачи отображения распределены по компьютерам, так что каждый оператор может получать необходимые данные (рис. 9.7).

Поскольку задачи отображения обрабатываются локально и лишь запросы к данным поступают на центральный сервер, такая система значительно улучшает производительность и гибкость.

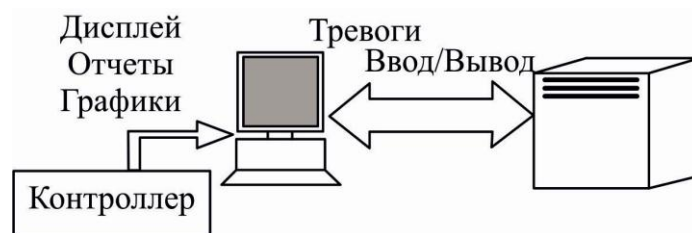


Рисунок 9.5 – Масштабируемая архитектура

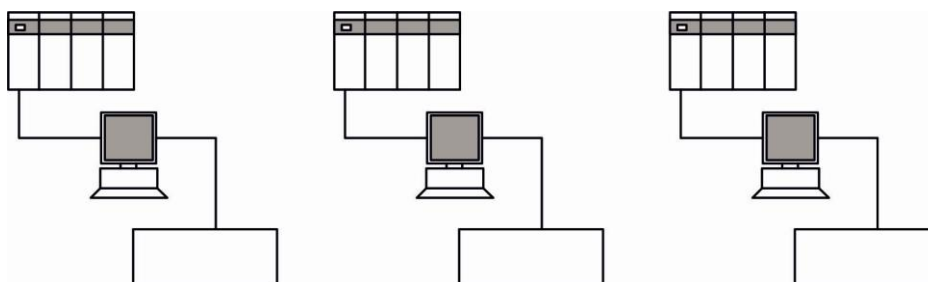


Рисунок 9.6 – ПО Citect установлено на каждом узле



Рисунок 9.7 – Схема с добавлением локальной сети

Другим достоинством такой системы является необходимость наличия только одного принтера, доступного из любого компьютера в сети. Дополнительные операторы могут быть легко подключены к системе. Менеджерам и группе качества может быть предоставлен доступ к данным производственного процесса (рис. 9.8).

Многоуровневая система по паролю ограничивает доступ к данным и защищает оборудование предприятия от несанкционированных обращений. Например, каждому оператору может быть предоставлен доступ лишь к определенным объектам на предприятии; группа качества может иметь доступ, ограниченный только чтением данных на всем предприятии, в то время как начальник смены обладает неограниченным доступом. Связь с большим компьютером может поддерживать загрузку регламентов и управление выпуском продукции, а, в свою очередь, отчеты и журналы тревог могут поступать обратно в отделы планирования и управления.

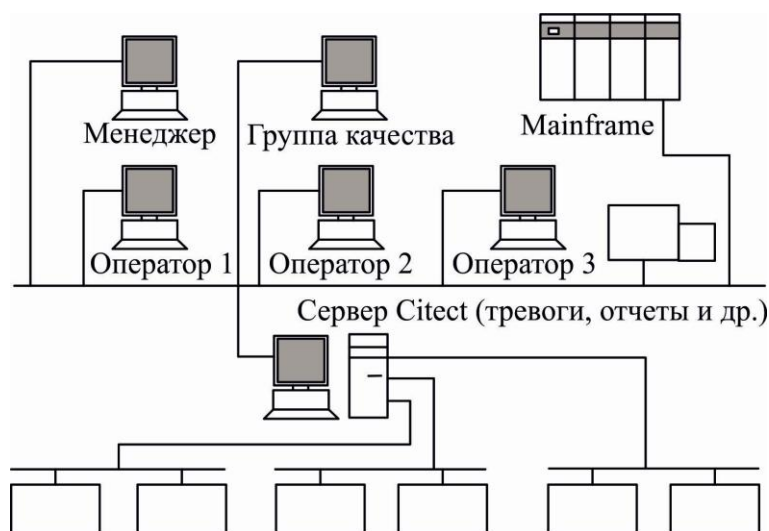


Рисунок 9.8 – Многоуровневая система по паролю

То, что начиналось как небольшое приложение, превратилось в среднюю по размерам систему, не потребовав изменения ни оборудования, ни ПО. Инвестиции были сохранены на каждой стадии развития. Для приложения большого размера, как правило, требуется отдельный сервер для задач отчетов, тревог и графиков. Как дополнение может быть использован файловый сервер для хранения конфигурации БД и общего ПО (рис. 9.9).

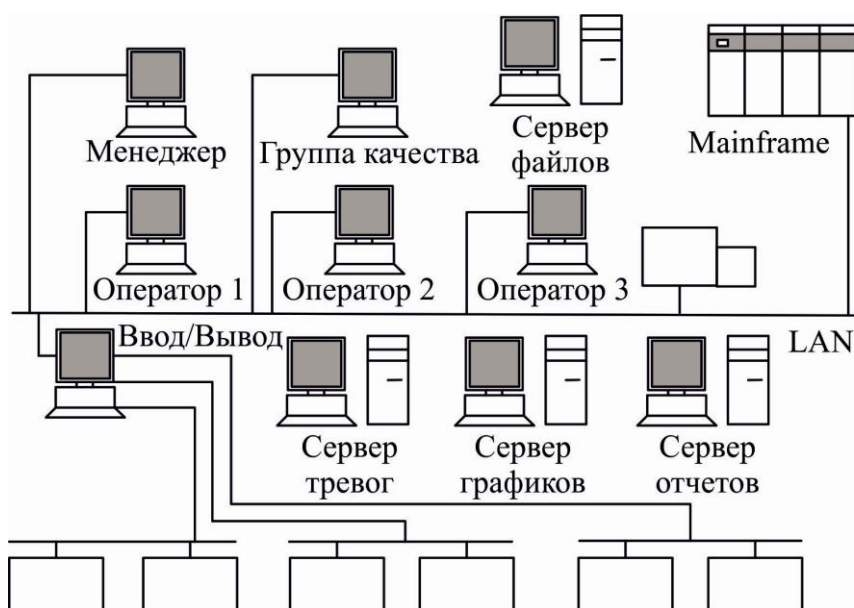


Рисунок 9.9 – Система с отдельными серверами

Не все АСУ настолько велики, но Citect может эффективно использоваться в системе любого размера, функционально расширяясь по мере роста предприятия. Возможность простого добавления новой аппаратуры и дальнейшего распределения обработки в Citect для Windows является поворотной точкой в истории развития АСУТП.

## 10 ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

### 10.1 Место программируемого контроллера в АСУ предприятия

Специалисты по комплексной автоматизации предприятий придерживаются 5-уровневой структуры при построении промышленных систем (рис. 10.1):

- системы планирования ресурсов предприятия ERP (Enterprise Resource Planning);
- системы исполнения производства MES (Manufacturing Execution Systems);
- станции оперативного технического персонала MMI (Man-Machine Interface);
- средства локального управления (Control);
- датчики и исполнительные устройства I/O (Input/Output).

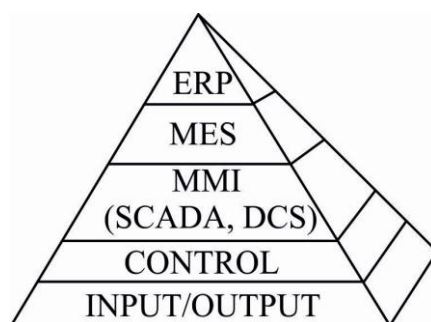


Рисунок 10.1 – Пирамида комплексной автоматизации предприятия

На уровне ERP осуществляются расчет и анализ финансово-экономических показателей, решаются административные и логистические задачи; на уровне MES – задачи управления качеством продукции, планирования и контроля последовательности операций технологического процесса, управления производственными и людскими ресурсами в рамках технологического процесса, технического обслуживания производственного оборудования.

Согласно ранее принятой терминологии эти два уровня относятся к задачам АСУП (автоматизированные системы управления предприятием). Технические средства, с помощью которых решаются задачи уровней ERP и MES – персональные компьютеры и рабочие станции.

На следующих трех уровнях решаются задачи, которые относятся к классу АСУТП (автоматизированные системы управления технологическими процессами).

Уровень I/O представлен датчиками и исполнительными механизмами.

Уровень Control занимают устройства под общим названием программируемые контроллеры (ПК). Условно задачи, решаемые контроллерами на этом уровне можно разделить на две группы:

- локальное управление объектом (например, поддержание температуры на заданном уровне);
- сбор данных (например, опрос нескольких датчиков температуры и передача сообщения о параметрах в цифровом виде системе верхнего уровня).



На практике часто встречается сочетание этих двух типов задач. На протяжении последних 30 лет техническими средствами уровня Control служили программируемые логические контроллеры (ПЛК). Однако в настоящее время на уровне Control развернута жесткая конкуренция между ПЛК с универсальными программируемыми контроллерами, оснащенными устройствами сопряжения с объектами (УСО). На уровне MMI осуществляется оперативное управление технологическим процессом, принимаются тактические решения, направленные на поддержание стабильности процесса, решаются задачи двусторонней связи оператор – технологический процесс. По способу организации взаимосвязей между уровнями MES, MMI и Control системы MMI подразделяют на две группы: SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition); DCS (Distributed Control System).

Ведущие производители программируемых логических контроллеров (фирмы Siemens, Allen Bradley, Mitsubishi, AEG Modicon) ориентируются на использование своей продукции в системах типа SCADA, структурная схема которой приведена на рисунке 10.2. Системы SCADA обычно имеют серверную структуру. Выделенный узел осуществляет сбор информации от контроллеров, ее обработку и передачу контроллерам управляющих воздействий. Этот же узел может выполнять функции операторской станции или быть ее сервером. Техническими средствами, на основе которых реализуют операторские станции, служат промышленные компьютеры.

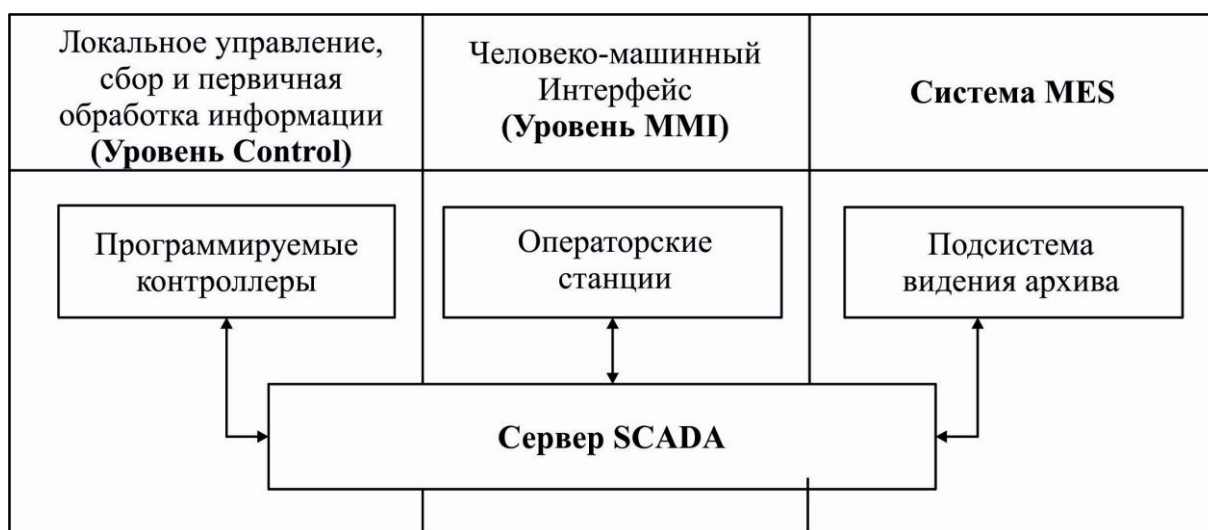


Рисунок 10.2 – Обобщенная структура системы типа SCADA

Однако в ряде случаев экономически целесообразно объединить функции управления и MMI интерфейса на основе единых аппаратных средств, и тогда неминуемо придется выбирать между промышленным компьютером и программируемым логическим контроллером.

Таким образом, современные ПЛК могут использоваться в качестве технического средства сразу на двух уровнях «пирамиды», и на каждом из них они испытывают все более серьезную конкуренцию со стороны средств, программно совместимых с персональными компьютерами общего назначения.



Прежде, чем обратиться к классификации программируемых контроллеров, взглянем еще раз на пирамиду комплексной автоматизации (рис. 10.1) и отметим два важных аспекта:

- движение от основания пирамиды к ее вершине сопровождается значительным усложнением аппаратных средств и программного обеспечения, требующихся для реализации задач каждого уровня;

- число единиц технических средств, используемых на верхнем и нижнем уровнях, несоизмеримы. Самыми массовыми изделиями средств автоматизации являются датчики, исполнительные устройства и программируемые контроллеры.

## 10.2 Терминология технических средств

Функциональное определение программируемого контроллера объединяет (как минимум) четыре класса технических средств автоматизации:

- промышленный компьютер;
- программируемый (иногда промышленный) контроллер;
- программируемый логический контроллер;
- контроллер сбора данных УСО в распределенных системах. Зачастую дополнительную путаницу в терминологию вносит сокращение ПК, которое одновременно обозначает и промышленный компьютер, и программируемый контроллер, а иногда (по неаккуратности использования терминологии) и программируемый логический контроллер.

Однако, использование одной аббревиатуры ПК для всех этих средств не случайно, поскольку они имеют одинаковые особенности:

- средства выполнены на основе микропроцессорной элементной базе и являются микропроцессорными системами;

- средства уже имеют в своем составе (или могут быть легко дооснащены) устройства(ми) сопряжения с объектом (УСО), которые выполняют функции гальванической развязки источников дискретного, аналогового сигналов, конечного силового оборудования и устройств ввода/вывода контроллера, приведения границ шкалы непрерывного сигнала к стандартному диапазону измерительного канала, предварительной низкочастотной фильтрации;

- средства имеют конструктивное специальное исполнение – размещение плат на специальных шасси, покрытие плат специальными составами, применение пыленепроницаемых и влагонепроницаемых корпусов, рассчитанных на избыточное внутреннее давление и т. д. Все эти меры обеспечивают работоспособность с высокой надежностью в условиях повышенного уровня электромагнитных помех, воздействия агрессивной химической среды, вибрациях, удаленного расположения объекта от средства управления.

Границы между средствами в значительной степени размыты. Однако описать функциональные отличительные особенности каждого типа средств представляется возможным.

### ***Промышленный компьютер***

В настоящее время – это WINDOWS совместимый компьютер в промышленном исполнении. В нем присутствует полный набор средств MMI, но дисплеи, клавиатуры, винчестеры, тоже имеют специальное исполнение. Часто встречается щитовой вариант исполнения.

### ***Универсальный программируемый контроллер***

Универсальный программируемый контроллер – это микропроцессорная система, мощность которой практически не отличается от мощности промышленного компьютера. Однако если для последнего одной из основных была функция MMI, то контроллер ориентирован в основном на работу в качестве локального узла сбора и передачи данных в распределенной сети в реальном масштабе времени или на локальное управление объектом. Промышленные контроллеры часто оснащены аналоговыми и дискретными адаптерами ввода/вывода подобно ПЛК. В последнее время под промышленным контроллером все чаще понимают WINDOWS совместимые платформы типа microPC и PC 104, хотя это и не обязательно.

С функциональной точки зрения изделия этих двух классов объединяет важная особенность – открытое программное обеспечение. В эти изделия может быть загружено любое программное обеспечение, работающее под управлением операционной среды WINDOWS или специальных операционных систем (ОС) реального времени, программа управления может быть написана на языках высокого уровня общего применения. Эта особенность является чрезвычайно привлекательной.

### ***Программируемый логический контроллер***

Универсальный программируемый контроллер – это микропроцессорная система специального назначения с проблемно-ориентированным программным обеспечением для реализации алгоритмов логического управления и/или замкнутых систем автоматического управления в сфере промышленной автоматизации. ПЛК отличаются от специализированных встраиваемых микропроцессорных контроллеров универсальностью структуры и инвариантностью по отношению к объекту управления в пределах указанного класса задач.

### ***Контроллер сбора данных***

Контроллер сбора данных представляет собой микропроцессорную систему, предназначенную только для сбора информации. Эти контроллеры выполняют функции преобразования сигналов группы первичных датчиков в цифровой код и передачи, полученных данных устройству верхнего уровня, используя какой-либо из протоколов локальных промышленных сетей.

Программное обеспечение двух последних типов систем не является открытым.

### 10.3 Структура ПЛК

Первые ПЛК появились в 1967 г. и были предназначены для локальной автоматизации наиболее часто встречающихся в промышленности технологических задач, которые описывались преимущественно логическими уравнениями. ПЛК с успехом заменили блоки релейной автоматики и устройства жесткой логики на интегральных микросхемах малой и средней степени интеграции. Отсюда и название – программируемый логический контроллер, или Programmable Logic Controller (PLC).

Аппаратные средства, программное обеспечение и конструктивное исполнение ПЛК должны удовлетворять следующим требованиям:

- универсальная структура изделия, которая позволяет свести каждую новую разработку к выбору среди существующих аппаратных средств и разработке новой управляющей программы;
- высокая надежность;
- удобство обслуживания и эксплуатации;
- простое программирование и перепрограммирование устройства (возможно не специалистом в области компьютерной техники);
- стандартизация входов и выходов для непосредственного подключения датчиков и исполнительных устройств;
- меньшие габариты и энергопотребление, чем у аналогичных блоков релейной автоматики и жесткой логики;
- конкурентоспособность по стоимости со схемами на основе релейной техники, жесткой полупроводниковой логики, возможность обмена информацией с системой управления верхнего уровня.

Тридцатилетний опыт технического развития и эксплуатации привел к выделению ПЛК в отдельный класс микропроцессорных систем.

ПЛК представляют собой завершенную форму микропроцессорных средств, которые характеризуются оригинальной архитектурой и специальным программным обеспечением. Реализованные решения в области аппаратных и программных средств преследуют цель обеспечения максимально возможного уровня надежности при работе в промышленных условиях эксплуатации. Весь комплекс этих решений можно подразделить на следующие функциональные группы:

- специальная архитектура центрального процессора ПЛК;
- использование различных способов резервирования;
- использование программных методов защиты информации;
- специальная схемотехника УСО;
- организация специальных быстродействующих магистралей связи с удаленными УСО;
- специальное конструктивное исполнение.

Структура ПЛК, подключенного к объекту управления, показана на рисунке 10.3. Центральный процессор (ЦП) включает собственно микропроцессор, память программ и память данных, формирователи магистрали сопряжения с локальными модулями ввода/вывода, адаптеры связи

с удаленными модулями УСО, адаптеры связи с периферийным сервисным оборудованием (пульт оператора, дисплеи, печатающее устройство). Локальными модулями УСО называют модули, конструктивно расположенные в одном крейте с платами ЦП и памяти ПЛК.

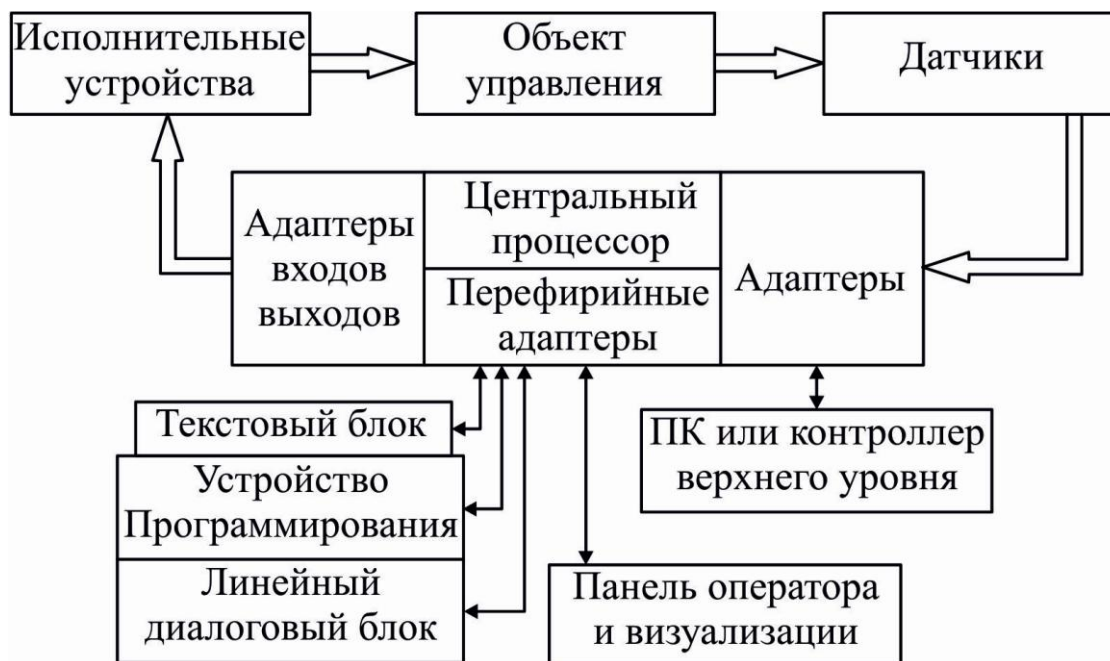


Рисунок 10.3 – Программируемый логический контроллер в системе управления

Центральный процессор (ЦП) ПЛК имеет следующие особенности:

- память программ и память данных ПЛК разделены не только логически, но и физически. Специализация центральной памяти ЦП является отличительной особенностью ПЛК, причем область памяти выходных переменных обязательно выполнена энергонезависимой с целью поддержания состояния объекта при отключении питания;

- в ЦП ПЛК встраиваются аппаратные устройства контроля адресного пространства, которые могут быть различными, в зависимости от структуры блоков памяти ПЛК;

- при построении ЦП используются методы структурного резервирования составных элементов (например, ЦП может включать два обрабатывающих блока, которые объединены между собой блоками принятия решений; при этом сигналы выходных воздействий формируются только в случае, когда они одинаковы для обоих блоков; отказавшая структура выявляется с помощью встроенных тестовых программ);

- несколько сторожевых таймеров, входящих в состав ЦП ПЛК, контролируют строго определенное время выполнения одного цикла управляющей программы и отдельных ее частей;

- ЦП средних и мощных ПЛК часто выполнены многопроцессорными, причем распределение задач между отдельными процессорами обусловлено типовыми алгоритмами функционирования ПЛК, а способы передачи информации между процессорами подчиняются жесткому требованию реализации программы управления объектом за строго определенный временной интервал.

Интерфейс между датчиками, исполнительными устройствами, и ЦП ПЛК обеспечивается специальными электронными модулями ввода/вывода (адаптеры). В связи с тем, что ПЛК ориентированы на работу в промышленных условиях, особое внимание уделяется схемотехнике и конструкции помехоустойчивых дискретных входов/выходов.

Кроме собственно приема информации, адаптеры дискретных входов выполняют предварительную обработку сигнала, выделение полезного сигнала из зашумленного, реализуют развязку сигналов с различными уровнями мощности. Уровни постоянного и переменного напряжений входного дискретного сигнала стандартизированы:  $\approx 24$  В,  $\sim 130$  В,  $\sim 240$  В. Адаптеры дискретных выходов должны, кроме гальванической развязки, обеспечивать определенную мощность сигнала, необходимую для управления исполнительным устройством. Стандартные параметры выходов следующие: постоянное напряжение 24 В, переменное напряжение 130 В и 240 В при силе тока до 10 А. Выходным устройством могут быть биполярные или полевые транзисторы, реле, триод, тиристор. Гальваническая развязка обеспечивается разделительным трансформатором на переменном токе или оптронами на постоянном токе.

ПЛК непрерывно развивались в сторону усложнения. Постепенно, не изменяя названия, они стали выполнять функции регулирования. В составе ПЛК появились адаптеры ввода аналоговых сигналов, содержащие АЦП, и адаптеры вывода аналоговых сигналов на основе ЦАП. Система команд ПЛК пополнилась командами обработки двоичных кодов, ПЛК стали выполнять операции сравнения и алгебраические вычисления.

#### **10.4 Операционная система ПЛК**

Память программ ПЛК состоит из двух сегментов. Первый сегмент – неизменяемая часть, которая содержит ОС ПЛК. По существу, это – интерпретатор инструкций программы пользователя, которые размещаются во втором сегменте памяти – сегменте программы управления. Второй сегмент – это изменяемая часть программы. Она заносится на этапе адаптации серийного изделия для управления конкретным объектом.

ПЛК отличается циклическим характером работы. Каждый цикл выполнения программы управления включает четыре этапа (рис. 10.4).

На первом этапе происходит тестирование аппаратуры ЦП. Если тест дает удовлетворительные результаты, производится запуск цикла. На втором этапе осуществляется опрос всех входных переменных и запоминание их состояния в специальной области оперативной памяти данных, называемой РИ (Process Input Image – образ состояния входных переменных). На третьем этапе ЦП производит вычисление логических выражений, составляющих программу пользователя, используя в качестве аргументов состояние входных образов и внутренние переменные.

