

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.М. Кац

ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ЛИТЕЙНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

Учебное пособие

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов
по университетскому политехническому образованию
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных
заведений, обучающихся по направлению подготовки
бакалавров и магистров 150400 «Технологические машины
и оборудование» и по специальности 150204 «Машины
и технология литейного производства»*

Москва 2012

УДК 621.74(075.8)

ББК 34.3

К30

Рецензенты:

***Ершов М.Ю.** – зав. кафедрой машин и технологий литейного производства им. П.Н. Аксёнова Московского государственного технического университета «МАМИ», профессор, доктор технических наук,*

***Шаталов Р.Л.** – декан машиностроительного факультета, зав. кафедрой металлургии, металловедения и обработки металлов давлением Московского государственного открытого университета, профессор, доктор технических наук,*

***Беликов О.А.** – профессор кафедры литейных технологий МГТУ им. Н.Э. Баумана,*

***Илюхин В.Д.** – доцент, кафедра литейного производства МГИУ, кандидат технических наук*

Кац А.М.

К30 Основы автоматизации и управления литейным производством: учебное пособие. – М.: МГИУ. 2012. – 340 с.

ISBN 978-5-2760-2092-1

В учебном пособии изложены основы автоматизации и управления литейным производством. В систематизированной форме изложены базовые понятия и вопросы эволюции систем автоматизации и управления, их особенности, назначение, разновидности, структура и режимы функционирования, вопросы создания предпосылок и технических требований для разработки указанных систем, представлены примеры систем автоматизации и управления различными процессами литейного производства.

Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Машины и технология литейного производства», а также инженерно-технических работников и менеджеров машиностроительных, металлообрабатывающих и металлургических предприятий.

УДК 621.74(075.8)

ББК 34.3

ISBN 978-5-2760-2092-1

© МГИУ, 2012

©Кац А.М., 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
Введение	9
Список условных обозначений и сокращений	14
1. Базовые понятия систем автоматики и управления.....	15
2. Классификация технических средств автоматизации	26
3. Эволюция систем автоматизации и управления	28
4. Системы автоматического регулирования	33
4.1. Основные признаки САР	33
4.2. Объекты регулирования и их свойства	34
4.3. Классификация САР	44
4.4. Структура САР	47
4.5. Характеристики элементов САР.....	49
4.6. Кривые регулирования и режимы работы САР	51
4.7. Показатели качества автоматического регулирования	57
4.8. Классификация технических средств САР.....	60
4.9. Автоматические регуляторы	61
4.9.1. Классификация регуляторов	61
4.9.2. Регуляторы прерывистого (дискретного) действия	63
4.9.3. Регуляторы непрерывного действия	65
4.9.4. Выбор типа регуляторов и параметров их настройки.....	69
4.10. Основные понятия информатики и разновидности сигналов	73
4.11. Первичные преобразователи (датчики) и измерительные приборы	83
4.12. Усилители и стабилизаторы.....	89
4.13. Задающие устройства	91
4.14. Вспомогательные элементы	91
4.15. Исполнительные элементы	93
4.16. Роботы и манипуляторы	95
5. Системы автоматического управления	103
5.1. Основные признаки САУ	103
5.2. Классификация САУ	104
6. Автоматизированные системы управления	112
6.1. Основные признаки и разновидности АСУ ТП	112
6.2. Актуальность и предпосылки применения АСУ ТП в литейном производстве.....	113
6.3. Целевые функции АСУ ТП	116
6.4. Разновидности обеспечения функционирования АСУ ТП.....	122
6.5. Роль персонала в АСУ ТП.....	124
6.6. Технологические объекты управления	127
6.6.1. Блок схемы ТОУ	127
6.6.2. Разновидности ТОУ	129

6.6.3. Математические модели ТОУ	130
6.7. Управляющие вычислительные машины	132
6.7.1. Электронно-вычислительные машины.....	132
6.7.2. Схема действия ЭВМ.....	138
6.7.3. Контроллеры.....	140
6.7.4. Структурные схемы УВМ, устройство связи с объектом, интерфейс.....	142
6.7.5. Режимы функционирования УВМ	146
6.8. Общая структура АСУ ТП.....	147
6.9. Схема функционирования и комплекс типовых функций АСУ ТП	151
6.10. Иерархия уровней АСУ ТП.....	153
6.11. Режимы функционирования АСУ ТП.....	156
6.12. Разновидности АСУ ТП по функциональному назначению	163
6.13. Разновидности АСУ ТП по структуре	165
6.14. Сведения по эффективности АСУ ТП	171
7. Автоматизированные системы управления производством	178
7.1. Общие сведения о современной АСУП.....	178
7.2. Информационные технологии в АСУП.....	181
7.2.1. Система управления нормативно-справочной информацией	183
7.2.2. Информационная система управления технологией и качеством продукции.....	189
7.2.3. Система оперативного управления производством	193
7.2.4. Оперативный мониторинг производственного процесса	196
7.2.5. Интегрированная АСУ литейным производством	199
8. Основы предпроектной разработки системы управления	206
8.1. Порядок и подготовительные этапы предпроектной разработки системы управления.....	206
8.2. Классификация и особенности схем, используемых для автоматизации и управления.....	210
8.2.1. Общие сведения по разновидностям схемных отображений	210
8.2.2. Структурная схема технологического процесса.....	211
8.2.3. Структурная схема оборудования.....	212
8.2.4. Циклограмма технологического процесса	212
8.2.5. Схема связи ТОУ с АУУ	213
8.2.6. Структурная схема автоматизации	213
8.2.7. Блок-схема алгоритма управления.....	213
8.2.8. Функциональная схема автоматизации	216
8.2.9. Граф-схема алгоритма управления	219
8.2.10. Мнемосхемы.....	220
8.3. Процедура предварительного синтеза системы управления	222

9. Системы управления процессами литейного производства	226
9.1. Управление плавильными процессами	226
9.1.1. Управление плавкой в вагранке	226
9.1.2. Управление дуговой плавкой	238
9.1.3. Управление плавкой в индукционной печи	249
9.2. Управление смесеприготовлением.....	255
9.3. Управление изготовлением песчано-глинистых форм и стержней.....	285
9.4. Управление изготовлением оболочковых форм и стержней.....	287
9.5. Управление заливкой расплава в формы	289
9.6. Управление выбивкой и очисткой отливок	298
9.7. Управление специальными литейными процессами.....	301
9.7.1. Управление литьём под давлением.....	301
9.7.2. Управление непрерывной разливкой стали	305
9.7.3. Управление непрерывным литьём цветных и драгоценных металлов и сплавов.....	316
Заключение.....	318
Библиографический список.....	320
Приложения.....	322
1. Выдержки из ГОСТ 34.602-89 «Техническое задание на создание автоматизированной системы»	322
2. Справочные рекомендации по поиску дополнительных материалов в литературных источниках.....	332
3. Информация о разработчике АСУ ТП литейного производства ЗАО «Литаформ».....	335
4. Информация о создании современной АСУП на предприятии «КАМАЗ-Металлургия»	337

ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга посвящена актуальному вопросу развития современного литейного производства-автоматизации и управлению производством отливок и слитков на машиностроительных и металлургических предприятиях. Решение назревшей задачи радикального повышения конкурентоспособности предприятий на основе модернизации и инноваций требует существенного сокращения расходов энергетических, материальных и трудовых ресурсов при одновременном повышении производительности труда и качества выпускаемой металлопродукции, в т.ч. отливок и слитков. Успешное решение этой задачи невозможно без внедрения и использования современных систем автоматизации и управления. В последние 10–20 лет наблюдался стремительный прогресс в развитии указанных систем на основе информационных технологий и новейшей вычислительной техники. Это создало предпосылки для радикального технического перевооружения литейного производства путём перехода к новым системам автоматизации и управления. Одним из важнейших условий реализации новых возможностей является подготовка специалистов-литейщиков, владеющих, наряду со знанием плавления литейного оборудования и технологических процессов производства отливок и слитков, основами автоматизации и управления для обеспечения эффективного взаимодействия со специалистами, в задачу которых входит непосредственные разработка и создание конкретных систем автоматизации и управления.

При подготовке пособия автор опирался на собственный опыт преподавания в ГОУ МГИУ курса «АСУ ТП литейного производства», а также на материалы выпущенных ранее пособий В.В. Дембовского, В.П. Новикова, К.С. Богдана, А.Г. Староверова, В.Д. Родионова, В.С. Шуляка и др. Были также использованы сведения ряда отечественных и зарубежных фирм, работающих в области автоматизации и управления производством и технологическими процессами, в т.ч. применительно к литейному производству и металлургии. Кроме того, автор учитывал собственный опыт взаимодействия со специалистами в области автоматизи-

рованного управления технологическими процессами и установками.