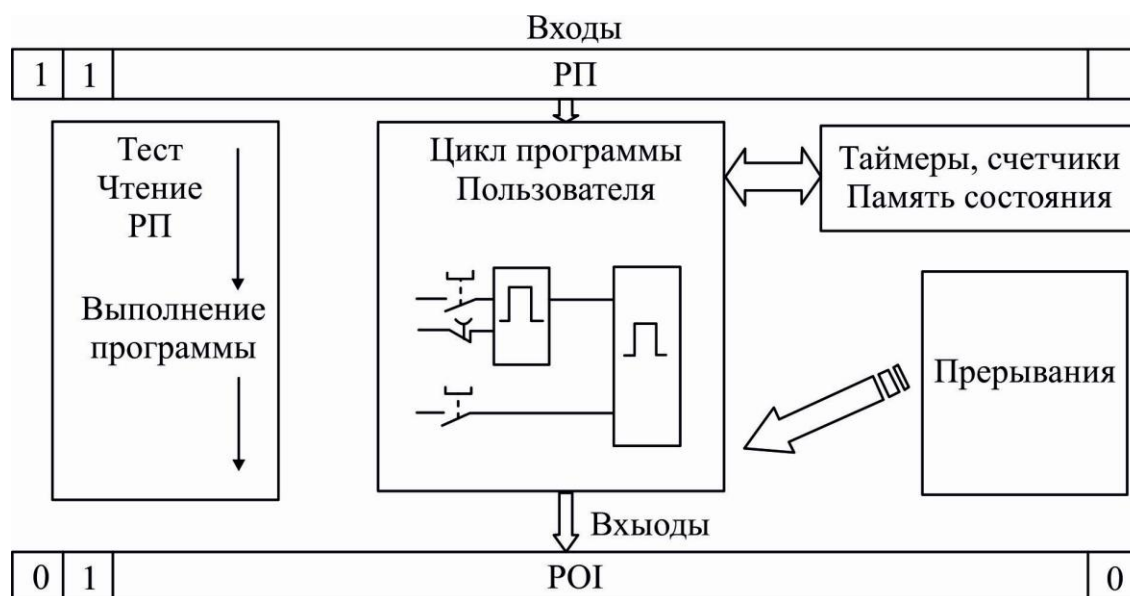


Рисунок 10.4 – Диаграмма работы ПЛК SIMATIC S7-200/300/400

Последние используются для обозначения режимов работы системы, а также отражают состояние программно-моделируемых таймеров и счетчиков. Результатом выполнения программы являются значения выходных переменных и новые значения внутренних переменных. ЦП записывает выходные переменные в другую специальную область памяти данных, называемую РОИ (Process Output Image – образ состояния выходных переменных). Одновременно ЦП управляет счетчиками, таймерами и обозначает новые режимы работы системы установкой или сбросом битов состояний в памяти. На четвертом этапе слово выходных воздействий выдается (все разряды одновременно) из РОИ в порты вывода и поступает на входы адаптеров выходных сигналов. Далее цикл работы ПЛК воспроизводится снова.

Такая организация работы ПЛК (по существу это – простейшая операционная система) имеет следующие преимущества:

- время реакции программы управления на изменение входных сигналов строго определено. В классификации ОС вычислительных средств такую систему называют ОС реального времени с жестким режимом работы. Именно такие требования предъявляются к вычислительным средствам для автоматизации технологических процессов, независимо от аппаратной платформы, на основе которой они реализованы;

- невозможность внесения изменений в интерпретатор инструкций гарантирует исключение ошибок программирования аппаратных средств на нижнем уровне. В этом случае необходимость изучения структуры и особенностей выполнения аппаратных средств полностью отпадает. Не случайно при описании ПЛК никогда не конкретизируется, на какой элементной базе (тип микропроцессора) выполнен ПЛК, так как это несущественно;

- интерпретатор инструкций содержит аппаратно ориентированные алгоритмы программной защиты от сбоев аппаратуры. Используются методы избыточного кодирования, многократного опроса с мажоритарной логикой

определения значения входной или выходной переменной, выборки аналоговых сигналов с чтением прямого и дополнительного кодов, записи в выходные устройства с эффектом «эхо» и т. д. Эти методы, оставаясь практически незаметными для пользователя, значительно повышают надежность системы;

– одновременная фиксация всех входных дискретных переменных на аппаратном уровне с последующим анализом копии их состояния в ОЗУ и одновременная выдача выходных значений на адаптеры выходов исключает эффект «неустойчивости» программы управления по причине изменения входных сигналов в процессе выполнения программы.

Рассмотренная модель функционирования ПЛК поясняет, почему быстродействие ПЛК (табл. 10.1) принято оценивать эквивалентным временем «опроса» 1024 (1К) дискретных входов. Обычно указывается время выполнения одного цикла программы средней сложности для 1К дискретных входов, включая этапы чтения РП и загрузки данных из РОІ в буферы. В некоторых случаях может быть указано эквивалентное время опроса одного входа. Следует отчетливо представлять, что последнее зависит от быстродействия ЦП, но оно всегда превышает время выполнения одной битовой инструкции микроконтроллером ЦП, так как реализация полного цикла даже для одного дискретного входа требует выполнения строго определенной последовательности. В грамотно составленном проспекте ПЛК обычно указано две величины, характеризующие быстродействие: время выполнения битовой инструкции ЦП и время опроса 1К дискретных входов. Первая характеризует быстродействие ЦП, вторая – быстродействие ПЛК как законченного устройства, включая особенности операционной системы.

Таблица 10.1 – Быстродействие некоторых ПЛК

Тип ПЛК	Оценка быстродействия, мс	Примечание
SIMATIC S7-200	Время выполнения 1К бинарных команд – 0,80	ПЛК малого формата
Modicon TSX Micro	Время выполнения 1К бинарных команд – 0,15 Время опроса 1К дискретных входов – 0,70	
SIMATIC S7-300	Время выполнения 1К бинарных команд – 0,30 Время выполнения 1К смешанных команд – 0,80	ПЛК среднего формата
DL-305 Direct Logic	Время выполнения 1К бинарных команд – 0,87 Время опроса 1К дискретных входов – 4 – 5	
SIMATIC S7-400	Время выполнения 1К бинарных команд – 0,08 Время выполнения 1К операций сложения – 0,08 Время выполнения 1К операций сложения в формате с плавающей запятой – 0,48	Мощный ПЛК

Следует отметить, что рассмотренный исторически сложившийся способ оценки быстродействия в настоящее время используется преимущественно для малых ПЛК. Для средних и мощных ПЛК программы управления, которых включают большое число вычислительных операций, оценки, основанные на модели логического управления, перестали быть актуальными. Для этих ПЛК указывается время выполнения операций определенного типа.

## 11 КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ

ПЛК принято подразделять на три группы. Ранее эти группы называли гаммами. Сейчас в русскоязычной литературе используют термин «формат», а в англоязычной эти три группы характеризуют как «Micro PLC», «Mini PLC» и «Power PLC».

В таблице 11.1 даны количественные и качественные критерии для ПЛК разного формата, принятые 20 лет назад и существующие в настоящее время.

Таблица 11.1 – Функции ПЛК разного формата

Критерии определения гаммы ПЛК в 1979 г.			Критерии определения формата ПЛК в 1998 г.		
ПЛК	Число дискретных входов/выходов	Выполняемые функции	ПЛК	Число дискретных входов/выходов	Выполняемые функции
нижней гаммы	$20 < N < 100$	Обработка цифровых данных не производится	малого формата Micro PLC	$5 - 10 < N < 100$	Типовые: логические, временные, счетные, арифметические в формате с фиксированной запятой. Расширенные: арифметические в формате с плавающей запятой, ПИД-регулирование
средней гаммы	$100 < N < 500$	Производится упрощенная цифровая обработка	среднего формата Mini PLC	$100 < N < 500$	Логические, временные, счетные, совершенная цифровая обработка, ПИД-регулирование, регулирование по законам нечеткой логики (Fuzzy logic). Сетевые возможности
верхней гаммы	$100 < N < 4096$	Производится совершенная цифровая обработка	мощные Power PLC	$100 < N < 128K$	Логические, временные, счетные, совершенная цифровая обработка, ПИД-регулирование, регулирование по законам нечеткой логики (Fuzzy logic). Работа с таблицами, средства MMI интерфейса, расширенные сетевые возможности

Данные таблицы 11.1 свидетельствуют о том, что порог рентабельности ПЛК сместился. В 1979 г. ПЛК нижней гаммы считались рентабельными, если они заменяли устройство автоматики с общим числом входов/выходов, равным 20, в настоящее время можно встретить ПЛК с пятью – десятью входами-выходами (например, контроллеры LOGO и TeleSAFE). Произошло это не потому, что микропроцессорная элементная база стала относительно



дешевой. Повысился уровень требований к простым устройствам автоматизации, которые должны обладать более развитым интерфейсом визуализации, а также обеспечивать возможность работы в общей информационно-управляющей сети предприятия. Две последние функции затруднительно реализовать какими-либо другими средствами, кроме микропроцессорных. Одновременно повысилась функциональная сложность всех ПЛК. Раньше ПЛК нижней гаммы выполняли только логические, счетные и временные функции, сейчас примерно половина ПЛК малого формата реализует алгоритмы регулирования.

ПЛК верхней гаммы существенно расширили функциональную гибкость. Так, число дискретных входов/выходов, обслуживаемых SIMATIC S7-400, может достигать до 128 К, число аналоговых входов – до 8 К. Мощные ПЛК реализуют задачи логического управления, регулирования, в том числе по законам нечеткой логики, выполняют функции работы с таблицами для создания баз данных, оснащены программной поддержкой средств визуализации систем SCADA.

Как уже отмечалось, реализация станции оператора с использованием выделенного промышленного компьютера не всегда оправдана, поэтому в ПЛК среднего формата и особенно мощных ПЛК особое внимание уделяется возможности подключения и программной поддержке пультов оператора и устройств визуализации технологического процесса. Практически все фирмы-изготовители ПЛК имеют в номенклатуре продукции ряд текстовых и графических панелей операторов, а также программные продукты для их параметрирования. Диапазон возможностей панелей оператора кратко рассмотрим на примере продукции фирмы Siemens. Текстовые панели OP3/OP7/OP17 предназначены для простых применений, так, OP3 рекомендуются в качестве переносного пульта. Дисплей панелей жидкокристаллический с подсветкой, число строк – от 2 до 4, число символов в строке – от 20 до 40. Максимальное число клавиш панели – 46 для OP17. Графические панели OP27/OP35/ DP37 имеют разрешающую способность до 640×480 точек, число клавиш – до 68. Панели имеют встроенный процессор, что разгружает ПЛК от операций формирования изображения в реальном времени.

Построение систем комплексной автоматизации предприятий требует включения практически каждого ПЛК в информационную сеть предприятия, способную работать в сложных промышленных условиях, поэтому одним из основных требований к современному ПЛК любого формата является аппаратная и программная совместимость с одним или несколькими стандартами сетей промышленного назначения. В недалеком прошлом многие фирмы изготовители ПЛК и средств автоматизации разрабатывали собственные протоколы обмена (DH-485 для Allen Bradley, K-sequence для PLC-Direct, Telway для Telemecanique). Это в значительной степени обусловлено иерархической топологией сети для крупных производственных установок, которые требуют использования нескольких децентрализованных систем управления, выполненных, как правило, на ПЛК одной фирмы и подключенных

к мощному ПЛК верхнего уровня той же фирмы (рис. 11.1). Такой подход был выгоден фирмам производителям, так как вынуждал применять только его оборудование. Однако очевидное усиление интеграции на уровне SCADA требует получения информации в централизованное пользование практически от каждого ПЛК.

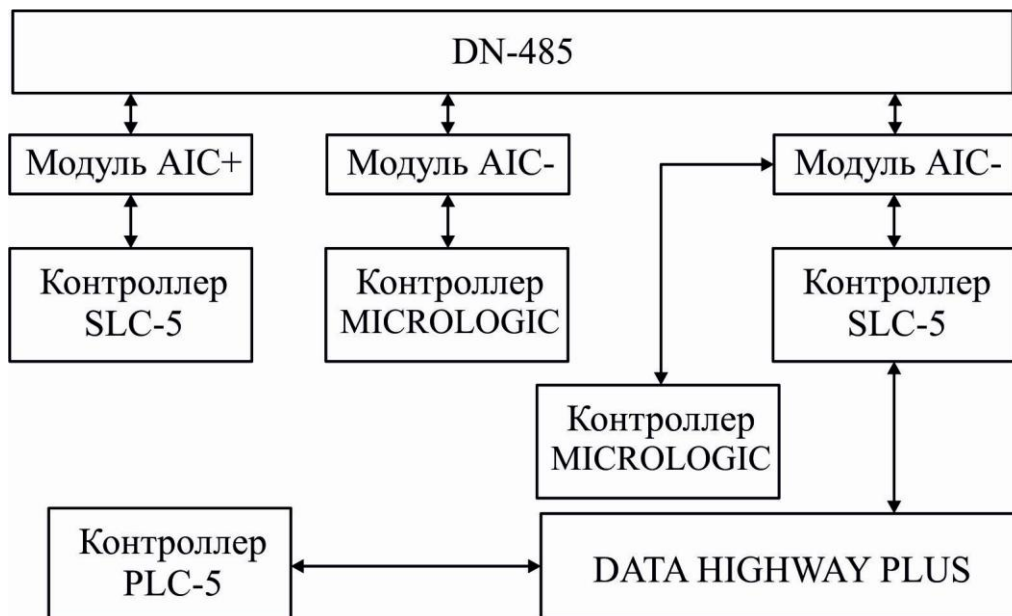


Рисунок 11.1 – Иерархическая сеть на основе ПЛК

В связи с этим конкурентоспособными останутся те ПЛК, которые обеспечивают сопряжение с открытыми промышленными сетями, такими как MODBUS, PROFIBUS, ETHERNET. Именно адаптацией к различным промышленным сетям обусловлено чрезвычайное разнообразие WG современных мощных ПЛК.

### 11.1 Мощный ПЛК

Рассматривая современное состояние вычислительной техники, легко поддаться искушению, переложить функции интерпретатора на программные средства разработки прикладного программного обеспечения, оригинальные пакеты которых, работающие в среде Windows, имеет каждая фирма. Такое решение предполагает замену специализированного модуля ЦП универсальным программируемым контроллером с открытым программным обеспечением.

Это направление сейчас активно развивается, и получило название «Soft PLC». Однако производители ПЛК не спешат полностью отказываться от специализированных ЦП. Весьма показательным, что разработчики самого мощного на сегодня ПЛК SIMATIC S7-400 с целью повышения быстродействия пошли на выполнение ЦП мультипроцессорным, но не стали отходить от рассмотренного выше принципа построения ОС ПЛК.

Достигнутое таким образом быстродействие сравнимо с быстродействием программ управления промышленных контроллеров, написанных на языке СИ.

Рассмотренная упрощенная ОС ПЛК является однозадачной. Если ПЛК заменяет несколько независимых релейных схем, программные модули, реализующие каждую из схем, расположены в памяти последовательно. В связи с этим время реакции ПЛК на изменение входных сигналов определяется суммарным временем выполнения всех программных модулей. Если среди обслуживаемых устройств окажется такое, которое требует более быстрой реакции, то рассматриваемая однозадачная ОС этого сделать не позволит. Очевидно, мультипроцессорный путь повышения быстродействия применим только для мощных ПЛК (но для них он, конечно, не единственный).

Другой способ повышения быстродействия ПЛК – переход к многозадачным ОС. Ранее многозадачные ОС были характерны только для мощных ПЛК. в настоящее время такая ОС – не редкость даже для ПЛК малого формата. Так, двухзадачную ОС имеет ПЛК среднего формата Telemecanique TSX 47-10/20. Программа управления, записываемая в этот ПЛК, должна быть разделена на две задачи. Инициализация выполнения «быстрой» задачи выполняется периодически с регулируемым разработчиком интервалом между обращениями (от 5 до 10 мс). Программа «медленной» задачи запускается на выполнение по сигналу сторожевого таймера каждые 150 мс. Отдельные части этой программы выполняются с разделением по времени после окончания очередного цикла обработки «быстрой» задачи. В ПЛК малого формата Modicon TSXMicro реализована многозадачная ОС. Для создания многозадачных ОС используют механизм, прерывания по сигналам внешних устройств, которыми управляет ПЛК. Такой механизм используют все ПЛК фирмы Siemens.

Придание ПЛК регулирующих функций неминуемо потребовало введения в состав языков программирования ПЛК команд работы с двоичными словами. ПЛК стали выполнять сложные вычисления, причем арифметики в формате с фиксированной запятой оказалось недостаточно – сейчас многие ПЛК имеют в системе команд библиотеки для работы с числами в формате с плавающей запятой. В первую очередь арифметические команды используются для реализации алгоритмов ПИД-регуляторов, причем не просто регуляторов, а с алгоритмами самонастройки и оптимизации переходных процессов.

Несмотря на такое существенное усложнение базового программного обеспечения, разработчики ПЛК не спешат уходить от проверенных временем принципов построения ПЛК. Весьма показателен пример с Telemecanique TSX 47-10/20. Для включения алгоритма ПИД-регулирование в его программу необходимо не только записать соответствующие команды, но и подключать специальный блок памяти в разъем на передней панели корпуса ПЛК. Пользователю при обращении к функции ПИД-регулирования следует задать только коэффициенты и постоянные времени программному коду регулятора.

## 11.2 ПЛК малого формата (MicroPLC)

ПЛК малого формата были и остаются наиболее многочисленной группой в семействе логических контроллеров. Этот факт в полной мере подтверждается числом строк таблицы 11.2, в которой приведены некоторые характеристики ПЛК малого формата.

Таблица 11.2 – ПЛК малого формата (Micro PLC)

Модель ПЛК, фирма, габариты	Выполняемые функции	Параметры ЦП	Параметры	
			Ввод / Вывод	
Simatic S7-200 Siemens				
(197*80*62)	Логические, временные, счетные, арифметические с фиксированной и плавающей запятой	CPU214 Память программ – 2 К ОЗУ данных – 2 К Быстродействие – 0,8 мкс	=24 В ~130 В	Транзистор 24 В/0,5 А Реле +24 В/2 А
(218*80*62)	Логические, временные, счетные, арифметические с фиксированной и плавающей запятой, ПИД-регулятора	CPU216 Память программ – 8 К ОЗУ данных – 2,5 К Быстродействие – 0,8 мкс		
Modicon-TSX Micro	Логические, временные, счетные, арифметические со словами одинарной и двойной длины, в формате с плавающей запятой, работа с таблицами, ПИД-регулятора	Быстродействие – 0,3 мкс Память программ – 4,7 К Память программ – 7,8 К Память программ – 40 К	=24 В ~115 В ~240 В	Транзистор 24 В/2 А Реле 240 В/2 А
DL 205 PLK Direct By Koyo Inc.	Логические, временные, счетные, арифметические. Часы реального времени. Встроенный журнал самодиагностики 4 ПИД-регулятора с самонастройкой	DL250 Память программ – 7 К ОЗУ – 7 К	=24 В ~132 В	Транзистор 24 В, Триак 264 В/0,5 А Реле Вывод 264 В/1 А

Три фактора определяют их столь прочное положение. Во-первых, в настоящее время наблюдается стремление к автоматизации тех объектов, которые ранее ей не подлежали, управление запорной арматурой различных трубопроводов и т. д. Во-вторых, «освоение» малыми ПЛК функций регулирования позволяет им в значительной мере заменить ПЛК среднего формата. В-третьих, средние и мощные ПЛК частично вытесняются промышленными компьютерами и контроллерами.

Анализ данных таблицы 11.2, позволяет выявить некоторые тенденции развития малых ПЛК:

– произошло изменение элементной базы памяти программ. Энергонезависимое ОЗУ с блоком резервного питания на аккумуляторах заменили программируемые пользователем ПЗУ с электрическим стиранием (типа EEPROM или FLASH). Микросхемы этой элементной базы имеют большую информационную плотность при меньшем энергопотреблении. Это позволило существенно увеличить память программ малых ПЛК (до 64 К)

при уменьшении габаритов плат ЦП. Автономный резервный источник питания теперь может использоваться для поддержания работоспособности устройства в целом (контроллеры TeleSAFE);

- общее совершенствование микроэлектронной базы привело к миниатюризации малых ПЛК. Максимальный линейный размер всех моделей лежит в пределах 20 см;

- изменился подход к конструктивному исполнению ПЛК малого формата. Почти полностью исчезли малые ПЛК модульного исполнения.

Базовая модель ПЛК малого формата теперь имеет неизменяемую пользователем конфигурацию с фиксированным числом дискретных входов/выходов (их стали называть интегрированными). Базовая модель выполняется в нескольких модификациях, различающихся типом встроенного источника питания (+24 В или 130/240 В), типом ЦП и электрическими параметрами дискретных входов/выходов. Это объясняется открывшейся в связи с микроминиатюризацией электронных компонентов возможностью повысить надежность ПЛК путем уменьшения числа плат в его конструктивном исполнении. Нередки одноплатные варианты. Несмотря на неизменяемую конфигурацию по числу входов/выходов базовой модели, практически все малые ПЛК имеют возможность подключения модулей расширения с адаптерами аналоговых и дополнительных дискретных входов/выходов. Подключение именно модулей расширения преследует две цели. Во-первых, обеспечить помехозащищенный ввод сигналов с удаленных датчиков, что достигается путем передачи данных от модуля расширения к базовой модели по специальной цифровой магистрали. Длина такой магистрали может достигать нескольких сотен метров, поэтому схемотехническое исполнение цифровой части адаптеров расширения значительно отличается от аналогичных по функциям интегрированных адаптеров. Иногда такие адаптеры называют модулями удаленного ввода. И только, во-вторых, модули расширения служат для увеличения числа входов/выходов. Как правило, малые ПЛК имеют два способа программирования: с помощью карманного программатора или через интерфейс последовательного обмена с использованием средств разработки, реализованных на персональном компьютере. Для простейших ПЛК (четко прослеживается стремление к реализации режима программирования «на линии», при котором не требуется никаких дополнительных устройств LOGO и TeleSAFE).

Практически все ПЛК малого формата поддерживают один или несколько протоколов обмена локальных промышленных сетей.

Сетевые возможности становятся одной из главных характеристик изделий данного класса.

Рассмотрим отдельные образцы малых ПЛК. Simatic S7-200 и Modicon TSX Micro – самые быстродействующие и мощные среди малых ПЛК. Близок к ним, по функциональным возможностям DL205 PLC Direct. Фирма PLC Direct by KOYO – сравнительно новая на российском рынке средств автоматизации, но предоставляет полный ряд ПЛК с очень хорошими техническими характеристиками.

Удивительно органичен новый маленький LOGO фирмы Siemens. В электротехнике его даже называют не ПЛК, а универсальным логическим модулем. Половину площади передней панели корпуса LOGO занимает графический ЖКИ дисплей, на котором с помощью шести клавиш можно «собрать» схему коммутации из 30 функциональных модулей. LOGO запомнит программу во FLASH памяти и будет реализовывать заданный алгоритм коммутации. При необходимости контроллер может быть перепрограммирован на месте установки. Устройство имеет защиту от несанкционированного доступа.

Особое внимание следует уделить ряду ПЛК TeleSAFE. Он представляет собой новую линию ПЛК – контроллеры для удаленных станций сбора данных и управления. Базовая модель ПЛК имеет всего от трех до пяти дискретных входов/выходов, но обязательно оснащена адаптерами аналоговых входов. Контроллеры имеют встроенные часы/календарь для составления архивов данных. Основная черта этих ПЛК – выдающаяся коммуникационная гибкость. TeleSAFE могут работать с коммутируемыми или выделенными телефонными линиями или радиоподключениями. Программная поддержка TeleSAFE позволяет работать практически через любую сеть. ПЛК TeleSAFE всепогодные, они единственные среди предлагаемого списка могут эксплуатироваться при минусовой температуре.

## 12 ВЫБОР ПРОМЫШЛЕННЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ

### 12.1 Адекватность функционально-технологической структуры объекта

Централизованные и распределенные АСУТП представляют собой иерархическую структуру, состоящую из ряда уровней.

Для централизованной АСУТП это такие уровни, как диспетчерский; цеховой; технологический.

Для распределенной АСУТП это уровни: диспетчерский; цеховой; локальный; технологический.

На рисунках 12.1 и 12.2 представлены типовые структурные системы централизованных и распределенных АСУТП.

ПЛК используются на цеховом и локальном уровнях.

Применение контроллеров на цеховом уровне централизованной АСУТП должно удовлетворять следующим основным требованиям:

- локальная или полевая (промышленная) шина обмена между контроллером и распределенным (удаленным) УСО (например, Modbus Plus, PROFIBUS) со скоростью обмена не менее 1 Мбит/с;

- промышленная шина обмена между контроллером и АРМ диспетчера;

- количество переменных на один ПЛК превышает 280/112 дискретных/аналоговых;

- ОС реального времени;

- синхронизация времени;

- обработка прерываний;

- контуры регулирования;

- архивирование данных;

- система резервирования (не обязательно);

- программирование в режиме реального времени (on-line).

Оптимальными, с этой точки зрения, являются контроллеры с шиной VME или с локальной шиной для обмена данными со встроенными УСО, например, контроллеры типа VME9300-42, IUC9000 (Kontron), SIMATIC S5-115F, SIMATIC S7-400 (Siemens), Premium, Quantum (Schneider Electric) 90-30, 90-70 GE (Fanuc), серии 6000 (Octagon Systems).

Применение контроллеров на цеховом уровне распределенных АСУТП аналогично их применению на цеховом уровне централизованных АСУТП, за исключением следующих особенностей:

- обязательна система резервирования;

- количество переменных на систему достигает 1000;

- для обмена данными между цеховым контроллером и локальными контроллерами используется полевая шина.

Этим требованиям соответствуют контроллеры типа VME9300-42 (Kontron), SIMATIC S5-115F, SIMATIC S4-400H (Siemens), Premium, Quantum (Schneider Electric).

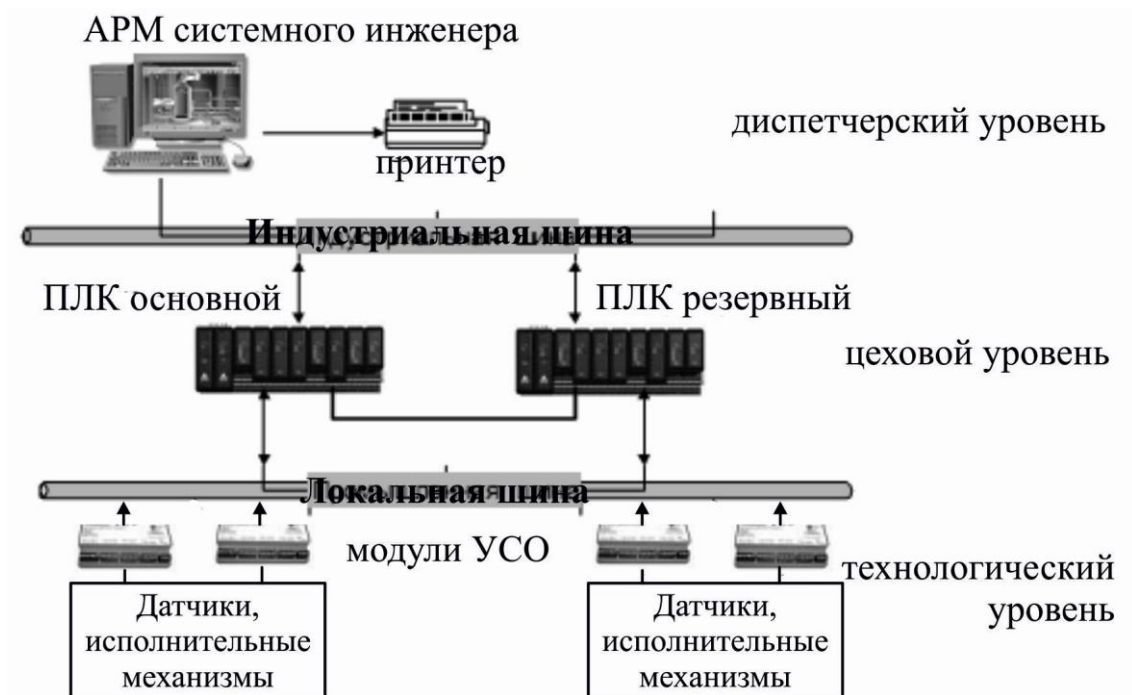


Рисунок 12.1 – Структурная схема централизованной АСУТП

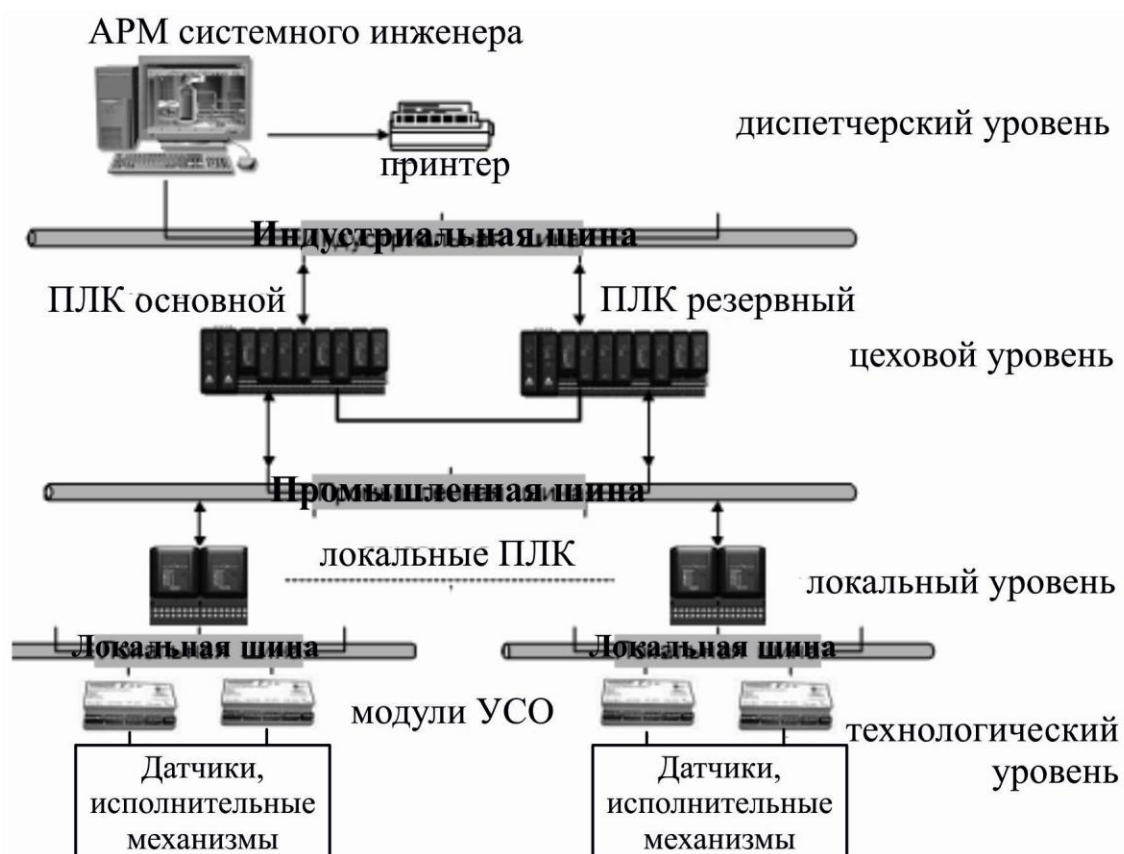


Рисунок 12.2 – Структурная схема распределенной АСУТП



Применение контроллеров на локальном уровне распределенных АСУТП должно удовлетворять следующим основным требованиям:

- локальная полевая шина обмена между контроллером и распределенным (удаленным) УСО (например, Modbus Plus, PROFIBUS) со скоростью обмена не менее 1 Мбит/с;
- полевая шина обмена между локальным и цеховым контроллерами;
- количество переменных на один ПЛК достигает 280/112 дискретных/аналоговых;
- ОС реального времени;
- поддержка синхронизации времени;
- контуры регулирования;
- программирование в режиме реального времени (on-line).

Этим требованиям соответствуют контроллеры типа IUC9000, SMART I/O (Kontron), SIMATIC S7-300H (Siemens), Premium, Compact (Schneider Electric), 90-30 (GE Fanuc).

В отдельную группу выделяются контроллеры для следующих применений:

- контроллеры противоаварийной защиты (ПАЗ);
- контроллеры сбора удаленных каналов телемеханики (RTU).

Контроллеры ПАЗ применяются в системах противоаварийной защиты. Особенности системы ПАЗ состоят в следующем:

- высокая готовность системы;
- контроллер ПАЗ может быть выделен из системы в отдельный блок, если система ПАЗ входит в состав АСУТП;
- резервирование источников питания системы;
- малое время реакции системы на событие (прерывание);
- ввод аналоговых сигналов без мультиплексирования производится высокоскоростными модулями УСО с изоляцией между каналами не менее 1500 В.

Данным характеристикам в полной мере удовлетворяют контроллеры SIMATIC S5-115F (Siemens), Premium, Quantum (Schneider Electric), 90-30, 90-70 (GE Fanuc).

Контроллеры входят в состав оборудования автоматизированных систем контроля и управления (АСКУ) удаленными объектами, где средства коммуникации и доступа к объекту затруднены. Свойства контроллеров, входящих в состав АСКУ удаленных объектов, следующие:

- коммуникационная поддержка последовательных и модемных каналов;
- стандартный протокол обмена;
- расширенный диапазон температуры от -40 °С до +60 °С;
- встроенная диагностика;
- программирование в режиме реального времени (on-line);
- защита от провалов питания с помощью батареи или бесперебойного ИП.

Для этих целей фирмами Schneider Electric и Bristol Babcock разработаны специальные контроллеры Compact и серии Network DSC3000.

## 12.2 Производительность контроллеров для АСУТП

Производительность ПЛК оценивается по следующим характеристикам:

- время считывания (выбора) канала телеизмерения;
- время обработки команд (двоичных, логических, булевых);
- время оборота маркера на внешней шине;
- цикл приложения задачи мастера (опрашивающего устройства);
- пропускная способность локальной или промышленной шины;
- цикл приложения задачи исполнителя (опрашиваемого устройства).

Одним из существенных параметров ПЛК является время считывания ( $T_{ск}$ ) канала модуля телеизмерения. Это время представляется в технических характеристиках модуля УСО неявно в виде времени преобразования аналогового модуля (около 50 мкс для типового модуля) и в явном виде приводится в пределах 0,2–4,0 мс. Суммарное время преобразования и время на обработку результата (время драйвера модуля УСО) определяет  $T_{ск}$ .

Время обработки команд ( $T_{ок}$ ) дается в технических характеристиках модуля ЦП в расчете на обработку 1К операций. Это время относится к обработке операндов в приложении, косвенно можно оценить по объему приложения в памяти программ. Как правило, время обработки команд значительно превышает суммарное время считывания каналов и в итоге определяет время цикла задачи в инструментальном пакете ПЛК.

Время оборота маркера ( $T_{ом}$ ) определяется циклами считывания модулей УСО на локальной шине или циклами прикладной задачи на локальных контроллерах, а также пропускной способностью шины. Время  $T_{ом}$  определяется по формуле

$$T_{ом} = N - 1 + n \cdot T_з + T_o + T_{xx} T_{бит/с},$$

где  $N$  – количество узлов;

$n$  – количество переменных;

$T_з$  – время запроса;

$T_o$  – время ответа;

$T_{xx}$  – время холостого хода;

$T_{бит/с}$  – время передачи 1 бита в секунду.

На рисунках 12.3 и 12.4 даны временные соотношения цикла приложения,  $T_{ск}$  и  $T_{ом}$ , (где  $T_{ск}$  – время считывания канала;  $T_{ом}$  – время оборота маркера;  $T_{см}$  – время считывания модуля;  $T_{cy}$  – время считывания узла) для опроса на промышленных шинах Modbus Plus и Profibus.

Время оборота маркера на локальной и промышленной шине равно циклу приложения узла задатчика (мастера) на шине и может быть меньше пропускной способности шины. Цикл приложения узла исполнителя

на промышленной шине не должен превышать  $T_{ом}$ , иначе приложение не успеет подготовить данные для опроса. Цикл приложения мастера на промышленной шине может быть меньше цикла приложения исполнителя, но при этом не в каждом цикле приложения мастера данные модифицируются.



Рисунок 12.3 – Опрос на промышленной шине типа Modbus Plus



Рисунок 12.4 – Опрос на промышленной шине типа Profibus

В таблице 12.1 представлены линейки контроллеров от основных производителей. Линейка контроллеров представляет собой группу контроллеров с одинаковым конструктивом, равными функциональными возможностями, но с разной производительностью в зависимости от ЦП. Линейки контроллеров у разных производителей лежат в одном слое с равными типовыми решениями конструктива, набора функций, плотности каналов УСО и др. Линейки подразделяются по уровням:

- линейка верхнего уровня (мощные цеховые контроллеры, как правило, типа VME);
- линейка среднего уровня (контроллеры локального уровня АСУТП, средней производительности);
- линейка нижнего уровня (контроллеры – интеллектуальные УСО для связи с распределенными объектами).

Таблица 12.1 – Линейки контроллеров от основных производителей

Фирма	Линейка верхнего уровня	Линейка среднего уровня	Линейка нижнего уровня
Kontron	VME9300	IUC9000	Smart I/o
Siemens	SIMATIC S7-400	SIMATIC S7-300	ET200
Schneider Electric	Quantum	Premium	Micro/Nano
GE Fanuc	90-70	90-30	VersaMax

В одной линейке ПЛК отличаются по производительности центральных процессоров и их коммуникационным возможностям. Стоимость ПЛК в одноуровневых линейках разных производителей контроллеров близка к равному номиналу. В ряду одной линейки стоимость ПЛК может колебаться в пределах стоимости ЦП.

### 12.3 Специализированные модули контроллеров для АСУТП

Наряду с традиционными модулями дискретных, аналоговых и последовательных каналов на рынке промышленных контроллеров имеется ниша для набора специализированных модулей, которые расширяют номенклатуру спектра применения промышленных контроллеров. Состав специализированных модулей следующий:

- модули коммуникационные;
- модули-счетчики;
- модули частотные;
- модули взвешивания;
- модули управления движением;
- модули защиты;
- модули скоростного аналогового ввода для систем измерения в реальном времени.

## **13 СИСТЕМЫ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ В АСУТП**

### **13.1 Необходимость применения противоаварийной защиты**

Важной особенностью развития является модернизация устаревших автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Необходимость модернизации объясняется следующими причинами:

- критическое состояние основных производственных фондов;
- необходимость соблюдения жестких международных стандартов по безопасности производства, особенно взрывоопасного;
- необходимость применения в АСУТП современного контроллерного оборудования на базе открытых стандартов, разработок в области систем резервирования и аварийных защит от лидеров рынка систем автоматизации.

Рассмотрим самый ответственный элемент АСУТП, применяемый в гибком и взрывоопасном производстве, – систему противоаварийной защиты (ПАЗ). Системы ПАЗ находят широкое применение в АСУТП, ввиду возросших требований на аварийную ситуацию, возросшего уровня автоматизации технологических процессов, что приводит к увеличению вероятности возникновения аварийной ситуации.

Системы ПАЗ подразделяются на две структуры: ПАЗ в системах безопасности гибких производств; ПАЗ в АСУТП взрывоопасных производств.

### **13.2 Назначение системы безопасности гибких производств**

Системы безопасности гибких производств выполняют функции защиты рабочего персонала и машинного оборудования при возникновении аварийной ситуации.

Модули безопасности либо входят в состав модулей контроллера (например, TSXPAY для семейства контроллеров типа Premium фирмы Schneider Electric), либо являются автономными (PREVENTA, ESTOP) и могут интегрироваться в оборудование шкафа автоматики АСУТП.

Автономные модули безопасности предназначены для мониторинга аварийного останова и используются для безопасного разрыва одной или нескольких схем управления механизмом. Модули удовлетворяют требованиям европейских стандартов EN 418 – для аварийных остановок и EN-60204-1 – для схем безопасности. Эти стандарты действуют в особых случаях, где к устройству аварийного останова предъявляются требования разомкнуть несколько схем (аварийная остановка косвенного действия). Модули мониторинга аварийного останова оснащены блоком безопасности на аппаратной логике, управляющей аварийным остановом. Это обеспечивает функцию безопасности до категории 3, согласно стандарту EN-954-1.

Дополнительно в модулях аварийного останова предусмотрена полная диагностика системы безопасности (чтением состояния кнопок или ограничительных выключателей во входной цепи аварийного останова), контур обратной связи и контроль двух цепей выхода. Системы безопасности,

построенные на автономных модулях, отвечают современным стандартам, но используются в основном в централизованных АСУТП и автоматизированных системах с числовым программным управлением (ЧПУ).

В распределенных АСУТП подход в реализации системы безопасности для обслуживающего персонала ПТК и сохранности оборудования должен быть другим.

Необходимость управления устройствами на значительном расстоянии приводит к созданию распределенного блока экстренного аварийного останова (БЭАО), основной механизм управления которого находится в шкафу цехового контроллера или специальном шкафу контроллера БЭАО. Исполнительные БЭАО встраиваются в шкафы автоматики, которые задействованы в экстренном аварийном останове (ЭАО).

Распределенный БЭАО обеспечивает следующие функции:

- мониторинг кнопок пульта аварийного останова для немедленной остановки исполнительного оборудования системы (аварийный останов категории 0 согласно стандарту EN-418);
- аппаратный ЭАО, не зависящий от контроллера;
- резервирование цепи ЭАО;
- мониторинг источника питания БЭАО;
- гальваническая изоляция входных и выходных цепей коммутации БЭАО;
- защита входных и выходных цепей коммутации БЭАО от перенапряжения.

### **13.3 Назначение системы ПАЗ в АСУТП**

На рынке промышленных контроллеров отдельную нишу занимают программируемые логические контроллеры (ПЛК) для применения в системах противоаварийной защиты. Системы ПАЗ предназначены для поддержания технологического оборудования и производства в безопасном состоянии, своевременном выявлении и предупреждении аварийной ситуации, проведении аварийных блокировок по заданным алгоритмам в случае возникновения аварийной ситуации, а также останова технологического процесса и оборудования и перевода управляющих механизмов в безопасное для окружающей среды и персонала состояние.

Согласно ПБ 09-170-97 АСУТП должна соответствовать требованиям ГОСТ 24.104-85 «Системы автоматического управления технологическими процессами и ПАЗ на базе средств вычислительной и микропроцессорной техники», техническому заданию на систему и обеспечивать следующие функции:

- постоянный контроль параметров процесса и управление режимом для поддержания регламентированных значений этих параметров;
- контроль работоспособного состояния системы ПАЗ и регистрация срабатывания защит;
- постоянный контроль состояния окружающей среды в пределах объекта;

- постоянный анализ изменения параметров в сторону критических значений и прогнозирование возможной аварии;
- контроль с помощью средств управления и ПАЗ за развитием и локализацией опасной ситуации, выбор и реализация оптимальных управляющих воздействий;
- проведение операций безаварийного пуска, остановки и всех необходимых для этого переключений;
- выдача информации о состоянии безопасности на объекте в вышестоящую систему управления.

На рисунках 13.1 и 13.2 показаны структурные схемы системы ПАЗ.

Ядро системы ПАЗ составляет промышленный контроллер, как правило, резервируемый, с операционной системой реального времени. Быстродействие ПЛК не является решающим моментом в обработке аварийных ситуаций. Контроллер защит должен иметь коммутационные возможности с выходом на локальные шины.

### **13.4 Обеспечение системы ПАЗ**

Для обеспечения системы ПАЗ необходимо:

- промышленный контроллер, построенный на современной элементной базе;
- отказоустойчивая структура контроллера (наработка на отказ не менее 100000 часов);
- своевременное выявление и предупреждение аварийной ситуации;
- высокая реактивность системы на событие (прерывание);
- высокоскоростной аналоговый/дискретный ввод;
- изолирование каналов ввода/вывода не менее 1000 В;
- дублирование устройств ввода/вывода при одновременном сканировании каналов контроллерами системы управления и защит, а также при резервировании контроллера защит;
- обеспечение надежного бесперебойного питания системы ПАЗ;
- реализация алгоритмов ступенчатой логики для пуска, останова, блокировок устройств управления объектом и приведение основных блоков системы в исходное, безаварийное состояние;
- организация буфера аварийных сообщений в памяти программ контроллера;
- доставка аварийных сообщений (транзакций) в режиме реального времени на верхний уровень в рабочую станцию;
- формирование и хранение аварийных трендов в архиве рабочей станции;
- встроенная самодиагностика, фиксирующая отказ с точностью до типового элемента замены;
- обеспечение горячей замены модулей УСО без выключения электропитания контроллера.

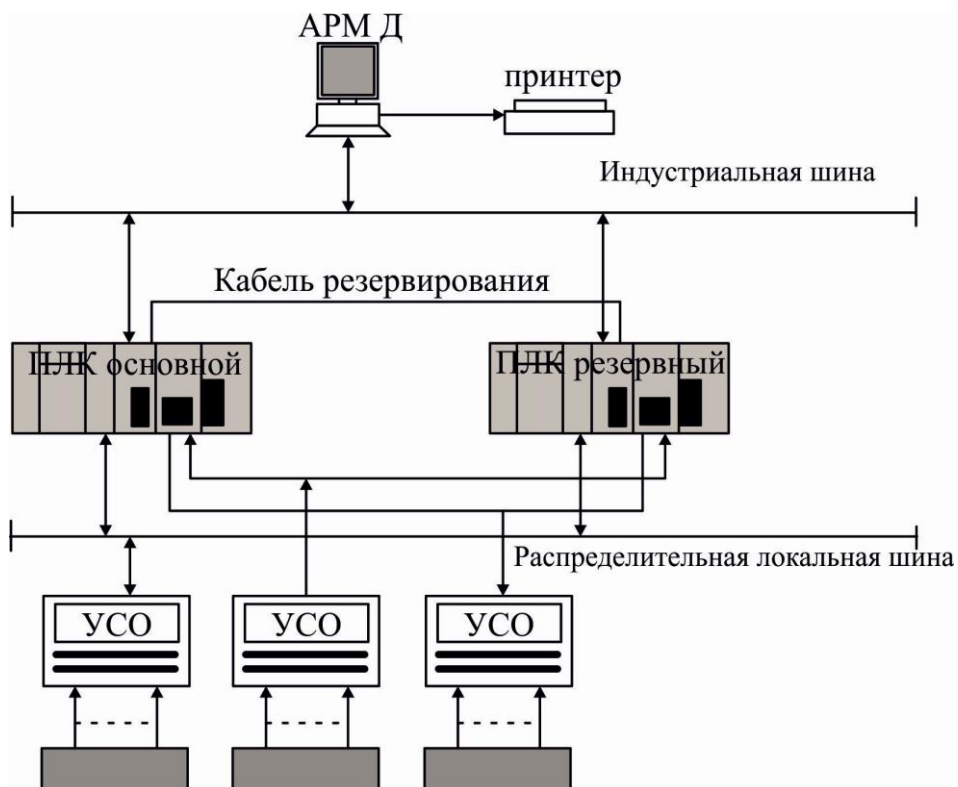


Рисунок 13.1 – Структурная схема системы ПАЗ на базе промышленных контроллеров типа Premium

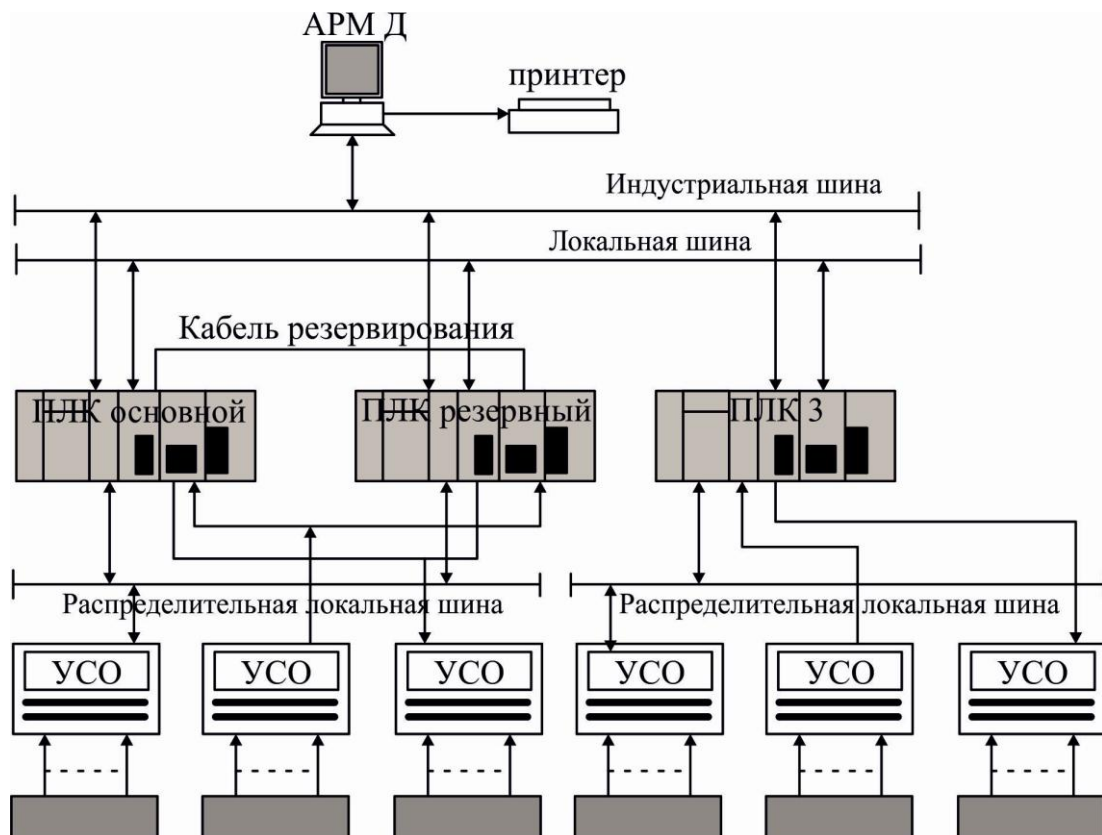


Рисунок 13.2 – Структурная схема системы ПАЗ в составе АСУТП



### 13.5 Обеспечение надежности в системе ПАЗ

Основная проблема обеспечения надежности заключается в выборе системы резервирования ПАЗ. Основываясь на принятых правилах (ПБ 09-170-97) и требованиях ГОСТ 24.104-85, часто предлагается реализовать систему ПАЗ с резервированием процессорного модуля. Недостатки резервирования процессорного модуля состоят в следующем:

- не все современные промышленные контроллеры имеют возможность построения многопроцессорной архитектуры. Широко известный вариант это контроллеры с шиной VME. Но это достаточно дорогие контроллеры;
- отказоустойчивая система предполагает своевременное выявление, предупреждение аварийной ситуации и обеспечение замены неисправного элемента системы без прерывания технологического процесса. Это не обеспечивается резервированием процессорного модуля;
- при выходе из строя источника питания контроллера система ПАЗ неработоспособна;
- при выходе из строя арбитра (он необходим в многопроцессорной системе) система ПАЗ не работоспособна;
- в системах с высокоскоростными параллельными шинами данных, адреса и управления, где возможно построение двухпроцессорной архитектуры, часто происходят непредвиденные отказы с невозможностью продолжения процесса. Необходим общий сброс или переключение питания контроллера и перезагрузка программы контроллера, а это недопустимо для системы ПАЗ;
- при выходе из строя основного процессора резервный может не подхватить процесс (безударное переключение), ввиду возникновения конфликтной ситуации на шине (зависание);
- на процессорный модуль приходится значительная доля стоимости всего контроллера (более 50 %).

Поэтому высокая надежность системы ПАЗ предполагает резервирование всех составных частей контроллерного оборудования, а именно:

- резервирование процессора;
- резервирование локальной шины обмена ПЦ-УСО;
- резервирование крейта;
- резервирование источника питания (ИП) контроллера;
- резервирование коммуникационных интерфейсов.

А это выливается в дублирование контроллера. Такая система ПАЗ обеспечивает стопроцентное «горячее» резервирование.