Настоящее пособие имеет ряд отличительных особенностей:

1) в более систематизированной форме изложены основные понятия автоматизации и управления, последовательно рассмотрены системы автоматизации и управления в порядке их усложнения, даны сравнительная оценка разновидностей систем автоматизации и управления, их назначения, структуры и режимов функционирования;

2) приведена более чёткая идентификация различных систем автоматизации и управления объектами литейного производства с учётом их назначения, структуры и сложности;

3) более подробно рассмотрены вопросы проведения подготовительных работ по созданию систем автоматизации и управления;

4) отражены новые тенденции в развитии автоматизированных систем управления литейным и металлургическим производством;

5) приведены примеры конкретных технических и экономических результатов применения АСУ ТП;

6) предложена новая целевая функция АСУ ТП, базирующаяся на критерии конкурентоспособности выпускаемой продукции;

7) впервые в учебном пособии по данному курсу представлены состояние и тенденции развития новейших разработок в области создания интегрированных систем управления производством и технологическими процессами на основе широкого использования современных информационных технологий;

8) по-новому определены роль и задачи специалиста-литейщика в цепочке создания современных систем автоматизации и управления литейным производством. Показано, что специалист-литейщик должен участвовать в создании *необходимых предпосылок* для автоматизации и управления и выполнять разработку технических требований к составлению технического задания на проектирование АСУ ТП. Такая подготовительная работа может и должна выполняться именно специалистом-литейщиком. Кроме того, специалист-литейщик должен быть го-

тов к технологическому сопровождению работ по разработке систем автоматизации и управления, а также обеспечивать грамотную эксплуатацию этих систем после их создания и пуска.

С учётом вышеизложенного специалист-литейщик, помимо хорошего знания технологии и оборудования литейного производства, должен владеть *основами автоматизации и управления*, представлениями о современных системах автоматического регулирования и управления, без чего невозможно эффективное взаимодействие специалиста-литейщика с непосредственными разработчиками систем автоматизации и управления. Поэтому конечной целью данного пособия является задача научить будущего специалиста-литейщика умению разговаривать «на одном языке» со специалистами по автоматизации и управлению и правильно понимать свои функции в цепочке создания и эксплуатации вышеуказанных систем.

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей задачей, стоящей перед российской экономикой и вытекающей из необходимости повышения её конкурентоспособности, является модернизация производства и переход на рельсы инновационного развития. Не менее остро поставлен вопрос диверсификации структуры экономики, отхода от её преимущественно сырьевой направленности и развития производств продукции с повышенной добавленной стоимостью. Это обусловлено циклической нестабильностью цен на сырьевые товары на мировом рынке, что периодически ставит экономику России в значительную зависимость от мировой конъюнктуры. Отмеченное в полной мере проявилось и в период мирового экономического кризиса, начавшегося в 2008 году.

С учётом вышеизложенного должно быть усилено внимание к состоянию и развитию реального сектора экономики, в т.ч. к машиностроению, металлургии, металлообработке и др. Это тем более важно ввиду большой степени износа оборудования в этих отраслях, достигающей 60–70%, пониженных показателей производительности труда и завышенных расходов энергоресурсов, по которым отставание России от передовых зарубежных стран достигает 3–4 раз. В отмеченных отраслях литейное производство является базовым технологическим переделом и от его технического уровня, в т.ч. от состояния автоматизации и управления, существенно зависит эффективность соответствующих предприятий в целом.

Системы автоматизации и управления прошли определённые этапы в своём развитии и продолжают совершенствоваться. При этом сложилась высокая неоднородность технического уровня автоматизации и управления на различных российских предприятиях, производящих литейную и металлургическую продукцию. Изменилась и структура самих предприятий. В новых, рыночных условиях произошло фактическое свёртывание крупносерийных производств на заводах-центролитах. Отливки и слитки выпускаются преимущественно в литейных цехах машиностроительных, металлургических, металлообрабатывающих и оборонных предприятий. При этом производство отливок ди-

версифицировано по сплавам и способам литья, а объёмы производства существенно ограничены. На первый план выступает не проектирование и создание новых литейных цехов, специализированных на массовом выпуске отливок только из одного сплава, а реконструкция действующих литейных производств, в т.ч. в направлении создания и освоения современных систем автоматизации и управления диверсифицированным производством. Это тем более важно, поскольку в России наряду с предприятиями, активно занимающимися техническим перевооружением, в т.ч. в области литейного и металлургического производства, существует множество заводов с отсталыми технологией и оборудованием, не соответствующими современным требованиям по конкурентоспособности. Перед такими предприятиями остро стоят сложные задачи либо радикальной модернизации, либо перепрофилирования.

Литейное производство является чрезвычайно многогранной областью. По видам литейной металлопродукции можно выделить фасонные отливки, слитки и чушки. Фасонные отливки по существу являются готовыми изделиями, широко применяемыми в машиностроении, в т.ч. в автомобильной, авиационной и др. отраслях. Особое место занимают отливки, получаемые художественным литьём, в т.ч. в ювелирной промышленности. Слитки являются заготовкой для последующей обработки при производстве различных видов деформированных полуфабрикатов на предприятиях металлургии, металлообработки, кабельной и ювелирной промышленности. Чушки из марочных сплавов выпускаются на предприятиях вторичной металлургии для использования в производстве отливок и слитков. Таким образом, производство литой металлопродукции различного назначения сосредоточено на машиностроительных и металлообрабатывающих предприятиях, в отраслях чёрной и цветной металлургии, а также на некоторых предприятиях вторичной металлургии, кабельной и ювелирной промышленности.

Исходя из масштабов применения и сложности оборудования и технологических процессов наибольший интерес в плане автоматизации и управления представляют производства фасонных отливок и слитков. Поэтому выпускники вузов, специали-

рующиеся в области литейного производства, должны быть готовы к участию в решении задач автоматизации и управления именно в указанных производствах.

На современном этапе развитие производств отливок и слитков в решающей степени связано с созданием и освоением автоматических комплексов и гибких производственных систем. Эффективное управление ими имеет важнейшее значение. Поэтому неизмеримо возрастает роль автоматизированных систем управления, построенных на современных информационных технологиях.

Основы автоматизации и управления едины для производств фасонного литья и литых заготовок. При этом, если в области приготовления расплавов имеется много общих признаков, то процессы литья фасонных отливок и слитков заготовительного назначения различаются принципиально. Поэтому мы посчитали целесообразным при рассмотрении автоматизации и управления конкретными литейными процессами уделить определённое внимание наряду с фасонно-литейным производством управлению установками литья слитков, учитывая широкие масштабы их использования в чёрной и цветной металлургии, а также на некоторых предприятиях машиностроения. Использование передового опыта металлургических комбинатов в области применения информационных технологий в управлении производством представляет несомненный интерес и для фасонно-литейных предприятий, что также учтено при подготовке пособия.

Важность решения задач автоматизации и управления литейным производством продиктована рядом особенностей оборудования и применяемых технологических процессов изготовления отливок и слитков. К числу этих особенностей прежде всего следует отнести многообразие способов литья, сложность технологии и оборудования. Это обусловлено в значительной мере многокритериальным и многофакторным характером технологических процессов плавления и литья. Так, при плавлении необходимо одновременно контролировать и поддерживать на заданном уровне различные технологические параметры – химический состав расплава, его температуру и др. показатели, а при фасонном литье – режимные параметры работы формовоч-

ных и стержневых машин, показатели качества формовочной смеси, стержневой смеси, получаемых отливок. При производстве слитков, в т.ч. при непрерывной разливке стали, требуется одновременно поддерживать и регулировать уровень расплава в кристаллизаторе, рациональные расходы воды в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения, управлять тепловым режимом кристаллизатора для обеспечения качественной поверхности слитков и исключения прорыва корки на выходе из кристаллизатора для предупреждения аварийных ситуаций.

Одной из особенностей производства отливок и слитков является сложность зависимостей параметров протекающих процессов от множества определяющих факторов, среди которых некоторые носят случайный характер и не поддаются контролю. Можно выделить две актуальные задачи: 1) построение математических моделей процессов для их оперативной текущей оптимизации (тактическая задача); 2) построение математических моделей процессов для их последующего использования в целях автоматизации и управления (стратегическая задача). Это вынуждает для получения наиболее объективного математического описания плавильных и литейных процессов максимально эффективно обобщать и использовать накопленные теоретические и экспериментальные данные, выполнять новые расчётные и экспериментальные исследования ключевых литейных процессов, что является прерогативой специалистов-литейщиков. При этом особенно важными представляются исследования в направлении разработки адекватных математических моделей показателей качества отливок и слитков в зависимости от определяющих факторов. Решение указанной задачи остаётся одной из важнейших предпосылок для перехода к современным эффективным системам автоматизации и управления технологическими процессами литейного производства. Состояние данного вопроса пока оказывает сдерживающее влияние на создание и продвижение систем автоматизации и управления сложными литейными процессами. Это указывает на исключительную важность выполнения специалистами-литейщиками подготовительных этапов в цепочке создания эффективных систем автоматизации и

управления в литейном производстве, чему пока не всегда уделяется должное внимание.

Чрезвычайно важное значение имеют обоснованный выбор целей автоматизации и управления и вопросы экономической эффективности соответствующих систем. Очевидно, что затраты, иногда существенные, на разработку и создание таких систем, должны принести ощутимый экономический эффект и окупиться в приемлемые сроки. Указанные вопросы недостаточно отражены в прежних пособиях аналогичного назначения, поэтому мы сочли необходимым в данном пособии уделить им больше внимания с привлечением новых подходов.

Специалист-литейщик должен иметь представление не только о локальных системах автоматизации, регулирования и управления, но и об управлении предприятием и производством в целом. Это связано с тем, что необходимо формировать комплексное представление об управлении современными сложными производствами с учётом тенденции бурного развития в мире интегрированных систем управления предприятиями на основе информационных технологий. В России такой подход получает всё большее применение на ряде крупных предприятий чёрной металлургии при производстве стальных слитков и проката и только начинает распространяться на машиностроительных предприятиях, включающих фасонно-литейные цехи. Учитывая очевидную перспективность расширенного внедрения интегрированных систем управления и информационных технологий при производстве литейной металлопродукции мы сочли необходимым уделить больше внимания этим вопросам сравнительно с ранее выпущенными пособиями.

Одной из существенных особенностей данной тематики является множество новых для студентов терминов, без понимания которых невозможно восприятие существа конкретных систем автоматизации и управления. В прежних пособиях материал по системам автоматизации и управления иногда опережает базовые понятия, что существенно усложняет его восприятие. Поэтому при подготовке данного пособия мы считали обязательным обеспечение логичного и систематизированного изложения

материала, для чего сосредоточили в начале книги основные базовые понятия.

Для лучшего понимания предмета мы посчитали полезным осветить эволюцию развития систем автоматизации и управления. Поскольку соответствующий материал не может быть воспринят без предварительного ознакомления с базовыми понятиями, мы изложили вопросы эволюции систем после главы, посвященной базовым понятиям автоматизации и управления.

Для текущего закрепления материала основные главы снабжены контрольными вопросами, предваряющими содержание экзаменационных билетов по курсу.

Для облегчения читателям поиска дополнительной информации по рассмотренным вопросам в приложении даны соответствующие справочные рекомендации.

Автор выражает благодарность рецензентам за внимание, ценные замечания и рекомендации, учтённые при доработке пособия, и будет признателен за все пожелания и замечания, которые специалисты сочтут возможным высказать в адрес издания.

СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

САР – система автоматического регулирования.

САУ – система автоматического управления.

АС – автоматизированная система.

АСУ – автоматизированная система управления.

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом.

АСУП – автоматизированная система управления производством.

ОР – объект регулирования.

ОУ – объект управления.

ТОУ – технологический объект управления.

АР – автоматический регулятор.

АТК – автоматизированный технологический комплекс.

УУ – управляющее устройство.

АУУ – автоматическое управляющее устройство.

АУ – алгоритм управления.
СОИ – средства отображения информации.
ИМ – исполнительный механизм.
РО – регулирующий орган.
УСО – устройство связи с объектом.
САЖУ – система автоматического жёсткого управления.
САК – система автоматического контроля.
САЗ – система автоматической защиты.
САБ – система автоматической блокировки.
ЭВМ – электронно-вычислительная машина.
КТС – комплекс технических средств.
УВК – управляющий вычислительный комплекс.

1. БАЗОВЫЕ ПОНЯТИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ

Общие понятия

Автоматика и управление оперируют множеством специфических базовых терминов, непонимание которых неизбежно затруднит усвоение предмета и общение со специалистами по автоматизации и управлению. Поэтому мы сочли необходимым в начале пособия ознакомить читателя с основными базовыми понятиями данного предмета.

Можно выделить три способа трудовой деятельности в производстве: ручной, механизированный, автоматизированный.

Под термином «*автоматизация*» понимается применение и внедрение автоматических устройств, приводящих к освобождению человека от непосредственного участия в технологических процессах.

Автомат – устройство (машина, аппарат, приспособление), позволяющее осуществлять производственный процесс без непосредственного участия человека и под его контролем.

Часто используется термин «объект». Можно выделить три разновидности этого понятия: объект производства; объект регулирования; объект управления.

Объект производства – определённая продукция, получаемая при выполнении технологического процесса.

Объекты регулирования (ОР) – технические устройства, в которых процессы (физические параметры, влияющие на протекание этих процессов) подлежат регулированию.

Объект управления (ОУ) или технологический объект управления (ТОУ) – рассматриваемая как объект управления совокупность технологического оборудования и реализованного на нём по соответствующим инструкциям или регламентам технологического процесса производства.

Понятие «алгоритм» также широко используется в различных назначениях и по смыслу означает порядок (последовательность) тех или иных действий. Различают алгоритм функционирования, алгоритм регулирования, алгоритм управления.

Алгоритм (закон) функционирования – определённые правила выполнения технологического процесса.

Алгоритм (закон) регулирования – правило, по которому вычисляется управляющее воздействие регулятора на объект регулирования.

Алгоритм (закон) управления – совокупность предписаний (правил), необходимых для выполнения заданного алгоритма функционирования при управлении объектом.

Технологическим процессом называют совокупность действий, направленных на получение объекта производства, изменение его размеров, формы, свойств, положения или местонахождения. Технологические процессы можно разделить на непрерывные, дискретные (циклические) и непрерывно-дискретные.

Технологической операцией называют законченную часть технологического процесса, которую выполняет определённая машина или механизм.

Технологическим переходом (технологической микрооперацией) называется законченная элементарная часть операции, выполняемая при срабатывании одного или нескольких взаимосвязанных исполнительных органов машины или механизма.

Регулирование – вид управления, целью которого является поддержание на требуемом уровне одной или нескольких вели-

чин, характеризующих состояние объекта управления; регулирование сопровождается непрерывным контролем.

Автоматическое регулирование – поддержание физических величин на определённом уровне или их изменение по требуемому закону без непосредственного участия человека. Различают стабилизирующее, программное и др. виды регулирования. Регулирование – простейший вариант управления.

Стабилизирующее регулирование – обеспечивающее поддержание физических величин на определённом уровне.

Программное регулирование – обеспечивающее изменение физических величин по требуемому закону.

Регулируемая величина – физическая величина, подлежащая регулированию.

Выходные параметры процесса (выход системы) – результирующие параметры, формирующиеся в процессе регулирования или управления. Выходные параметры делятся на два подкласса: прямые (непосредственно контролируемые либо неконтролируемые) и косвенные (другая физическая величина, связанная с прямым неконтролируемым параметром и поддающаяся измерению). На практике часто приходится прибегать к использованию косвенных выходных параметров.

В автоматизации и управлении широко используется понятие «воздействие». Под *воздействиями* в общем случае следует понимать факторы, влияющие на результат технологического процесса. Воздействия делятся на следующие разновидности: внутренние и внешние.

Внутренние воздействия – такие, которые передаются от одной части автоматической системы к другой, образуя последовательную цепь воздействий, обеспечивающих нормальное протекание технологического процесса.

Внешние воздействия – поступающие в систему из внешней среды; они подразделяются на виды: задающие, возмущающие, регулирующие, управляющие. Регулирующие и управляющие воздействия иногда называют полезными.

Задающие воздействия – воздействия, подающиеся на вход системы в соответствии с алгоритмом функционирования.

Возмущающие воздействия – входные воздействия, поступающие в систему из внешней среды, носящие случайный характер, изменяющие ход процесса в нежелательном направлении и не используемые для оказания управляющих воздействий на объект управления. Возмущающие воздействия делятся на два подкласса: *контролируемые и неконтролируемые*.

Регулирующее воздействие – воздействие регулятора на объект регулирования. Регулирующие воздействия могут вырабатываться регулятором, но также могут задаваться оператором.

Управляющее воздействие – воздействие системы управления на управляемый процесс, изменяющее его ход в желаемом направлении.

Предписанное (заданное) значение управляемой (регулируемой) величины – та величина, которую следует поддерживать в данный момент времени для правильного протекания технологического процесса.

Действительное (текущее) значение управляемой (регулируемой) величины – фактическое измеряемое значение.

Ошибка регулирования (рассогласование) – разность между заданным и действительным значением регулируемой величины.

Автоматический регулятор – техническое устройство, предназначенное для регулирования каких-либо величин в объектах регулирования.

Первичные (измерительные) преобразователи (датчики) – устройства, измеряющие значения регулируемой величины и преобразующие их в эквивалентные значения сигнала другой физической природы, более удобной для последующей передачи и использования (в САР).

Задающие элементы (задатчики) – элементы, с помощью которых в систему регулирования вводится заданное значение регулируемой величины.

Элементы сравнения (суммирующие устройства) – элементы, сравнивающие (или суммирующие) значения двух (или нескольких) сигналов. Выходной сигнал этих элементов равен алгебраической сумме сигналов, поступающих на их входы.

Усилители – устройства, предназначенные для усиления поступающих сигналов.

Регулирующие органы – устройства, непосредственно воздействующие на объект регулирования для поддержания заданного значения регулируемой величины или изменения её по заданному закону.

Исполнительные механизмы – устройства, воздействующие на регулирующий орган и перемещающие его (или изменяющие его состояние) в направлении ликвидации отклонения регулируемой величины от заданного значения.

Важным шагом в развитии автоматизации явилось управление. В учебной литературе даются различные варианты определения этого термина. Иногда под управлением понимается определённая совокупность операций, необходимых для пуска и останова какого-либо агрегата или устройства, а также для поддержания или изменения величин, характеризующих протекающий технологический процесс. По другой терминологии управлением называют целесообразное воздействие на объект управления для проведения технологического процесса. Управлением также называют такую организацию того или иного процесса, которая обеспечивает достижение определённых целей. Ниже дано предпочтительное определение этого термина.