Высокая реактивность системы ПАЗ реализуется с помощью двух методов. Первый метод основан на применении высокоскоростных дискретных модулей УСО. Приложение контроллера работает с прерываниями, при этом в памяти контроллера формируется кольцевой буфер (FIFO), объем которой зависит от времени сохранения архивного тренда. Недостатком данного метода является необходимость хранения предыстории аварийного события в памяти контроллера, которая не рассчитана на хранение аварийных трендов.

При использовании второго метода аварийное сообщение, сопровождаемое меткой времени (timestamp), передается из выполняющейся в контроллере прикладной программы на верхний уровень в АРМ. Именно там обрабатывается предыстория события и хранится аварийный тренд (на жестком диске). Память контроллера используется для формирования таблиц и буфера аварийных сообщений, но при этом не требуется большого объема памяти буфера. Транзакции происходят с высокой скоростью, на порядок выше традиционного обмена между приложением и системой SCADA. Данный метод не требует применения высокоскоростных контроллеров и модулей УСО, а также специальной области памяти для хранения временного массива аварийного события.

## **14 МОНИТОРИНГ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПАРКА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ**

### **14.1 Задачи мониторинга функционально-технического состояния газоперекачивающих агрегатов системы магистральных газопроводов Украины**

Развитие предложенных подходов к оценке ФТС ЦБН и ГТУ в сочетании с широким внедрением цифровых САУ ГПА, САУ КЦ современных комплексов по сбору и обработке информации с компрессорных станций позволяют разработать целостную систему мониторинга ФТС ГПА системы магистральных газопроводов Украины.

В связи с этим решаются задачи оперативного определения, хранения, обновления и использования фактических характеристик всего эксплуатируемого парка ГПА на всех уровнях управления газотранспортной системой.

Решаемые задачи мониторинга ФТС ЦБН и ГТУ зависят от уровня управления газотранспортной системой.

На уровне КС мониторинг ФТС осуществляется по информации агрегатной и цеховой автоматики эксплуатируемых ГПА. Результаты мониторинга используются для решения задач:

- расчета фактических характеристик и режимных параметров каждого ГПА;
- определения фактических характеристик ЦБН и ГТУ после проведения ремонта и оценка качества проведенного ремонта;
- определения области допустимых режимов работы ГПА и расчет запаса до помпажа;
- определения существенных изменений режимных параметров ГПА и прогнозирование их изменения на задаваемый интервал времени;
- расчета нормы расхода топливного газа по фактическому ФТС;
- оптимизации работы КЦ на основе фактического ФТС.

Входной информацией мониторинга ФТС ГПА на среднем уровне управления (уровне УМГ) является: информация цеховой и агрегатной автоматики КС, поступающая в УМГ по каналам телемеханики; результаты определения ФТС ГПА по КС; результаты теплотехнических испытаний; среднесуточные данные диспетчерских журналов.

По результатам мониторинга решаются следующие задачи:

- расчета уточненных фактических характеристик ЦБН и ГТУ;
- выдачи рекомендаций обслуживающему персоналу КС о проведении очередных ремонтов;
- расчета нормы расхода топливного газа по фактическому ФТС всех эксплуатируемых типов ГПА;
- сравнительного анализа перерасхода топливного газа и выявления причин перерасхода;
- анализа ФТС ЦБН и ГТУ в рамках УМГ по одноименным типам.

Основной входной информацией мониторинга ГПА на верхнем уровне управления являются результаты мониторинга на уровне УМГ и среднесуточные данные диспетчерских журналов.

Мониторинг ФТС ГПА на верхнем уровне управления решает следующие задачи:

- мониторинг ФТС всех эксплуатируемых ГПА ДК «Укртрансгаз»;
- ведение базы данных о техническом состоянии всех эксплуатируемых ЦБН и ГТУ;
- расчета нормы расхода топливного газа по фактическому ФТС всех типов ГПА;
- сравнительного анализа перерасхода топливного газа по одноименным типам ГПА к приведенным типовым условиям работы;
- оценки качественных показателей работы УМГ;
- выявления причин перерасхода топливного газа по отдельным УМГ;
- формирования норм энергозатрат по ДК «Укртрансгаз»;
- анализа ФТС ЦБН и ГТУ по ДК «Укртрансгаз» и формирования рекомендаций по реновации агрегатов.

#### **14.2 Мониторинг функционально-технического состояния газоперекачивающих агрегатов на уровне компрессорной станции**

Данный мониторинг ФТС ГПА решается в составе задач подсистем функциональной диагностики САУ КЦ.

Фактические характеристики и режимные параметры ЦБН и ГТУ на уровне КС определяются с периодами от 2 с до 1 м. При этом оценки ФТС ЦБН определяются на основе газодинамического расчета, а по ГТУ – на основе вычисления обобщенных нормированных дефектов проточной части.

На данном уровне определяются также коэффициенты технического состояния, которые позволяют акцентировать внимание на работе ГПА с наименьшими значениями КТС по КПД.

Отличительной особенностью определения КТС ЦБН и ГТУ является то, что эти коэффициенты рассчитываются непосредственно по фактическим и паспортным характеристикам для задаваемых значений коммерческой производительности ЦБН  $Q_{комf}$  и частот вращения ТНД  $n_{тндf}$ .

Предлагаемый метод расчета КТС ЦБН по фактическим характеристикам заключается в реализации следующих действий.

Определяется массив значений приведенной объемной производительности  $Q_{прf}$  в функции от  $Q_{комf}$ . Для каждого значения  $Q_{комf}$  рассчитываются  $Q_{прf}$  по следующей формуле

$$Q_{прf} = \frac{n_n \cdot P_{st} \cdot T_{пр} \cdot Z_{пр} \cdot Q_{комf}}{0,00144 \cdot n \cdot T_{st} \cdot P_{вх.пр} + P_a}, \quad (14.1)$$

где  $P_{st} = 1,0329 \text{ кг/см}^2$ ;

$T_{st} = 293,15 \text{ К}$ ;

$P_{\text{вх.пр}}$  – приведенное давление газа на входе ЦБН.

Значение  $P_{\text{вх.пр}}$  определяется через параметры приведения  $Z_{\text{пр}}$ ,  $R_{\text{пр}}$ ,  $T_{\text{пр}}$  из решения модифицированного уравнения состояния «Бенедикта – Вэбба – Рабина».

Далее, по паспортным и фактическим характеристикам (политропного КПД и приведенной относительной внутренней мощности) определяются соответственно следующие массивы:

– паспортных значений КПД  $\eta_{\text{пол}}^{\text{п}} Q_{\text{прт}}$  ;

– паспортных значений приведенной относительной внутренней мощности  $N/\rho_{\text{пр}}^{\text{п}} Q_{\text{прт}}$  ;

– фактических значений КПД  $\eta_{\text{пол}}^{\text{ф}} Q_{\text{прт}}$  ;

– фактических значений приведенной относительной внутренней мощности  $N/\rho_{\text{пр}}^{\text{ф}} Q_{\text{прт}}$  .

КТС рассчитывают как отношение соответствующих фактических параметров к паспортным:

$$K_{\eta}^{\text{ЦБН}} Q_{\text{комт}} = \frac{\eta_{\text{пол}}^{\text{ф}} Q_{\text{прт}}}{\eta_{\text{пол}}^{\text{п}} Q_{\text{прт}}}, \quad (14.2)$$

$$K_N^{\text{ЦБН}} Q_{\text{комт}} = \frac{N/\rho_{\text{пр}}^{\text{ф}} \cdot Q_{\text{прт}}}{N/\rho_{\text{пр}}^{\text{п}} \cdot Q_{\text{прт}}}. \quad (14.3)$$

Средневзвешенные КТС ЦБН рассчитываются для трех значений коммерческой производительности  $Q_{\text{комт}}$ ,  $t = \text{ном}, \text{min}, \text{max}$  по следующим формулам:

– средневзвешенный КТС ЦБН по мощности:

$$K_{N_{\text{ср}}}^{\text{ЦБН}} = \frac{1}{3} \cdot \sum_t K_N^{\text{ЦБН}} Q_{\text{комт}} ; \quad (14.4)$$

– средневзвешенный КТС ЦБН для КПД:

$$K_{\eta_{\text{ср}}}^{\text{ЦБН}} = \frac{1}{3} \cdot \sum_t K_{\eta}^{\text{ЦБН}} Q_{\text{комт}} . \quad (14.5)$$

КТС ГТУ предлагается рассчитывать по аналогичной схеме. Основой для расчета являются паспортные и фактические дроссельные характеристики. По этим характеристикам и заданному массиву значений частоты

вращения ТНД  $n_{\text{ТНД}t}$ ,  $t = \overline{1,3}$  определяются следующие массивы паспортных и фактических значений:

– эффективной мощности:  $N_{\text{э}}^{\text{п}} n_{\text{ТНД}t}$  и  $N_{\text{э}}^{\text{ф}} n_{\text{ТНД}t}$  ;

– эффективного КПД:  $\eta_{\text{э}}^{\text{п}} n_{\text{ТНД}t}$  и  $\eta_{\text{э}}^{\text{ф}} n_{\text{ТНД}t}$  .

КТС ГТУ по мощности и эффективному КПД рассчитываются как:

$$K_N^{\text{ГТУ}} n_{\text{ТНД}t} = \frac{N_{\text{э}}^{\text{ф}} n_{\text{ТНД}t}}{N_{\text{э}}^{\text{п}} n_{\text{ТНД}t}}, \quad (14.6)$$

$$K_{\eta}^{\text{ГТУ}} n_{\text{ТНД}t} = \frac{\eta_{\text{э}}^{\text{ф}} n_{\text{ТНД}t}}{\eta_{\text{э}}^{\text{п}} n_{\text{ТНД}t}}. \quad (14.7)$$

КТС ГТУ по топливному газу находится из выражения:

$$K_{\text{ТГ}}^{\text{ГТУ}} n_{\text{ТНД}t} = \frac{1}{K_{\eta}^{\text{ГТУ}} n_{\text{ТНД}t}} \cdot \left( 0,75 \cdot K_N^{\text{ГТУ}} n_{\text{ТНД}t} + 0,25 \cdot \sqrt{\frac{t_a + 273,15}{288,15}} \cdot \frac{P_a}{P_{st}} \right). \quad (14.8)$$

Выражение (14.8) получено в соответствии со следующей формулой расчета расхода топливного газа

$$G_{\text{ТГ}} = G_{\text{ТГ ком}} \cdot K_q \cdot \left( 0,75 \cdot \frac{N_{\text{э}}^{\text{ф}}}{N_{\text{э}}^{\text{п}}} + 0,25 \cdot \sqrt{\frac{t_a + 273,15}{288,15}} \cdot \frac{P_a}{P_{st}} \right), \quad (14.9)$$

где  $K_q$  – коэффициент, учитывающий изменение удельных затрат топливного газа в зависимости от технического состояния ГТУ.

Вычисляемый в соответствии с формулой (14.8) КТС ГТУ по топливному газу приведен к станционным условиям (ГОСТ 28775).

Кроме того, определяются средневзвешенные КТС ГТУ для трех значений базового параметра  $n_{\text{ТНД}t}$ ,  $t = 1, 2, 3$ .

– средневзвешенный КТС ГТУ по мощности

$$K_{N_{\text{ср}}}^{\text{ГТУ}} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{t=1}^3 K_N^{\text{ГТУ}} n_{\text{ТНД}t}; \quad (14.10)$$

– средневзвешенный КТС ГТУ по расходу топливного газа

$$K_{\text{ТГ ср}}^{\text{ГТУ}} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{t=1}^3 K_{\text{ТГ}}^{\text{ГТУ}} n_{\text{ТНД}t}; \quad (14.11)$$

– средневзвешенный КТС ГТУ по эффективному КПД

$$K_{\eta_{\text{ср}}}^{\text{ГТУ}} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{t=1}^3 K_{\eta}^{\text{ГТУ}} (n_{\text{ТНД}t}). \quad (14.12)$$

Графическая иллюстрация схемы определения паспортных и фактических режимных параметров ЦБН и ГТУ представлены соответственно на рисунках 14.1 и 14.2.

На рисунках 14.1 и 14.2 сплошной линией отображены фактические характеристики, а прерывистой – паспортные характеристики ЦБН и ГТУ.

Точность определения КТС возможно увеличить за счет сужения области изменения режимных параметров  $Q_{\text{ком}}$  и  $n_{\text{тнд}}$  по результатам анализа эксплуатационных режимов ЦБН и ГТУ.

В соответствии с предложенным методом и полученными фактическими характеристиками в качестве иллюстрации по ГПА №№ 1 ÷ 7 КС 1 с ЦБН 655P2 КЛАРК по одному из УМГ рассчитаны средневзвешенные КТС (табл. 14.1).

Из данных таблицы 14.1 следует, что наименьшие средневзвешенные значения КТС ЦБН по КПД имеет ГПА № 7. При прочих одинаковых условиях данный агрегат целесообразно поставить первым в очередь для проведения ремонта проточной части ЦБН.

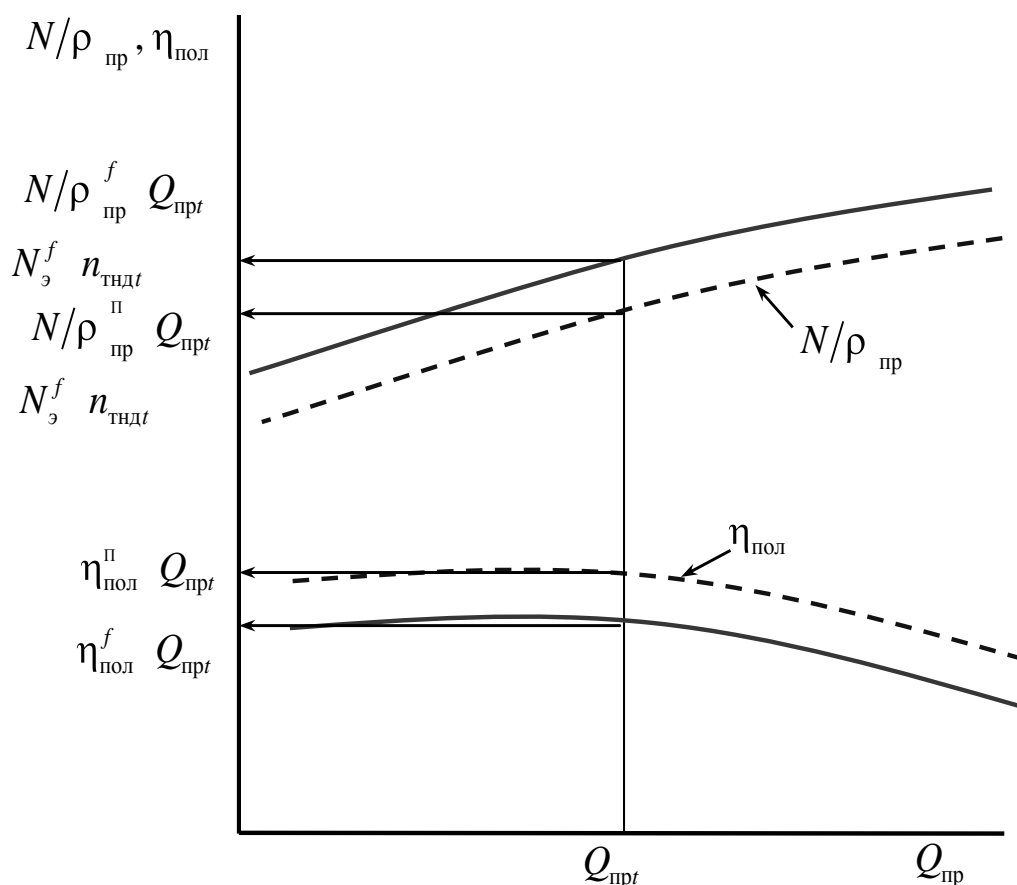


Рисунок 14.1 – Паспортная и фактическая характеристики ЦБН

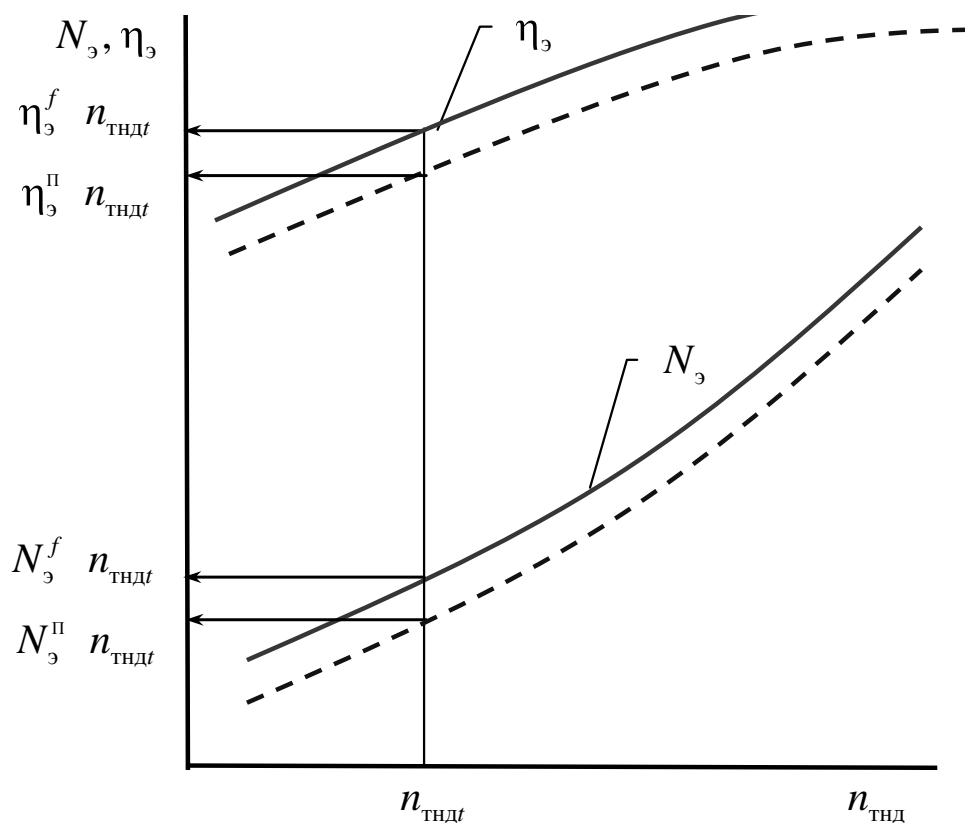


Рисунок 14.2 – Паспортная и фактическая дроссельные характеристики ГТУ

Таблица 14.1 – Результаты расчета средневзвешенных КТС ЦБН 655P2 КЛАРК ГПА КС 1 по одному из УМГ

№ ГПА	Наработка ЦБН, час	Наработка ГТУ, час	Средневзвешенный КТС ЦБН по мощности	Средневзвешенный КТС ЦБН по КПД	Дата начала измерений	Дата окончания измерений
01	108664	108664	1,063	0,982	09.09.1998 12:00	26.07.2002 12:00
02	110261	110261	1,069	0,954	09.09.1998 12:00	31.10.2002 12:00
03	100955	100955	1,074	0,942	09.09.1998 12:00	31.10.2002 12:00
04	102262	102262	1,095	0,934	08.01.2000 12:00	31.10.2002 12:00
05	108425	108425	1,022	0,993	21.12.1998 12:00	27.10.2002 12:00
06	111108	111108	1,079	0,939	09.09.1998 12:00	31.10.2002 12:00
07	101631	101631	1,124	0,912	09.09.1998 12:00	31.10.2002 12:00

Отличительными особенностями разработанного метода являются:

– отсутствие допущения о характере смещения фактических характеристик относительно паспортных;



- отсутствие необходимости использования экспериментальных данных о характере смещения фактических характеристик по каждому типу ГПА;
- универсальность метода, позволяющего рассчитывать КТС для всех типов ЦБН, которые находятся в эксплуатации в ДК «Укртрансгаз»;
- использование штатных средств измерений параметров ГПА без проведения дорогостоящих теплотехнических испытаний;
- требуемая периодичность определения КТС для решения непрерывных задач управления транспортом газа.

Задача определения фактических характеристик ЦБН и ГТУ после проведения ремонта отличается от аналогичной задачи, решаемой непрерывно в процессе эксплуатации тем, что статистический анализ последней отсутствует. ФТС ЦБН и ГТУ оценивается по единичным измерениям, что накладывает определенные требования на качество измерения параметров ГПА.

Задача определения области допустимых режимов (ОДР) работы ГПА и расчет запаса по помпажу решается на основе вычисленных фактических характеристик ЦБН и ГТУ. При определении области допустимых режимов учитываются все технологические ограничения на эксплуатацию данного типа ЦБН и ГТУ.

Для каждого ГПА в КЦ через определенный интервал времени рассчитывается ОДР и положение фактической точки режима работы ГПА. По соотношению положения ОДР и фактической точки режима работы определяется величина запаса по помпажу.

Область допустимых режимов ЦБН строится в координатах: приведенная степень сжатия – приведенная объемная производительность и политропный КПД – приведенная объемная производительность.

Область допустимых режимов ГТУ строится в координатах: эффективная мощность ГТУ – обороты силовой турбины и эффективный КПД – обороты силовой турбины.

При снижении значения коэффициента запаса по помпажу ниже предельных значений формируются соответствующие предупредительные или аварийные сообщения.

Задача определения существенных изменений режимных параметров ГПА решается на основе фактических характеристик ЦБН и ГТУ и их текущих режимных параметров. В случае превышения по модулю величины изменения одного или нескольких режимных параметров (КПД, степень сжатия, мощность) за заданный интервал контроля соответствующих предельных значений, формируются предупредительные сообщения о существенном изменении параметра, по которому отмечено превышение.

Важной задачей, решаемой в рамках мониторинга ГПА в части учета, нормирования топливно-энергетических ресурсов и энергосбережения на уровне КС является расчет нормы расхода топливного газа по фактическому ФТС. Сравнительный анализ фактического расхода топливного газа с рассчитанным по нормам позволяет оперативно устранять возможный перерасход топливного газа.

Второй из задач энергосбережения является оптимизация работы КЦ на основе фактического ФТС ГПА.

## **15 ПОДСИСТЕМА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ САУ КЦ КС «УЖГОРОДСКАЯ»**

Подсистема функциональной диагностики САУ КЦ КС «Ужгородская» решает ТРИ комплекса задач: расчетные задачи функциональной диагностики; задачи отображения и формирования предупредительных и аварийных сообщений; задачи архивирования входной и диагностической информации.

### **15.1 Комплекс расчетных задач функциональной диагностики**

В данный комплекс входят расчетные задачи функциональной диагностики:

- обработки и анализа достоверности и восстановления входной информации;
- оценки стационарности режима ГПА;
- имитации первичных измерений параметров работы ГПА в составе КЦ.

### **15.2 Комплекс задач отображения и формирования предупредительных и аварийных сообщений**

Входная и диагностическая информация, содержащая результаты оценки ФТС ЦБН и ГТУ ГПА, предупредительные и аварийные сообщения отображаются в следующих окнах:

- «Расчет параметров режима работы КЦ и ГПА: параметры ЦБН»;
- «Расчет параметров режима работы КЦ и ГПА: параметры ГТУ»;
- «Расчет параметров ЦБН»;
- «Расчет параметров ГТУ».

В окне «Расчет параметров режима работы КЦ и ГПА: параметры ЦБН» представлены входная и расчетная информация по ЦБН (рис. 15.1) в следующем объеме:

- давление газа на входе ЦБН,  $P_{\text{вх}}$ , кгс/см<sup>2</sup>;
- давление газа на выходе ЦБН,  $P_{\text{вых}}$ , кгс/см<sup>2</sup>;
- температура газа на входе ЦБН, °С;
- температура газа на выходе ЦБН, °С;
- частота вращения ротора ЦБН (или силовой турбины), об/мин;
- степень сжатия;
- политропный КПД;
- внутренняя мощность ЦБН, кВт;
- приведенная объемная производительность ЦБН, м<sup>3</sup>/мин.

В окне «Расчет параметров режима работы КЦ и ГПА: параметры ГТУ» представлены входная и расчетная информация по ГТУ (рис. 15.2) в следующем объеме:

- давление воздуха на входе в осевой компрессор (ОК), кгс/см<sup>2</sup>;
- давление воздуха на выходе из ОК, кгс/см<sup>2</sup>;
- степень сжатия в ОК;
- температура продуктов сгорания за турбиной низкого давления (ТНД), К;
- расход топливного газа ГТУ, кг/час.