Управление – вид деятельности, представляющий собой совокупность действий, направленных на достижение определённой цели, т.е. желаемого протекания управляемого процесса.

Ручное управление – управление, осуществляемое с участием человека.

Автоматическое управление – совокупность действий, направленных на поддержание и улучшение функционирования управляемого объекта с заданной целью управления и *без непосредственного участия человека*.

Оптимальное управление – управление, которое с определённой точки зрения наиболее выгодно и обеспечивает оптимальный (наилучший) результат.

Цель управления – изготовление качественной продукции при заданном (или оптимальном) расходе материалов и заданных условиях эксплуатации оборудования.

С позиций конкурентоспособности цель управления – повышение качества продукции при одновременном сокращении издержек производства и цены продукции.

Критерий управления – степень достижения поставленных целей; параметр или соотношение параметров, характеризующее качество работы технологического объекта управления в целом и принимающее числовые значения в зависимости от используемых управляющих воздействий. Разновидности критериев управления: экономический показатель, качество продукции, производительность и пр.

Ограничения – условия, которые должны соблюдаться при выборе управляющих воздействий.

Кибернетика – общая теория управления на основе информации.

Техническая кибернетика – разработка и техническая реализация общих принципов и методов управления техническими объектами различной природы на основе информации.

Информация – способ изучения различных процессов взаимодействия в природе.

Сигналы – способ передачи информации.

Автоматическое управляющее устройство (АУУ) – техническое устройство, воздействующее на объект управления в соответствии с алгоритмом управления.

В автоматике и управлении широко используется понятие система и его разновидности.

Система – совокупность взаимодействующих элементов, объединённых целенаправленным характером и образующих определённую целостность, обеспечиваемую наличием связей и взаимодействия между её элементами. Под связями здесь понимают взаимодействие каких-либо объектов во времени. Из множества систем мы выделяем технические системы. *Технические системы* в общем случае можно разделить на два подкласса: технические средства народного потребления и технологическое оборудование для выпуска полуфабрикатов и изделий, состоящее из различных технических устройств: деталей, узлов, механизмов, машин и т.п. Полагают, что в состав технической системы наряду с технологическим оборудованием целесообразно включать и объект производства – производимую продукцию.

Гибкая производственная система (ГПС) – система, представляющая собой гибкий комплекс технологического оборудования, построенный на основе модулей разного функционального назначения.

Система автоматического регулирования (САР) – сочетание объекта регулирования и автоматического регулятора.

Система автоматического управления (САУ) – совокупность автоматического управляющего устройства и объекта управления, связанных и взаимодействующих между собой в соответствии с алгоритмом управления; при этом все действия по управлению объектом осуществляются без непосредственного участия человека.

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) – система, предназначенная для выработки и реализации управляющих воздействий на технологический объект управления и представляющая собой человеко-машинную систему, обеспечивающую автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации управления технологическим объектом в соответствии с принятым критерием.

Автоматизированный технологический комплекс (АТК) – совокупность совместно функционирующих автоматизированной системы управления технологическим процессом и технологического объекта управления.

Автоматизированная система управления предприятием (АСУП) – автоматизированная система управления, предназначенная для управления предприятием как автономно, так и в составе АСУ производственным объединением (корпорацией).

Интегрированная автоматизированная система управления (ИАСУ) – АСУ, согласованно управляющая различными взаимосвязанными организационными и технологическими процессами.

Надёжность АСУ ТП – способность системы выполнять свои функции, сохраняя эксплуатационные показатели в установленных пределах в течение заданного интервала времени при заданных условиях эксплуатации.

Эффективность АСУ ТП – способность системы обеспечивать достижение полезных технических, технологических, экономических, социальных и (или) других результатов путём улучшения качества управления технологическим объектом.

Автоматической линией (автоматическим комплексом) называется система машин, расположенных в технологической последовательности, объединённых средствами транспортиров-

ки и управления, автоматически выполняющая весь комплекс операций, кроме наладки.

Под *автоматическими системами* следует понимать автоматические агрегаты, цехи, заводы, выполняющие поставленные перед ними цели без непосредственного участия человека (управление в режиме САУ).

Автоматические системы можно классифицировать по разным признакам:

- циклические и ациклические,
- детерминированные и стохастические,
- адаптивные и неадаптивные,
- самоорганизующиеся и самонастраивающиеся.

Циклические (дискретные) автоматические системы достигают заданной цели без всякой свободы выбора, в рамках жёсткой программы. В таких системах не происходит информационных процессов либо они играют вспомогательную роль. Примерами таких систем являются автоматические линии, применяемые в литейном производстве, установки литья под давлением и пр.

Ациклические (непрерывные) автоматические системы достигают заданной цели с большей или меньшей свободой выбора, определяемой происходящими в них информационными процессами.

Детерминированной системой называют такую, в которой возмущающие воздействия отсутствуют или являются регулярными (неслучайными) и их можно представить в виде известных функций времени.

Управляемая система является *стохастической*, если на неё воздействуют *случайные возмущающие воздействия*.

Адаптивной называется управляющая система, автоматически определяющая нужный закон управления посредством анализа поведения объекта при текущем управлении. Соответственно к *неадаптивным* относятся системы, для которых невозможно определение нужного закона управления на основе анализа поведения объекта в процессе управления ввиду сложности объекта и наличия значительных неопределённостей. Важнейшей задачей является накопление информации по закономерностям процессов для перевода неадаптивных систем в

адаптивные с целью радикального повышения качества управления.

Адаптивные системы делят на два больших класса: самоорганизующиеся и самонастраивающиеся.

В *самоорганизующихся системах* в процессе функционирования происходит формирование алгоритма управления, его структуры и параметров, что позволяет оптимизировать систему с точки зрения поставленной цели управления.

Самонастраивающаяся система отличается тем, что в ней структура регулятора задана или заранее выбрана и требуется определить лишь алгоритм настройки его коэффициентов, т.е. алгоритм адаптации.

Самонастраивающиеся системы делятся на два подкласса: *поисковые и беспоисковые*. В поисковых системах минимум или максимум критерия качества отыскивается с помощью специально организованных поисковых сигналов.

Экстремальные системы – разновидность поисковых систем, в которых недостаток априорной информации восполняется за счёт текущей информации, получаемой в виде реакции объекта на искусственно вводимые поисковые тестовые воздействия. Определяются те воздействия, которые приближают целевую функцию к экстремуму. Экстремальные системы классифицируются на два подкласса: системы с регулярным поиском и случайным поиском.

В беспоисковых системах в явном или неявном виде имеется модель с желательными динамическими характеристиками.

Предмет автоматизации и управления широко оперирует термином «схема», который в общем случае является графическим отображением вышеупомянутых понятий. Наиболее часто употребляются следующие разновидности схем:

- структурная схема технологического процесса,
- структурная схема технологического оборудования (устройства, машины),
- функциональная схема автоматизации,
- блок-схема алгоритма управления,
- граф-схема алгоритма управления,
- мнемосхема.

В настоящем пособии все указанные схемы и их особенности будут пояснены в специальном разделе (см. оглавление).

Функции, структуры и состав АСУ ТП

Функция автоматизированной системы управления технологическим процессом – совокупность действий АСУ ТП, направленная на достижение частной цели управления.

Информационная функция АСУ ТП – функция АСУ ТП, содержанием которой является сбор, хранение и преобразование информации о состоянии технологического объекта управления, а результатом – представление этой информации оперативному персоналу или передача её для последующей обработки.

Управляющая функция АСУ ТП – функция АСУ ТП, результатами которой являются выработка решений и (или) осуществление управляющих воздействий на технологический объект управления.

Вспомогательная функция АСУ ТП – функция, обеспечивающая решение внутрисистемных задач.

Функциональная структура АСУ ТП – структура, элементами которой являются функции АСУ, а связи между элементами отражают порядок реализации функций в АСУ ТП.

Комплекс технических средств (КТС) АСУ ТП – совокупность вычислительных и управляющих устройств, средств преобразования, отображения и регистрации сигналов, устройств передачи и обработки сигналов (данных), а также исполнительных устройств, достаточная для выполнения всех функций АСУ ТП.

Техническая структура АСУ ТП – структура, элементами которой являются части комплекса технических средств, а связи между ними соответствуют реальным соединительным линиям связи в АСУ.

Организационная структура АСУ ТП – структура взаимодействия оперативного персонала АСУ.

Подсистема автоматизированной системы управления технологическим процессом – часть АСУ ТП, выделенная по функциональному или структурному признаку, отвечающему конкретным целям и задачам.

Вычислительный комплекс АСУ ТП – часть комплекса технических средств АСУ, представляющая собой совокупность вычислительных устройств, обеспечивающую выполнение вычислительного процесса.

Информационный вычислительный комплекс АСУ ТП – совокупность вычислительного комплекса, показывающих и регистрирующих приборов, а также средств сбора, переработки, оперативного отображения и регистрации информации, предназначенная для выполнения информационных функций системы.

Управляющий вычислительный комплекс АСУ ТП – совокупность технических средств, включающая вычислительный комплекс, предназначенная для выработки и реализации управляющих воздействий или выдачи рекомендаций по управлению технологическим объектом.

Устройство связи с технологическим объектом управления (УСО) – совокупность устройств получения и преобразования сигналов контроля и управления, коммутации каналов и передачи сигналов в АСУ ТП.

Оперативный персонал АСУ ТП – технологи-операторы автоматизированного технологического комплекса, осуществляющие управление технологическим объектом, и эксплуатационный персонал (инженеры, сменные дежурные, операторы и др.), обеспечивающий правильность функционирования комплекса технических средств АСУ ТП.

С АСУ ТП связан термин «обеспечение», имеющий следующие разновидности: техническое, организационное, информационное, математическое и программное.

Техническое обеспечение АСУ ТП – комплекс технических средств (КТС), предназначенных для работы в составе системы.

Организационное обеспечение АСУ ТП – совокупность описаний функциональной, технической и организационной структур, инструкций и регламентов для оперативного персонала АСУ ТП, определяющая действия персонала при функционировании автоматизированного технологического комплекса.

Информационное обеспечение АСУ ТП – совокупность системы классификации и кодирования технологической и технико-экономической информации, сигналов, характеризующих со-

стояние автоматизированного технологического комплекса, массивов данных и документов, необходимых для выполнения всех функций системы.

Математическое обеспечение АСУ ТП – совокупность математических методов, моделей и алгоритмов для решения задач обработки информации с применением вычислительной техники (в состав АСУ ТП не включается).

Программное обеспечение АСУ ТП – совокупность программ, обеспечивающая реализацию функций АСУ ТП, заданное функционирование комплекса технических средств АСУ ТП и предполагаемое развитие системы.

Приведенные понятия (термины) являются основополагающими, но они не охватывают абсолютно все понятия, используемые в автоматизации и управлении. Поэтому в дальнейших разделах мы рассмотрим дополнительные понятия, имеющие непосредственное отношение к специальным вопросам автоматизации, регулирования и управления.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Классификация технических средств автоматизации и связанные с ней специальные понятия важны для понимания рассмотренной ниже эволюции систем автоматизации и управления. Критерием для классификации является способ использования конкретных средств (приборов):

- 1) монофункциональный прибор – выполняется одна функция;
- 2) полифункциональный прибор – выполняется несколько функций;
- 3) монопольный режим – однократное выполнение функции;
- 4) мультиплексный режим – многократное выполнение функции.

Параллельный комплекс – АСУ ТП, в которой технические средства работают в монопольном режиме и функции АСУ ТП выполняются параллельно в разных контурах регулирования. Для комплекса характерно применение множества полифункци-

ональных средств. При этом для каждого контура регулирования предусматривается индивидуальный регулятор.

Централизованный комплекс – АСУ ТП, противоположная по структуре и функционированию параллельному комплексу. Централизованный комплекс основан на использовании полифункциональных мультиплексных средств, в частности управляющих вычислительных комплексов (УВК) и программируемых контроллеров.

Распределённые комплексы – АСУ ТП, занимающие промежуточное положение между параллельными и централизованными системами. Они делятся на два принципиально различных класса: многопроцессорные и многомашинные. Многопроцессорный комплекс применяют для реализации относительно стандартных функций с использованием одной или нескольких общих магистралей передачи данных. Многомашинный комплекс отличается разветвлённой сетью. Этот комплекс обладает наибольшими возможностями реализации любых функций АСУ ТП. Наибольшее применение получают распределённые АСУ ТП, допускающие оптимальную в каждом применении децентрализацию функций.

Для функционирования любой разновидности АСУ ТП важное значение имеет программа управления. *Программа управления* технологическим процессом – совокупность всех инструкций и соглашений для обработки сигналов, с помощью которых оказывается воздействие на управляемый объект в соответствии с поставленной задачей.

Для распределённого АСУ ТП характерно соединение (*коммутация*) технических средств между собой средствами передачи данных. В связи с этим различают коммутируемые комплексы технических средств и комплексы с программируемой памятью (программируемые комплексы). В последних программа управления записывается в память управляющего устройства.

Более подробно системы регулирования и управления, в т.ч. АСУ ТП, рассмотрены в последующих главах.

Общая классификации технических средств автоматизации приведена на рис. 1.



Рис. 1. Классификация технических средств автоматизации технологических процессов

3. ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

Эволюция автоматизации и управления постепенно привела к переходу от простейших средств автоматизации к более эффективным автоматизированным системам. Староверов А.Г. выделял три ступени развития автоматизации производственных процессов:

1) на первой ступени автоматизации рабочего цикла основное внимание уделяли созданию автоматов и полуавтоматов, которое явилось неизбежным следствием развития и совершенствования конструкции рабочих машин. На этой ступени автоматизация технологических процессов охватывала лишь отдельные операции обработки, а сборку, контроль и упаковку готовой продукции проводили вручную либо с применением средств автоматизации. На данной ступени автоматизации развивались системы автоматического регулирования (САР);

2) второй ступенью автоматизации явилось создание автоматизированных машин (автоматических линий), объединяющих выполнение разнообразных операций обработки, контроля, сборки, упаковки и т.д. На этой ступени развивались системы автоматического управления (САУ);

3) третьей ступенью автоматизации является комплексная автоматизация производственных процессов на основе создания автоматических участков, цехов, заводов с широким использованием ЭВМ. На этой ступени получили развитие автоматизированные системы управления производством (АСУП) и технологическими процессами (АСУ ТП), системы управления качеством, гибкие роботизированные комплексы.

Современные АСУ ТП возникли и развились на базе локальных приборов для контроля, регулирования и оперативного управления, установленных непосредственно на отдельных агрегатах, путём их постепенной интеграции в единую функциональную систему. При этом потребность в объединении локальных средств определялась взаимосвязанностью самих технологических агрегатов и необходимостью функционирования объекта в целом. Развитие систем управления протекало под одновременным влиянием двух факторов: появления новых технических средств и прогресса в теоретических исследованиях. Считают, что стимулирующее действие новых технических средств было более оперативным и поэтому более заметным. Эволюционные скачки, обусловленные внедрением новых технических средств автоматизации, иллюстрирует рис. 2.

Первый скачок произошёл в связи с использованием дополнительных источников энергии в регуляторах и исполнительных механизмах, что привело к внедрению автоматических приводов и регуляторов с усилителем.

Унификация измерительных сигналов, за которой последовало внедрение нормирующих измерительных преобразователей, привела к второму эволюционному скачку. Преобразователи с унифицированным выходом дали возможность получать результат измерения технологических параметров непосредственно на месте в виде сигналов, изменяющихся в единых пределах. Это означало введение единого (унифицированного) аналогового интерфейса (сопряжения) на уровне измерения, обеспечивше-

го развязку процесса измерения и последующего процесса обработки сигналов. Появились агрегированные комплексы многофункциональных приборов с унифицированными входами и выходами. Регуляторы, вторичные приборы для регистрации, индикации и сигнализации аналоговых сигналов переместились из зоны технологических агрегатов в специальные зоны – центральные пульты управления.

Сначала получили развитие параллельные и затем централизованные АСУ ТП. Поскольку аналоговые приборы работают в монопольном режиме, сначала сложилась в целом параллельная структура, при которой программа управления задавалась путём прямой коммутации приборов. Территориальное распределение приборов для преобразования и отображения сигналов давало лучшие возможности для их размещения, обслуживания и ремонта. Одновременно облегчалось оперативное управление технологическим процессом, внесение изменений в систему управления (например, коррекция уставок регуляторов, коммутация приборов и т.д.).

Основным недостатком систем с параллельной структурой была высокая стоимость кабельных соединений между приборами, установленными на агрегатах и в пульте управления, поскольку передача сигналов осуществлялась отдельно по каждому контуру. Это затруднение было снято введением устройств телемеханической передачи сигналов. Измерительные сигналы концентрировались на передающей стороне, смешивались в одном устройстве и передавались по единому каналу. На принимающей стороне они распределялись между соответствующими приборами. Телемеханика оказалась экономически выгодной при расстояниях, превышающих несколько сот метров. Её внедрение означало централизацию функции передачи сигналов и переход от параллельной к централизованной АСУ ТП.

Появление ЭВМ привело к централизации ещё одной функции – обработки сигналов. Решающую роль сыграли неограниченные возможности цифровой вычислительной техники для преобразования и запоминания сигналов. Одна центральная ЭВМ успешно заменила большинство пультовых приборов и позволила строить системы, выполнявшие значительно более сложные функции, например оптимизацию режимов работы

технологического оборудования с использованием априорных сведений, сформулированных в виде математической модели объекта управления. Качественное изменение систем управления, обусловленное внедрением ЭВМ, оказалось настолько существенным, что в этот период для их обозначения стали применять специальный термин – АСУ ТП. Системы этого типа базировались преимущественно на полифункциональном приборе (ЭВМ), работавшем в мультиплексном (многозадачном) режиме, и имели централизованную структуру. Программа управления задавалась способом свободного программирования. Стремление к оптимизации работы установки в целом привело к интеграции локальных систем, а повышение ответственности оператора-технолога – к централизации функции оперативного управления. Появилась необходимость совершенствования средств взаимодействия оператора-технолога с управляемым процессом.