Розрахунок параметрів режиму роботи КЦ і ГПА на основі функціонального діагностування // Розробник - НДЦ Діагностування НДПАСУтрансгаз

Функції

ГПА до помпажу

ОДР

Стан-ність

→ ГТУ

параметри ВЦН

1			Рвх кгс/см2 Рвих	36,00 50,10	Твх оС Твих	18,10 56,30	Об. (1/хв) ВЦН	eps Ni[kВт]	1,38 4915,14	ККД пол Qоб м3/хв	82,86 196,44
2			Рвх кгс/см2 Рвих	35,90 50,00	Твх оС Твих	18,00 56,60	Об. (1/хв) ВЦН	eps Ni[kВт]	1,38 4915,83	ККД пол Qоб м3/хв	82,81 196,27
3			Рвх кгс/см2 Рвих	36,10 50,20	Твх оС Твих	18,00 56,10	Об. (1/хв) ВЦН	eps Ni[kВт]	1,38 4910,70	ККД пол Qоб м3/хв	82,82 196,23
4			Рвх кгс/см2 Рвих	36,20 50,10	Твх оС Твих	17,90 56,10	Об. (1/хв) ВЦН	eps Ni[kВт]	1,37 4956,09	ККД пол Qоб м3/хв	82,71 200,10
5			Рвх кгс/см2 Рвих	36,00 50,10	Твх оС Твих	18,10 56,30	Об. (1/хв) ВЦН	eps Ni[kВт]	1,38 4917,62	ККД пол Qоб м3/хв	83,01 196,89
6			Рвх кгс/см2 Рвих	36,00 50,00	Твх оС Твих	18,10 56,20	Об. (1/хв) ВЦН	eps Ni[kВт]	1,38 4919,33	ККД пол Qоб м3/хв	82,84 197,67
7			Рвх кгс/см2 Рвих	36,30 50,20	Твх оС Твих	18,00 56,30	Об. (1/хв) ВЦН	eps Ni[kВт]	1,37 4960,94	ККД пол Qоб м3/хв	82,53 199,94

Цехові параметри

Міра стиснення	1,38	Середньохвостовий ККД ГПА	23,50	%	Комерційна витрата	76,4	млн. м3/доб	
Ефективна потужність ГТУ	35,01	МВт	Об'єм перекачаного газу (з початку доби):	13,402	тис. м3	Витрата паливного газу (загальн.)	8625,09	м3/год
Середній політроп. ККД	82,80	%	Об'ємна витрата	1383,54	м3/хв	Середня витрата паливного газу	1232,16	м3/год
Середній ККД ГТУ	28,39	%						

01.12.2005 14:04:11

Рисунок 15.1 – Окно «Расчет параметров режима работы КЦ и ГПА: параметры ЦБН»

Розрахунок параметрів режиму роботи КЦ і ГПА на основі функціонального діагностування // Розробник - НДЦ Діагностування НДПАСУтрансгаз

Функції

ГПА до помпажу

ОДР

Стан-ність

→ ВЦН

параметри ГТУ

1			Рвх ВК, кгс/см2	1.03	Еps ВК	9.78	ККД ГТУ, %	28.36
55,9 %			Рвих ВК, кгс/см2	10.10	Твих ТНТ,К	836.00	Гтр, кг/ч	1230.09
2			Рвх ВК, кгс/см2	1.03	Еps ВК	9.58	ККД ГТУ, %	28.37
56,0 %			Рвих ВК, кгс/см2	9.90	Твих ТНТ,К	831.00	Гтр, кг/ч	1230.34
3			Рвх ВК, кгс/см2	1.03	Еps ВК	9.87	ККД ГТУ, %	28.35
56,1 %			Рвих ВК, кгс/см2	10.20	Твих ТНТ,К	834.00	Гтр, кг/ч	1229.22
4			Рвх ВК, кгс/см2	1.03	Еps ВК	9.68	ККД ГТУ, %	28.45
58,4 %			Рвих ВК, кгс/см2	10.00	Твих ТНТ,К	833.00	Гтр, кг/ч	1236.70
5			Рвх ВК, кгс/см2	1.03	Еps ВК	9.78	ККД ГТУ, %	28.37
55,6 %			Рвих ВК, кгс/см2	10.10	Твих ТНТ,К	831.00	Гтр, кг/ч	1230.35
6			Рвх ВК, кгс/см2	1.03	Еps ВК	9.58	ККД ГТУ, %	28.37
56,7 %			Рвих ВК, кгс/см2	9.90	Твих ТНТ,К	832.00	Гтр, кг/ч	1230.91
7			Рвх ВК, кгс/см2	1.03	Еps ВК	9.87	ККД ГТУ, %	28.46
58,9 %			Рвих ВК, кгс/см2	10.20	Твих ТНТ,К	839.00	Гтр, кг/ч	1237.49

Цехові параметри

Міра стиснення	1.38	Середньохвостовий ККД ГПА	23.50	%	Комерційна витрата	76.4	млн. м3/доб
Ефективна потужність ГТУ	35.01 МВт	Об'єм перекачаного газу (з початку доби):	20.608	тис. м3	Витрата паливного газу (загальн.)	8625.09	м3/год
Середній політроп. ККД	82.80 %	Об'ємна витрата	1383.54	м3/хв	Середня витрата паливного газу	1232.16	м3/год
Середній ККД ГТУ	28.39 %						

01.12.2005 14:09:21

Рисунок 15.2 – Окно «Расчет параметров режима работы КЦ и ГПА: параметры ГТУ»

В приведенных окнах «Расчет параметров режима работы КЦ и ГПА» (рис. 15.1, 15.2) также представлена обобщенная информация о работе КЦ, величине запаса до границ помпажа каждого ГПА, предупредительная информация о положении рабочей точки режима ГПА в области допустимых режимов и информация о стационарности работы ГПА.

Обобщенная информация о работе КЦ включает:

- дату, время отображения ФТС ГПА;
- степень сжатия газа ГПА КЦ;
- суммарную мощность ГПА КЦ, МВт;
- средний по КЦ политропный КПД ЦБН;
- средний по КЦ КПД ГТУ;
- среднецеховой КПД ГПА;
- объем перекачанного газа с начала суток, тыс. м<sup>3</sup>;
- суммарную объемную производительность ЦБН КЦ, м<sup>3</sup>/мин;
- суммарную коммерческую производительность ЦБН КЦ, млн. м<sup>3</sup>/сут;
- суммарный расход топливного газа ГТУ, м<sup>3</sup>/час;
- средний расход топливного газа ГТУ КЦ, м<sup>3</sup>/час.

Детальная информация о фактическом ФТС выбранных ЦБН и ГТУ и их режимных параметрах отображается соответственно в окнах «Расчет параметров ЦБН» (рис. 15.3) и «Расчет параметров ГТУ» (рис. 15.4).

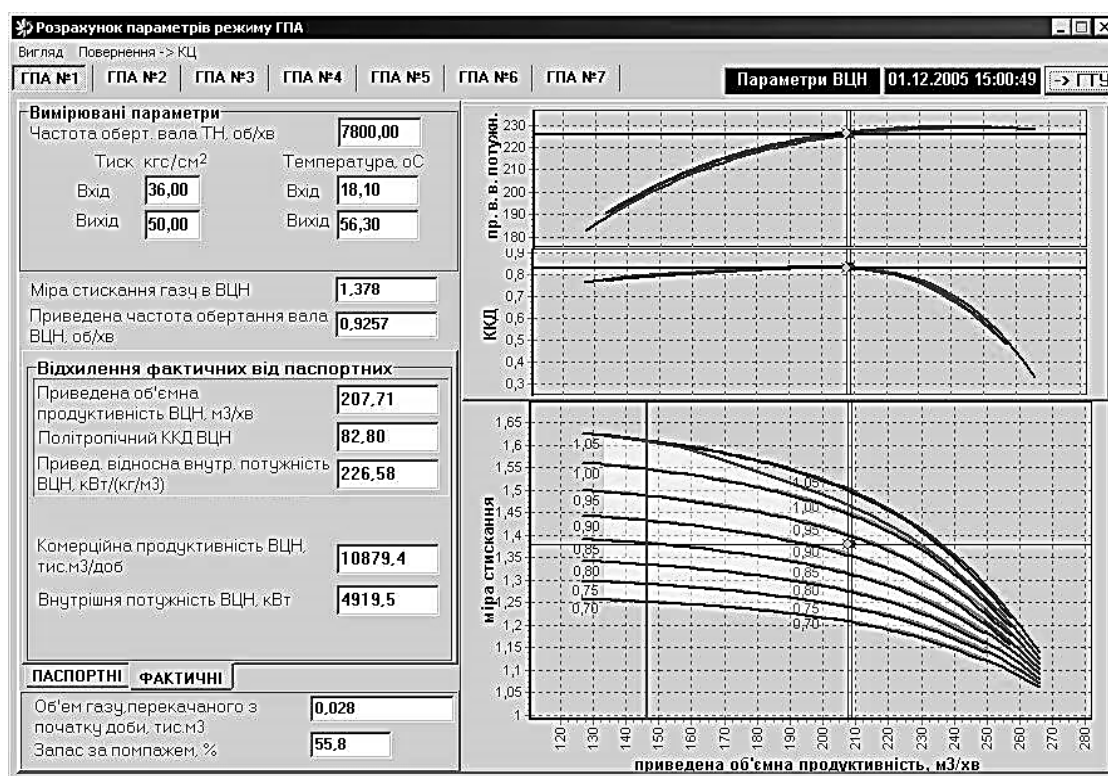


Рисунок 15.3 – Окно «Расчет параметров ЦБН»

В окне «Расчет параметров ЦБН» кроме входной информации представлена следующая расчетная информация:

- паспортные и фактические характеристики ЦБН: расходно-напорная, политропного КПД, приведенная внутренняя мощность;
- положения рабочей точки текущего режима работы ЦБН;
- область допустимых режимов работы ГПА;
- дополнительные режимные параметры: объем перекачанного газа с начала суток, запас до границы pompaжа, коммерческая производительность ЦБН.

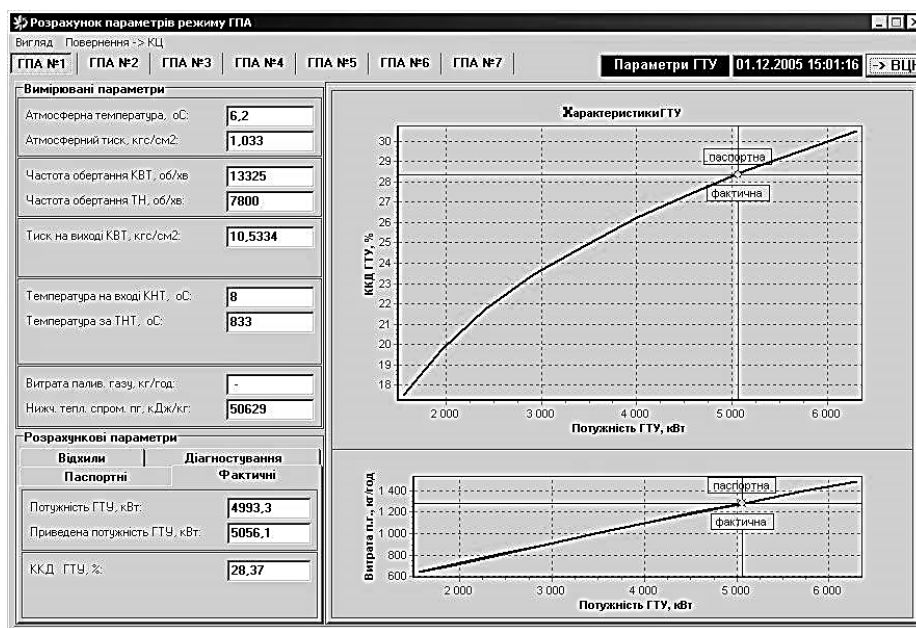


Рисунок 15.4 – Окно «Расчет параметров ГТУ»

Область допустимых режимов работы ЦБН рассчитывается с заданным периодом по фактическим приведенным характеристикам ЦБН и ГТУ. Область ограничивается:

- линиями расходно-напорной характеристики при минимально и максимально допустимых частотах вращения ротора ЦБН;
- значениями минимальной и максимальной приведенной объемной производительности ЦБН;
- ограничениями по располагаемой мощности ГТУ.

В окне «Расчет параметров ГТУ» (рис. 15.4) кроме входной информации представлена следующая расчетная информация:

- паспортные и фактические характеристики КПД ГТУ, а также расхода топливного газа в функции от мощности ГТУ;
- положения рабочей точки текущего режима работы ГТУ;
- дополнительные входные и режимные параметры: давление и температура атмосферного воздуха, частоты вращения роторов ТНД и КВД, расход топливного газа, низшая теплотворная способность топлива, приведенная мощность ГТУ.

Информация об оценке ФТС ГТУ выводится на закладке «Діагностування» в следующем объеме:

- коэффициенты технического состояния ГТУ по мощности, по КПД и по расходу топливного газа;
- отклонение фактического значения мощности ГТУ от паспортного, кВт;
- отклонение фактического значения КПД ГТУ от паспортного;
- отклонение фактического значения расхода топливного газа ГТУ от паспортного,  $\text{м}^3/\text{час}$ .

Параметры ЦБН, отображаемые при останове ГПА представлены соответственно на рис. 15.5 и рис. 15.6.

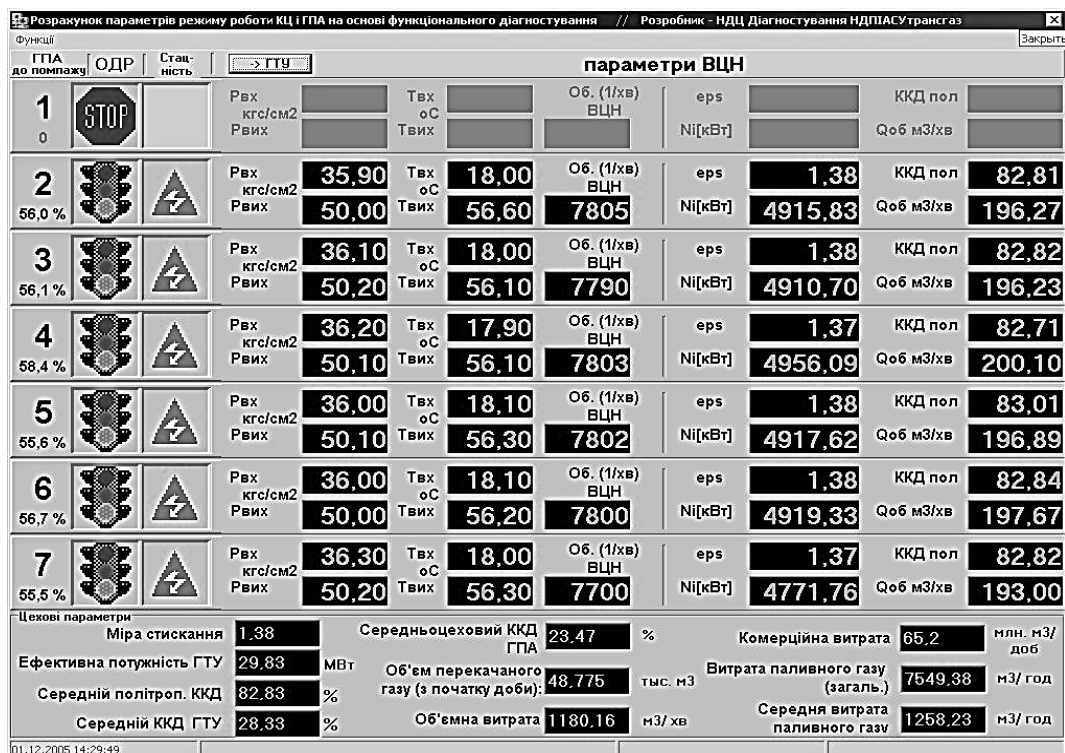


Рисунок 15.5 – Окно «Расчет параметров режима работы КЦ и ГПА: параметры ЦБН – останов ГПА № 1»

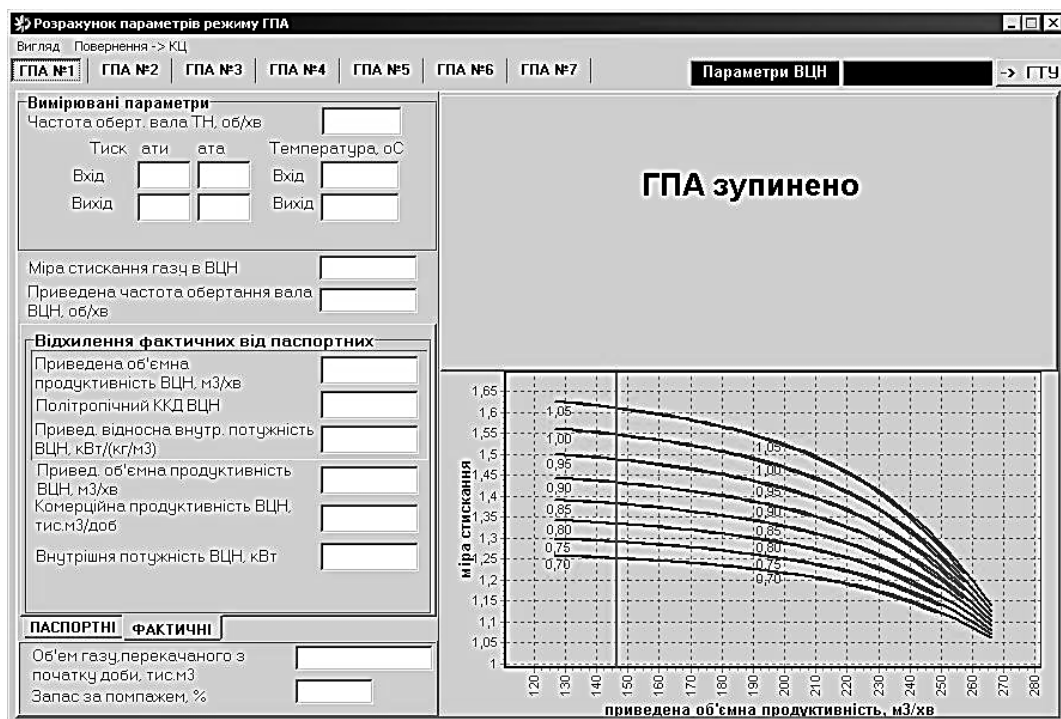


Рисунок 15.6 – Окно «Расчет параметров ЦБН – останов ГПА № 1»

В режимі реального часу підсистема забезпечує контроль положення робочої точки режиму ГПА в області допустимих режимів і контролює достовірність вимірювань температури та тиску газу на вході та виході кожного ЦБН.

Предупредительные сообщения формируются в случае, если запас по помпажу ЦБН уменьшился ниже предельного значения, задаваемого оператором (рис. 15.7, 15.8). Аварийные сообщения формируются в случае, если запас по помпажу становится нулевым (рис. 15.9).

Розрахунок параметрів режиму роботи КЦ і ГПА на основі функціонального діагностування // Розробник - НДЦ Діагностування НДПІАСУтрансгаз

Функції

ГПА до помпажу

ОДР

Станція

→ ВЦН

параметри ГТУ

1			Рвх ВК, кгс/см2	1,03	Ерх ВК	9,68	ККД ГТУ, %	14,73
6,4 %			Рвих ВК, кгс/см2	10,00	Твих ТНТ, К	833,00	Гтр, кг/ч	1502,89
2			Рвх ВК, кгс/см2	1,03	Ерх ВК	9,68	ККД ГТУ, %	28,37
57,0 %			Рвих ВК, кгс/см2	10,00	Твих ТНТ, К	833,00	Гтр, кг/ч	1201,08
3			Рвх ВК, кгс/см2	1,03	Ерх ВК	9,68	ККД ГТУ, %	28,37
56,9 %			Рвих ВК, кгс/см2	10,00	Твих ТНТ, К	833,00	Гтр, кг/ч	1201,03
4			Рвх ВК, кгс/см2	1,03	Ерх ВК	9,68	ККД ГТУ, %	28,37
56,6 %			Рвих ВК, кгс/см2	10,00	Твих ТНТ, К	833,00	Гтр, кг/ч	1200,90
5			Рвх ВК, кгс/см2	1,03	Ерх ВК	9,68	ККД ГТУ, %	28,37
56,4 %			Рвих ВК, кгс/см2	10,00	Твих ТНТ, К	833,00	Гтр, кг/ч	1200,75
6			Рвх ВК, кгс/см2	1,03	Ерх ВК	9,68	ККД ГТУ, %	28,37
56,7 %			Рвих ВК, кгс/см2	10,00	Твих ТНТ, К	833,00	Гтр, кг/ч	1200,93
7			Рвх ВК, кгс/см2	1,03	Ерх ВК	9,68	ККД ГТУ, %	28,37
57,0 %			Рвих ВК, кгс/см2	10,00	Твих ТНТ, К	833,00	Гтр, кг/ч	1201,13

Цехові параметри

Міра стиснення

1,38

Середньохвостовий ККД ГПА

21,79

%

Комерційна витрата

72

млн. м3/доб

Ефективна потужність ГТУ

33,20

МВт

Об'єм перекачаного газу (з початку доби):

13,492

тис. м3

Витрата паливного газу (загальн.)

8708,71

м3/год

Середній політроп. ККД

82,17

%

Об'ємна витрата

1307,11

м3/хв

Середня витрата паливного газу

1244,10

м3/год

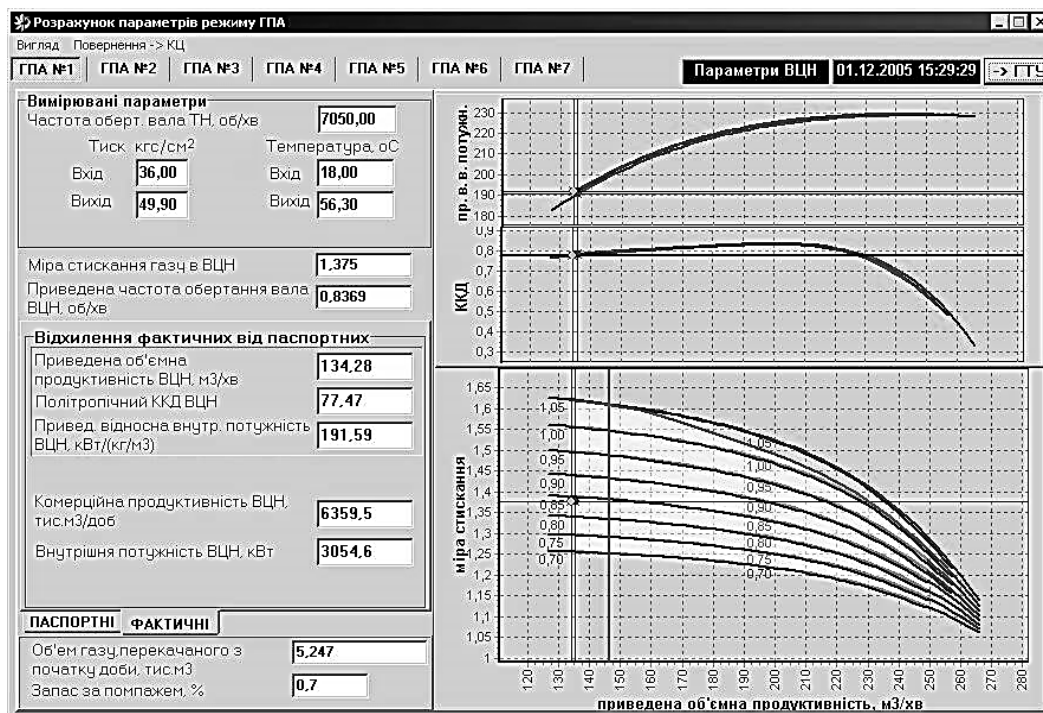
Середній ККД ГТУ

26,42

%

25.11.2005 15:25:38

Рисунок 15.7 – Предупредительное сообщение о приближении ГПА № 1 к границе помпажа в окне «Расчет параметров режима работы КЦ и ГПА»



Розрахунок параметрів режиму роботи КЦ і ГПА на основі функціонального діагностування												Розробник - НДЦ Діагностування НДПАСУтрансгаз	
Функції			параметри ВЦН										
ГПА до помпажу		ОДР	Стац-ність	→ ГТУ									
1			Рвх кгс/см2	36,00	Твх оС	18,00	Об. (1/хв) ВЦН	eps	1,38	ККД пол	0,00		
0,0 %			Рвих	49,90	Твих	56,30	7000	Ni[kВт]	0,00	Qоб м3/хв	0,00		
2			Рвх кгс/см2	36,10	Твх оС	17,90	Об. (1/хв) ВЦН	eps	1,38	ККД пол	82,70		
57,4 %			Рвих	50,10	Твих	56,20	7800	Ni[kВт]	4936,49	Qоб м3/хв	198,07		
3			Рвх кгс/см2	36,40	Твх оС	18,20	Об. (1/хв) ВЦН	eps	1,37	ККД пол	82,59		
58,7 %			Рвих	50,30	Твих	56,30	7790	Ni[kВт]	4948,17	Qоб м3/хв	199,65		
4			Рвх кгс/см2	36,20	Твх оС	18,10	Об. (1/хв) ВЦН	eps	1,37	ККД пол	82,49		
59,9 %			Рвих	49,90	Твих	56,10	7805	Ni[kВт]	4962,05	Qоб м3/хв	202,17		
5			Рвх кгс/см2	35,90	Твх оС	18,30	Об. (1/хв) ВЦН	eps	1,38	ККД пол	83,09		
54,2 %			Рвих	50,10	Твих	56,30	7802	Ni[kВт]	4895,87	Qоб м3/хв	195,07		
6			Рвх кгс/см2	36,00	Твх оС	18,10	Об. (1/хв) ВЦН	eps	1,36	ККД пол	82,13		
61,8 %			Рвих	49,40	Твих	56,20	7810	Ni[kВт]	4960,46	Qоб м3/хв	204,62		
7			Рвх кгс/см2	36,10	Твх оС	18,00	Об. (1/хв) ВЦН	eps	1,38	ККД пол	82,80		
55,7 %			Рвих	50,30	Твих	56,20	7803	Ni[kВт]	4931,67	Qоб м3/хв	195,90		
Цехові параметри													
Міра стискання		1,37	Середньощеховий ККД ГПА		20,12	%	Комерційна витрата		66,1	млн. м3/доб			
Ефективна потужність ГТУ		35,27	МВт	Об'єм перекачаного газу (з початку доби):		32,252	тис. м3	Витрата паливного газу (загальн.)		8457,09	м3/год		
Середній політроп. ККД		70,83	%	Об'ємна витрата		1195,48	м3/хв	Середня витрата паливного газу		1208,16	м3/год		
Середній ККД ГТУ		28,46	%										
01.12.2005 15:27:55													

Рисунок 15.9 – Аварийное сообщение при нулевом значении запаса по помпажу ГПА № 1 в окне «Расчет параметров режима работы КЦ и ГПА»

Предупредительное и аварийное сообщения сопровождаются звуковым сигналом.