Со временем централизованная структура АСУ ТП пришла в противоречие с тенденциями развития объектов управления. Для современных промышленных установок характерны рост единичной мощности отдельных агрегатов и усложнение связей между ними не только по материальным и энергетическим потокам, но и по режимам работы. При этом непрерывно возрастают требования к качеству ведения технологического процесса в связи с повышением внимания к защите окружающей среды и возрастанием стоимости сырья и энергии.

Управление мощными и сложными установками сопровождалось повышением громоздкости, сложности и стоимости централизованных АСУ ТП. Все эти факторы обусловили необходимость следующего эволюционного скачка в развитии систем управления, который осуществился под общим лозунгом *децентрализации* после появления микропроцессоров, позволивших рассредоточить функцию переработки и накопления сигналов, приблизив средства её реализации к месту изменения технологических параметров. В результате возникли системы нового класса – *распределённые АСУ ТП*.

Новые технические возможности	Применение	Требования со стороны объектов и персонала управления
-------------------------------------	------------	---



Рис. 2. Схема эволюции систем управления

В распределённых АСУ ТП сочетается как коммутируемая, так и программируемая техника. Это порождает сложные проблемы соединения разнотипных устройств, согласования интерфейсов (систем сопряжения) программ и технических средств, реализации функций на множестве взаимосвязанных вычислительных устройств, работающих параллельно. С появлением распределённых АСУ ТП существенно повысилась роль средств автоматизации проектирования. Тенденция к их постепенному объединению со штатной аппаратурой управления приводит к созданию программно-аппаратурных комплексов, относящихся к классу *самообучающихся* систем в широком понимании этого термина.

Далее в пособии последовательно рассмотрены САР, САУ и АСУ ТП.

4. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

4.1. Основные признаки САР

Признаки САР и САУ трактуются в учебной литературе неодинаково. Новиков В.П. не даёт конкретного определения САР, но из его понятия автоматического регулирования следует, что САР функционирует *без непосредственного участия человека*. По М.Ю. Рачкову внедрение САР явилось первым этапом развития автоматизированных систем. По его трактовке объектами управления на этом этапе являются *отдельные* параметры, установки, агрегаты. При этом решение задач стабилизации, программного управления, слежения *переходит от человека к САР*. При этом человек только реализует функции расчёта задания и параметров настройки регуляторов.

В первом приближении САР можно рассматривать как локальную систему регулирования одного параметра на отдельной установке без непосредственного участия человека (регулирование без управления в широком смысле этого слова).

САР является более простой системой и с меньшим набором функций сравнительно с САУ. Староверов А.Г. по существу рассматривает САР как простейший вариант САУ. Понятие о САР далее будет дополнено при рассмотрении классификации САУ.

4.2. Объекты регулирования и их свойства

Поскольку по определению $САР=АР+ОР$, то объекты регулирования (ОР) являются важной частью САР, т.к. их свойства оказывают влияние на качество регулирования и выбор типа регулятора. Поэтому первоочередное рассмотрение вопросов, относящихся к объектам регулирования, крайне важно для последующего усвоения особенностей процесса регулирования и регуляторов.

Примерами объектов регулирования в литейных цехах являются:

– различные тепловые устройства (плавильные, нагревательные, сушильные печи). При этом регулируемые параметрами могут быть температура, расход воздуха, топлива или электрической энергии;

– установки по приготовлению формовочных и стержневых смесей, где требуется регулировать температуру, влажность, составы и пр.

Функционирование ОР связано с протеканием через него некоторого количества энергии либо вещества. Протекающие в ОР внутренние процессы определяются внешними воздействиями – возмущающими и регулирующими. Возмущающие воздействия исключительно важны, т.к. именно из-за их существования возникает необходимость регулирования. Поэтому важно уметь выделить регулирующие и приоритетные возмущающие воздействия, особенностью которых является случайный характер. Так, для лабораторной нагревательной печи регулируемой величиной является температура рабочего пространства, а к внешним возмущениям можно отнести массу загруженных образцов, частоту открытия загрузочной дверки, колебания подводимого напряжения. К примеру, случайное открытие дверки печи может привести к понижению температуры в её рабочем пространстве. Колебания влажности атмосферы влияют на газонасыщенность расплавов, что приводит к сезонным вспышкам брака по пористости в слитках и деформированных полуфабрикатах.

Различают следующие разновидности ОР:

– *простые* (одномерные) и *многомерные*. Простые ОР имеют одну регулируемую величину, а многомерные ОР – несколько регулируемых величин;

– *стационарные* ОР, у которых характеристики не изменяются во времени или изменяются незначительно, и *нестационарные* ОР, у которых характеристики изменяются во времени.

Для создания системы регулирования необходимы чёткие представления о параметрах объектов регулирования и свойствах ОР.

Основными параметрами ОР являются нагрузка, ёмкость, самовыравнивание, инерционность, запаздывание, время разгона и постоянная времени объекта. Свойства ОР, имеющие важнейшее значение для выбора типа и характеристик регулятора, наглядно вытекают из кривой разгона, показывающей изменение регулируемой величины во времени. Построение кривой разгона производится *при отключённом регуляторе* на основе скачкообразного изменения регулирующего воздействия и записи изменения регулируемой величины для различных моментов времени. В связи с этим параметры ОР рассматриваются ниже в тесной связи с кривыми разгона.

Нагрузка – количество энергии или вещества, которое расходуется в ОР для проведения технологического процесса. Примеры нагрузки: количество топлива, подаваемого к горелкам печей; количество электроэнергии, подводимой к электродам дуговых плавильных печей и т.п.

Нагрузка предопределяет производительность или пропускную способность ОР при установившемся состоянии контролируемого процесса. Важнейшее значение имеет не столько абсолютное значение нагрузки, сколько диапазон и характер её изменения во времени. Чем медленнее изменяется нагрузка и меньше её диапазон, тем легче регулировать объект. Отметим, что существует понятие «коэффициент нагрузки объекта», рассмотренный ниже при описании кривых разгона ОР.

Ёмкость ОР – запас накопленной энергии или вещества. В каждом ОР имеется сопротивление выходу энергии и вещества (кладка печи, заслонка и шибер и т.д.), поэтому большинство видов оборудования литейных цехов способно накапливать (ак-

кумулятивировать) энергию и вещество. Примером ёмкости является количество тепла, накопленное в кладке печи или в жидком металле и газах, заполняющих рабочее пространство печи. Ёмкость объекта зависит от его размеров. К примеру, при регулировании уровня жидкости в закалочном баке ёмкость ОР зависит от вместимости бака. Чем она больше, тем медленнее меняется уровень при нарушении соответствия между приходом и расходом жидкости. В ОР большей ёмкости регулируемая величина при возмущении медленнее изменяет своё значение и регулирование протекает более устойчиво. Для характеристики ёмкости применяют *коэффициент ёмкости* K_c – количество энергии или вещества, которое необходимо подвести к ОР или отвести от него, чтобы изменить регулируемую величину на единицу измерения. Например, при регулировании уровня жидкости в закалочном баке K_c – это количество жидкости, которое необходимо добавить в бак, чтобы уровень жидкости изменился на единицу измерения.

В общем виде K_c определяется как отношение ёмкости C к значению регулируемой величины объекта y_0 (при постоянных значениях C и y_0):

$$K_c = C/y_0$$

Если значения C и y_0 переменные, то K_c определяется отношением изменения ёмкости к соответствующему изменению регулируемой величины:

$$K_c = \Delta C / \Delta y_0$$

С понятием ёмкости ОР связано другое понятие – чувствительность объекта регулирования v к возмущению, которая обратно пропорциональна ёмкости:

$$v = y_0 / C$$

Понятия ёмкости и чувствительности весьма важны, т.к. показывают, что ОР с минимальной ёмкостью и повышенной чувствительностью, в т.ч. миниустановки с плавильными печами малой ёмкости, предъявляют повышенные требования к САР при решении задач стабилизации технологического режима.

ОР классифицируют на безъёмкостные, одноёмкостные и многоёмкостные объекты.

Одноёмкостные ОР – объекты с малой вместимостью (например, небольшие трубопроводы), у которых нарушение

равновесия между подачей и потреблением вызывает одновременные и одинаковые изменения регулируемой величины во всех точках ёмкости.

Многоёмкостные ОР – объекты, в которых имеются две или более ёмкостей, разделённых между собой термическими, гидравлическими или электрическими сопротивлениями. Примером такого ОР может служить тигельная плавильная печь, у которой одна ёмкость (рабочее пространство плавильного тигля) отделена от второй, где находится индуктор, термическим сопротивлением (тиглем). Многоёмкостные ОР сложнее регулировать, так как они характеризуются ёмкостным запаздыванием, рассмотренным ниже.

Самовыравнивание – способность ОР при внешних возмущениях самостоятельно (без участия регулятора) входить в новый статический режим работы. В ОР с самовыравниванием возникшее несоответствие между приходом и расходом энергии (или вещества) стремится к нулю, а регулируемая величина – к новому установившемуся значению.

По способности к самовыравниванию ОР делятся на статические и астатические.

Статические ОР – объекты, обладающие свойством самовыравнивания. К примеру, если к нагревательным элементам электрической печи будет подводиться меньшее напряжение, то температура в ней будет понижаться и стремиться к новому установившемуся значению, что характерно для статического ОР.

Астатические ОР – объекты, лишённые свойства самовыравнивания и трудно поддающиеся регулированию. Примером такого объекта может служить закалочный бак, в который жидкость поступает из трубы, а отводится с помощью насоса. При увеличении подачи жидкости в бак количество отводимой жидкости останется прежним. В результате уровень жидкости будет повышаться и бак через некоторое время переполнится. Только ручное либо автоматическое изменение производительности насоса может привести к восстановлению равновесия и предотвратить переполнение бака.

Кривые разгона для статических и астатических ОР приведены на рис. 3.

Способность ОР к самовыравниванию характеризуется степенью самовыравнивания ρ :

$$\rho = dq/d(y_0)_{\text{отн}},$$

где q – относительная разность между приходом и расходом вещества или энергии; $(y_0)_{\text{отн}}$ – относительное отклонение регулируемой величины, которое определяется как $(y_0)_{\text{отн}} = y_0/(y_0)_н$, где y_0 – текущее значение, а $(y_0)_н$ – номинальное значение регулируемой величины.

В выражении для ρ числитель – возмущающее воздействие, а знаменатель – отклонение регулируемой величины, вызванное этим воздействием. Видно, что степень самовыравнивания тем выше, чем меньше отклонение регулируемой величины, вызванное возмущающим воздействием. Одновременно чем больше степень самовыравнивания, тем с большей лёгкостью объект самопроизвольно восстановит заданное значение величины при кратковременном возмущении и тем быстрее восстановится равновесие и более устойчивым будет процесс регулирования. С увеличением самовыравнивания уменьшается время переходного периода в процессе регулирования, т.е. повышается его качество. Со степенью самовыравнивания связан коэффициент усиления, рассмотренный ниже в разделе, посвящённом кривой разгона.

Степень самовыравнивания не является абсолютно независимой величиной, т.к. она зависит от нагрузки. С уменьшением нагрузки снижается степень самовыравнивания, что затрудняет проведение устойчивого и качественного регулирования. Следовательно, необходимо учитывать, что работа плавильной печи на пониженных показателях мощности и расхода электроэнергии предъявляет повышенные требования к процессу регулирования температуры расплава ввиду пониженного самовыравнивания в указанном случае.

Инерционность и запаздывание. *Инерционность* ОР – способность к замедлению накапливать или расходовать энергию (или вещество) в результате наличия сопротивлений. В таком ОР в результате регулирующего воздействия и нарушения равновесия между приходом и расходом энергии (или вещества) регули-

руемая величина изменяется не мгновенно. Инерционность объекта определяется временем разгона ОР, рассмотренным ниже.

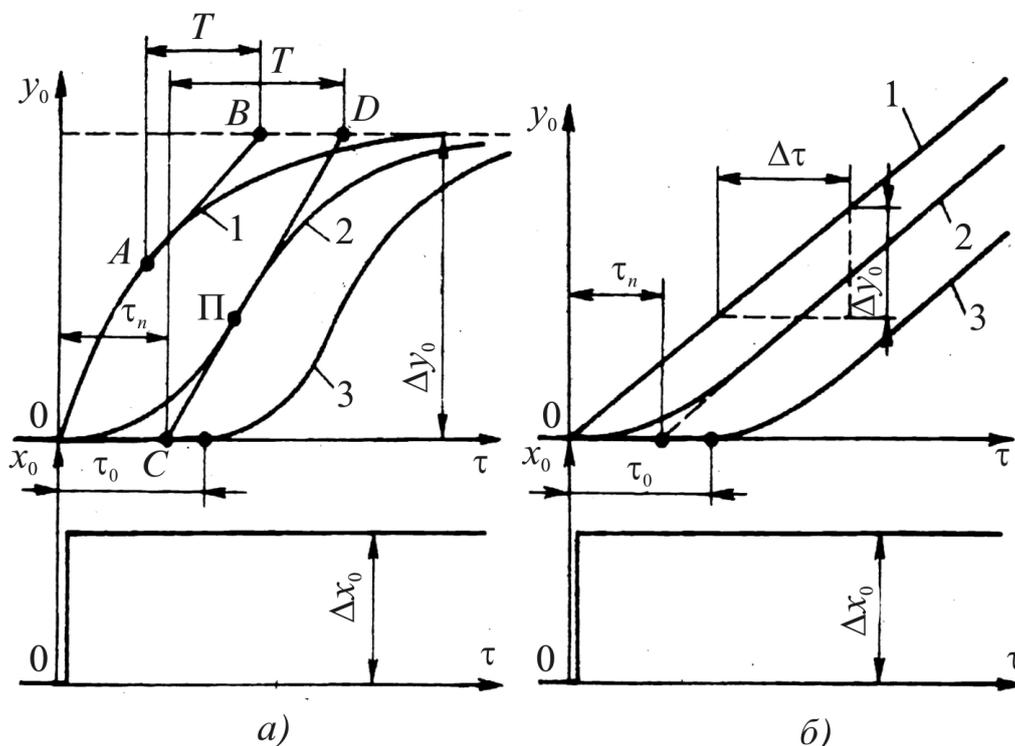


Рис. 3. Кривые разгона объектов регулирования:
 а – статические объекты; б – астатические объекты;
 x_0 – регулирующее воздействие; y_0 – регулируемая величина

Запаздывание – отставание времени начала изменения регулируемой величины от момента приложения регулирующего воздействия. Запаздывание характеризуется временными характеристиками. Различают время полного запаздывания $\tau_{\text{п}}$, время транспортного (чистого) запаздывания $\tau_{\text{т}}$ и время ёмкостного (инерционного) запаздывания $\tau_{\text{е}}$, причём $\tau_{\text{п}} = \tau_{\text{т}} + \tau_{\text{е}}$ (рис.4).

Транспортное запаздывание – время, в течение которого регулируемая величина не изменяется, несмотря на произведенное регулирующее воздействие. Например, при изменении напряжения на нагревательных элементах электрической печи требуется определённое время (транспортное запаздывание), пока установится новый тепловой поток, вследствие чего произойдёт задержка времени начала изменения температуры.

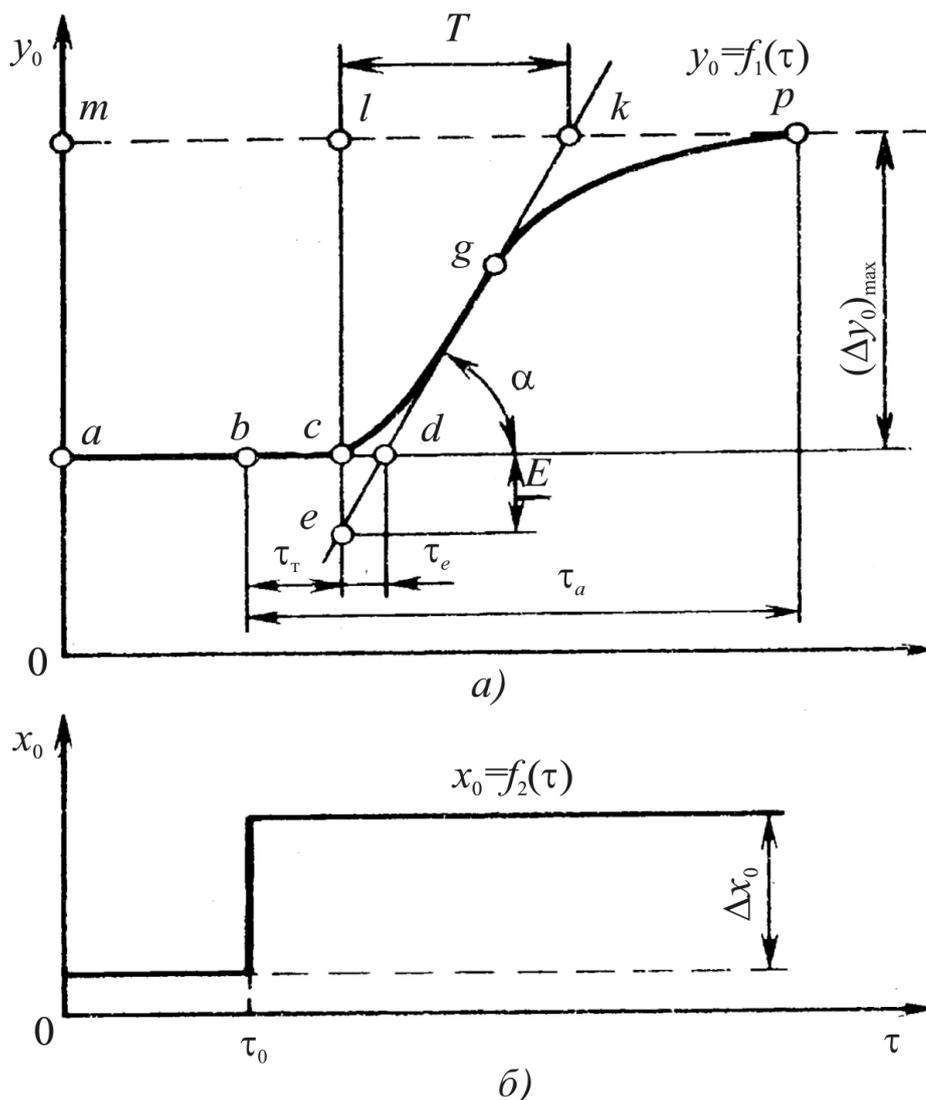


Рис. 4. Кривая разгона для определения свойств объекта

Величина транспортного запаздывания зависит от ряда факторов: расстояния между регулирующим органом и чувствительным элементом первичного преобразователя, нагрузки и ёмкости объекта. Транспортное запаздывание можно уменьшить расположением термопары в непосредственной близости от нагревательных элементов. Транспортное запаздывание уменьшается с повышением нагрузки и снижением ёмкости ОР. Таким образом, эксплуатация малой плавильной печи на повышенной мощности снижает транспортное запаздывание и облегчает регулирование температуры. В общем случае транспортное запаздывание затрудняет регулирование и поэтому следует стремиться к уменьшению величины τ_T .