### 15.3 Комплекс задач архивирования входной и диагностической информации

Подсистема архивирования обеспечивает хранение следующих видов информации:

- архив параметров технологического процесса и состояния ГПА (оперативные параметры и результаты расчетов с базы данных);
- архив сообщений о работе системы диагностирования;
- архив действий оператора.

Данная подсистема функциональной диагностики САУ КЦ КС «Ужгородская» сдана в промышленную эксплуатацию в 2003 году. Аналогичная система функционирует в рамках САУ КЦ КС «Тарутино» с 2002 года.



# 16 МОНИТОРИНГ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ НА УРОВНЯХ УПРАВЛЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫМИ ГАЗОПРОВОДАМИ И ДК «УКРТРАНСГАЗ»

## 16.1 Решение основных задач мониторинга на уровнях управления магистральными газопроводами и ДК «Укртрансгаз»

Основной задачей мониторинга ФТС ГПА на уровне УМГ и ДК «Укртрансгаз» является определение фактических характеристик, коэффициентов технического состояния ЦБН ГТУ и режимных параметров ГПА. Оценки ФТС ГПА на уровне УМГ определяются по часовой информации от штатных средств измерения, а на уровне ДК «Укртрансгаз» – по данным диспетчерских журналов, поступающих от программного комплекса «Эксперт». Фактические характеристики ЦБН и ГТУ, а также их коэффициенты технического состояния определяются на основе методов вычисления обобщенных нормированных дефектов их проточных частей.

Коэффициенты технического состояния рассчитываются в следующем порядке.

Для выбранных значений коммерческой производительности  $Q_{комt}$ , где  $Q_{комt} = Q_{ком ном}, Q_{ком min}, Q_{ком max}$  рассчитываются соответствующие значения приведенной объемной производительности  $Q_{прt}$ .

Затем, на основе расчетных характеристик  $\varepsilon_{прс}^p Q_{пр}, D_c$  и  $\eta_{полс}^p Q_{пр}, D_c$  для вычисленного значения обобщенного нормированного дефекта  $D_c$  и массива значений  $Q_{прt}$  определяются массивы  $\varepsilon_{пр}^p Q_{прt}$  и  $\eta_{пол}^p Q_{прt}$ . По паспортным характеристикам соответственно определяются массивы значений  $\varepsilon_{пр}^п Q_{прt}$  и  $\eta_{пол}^п Q_{прt}$ .

Последующие операции заключаются в определении значений внутренней мощности ЦБН  $N_p Q_{прt}$  и  $N_{п} Q_{прt}$  для каждой пары значений  $\varepsilon_{пр}^p Q_{прt}, \eta_{пол}^p Q_{прt}$  и  $\varepsilon_{пр}^п Q_{прt}, \eta_{пол}^п Q_{прt}$ .

В итоге КТС ЦБН определяются как:

$$K_{\eta}^{ЦБН} Q_{комt} = \frac{\eta_{пол}^p Q_{прt}, D_c}{\eta_{пол}^п Q_{прt}}, \quad (16.1)$$

$$K_N^{ЦБН} Q_{комt} = \frac{N^p Q_{прt}, D_c}{N^п Q_{прt}}. \quad (16.2)$$

Средневзвешенные КТС находятся по формулам (14.4), (14.5).

Значения  $\varepsilon_{\text{пр}}^p Q_{\text{прт}}, D_c$  и  $\eta_{\text{пол}}^p Q_{\text{прт}}, D_c$  определяются путем линейной двумерной интерполяции расчетных характеристик ЦБН по приведенной объемной производительности  $Q_{\text{прт}}$  и обобщенному нормированному дефекту  $D_c$ . Соответственно значения  $\varepsilon_{\text{пр}}^n Q_{\text{прт}}$  и  $\eta_{\text{пол}}^n Q_{\text{прт}}$  вычисляются линейной интерполяцией паспортных характеристик только по  $Q_{\text{прт}}$ .

Полученные таким образом результаты определения ФТС ЦБН и ГТУ по всем КС УМГ и ДК «Укртрансгаз» используются для сравнительного анализа ФТС по одноименным типам ЦБН и ГТУ. Данный анализ позволяет оценить технико-экономические показатели эксплуатации ГПА на различных КС и выдать рекомендации по проведению сроков и очередности проведения ремонтов, а также реновации ГПА.

Нормы расхода топливного газа на данных уровнях управления рассчитываются на основе обобщенных нормированных дефектов ЦБН и ГТУ. Для сравнительного анализа работы ГПА по различным КС и УМГ перерасход топливного газа соотносится с фактическим функционально-техническим состоянием ГПА. На основе сравнительного анализа определяются причины перерасхода топливного газа. Если по большинству КС или УМГ фиксируется перерасход/экономия топливного газа, то уточняются нормы расхода топливного газа.

## **16.2 Мониторинг функционально-технического состояния газоперекачивающих агрегатов на уровне управления магистральными газопроводами**

### **16.2.1 Анализ оперативной входной информации**

В рамках мониторинга ФТС УМГ выполнены исследования изменения КТС ЦБН и ГТУ по среднесуточным цеховым данным за период с 01.09.1999 года по 31.01.2003 года. Проведен анализ поступивших цеховых данных на полноту и корректность. Общее количество поступивших цеховых данных за указанный период по УМГ составило 25870. В процентном отношении к общему количеству данных, которые должны были поступить за указанный период, составили величину порядка 69,7 %.

Анализ входной информации на корректность заключался в проверке возможности выполнения расчетов параметров ФТС ЦБН. В процентном отношении количество достоверных цеховых данных, по которым были рассчитаны обобщенные нормированные дефекты к общему количеству данных по УМГ, составило величину порядка 42,4 %. Процент наличия данных, позволяющих определить обобщенный нормированный дефект, в общем случае, является мерой достоверности определяемых оценок ФТС ГПА. Существенный процент (более 20 %) цеховых данных тех КС, по которым не прошел расчет, является основой для выдачи рекомендаций обслуживающему персоналу КС о необходимости проверки с калибровкой каналов измерения параметров агрегатной и цеховой автоматики. При невозможности рассчитать обобщенный нормированный дефект из-за невыполнения ограничений по степени сжатия

выдавались рекомендации о необходимости проверки каналов измерения давления и частоты вращения ротора ЦБН. В случае если расчет невозможен из-за невыполнения ограничений по КПД или по дефекту, то выдавались рекомендации о необходимости проверки каналов измерения давления и температуры газа.

На рисунке 16.1 приведены результаты анализа цеховой информации по КС 1 с ЦБН 655P2 КЛАРК с указанием причин, по которым рассчитываемые параметры ЦБН находились вне допустимых областей.

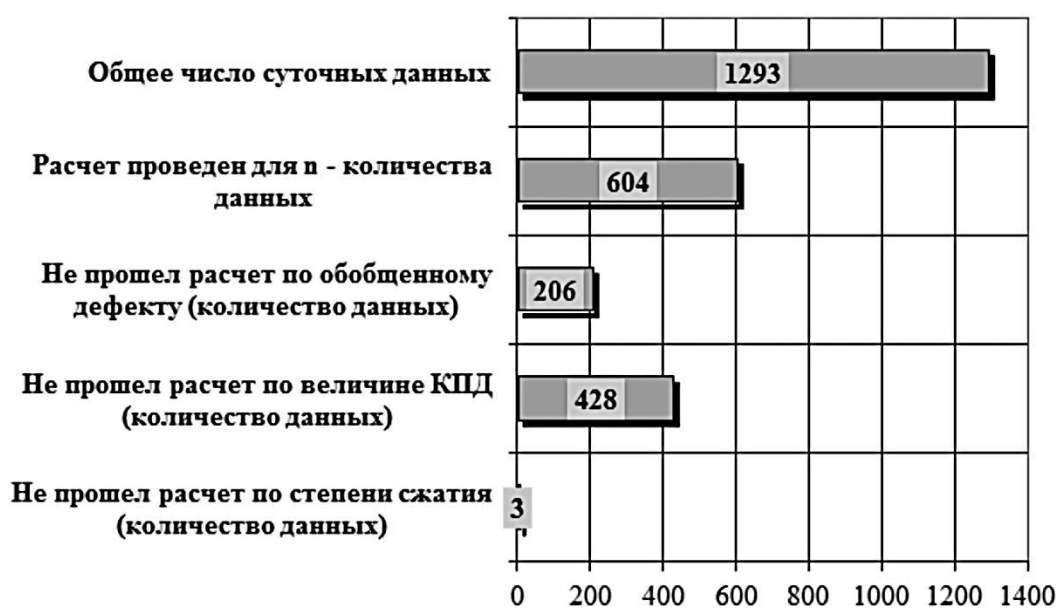


Рисунок 16.1 – Оценка качества оперативной информации по КС 1 с ЦБН 655P2 КЛАРК

Из рисунка 16.1 следует, что расчет ФТС проведен до 50 % общего количества поступивших среднесуточных данных. Полученные результаты анализа позволили с необходимой достоверностью определить ФТС ГПА этой КС.

В качестве примера, на рисунке 16.2 приведена статистика получения цеховых данных по КС 1 с ЦБН 655P2 КЛАРК за рассмотренный период эксплуатации.

### 16.2.2 Анализ результатов определения КТС ГПА

Приведенные ниже результаты содержат средневзвешенные КТС ЦБН и ГТУ в функции времени наработки по отдельным КС, а также КТС ЦБН и ГТУ всех эксплуатируемых в УМГ ГПА на 31.01.2003 года.

Средневзвешенные КТС ЦБН и ГТУ в функции времени оценивались по четырем КС УМГ: КС 1 с ЦБН 655P2 КЛАРК; КС 2 с ЦБН PCL-804-2; КС 3 с ЦБН PCL-804-2; КС 4 с ЦБН 655P2 КЛАРК.

В качестве иллюстраций на рисунке 16.3 приведены графики изменения КТС ЦБН по мощности для ГПА 1 КС 1, рассчитанные с помощью разработанного метода, а также графики, рассчитанные известными методами по результатам теплотехнических испытаний.

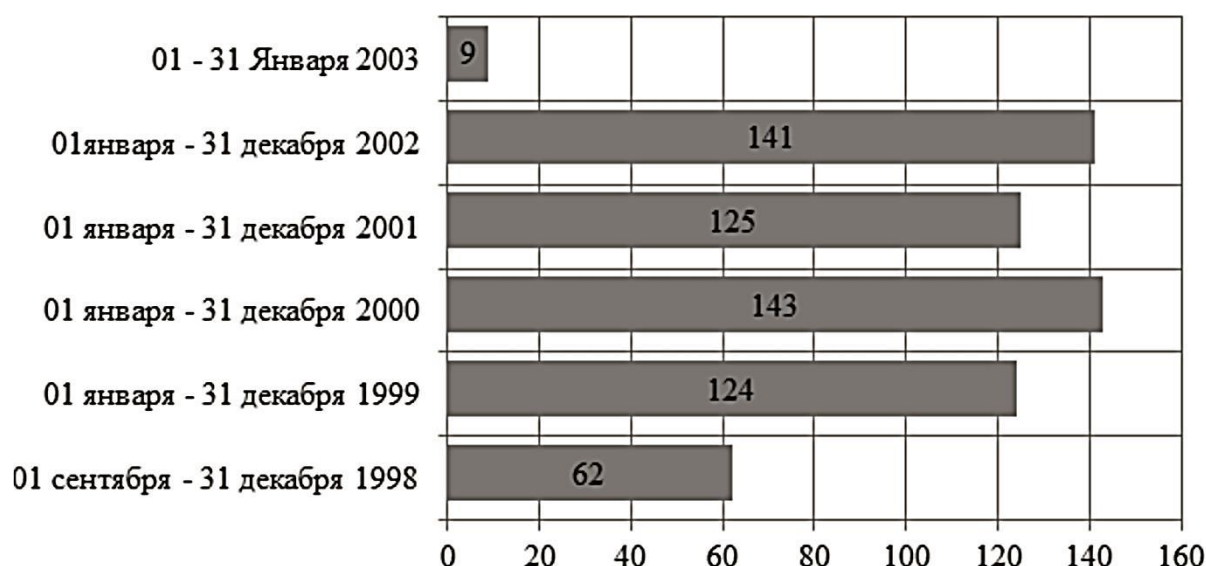


Рисунок 16.2 – Общая статистика полученной оперативной информации с КС 1 с ЦБН 655Р2 КЛАРК по годам эксплуатации

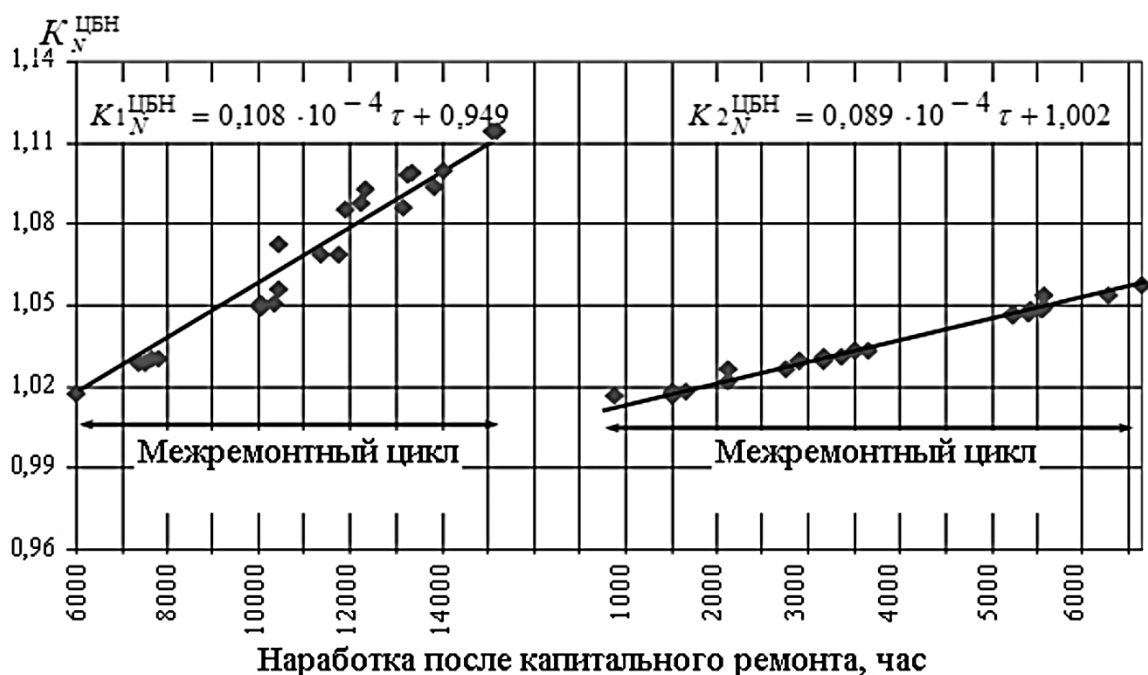


Рисунок 16.3 – Изменение средневзвешенного КТС ЦБН по мощности ГПА № 1 КС 1 с ЦБН 655Р2 КЛАРК в межремонтный период

На рисунке 16.3 отдельными точками отображены значения КТС, рассчитанных по результатам теплотехнических испытаний, а сплошной – по разработанному методу на основе обобщенного нормированного дефекта.

Функции изменения КТС от времени наработки после капитального ремонта в часах могут быть представлены в следующем виде:

$K_{Ncp}^{CBH} = 0,108 \cdot 10^{-4} \cdot t + 0,949$  – для первого межремонтного цикла;

$K_{Ncp}^{CBH} = 0,089 \cdot 10^{-4} \cdot t + 1,002$  – для второго межремонтного цикла;

$t$  – время наработки (в часах) от последнего капитального ремонта.

Для анализа достоверности полученных результатов по рассматриваемому ГПА №1 КС 1 с ЦБН 655P2 КЛАРК были проведены теплотехнические испытания и в соответствии с действующими методиками определены КТС. Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 16.1.

Таблица 16.1 – Результаты сравнения значений КТС ГПА №1 КС 1 с ЦБН 655P2 КЛАРК

Интервалы межремонтного цикла	КТС, рассчитанные по фактическим характеристикам	КТС, рассчитанные по теплотехническим испытаниям	Относительное отклонение КТС, %
начало – конец			
КТС ЦБН по КПД			
09.09.1998 – 21.03.2000	0,972	0,963	0,9
	0,965	0,947	1,9
23.08.2000 – 09.07.2002	0,994	0,983	1,1
	0,980	0,968	1,2
КТС ЦБН по мощности			
09.09.1998 – 21.03.2000	1,016	1,050	3,3
	1,113	1,130	1,5
23.08.2000 – 09.07.2002	1,013	1,034	2,0
	1,058	1,097	3,6
КТС ГТУ по КПД			
09.09.1998 – 21.03.2000	0,981	0,958	2,4
	0,952	0,940	1,2
23.08.2000 – 09.07.2002	0,975	0,948	2,8
	0,936	0,924	1,2
КТС ГТУ по мощности			
09.09.1998 – 21.03.2000	0,928	0,913	1,6
	0,989	0,876	1,5
23.08.2000 – 09.07.2002	0,926	0,905	2,3
	0,894	0,882	1,3
КТС ГТУ по топливному газу			
09.09.1998 – 21.03.2000	1,015	1,042	2,6
	1,040	1,053	1,2
23.08.2000 – 09.07.2002	1,013	1,027	1,3
	1,055	1,080	2,3

Результаты сравнения значений КТС, полученных расчетным путем в соответствии с разработанным методом со значениями результатов теплотехнических испытаний показали, что среднее значение отклонения не превысило 4 %. При этом значения КТС ГПА снижаются от ремонта к ремонту, что объясняется наличием необратимых процессов в узлах ГПА.

Значения средневзвешенных КТС по типам ЦБН для одного из УМГ ДК «Укртрансгаз» представлены в таблице 16.2.

Итоговые результаты определения обобщенных нормированных среднецековых дефектов ЦБН ГПА КС УМГ на 31.01.2003 г. приведены в таблице 16.3.

Таблица 16.2 – Значения средневзвешенных КТС по типам ЦБН одного из УМГ ДК «Укртрансгаз»

Тип ЦБН	КТС ЦБН по КПД	КТС ЦБН по мощности
H-650-21-1	0,953	1,021
H-650-21-2	0,951	1,057
RF-2BB-30/76 COOPER BESSEMER	0,949	1,022
H-235-21-1	0,947	1,025
655P2 КЛАРК	0,940	1,032
PCL-804-2/36	0,939	1,036
H-6-56	0,938	1,020

Таблица 16.3 – Обобщенные нормированные среднецеховые дефекты ЦБН ГПА КС УМГ

КС	Цех	Нагнетатель	Дата начала оценки ФТС	Дата конца оценки ФТС	Обобщенный нормированный среднецеховой дефект ЦБН
Боровая	1	RF-2BB-30/76	09.09.1998	31.01.2003	0,204
Боровая	2	H-6-56	11.11.1998	01.04.2002	0,304
Первомайск	1	RF-2BB-30/76	09.09.1998	31.01.2003	0,337
Машевка	1	RF-2BB-30/76	09.09.1998	31.01.2003	0,234
Кременчуг	1	655P2 КЛАРК	09.09.1998	31.01.2003	0,649
Заднепровская	1	H-235-21-1	09.09.1998	31.01.2003	0,407
Александровка	1	655P2 КЛАРК	09.09.1998	31.01.2003	0,325
Кировоград	1	H-235-21-1	10.11.1998	31.01.2003	0,404
Южно-Бузская	1	H-235-21-1	09.09.1998	31.01.2003	0,322
Тальное	1	655P2 КЛАРК	09.09.1998	31.01.2003	0,323
Гайсин	1	655P2 КЛАРК	09.09.1998	31.01.2003	0,417
Иллинцы	1	PCL-804-2	09.09.1998	31.01.2003	0,394
Иллинцы	2	H-235-21-1	09.09.1998	01.01.2003	0,230
Бар-1	1	655P2 КЛАРК	09.09.1998	31.01.2003	0,619
Бар-2	1	H-650-21-2	09.09.1998	31.01.2003	0,213
Бар-2	2	H-650-21-1	12.09.1998	12.12.2002	0,414
Гусятин-1	1	RF-2BB-30/76	09.09.1998	31.01.2003	0,423
Гусятин-2	1	PCL-804-2/36	09.09.1998	31.01.2003	0,489
Гусятин-2	2	H-235-21-1	09.09.1998	31.01.2003	0,203
Софиевка	1	PCL-804-2/36	09.09.1998	20.01.2003	0,276
Софиевка	2	H-650-21-2	09.09.1998	31.01.2003	0,270
Софиевка	3	H-650-21-2	09.09.1998	27.12.2002	0,218
Ставище	1	PCL-804-2	09.09.1998	31.01.2003	0,394

Информация об изменении КТС во времени по каждому ГПА и итоговая информация о ФТС всех эксплуатируемых ГПА являются основой для принятия решения о реновации энергооборудования, технического обслуживания ГПА по «состоянию».

## **17 МОНИТОРИНГ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ НА УРОВНЕ ДК «УКРТРАНСГАЗ»**

Мониторинг ФТС ГПА на данном уровне ведется на основе разработанного Атласа фактических характеристик ЦБН парка эксплуатируемых ГПА ГТС. Данный Атлас создан и периодически обновляется с помощью разработанного программного комплекса оценки ФТС ЦБН ДК «Укртрансгаз».

### **17.1 Атлас фактических характеристик центробежных нагнетателей парка эксплуатируемых газоперекачивающих агрегатов газотранспортной системы**

Атлас фактических характеристик ЦБН парка эксплуатируемых ГПА ГТС создан в соответствии с описанным выше методом оценки ФТС, предусматривающим «расщепление» средних по цеху обобщенных дефектов на индивидуальные. Атлас также содержит информацию о значениях обобщенных дефектов по каждому ЦБН.

При создании Атласа использовались среднесуточные данные диспетчерских журналов по всем КС ДК «Укртрансгаз» за последние 5 лет. В процессе определения фактических характеристик ЦБН анализировалась достоверность входной информации по выполнению ограничений режимных параметров в части: приведенной степени сжатия, политропного КПД и обобщенного дефекта. В случае невыполнения любого из отмеченных ограничений формировались соответствующие признаки недостоверности. По результатам обработки массивов входной информации определялась годовая и итоговая статистика достоверности. Эта статистика использовалась, с одной стороны, как оценка меры достоверности полученных фактических характеристик ЦБН, а с другой, как основа для выдачи рекомендаций обслуживающему персоналу для проверки каналов измерения цеховых параметров по тем КС, по которым процент недостоверной входной информации превысил заданные пределы.

Представленные в Атласе фактические характеристики ЦБН содержат коэффициенты аппроксимации приведенных расходно-напорных характеристик, характеристик политропного КПД и характеристик приведенной относительной внутренней мощности. Характеристики представлены также в графическом виде. Кроме того, в Атласе приведены паспортные характеристики всех типов ЦБН, пересчитанные с учетом теплофизических свойств реальных газов в соответствии с ISO 5389:1992(E).

В качестве примера графического представления на рисунках 17.1 – 17.3 отражены паспортные и фактические характеристики ЦБН ГПА № 1 КС 1 с ЦБН 655P2 КЛАРК УМГ. Пунктиром на рисунках изображены паспортные, а сплошной линией – фактические характеристики ЦБН.

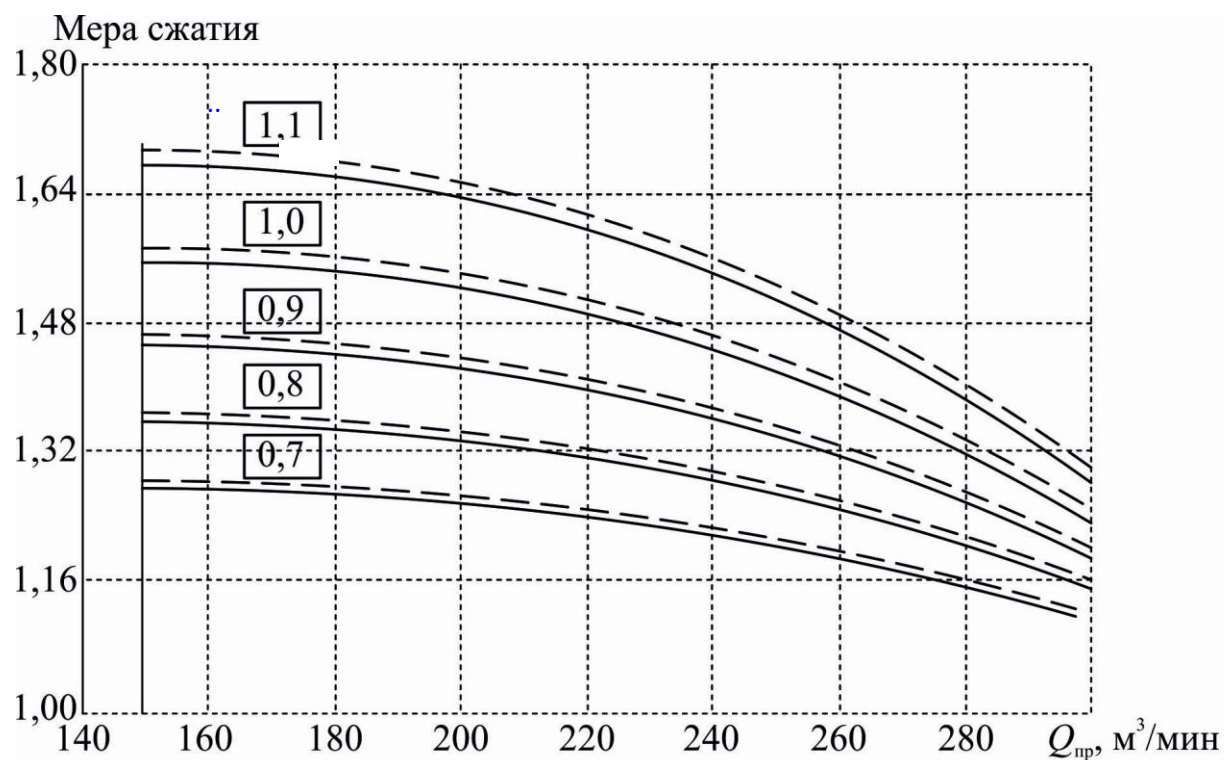


Рисунок 17.1 – Расходно-напорная характеристика ЦБН 655Р2 КЛАРК ГПА 1  
Цех 1 КС 1 УМГ

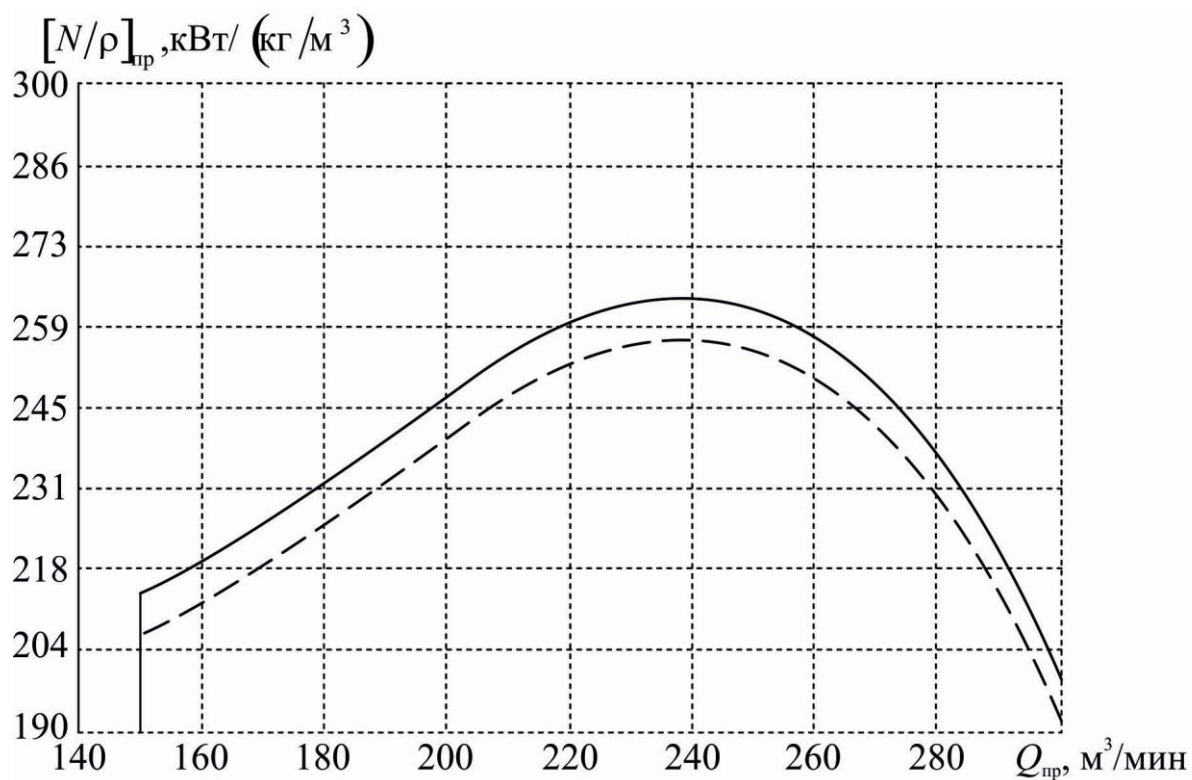


Рисунок 17.2 – Мощностная характеристика ЦБН 655Р2 КЛАРК ГПА 1  
Цех 1 КС 1 УМГ



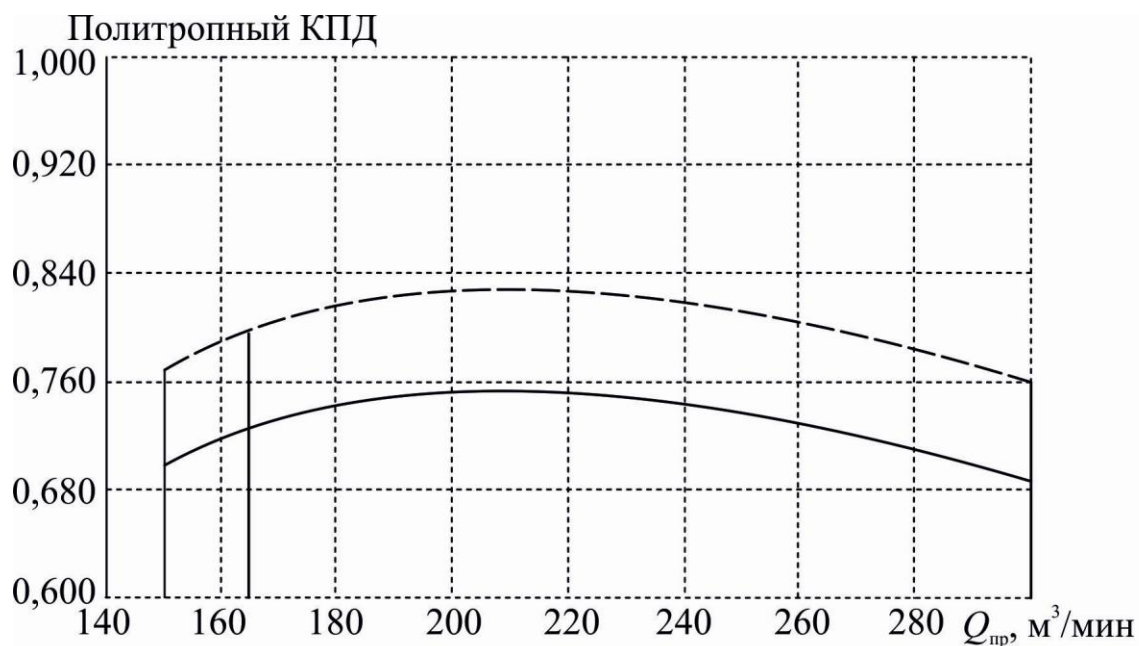


Рисунок 17.3 – Характеристика политропного КПД ЦБН 655P2 КЛАРК  
ГПА 1 Цех 1 КС 1 УМГ

Предусмотрено обновление фактических характеристик всего парка ГПА с интервалом 1 раз в месяц.

На основании полученных фактических характеристик рассчитаны КТС ЦБН ГПА по КПД и мощности в функции от приведенной объемной производительности. Ниже на рисунках 17.4 и 17.5 представлены рассчитанные КТС для ГПА № 1 КС 2 с ЦБН PCL-804-2 УМГ.

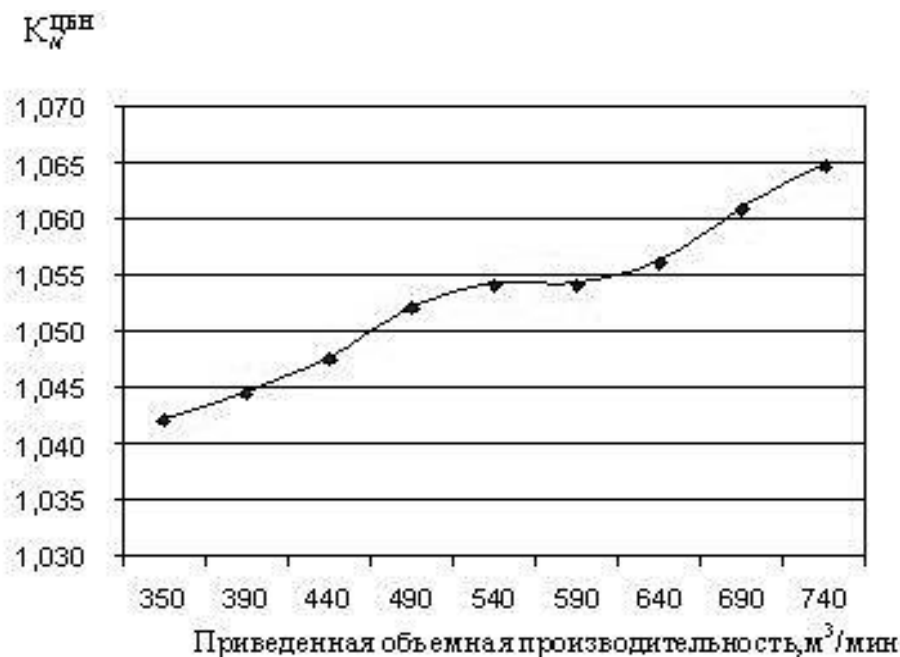


Рисунок 17.4 – КТС ЦБН ГПА по мощности в функции от  $Q_{пр}$  для ГПА 1  
Цех 1 КС 2 с ЦБН PCL-804-2 УМГ

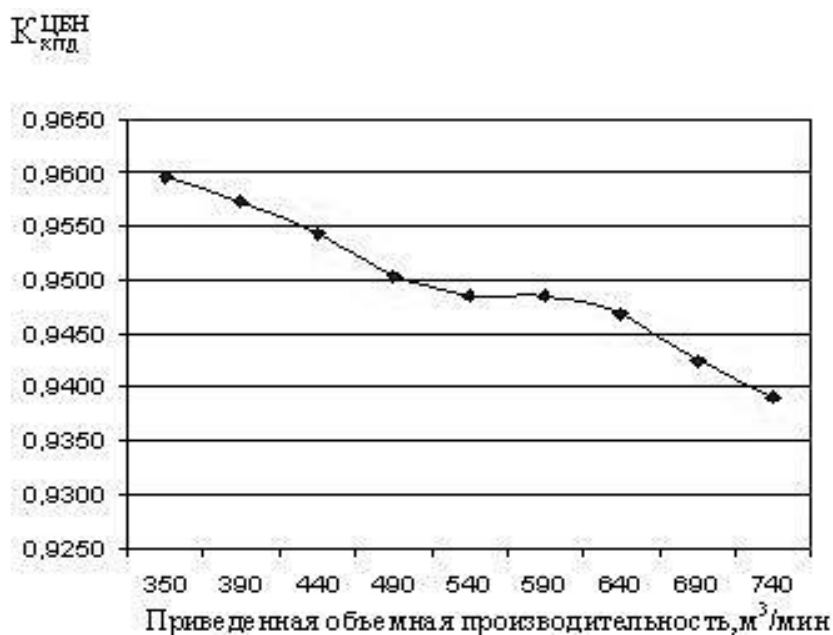


Рисунок 17.5 – КТС ЦБН ГПА по КПД в функции от  $Q_{пр}$  для ГПА 1  
Цех 1 КС 2 с ЦБН PCL-804-2 УМГ

В качестве иллюстрации фрагментов Атласа в таблицах 17.1 и 17.2 приведены рассчитанные значения коэффициентов аппроксимирующих полиномов фактических характеристик и значения обобщенных дефектов ЦБН ГПА соответственно за период с 09.09.1998 года по 31.10.2002 год для КС 4 Цех 1.

## 17.2 Программный комплекс мониторинга ГПА ДК «Укртрансгаз»

Программный комплекс мониторинга ГПА ДК «Укртрансгаз» включает программное обеспечение расчета оценки ФТС ЦБН и программное обеспечение расчета оценки ФТС ГТУ.

Ниже описано программное обеспечение расчета оценки ФТС ЦБН. Описание программного обеспечения расчета оценки ФТС ГТУ аналогично описанию расчета оценки ФТС ЦБН.

Программный комплекс решает следующие задачи оценки ФТС ЦБН:

- ведение и коррекция нормативно-справочной информации (НСИ) по каждому эксплуатируемому типу ЦБН;
- определение фактических приведенных характеристик ЦБН с анализом достоверности входных данных;
- определение режимных параметров работы ЦБН с исследованием влияния изменения измеряемых параметров на результаты оценки ФТС;
- ведение статистической базы данных фактических приведенных характеристик, коэффициентов технического состояния ЦБН, фактической наработки и проведенных ремонтов ЦБН;
- создание бумажной версии Атласа фактических характеристик ЦБН ГПА, эксплуатируемых в ДК «Укртрансгаз».

Таблица 17.1 – Коэффициенты аппроксимирующих полиномов фактических характеристик ЦБН ГПА

№ ГПА	Расходно-напорная характеристика			Характеристика приведенной относительной внутренней мощности				Характеристика политропного КПД			
	$A$	$B \cdot 10^3, (\text{м}^3/\text{мин})^{-1}$	$C \cdot 10^6, (\text{м}^3/\text{мин})^{-2}$	$B_0 \cdot 10^{-1}, \text{кВт} \cdot \text{м}^3/\text{кг}$	$B_1 \cdot 10, \text{кВт} \cdot \text{м}^3/\text{кг} \cdot (\text{м}^3/\text{мин})^{-1}$	$B_2 \cdot 10^3, (\text{кВт} \cdot \text{м}^3/\text{кг}) (\text{м}^3/\text{мин})^{-2}$	$B_3 \cdot 10^6, (\text{кВт} \cdot \text{м}^3/\text{кг}) (\text{м}^3/\text{мин})^{-3}$	$D_0$	$D_1 \cdot 10^3, (\text{м}^3/\text{мин})^{-1}$	$D_2 \cdot 10^6, (\text{м}^3/\text{мин})^{-2}$	$D_3 \cdot 10^9, (\text{м}^3/\text{мин})^{-3}$
01	1,557 35	11,816 17	-39,714 3	60,105 30	-74,431 46	44,680 06	-81,075 54	-0,323 93	13,077 34	-49,533 56	58,070
02	1,565 25	12,137 39	-40,658 3	55,302 82	-68,136 33	41,239 70	-75,025 18	-0,323 70	13,598 82	-51,264 33	59,664
03	1,529 65	11,963 73	-40,009 5	60,948 32	-75,515 78	45,408 03	-82,539 87	-0,308 83	12,695 53	-48,056 65	56,266
04	1,568 75	12,034 45	-40,392 4	56,319 19	-69,416 64	41,926 98	-76,225 18	-0,323 76	13,500 63	-51,046 15	59,664
05	1,536 84	12,028 15	-40,205 3	59,728 33	-73,945 84	44,429 57	-80,655 96	-0,320 93	13,077 34	-49,533 56	58,070
06	1,566 78	11,981 20	-40,218 3	57,321 15	-70,745 08	42,596 84	-77,328 68	-0,321 91	13,419 39	-50,840 58	59,622
07	1,566 37	12,024 73	-40,361 2	56,999 10	-70,345 89	42,393 34	-76,988 82	-0,303 77	13,192 47	-49,732 88	57,860

Таблица 17.2 – Рассчитанные обобщенные дефекты ЦБН ГПА

№ ГПА	Обобщенный дефект	Наработка ЦБН, час	Наработка ГТУ, час	Смещение расходно-напорной характеристики, %	Смещение характеристики политропного КПД, %
01	0,525	99126	99126	0,79	6,3
02	0,034	79812	79812	0,05	0,4
03	0,686	95563	95563	1,03	8,2
04	0,144	97817	97817	0,22	1,7
05	0,494	88608	88608	0,74	5,9
06	0,209	91122	91122	0,31	2,5
07	0,179	88175	88175	0,27	2,1

Программный комплекс имеет двухуровневую структуру.

На верхнем уровне определяется следующая информация:

- конкретная решаемая задача из перечисленных выше;
- исходные данные для решения задачи, в том числе включающие УМГ, КС, КЦ, ГПА;
- вид входной информации, на основе которой решается задача оценки ФТС ЦБН;
- настройки программного обеспечения на работу с базами данным других программ.

На нижнем уровне решается конкретная задача, отображаются результаты решения, производится контроль результатов решения задачи с помощью программного обеспечения и пользователя программного комплекса с записью последних в базу данных при положительных результатах контроля.

### 17.3 Задачи верхнего уровня программного комплекса

Для решения задач верхнего уровня программным комплексом формируется основная форма программы. Вид основной формы программы представлен на рисунке 17.6.

На основной форме представлены:

- многоуровневая структура ДК «Укртрансгаз», включающая УМГ, КС, КЦ и ГПА;
- задачи оценки ФТС ЦБН (меню «Задачи»);
- вид входной информации, на основе которой решается конкретная выбранная задача (меню «Вх. інформація»);
- настройки обмена с базами данных, содержащими требуемую входную информацию и информацию для записи результатов расчетов (меню «Сервіс»);
- настройки дат расчета, выбор количества отображаемых записей (меню «Сервіс»);
- завершение работы с программным комплексом (меню «Вихід»);
- рекомендации по работе с программным комплексом (меню «Допомога»).

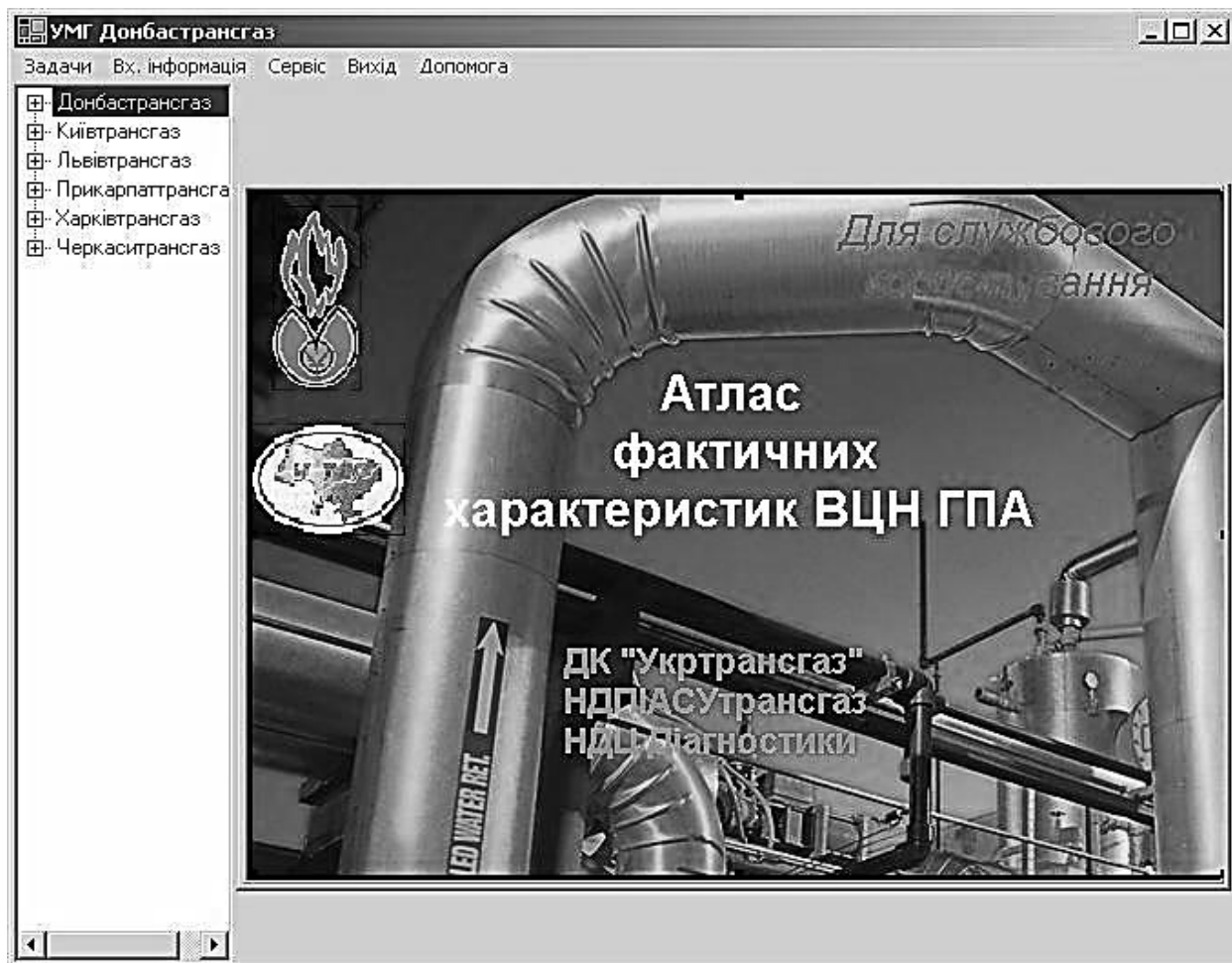


Рисунок 17.6 – Основная форма программы

Для выбора конкретной решаемой задачи, вида входной информации, задания настроек необходимо войти в соответствующее меню.

Программный комплекс при входе в меню «Задачи» формирует следующие окна, соответствующие сформулированным выше задачам: «НСИ»; «Фактические характеристики»; «Режимные параметры»; «База данных»; «Атлас».

Для выбора решаемой задачи необходимо вызвать соответствующее меню.

При входе в меню «Вх. інформація» программный комплекс формирует окна для задания одного из видов входной информации.

Входной информацией данного программного комплекса являются следующие данные:

- суточные цеховые данные программного комплекса «Эксперт» (окно «Эксперт»);
- данные теплотехнических измерений отдельных ЦБН (окно «Тепл. испытания»);
- агрегатные данные КС (окно «Данные КС»);
- данные пользователя программного комплекса (окно «Данные пользователя»).

При выборе «Эксперт» в меню «Сервис»->«Настройки» необходимо ввести информацию о начале и конце интервала времени, на котором определяются фактические характеристики ЦБН.

При выборе «Тепл. испытания» или «Данные КС» необходимо указать файл, содержащий соответствующую входную информацию.

При выборе «Данные пользователя» входные данные задаются в процессе решения задачи.

Программный комплекс при входе в меню «Сервис» формирует следующие окна: «Экспорт информации в программный комплекс «Эксперт»; «Настройки».

В окне «Экспорт информации в программный комплекс «Эксперт» задается признак записи рассчитанных фактических характеристик ЦБН ГПА и коэффициентов технического состояния ГПА в базы данных программного комплекса «Эксперт».

В окне «Настройки» определяется информация, которую необходимо ввести для обеспечения обмена между программными комплексами, описания путей доступа к базам данным, очистки временных таблиц, выбора количества записей для отображения режимных параметров.

## 18 ЗАДАЧИ НИЖНЕГО УРОВНЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

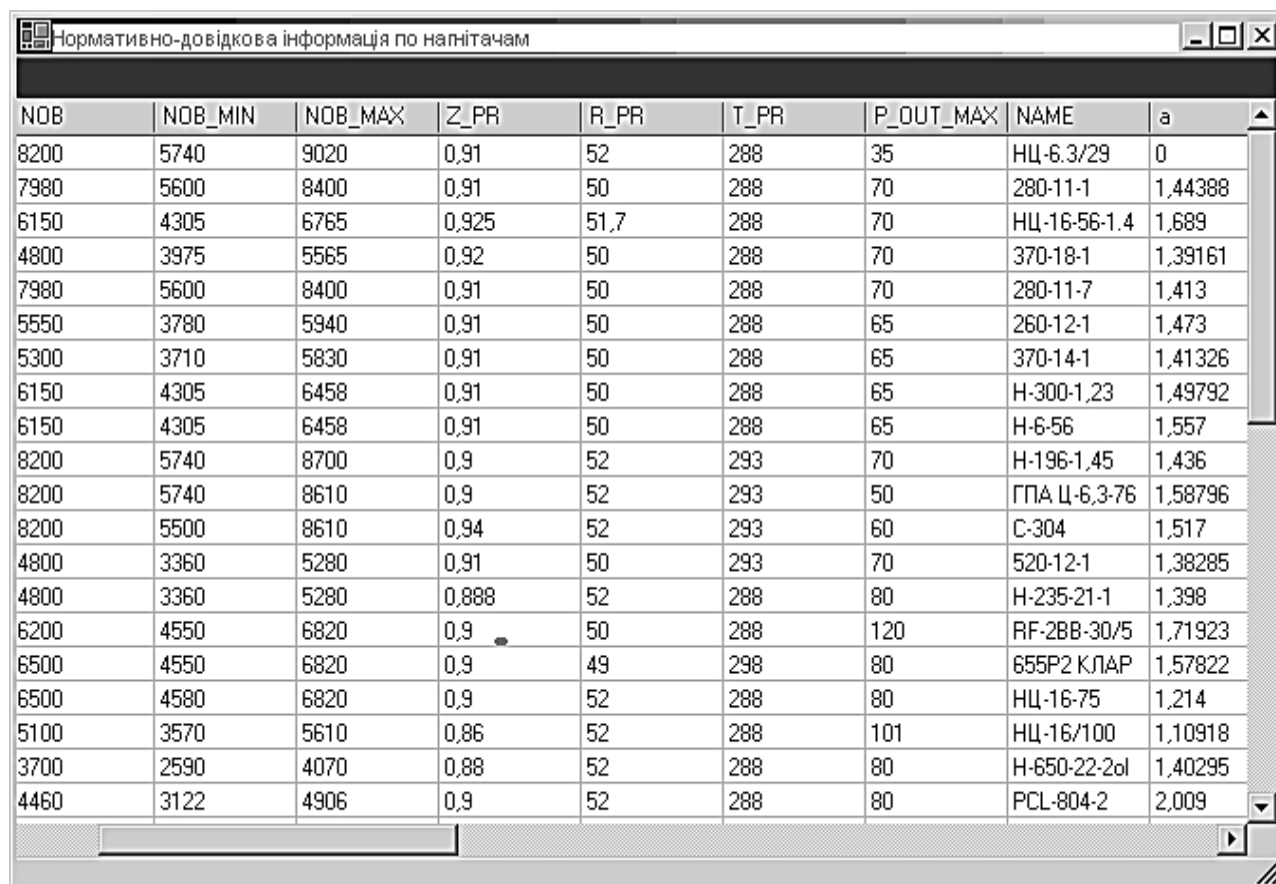
### 18.1 Ведение и коррекция нормативно-справочной информации

Программный комплекс реализует следующие функции работы с НСИ: просмотр, коррекцию, введение НСИ по новому типу ЦБН, исключение НСИ снятого с эксплуатации типа ЦБН. Для выполнения перечисленных функций (за исключением просмотра) необходимо введение соответствующего пароля. Кроме того, коррекция НСИ разрешена программным комплексом только по отдельным параметрам. В случае ввода информации, которая выходит за пределы заранее заданного допустимого диапазона, программный комплекс выдает сообщение о недопустимости ввода такой информации.

Окно «НСИ» содержит следующую информацию:

- номинальные, минимальные и максимальные допустимые значения параметров ЦБН, определенные технической документацией;
- параметры приведения паспортных характеристик ЦБН;
- паспортные характеристики ЦБН (приведенная степень сжатия, политропный КПД, приведенная внутренняя относительная мощность в функции от приведенной объемной производительности), представляемых в виде коэффициентов соответствующих полиномов.

Вид окна «НСИ» представлен на рисунке 18.1.



NOB	NOB_MIN	NOB_MAX	Z_PR	R_PR	T_PR	P_OUT_MAX	NAME	a
8200	5740	9020	0,91	52	288	35	НЦ-6.3/29	0
7980	5600	8400	0,91	50	288	70	280-11-1	1,44388
6150	4305	6765	0,925	51,7	288	70	НЦ-16-56-1.4	1,689
4800	3975	5565	0,92	50	288	70	370-18-1	1,39161
7980	5600	8400	0,91	50	288	70	280-11-7	1,413
5550	3780	5940	0,91	50	288	65	260-12-1	1,473
5300	3710	5830	0,91	50	288	65	370-14-1	1,41326
6150	4305	6458	0,91	50	288	65	Н-300-1,23	1,49792
6150	4305	6458	0,91	50	288	65	Н-6-56	1,557
8200	5740	8700	0,9	52	293	70	Н-196-1,45	1,436
8200	5740	8610	0,9	52	293	50	ГПА Ц-6,3-76	1,58796
8200	5500	8610	0,94	52	293	60	С-304	1,517
4800	3360	5280	0,91	50	293	70	520-12-1	1,38285
4800	3360	5280	0,888	52	288	80	Н-235-21-1	1,398
6200	4550	6820	0,9	50	288	120	RF-2BB-30/5	1,71923
6500	4550	6820	0,9	49	298	80	655P2 КЛАР	1,57822
6500	4580	6820	0,9	52	288	80	НЦ-16-75	1,214
5100	3570	5610	0,86	52	288	101	НЦ-16/100	1,10918
3700	2590	4070	0,88	52	288	80	Н-650-22-2ol	1,40295
4460	3122	4906	0,9	52	288	80	PCL-804-2	2,009

Рисунок 18.1 – Окно «НСИ»

## 18.2 Определение фактических приведенных характеристик ЦБН

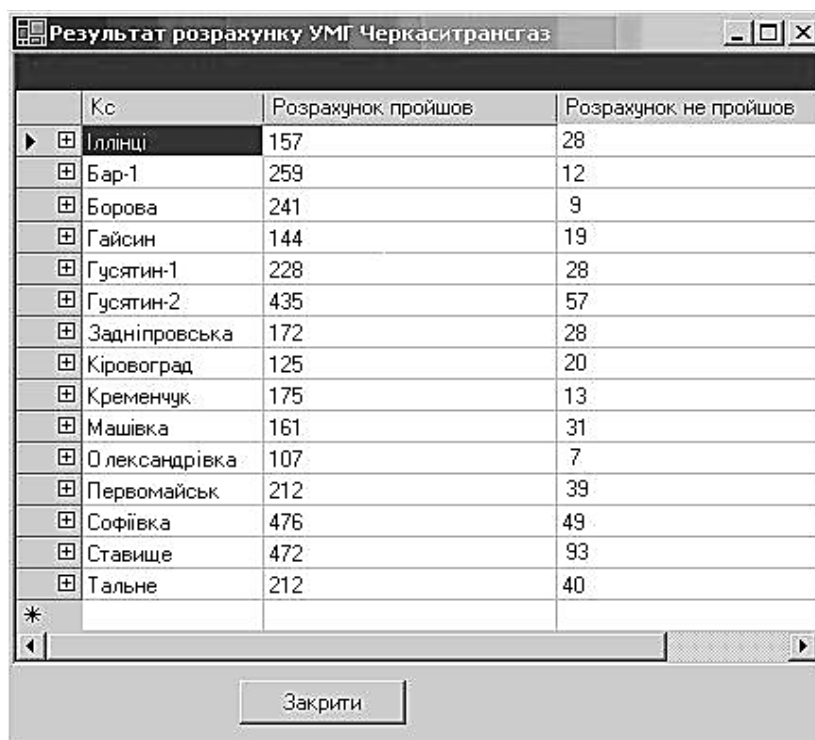
В процессе решения данной задачи реализуется три основных функции:

- контроль входной информации на достоверность;
- непосредственно расчет фактических характеристик ЦБН;
- контроль рассчитанных фактических характеристик ЦБН.

При решении задачи определения фактических приведенных характеристик ЦБН выполняются следующие виды контроля входной информации:


- полноты содержания записей по всем входным параметрам КЦ или ГПА;
- допустимых диапазонов изменения входных параметров;
- допустимых диапазонов изменения следующих расчетных параметров: приведенной степени сжатия, политропного КПД, приведенной объемной производительности и обобщенного нормированного дефекта.

Итоговые результаты контроля на достоверность входной информации отображаются в окне «Фактические характеристики» в виде, представленном на рисунке 18.2.



Кс	Розрахунок пройшов	Розрахунок не пройшов
Іллінці	157	28
Бар-1	259	12
Борова	241	9
Гайсин	144	19
Гусятин-1	228	28
Гусятин-2	435	57
Задніпровська	172	28
Кіровоград	125	20
Кременчук	175	13
Машівка	161	31
Олександрівка	107	7
Первомайськ	212	39
Софіївка	476	49
Ставище	472	93
Тальне	212	40
*		

Рисунок 18.2 – Итоговые результаты контроля входной информации в окне «Фактические характеристики»

Для более детального просмотра результатов контроля необходимо нажать на  слева от интересующей КС, где будут показаны следующие данные:

- общее количество данных поступивших на расчет;
- количество данных, по которым расчет не прошел по следующим причинам: неполные или недопустимые значения входных данных; недопустимые значения приведенной степени сжатия; недопустимые значения политропного КПД; недопустимые значения обобщенного нормированного дефекта.



В процессе расчета фактических характеристик ЦБН в окне «Фактические характеристики» отображаются текущие значения процента КЦ, по которым рассчитаны фактические характеристики и общее количество расчетов.

Пользователю программного комплекса предоставляется возможность проконтролировать расчет фактических характеристик ЦБН, для чего ему необходимо выполнить следующие операции:

- выбрать соответствующие УМГ, КС, КЦ и номер ГПА;
- выбрать из отображаемых входных данных запись, по которой необходимо произвести расчет режимных параметров ЦБН;
- нажать кнопку «Расчет» в окне «Фактические характеристики».

В окне «Фактические характеристики» отображаются графики паспортных и фактических характеристик выбранного ЦБН ГПА и входные данные, по которым произведен расчет (рис. 18.3).

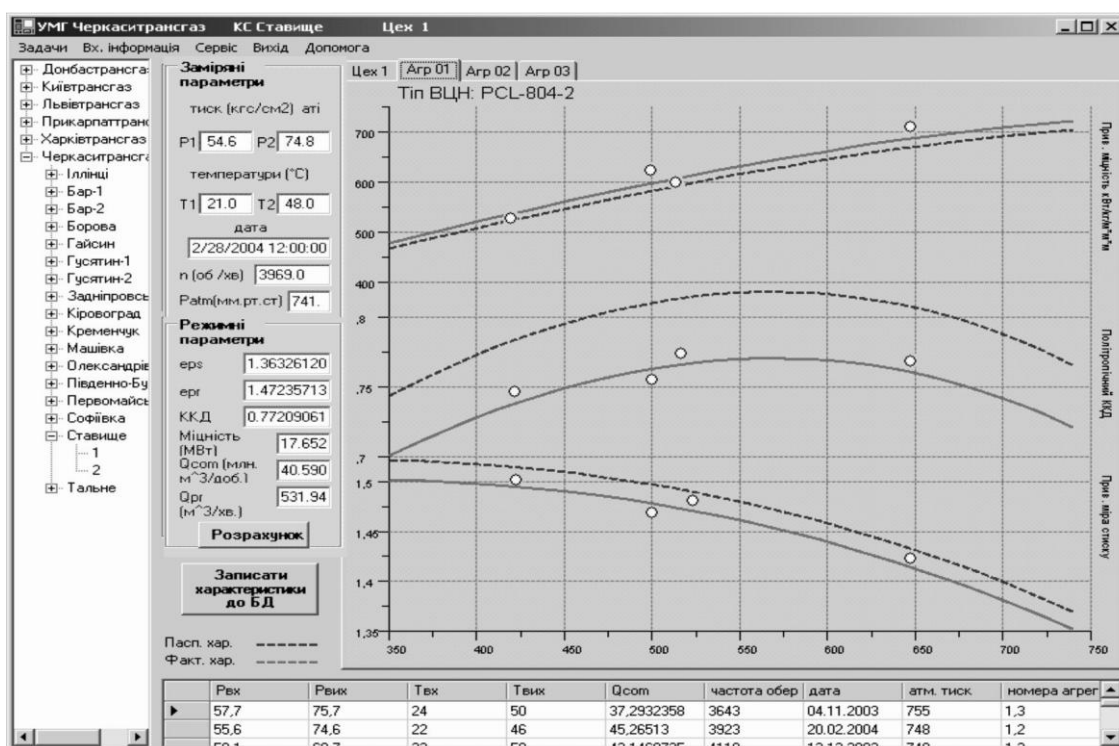


Рисунок 18.3 – Окно «Фактические характеристики»

После расчета режимных параметров ЦБН программный комплекс отображает значения этих параметров в соответствующих окнах, а также графически отображает точки режимных параметров, которые принадлежат выбранным записям входной информации.

Контроль осуществляется по анализу положения нескольких точек режимных параметров выбранных записей относительно рассчитанных характеристик. В случае отсутствия замечаний к рассчитанным фактическим характеристикам, по выбранным ЦБН ГПА, пользователь нажимает кнопку «Записать характеристики до БД». Фактические характеристики ЦБН в виде коэффициентов полиномов записываются в БД. В противном случае дополнительно анализируется НСИ, входная информация.

### 18.3 Определение режимных параметров работы ЦБН

Данная задача реализует следующие функции:

- определение режимных параметров работы ЦБН по оперативным данным на основе фактических приведенных характеристик, хранящихся в БД;
- исследование влияния изменения параметров ЦБН на его режимные параметры.

Для определения режимных параметров работы ЦБН пользователю необходимо в окне «Режимные параметры»:

- выбрать УМГ, КС, КЦ и номер ГПА;
- задать в соответствующих окнах параметры ЦБН.

В окне отображаются паспортные и фактические характеристики. После нажатия кнопки «Розрахунок» осуществляется расчет, и результаты расчета отображаются в числовом виде и графическом (рис. 18.4).

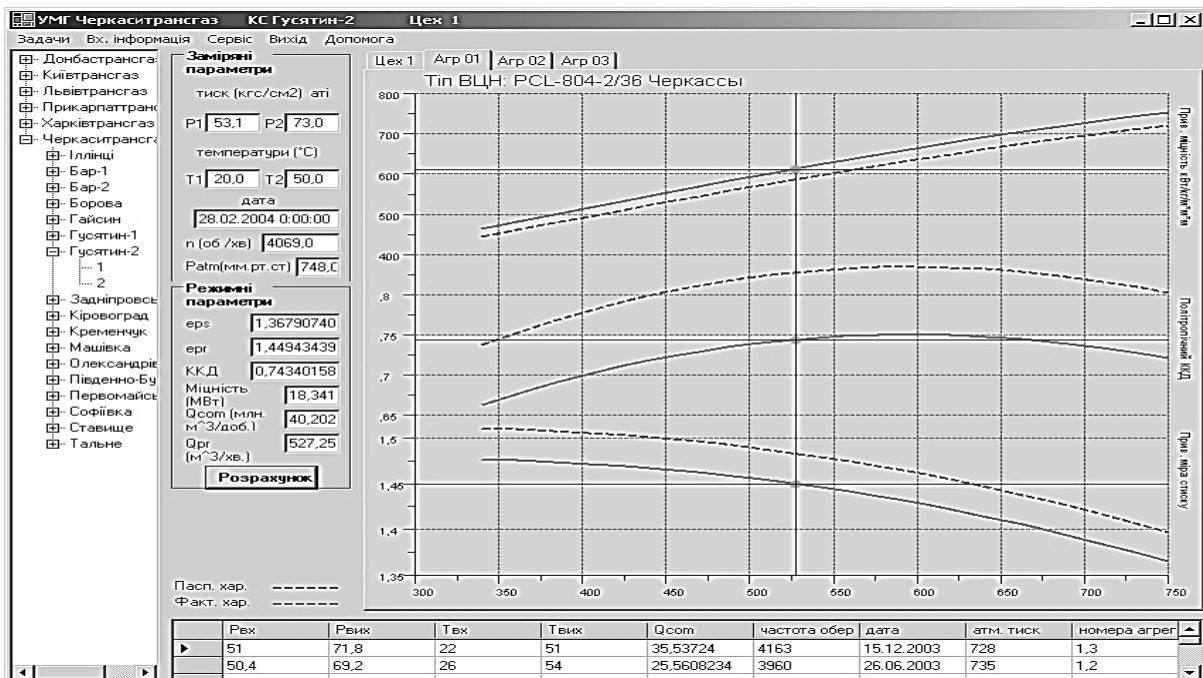


Рисунок 18.4 – Окно «Режимные параметры»

Для исследования влияния изменения параметров ЦБН на режимные параметры в окнах задания параметров необходимо произвести соответствующие изменения параметров и нажать кнопку «Розрахунок». Влияние изменения параметров оценивается по изменению точки режимных параметров на графиках.

### 18.4 Ведение статистической базы данных фактических приведенных характеристик

При решении данной задачи реализуются функции просмотра следующей информации БД (рис. 18.5):

- фактических приведенных характеристик ЦБН на моменты последнего и предыдущего их расчета;

– коэффициенты технического состояния на все моменты решения задач определения фактических характеристик ЦБН;

– фактической наработки и проведенных ремонтов ЦБН от момента последнего расчета и суммарной фактической наработки ЦБН.

Для вызова требуемой информации необходимо указать УМГ, КС, КЦ и номера ГПА и выбрать соответствующее меню.

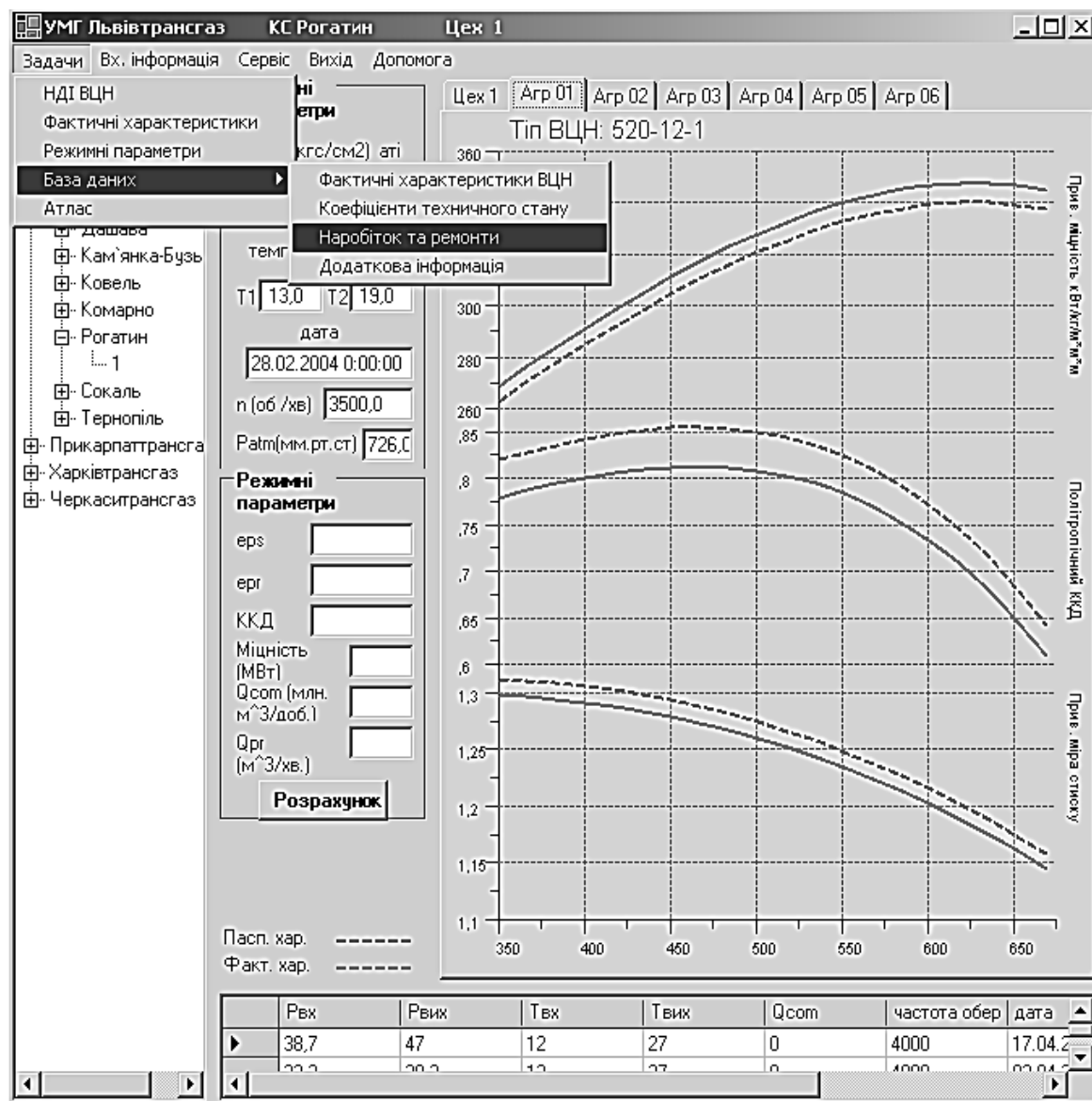


Рисунок 18.5 – Окно «База даних»

Программний комплекс виробляє статистичну обробку інформації і надає користувачеві можливість отримання необхідних даних по типах ЦБН для різних УМГ і КС, по типах ЦБН в залежності від термінів наработки, а також по зміні КТС в функції від термінів проведення ремонтів.

## 18.5 Создание бумажной версии Атласа фактических характеристик ЦБН ГПА

На рисунке 18.6 приведен внешний вид окна «Атлас».

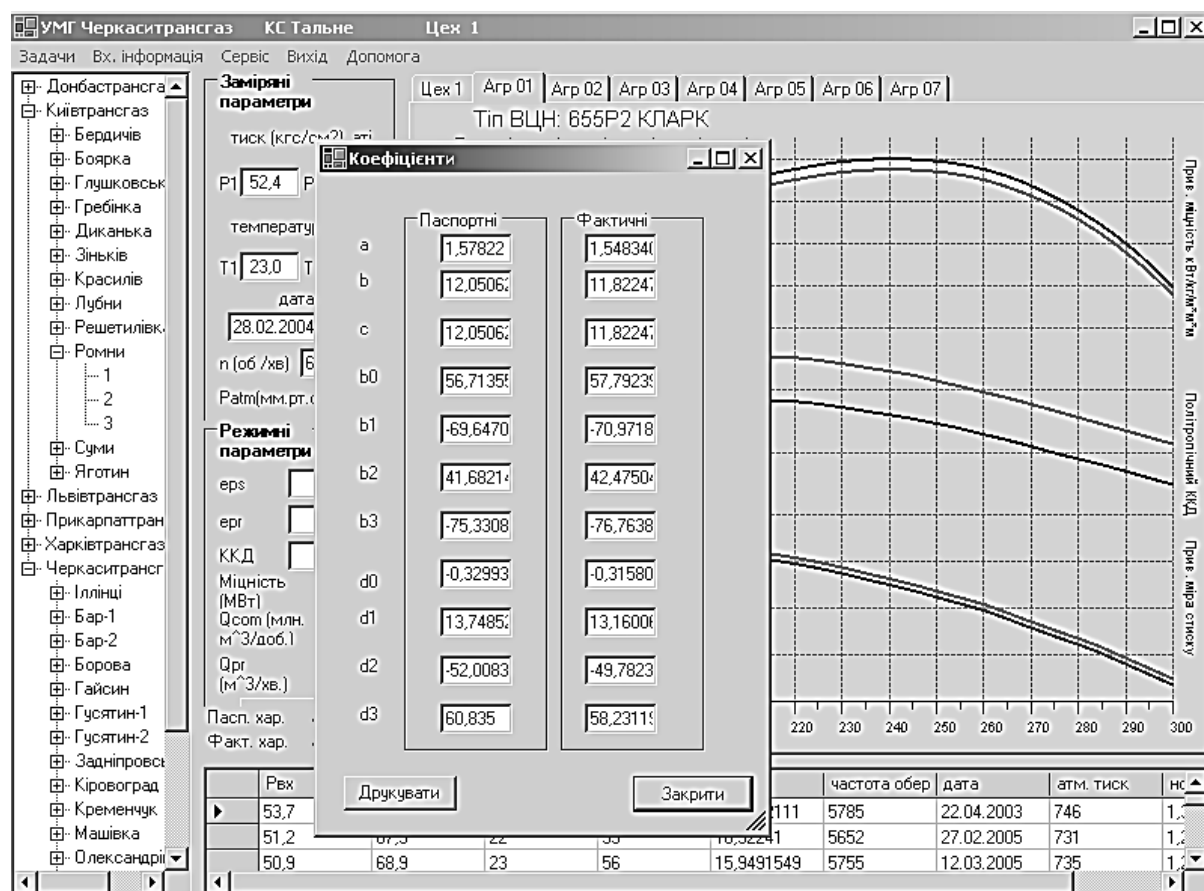


Рисунок 18.6 – Окно «Атлас»

Программный комплекс обеспечивает выпуск бумажной версии Атласа фактических характеристик ЦБН по отдельному УМГ или по отдельной КС. Для этого необходимо в окне «Атлас» указать конкретное УМГ, либо УМГ и КС. Перед запуском печати пользователю предоставляется возможность просмотра выводимых на печать фактических характеристик ЦБН. Данные характеристики представляются в виде коэффициентов аппроксимированных полиномов и в графическом виде. Печать осуществляется после проверки представленной на экране информации и нажатия соответствующей кнопки в данном окне.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бобух А. О. Автоматизовані системи керування технологічними процесами : навч. посібник / А. О. Бобух. – Харків : ХНАМГ, 2006. – 185 с.
2. Домрачев С. А. Компьютерные сети : учеб. пособие / С. А. Домрачев. – М. : Национальный институт бизнеса, 1999. – 280 с.
3. Егоров С. В. Моделирование и оптимизация в АСУТП / С. В. Егоров, Д. А. Мирахмедов. – Ташкент : Мехмат, 1987. – 198 с.
4. Жеретинцева Н. Н. Курс лекций по компьютерным сетям / Н. Н. Жеретинцева. – Владивосток : ДВГМА, 2000. – 158 с.
5. Закер К. Компьютерные сети. Модернизация и поиск неисправностей / К. Закер. – СПб. : БХВ-Петербург, 2001. – 1001 с.
6. Методические рекомендации по выполнению расчетно-графического задания по учебной дисциплине «Автоматизированные системы управления технологическими процессами в системах газоснабжения» (для студентов 5 курса дневной и 6 курса заочной форм обучения специальности 192 – Строительство и гражданская инженерия специализация Теплогазоснабжение и вентиляция) / Харьков. нац. ун-т. гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова ; уклад. : Б. С. Ильченко, В. Г. Котух, Е. Н. Палеева. – Харьков : ХНУГХ им. А. Н. Бекетов, 2018. – 17 с.
7. Методичні рекомендації до проведення практичних занять із навчальної дисципліни «Автоматизовані системи управління технологічними процесами в системах газопостачання» (для студентів 5 курсу денної та 6 курсу заочної форм навчання спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, спеціалізація Теплогазопостачання і вентиляція) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Б. С. Ильченко, В. Г. Котух, К. М. Палєєва. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 19 с.
8. Общеотраслевые руководящие методические материалы по созданию и применению автоматизированных систем управления технологическими процессами в отраслях промышленности (ОРММ – 3 АСУ ТП). – М. : Госкомитет по науке и технике, 1988. – 191с.
9. Олифер В. Г. Компьютерные сети: Учебник / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб. : Питер. 2006. – 958 с.
10. Скурихин В. И. АСУ ТП. Предпроектная разработка алгоритмов управления / В. И. Скурихин, В. В. Дубровский, В. Б. Шифрин. – Київ : Наук. думка, 1980. – 226 с.
11. Страшун Ю. П. Основы сетевых технологий для автоматизации и управления / Ю. П. Страшун. – М. : Издательство МГГУ, 2003. – 111 с.

*Навчальне видання*

**ІЛЬЧЕНКО** Борис Самуїлович  
**КОТУХ** Володимир Григорович  
**ПАЛЄЄВА** Катерина Миколаївна

**«АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ  
ПРОЦЕСАМИ В СИСТЕМАХ ГАЗОПОСТАЧАННЯ»**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(рос. мовою)*

*(для студентів 5 курсу денної та 6 курсу заочної форм навчання  
освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр»  
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,  
спеціалізація Теплогазопостачання і вентиляція)*

Відповідальний за випуск *І. І. Капцов*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерний набір *К. М. Палєєва*

Комп'ютерне верстання *К. М. Палєєва*

План 2018, поз. 82Л

---

Підп. до друку 16.04.2018. Формат 60 × 84/16.

Друк на різнографі. Ум. друк. арк. 7,5.

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.