Ёмкостное запаздывание – задержка времени начала изменения регулируемой величины, связанная с действием термических, гидравлических и других сопротивлений между ёмкостями

объекта. По этой причине ёмкостное запаздывание характерно для многоёмкостных ОР (пример – двухкамерная печь). Оно определяется как интервал времени, затраченный на преодоление межёмкостных сопротивлений. Например, в муфельной печи ёмкостным запаздыванием будет время с момента возникновения теплового потока от нагревательных элементов до момента изменения температуры муфеля. Ёмкостное запаздывание тем больше, чем больше число последовательно включённых ёмкостей и чем больше эти ёмкости. Ёмкостное запаздывание отрицательно сказывается на качестве регулирования.

Одним из важных различий многоёмкостных и одноёмкостных ОР является то, что многоёмкостные ОР обладают транспортным и ёмкостным запаздыванием, а одноёмкостные – только транспортным.

Запаздыванием обладают не только ОР, но и сами регуляторы.

Время разгона τ_a определяется продолжительностью переходного процесса от момента подачи регулирующего воздействия до момента достижения регулируемой величиной максимального значения. При этом предполагается, что максимальное значение регулируемой величины отличается от установившегося значения не более чем на 1%. Время разгона является мерой рассмотренной выше инерционности объекта. Оно снижается с уменьшением ёмкости ОР. Поэтому миниустановки с малыми плавильными печами обладают низкой инерционностью.

На рис. 5,а изображена кривая разгона $y_0=f_1(\tau)$ для ОР с самовыравниванием, которая показывает изменение значения регулируемой величины при мгновенном изменении регулирующего воздействия x_0 .

На рис. 5,б показаны кривые разгона ОР с различным числом ёмкостей. Видно, что значения времени разгона различных объектов неодинаковы. С увеличением числа ёмкостей повышается постоянная времени T , при этом чем она больше, тем хуже поддаётся объект регулированию.

Постоянная времени T объекта регулирования – время его разгона при отсутствии самовыравнивания. Значение постоянной времени T определяется по кривой разгона. Для этого надо провести касательную к начальной точке кривой разгона

(см. рис. 4,5). Отрезок, отсекаемый этой касательной на прямой, параллельной оси абсцисс, представляет собой постоянную времени T .

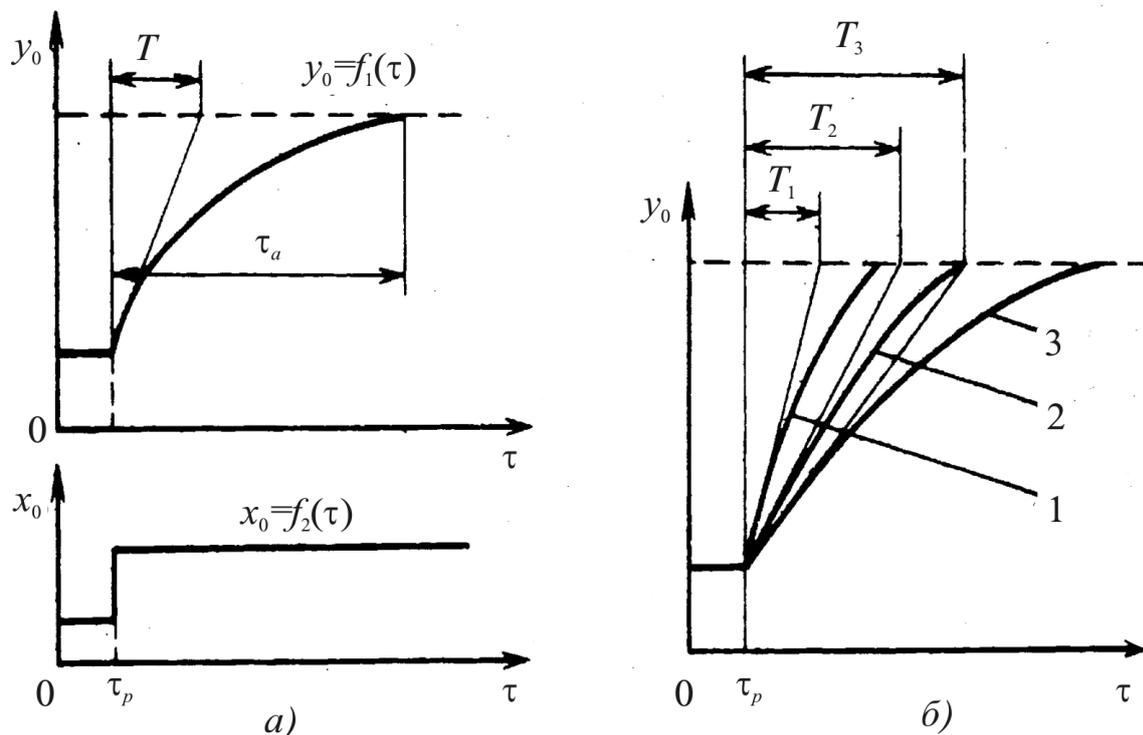


Рис. 5. Кривые разгона объекта: а – одноёмкостного; б – многоёмкостного

Постоянная времени T и время разгона τ_a связаны между собой соотношением $T = \eta \tau_a$, где η – коэффициент нагрузки объекта, который равен отношению нагрузки ОР при рассматриваемом режиме к максимальной нагрузке.

Постоянная времени T связана с рассмотренными выше чувствительностью ν и степенью самовыравнивания ρ : чем выше чувствительность и степень самовыравнивания ОР, тем меньше постоянная времени объекта.

Передаточный коэффициент статического ОР определяется выражением

$$K_{об} = \Delta y_0 / \Delta x_0,$$

где Δy_0 – полное изменение величины выходного (регулируемого) параметра ОР в переходном процессе; Δx_0 – изменение величины входного регулирующего параметра (см. рис. 3).

Условный передаточный коэффициент астатического ОР

$$(K_{об})_{усл} = \Delta y_0 / (\Delta x_0 \Delta \tau),$$

где $\Delta\tau$ – произвольное приращение времени на прямолинейном участке кривой разгона (см. рис. 3).

Величина, обратная условному передаточному коэффициенту, $T_{\text{усл}} = 1/(K_{\text{об}})_{\text{усл}}$ называется условной постоянной времени ОР.

Определение основных свойств объектов регулирования выполняется различными методами, среди которых наиболее широко применяется метод переходных характеристик (кривых разгона). Рассмотрим, как отражаются на кривой разгона (см. рис. 4) основные свойства ОР. Времени транспортного запаздывания τ_T на кривой разгона соответствует отрезок bc между временем возмущения τ_0 и моментом изменения регулируемой величины.

Для определения времени ёмкостного запаздывания проводим линию ac начального значения регулируемой величины и находим точку максимальной скорости её изменения (точка перегиба g , после которой скорость снижается). Через точку g проводят касательную до пересечения её с линией ac . Полученный отрезок cd выражает время ёмкостного запаздывания τ_e .

На основании найденных значений τ_T и τ_e определяют время полного запаздывания $\tau_{\text{п}} = \tau_T + \tau_e$. Время разгона τ_a – время между моментом внесения возмущения и моментом достижения регулируемой величиной *максимального значения*.

Определение постоянной времени объекта T проводят следующим образом. Проводят горизонтальную линию tr через новое установившееся значение регулируемой величины, затем – касательную eg до пересечения её с линией tr в точке k и вертикаль от точки c до точки l . Отрезок lk (в масштабе) и соответствует постоянной времени объекта T .

Величина τ_a является показателем общей продолжительности самовыравнивания и характеризует изменение регулируемой величины во времени.

Степень самовыравнивания определяют по кривой разгона из соотношения $\rho = \Delta x_0 / (\Delta y_0)_{\text{max}}$ (см.рис.4). По степени самовыравнивания находят коэффициент усиления K_0 :

$$K_0 = 1/\rho,$$

показывающий насколько существенно изменяется регулируемая величина от изменения положения регулирующего органа.

Показатель (E) скорости разгона (максимальной скорости изменения регулируемой величины y_0 в процессе самовыравнивания) определяют для одноёмкостного объекта, проводя через точку c вертикаль до пересечения с касательной в точке e и линию, параллельную ad , через точку e . Отрезок ec (E) является показателем скорости разгона (см. рис. 4).

Тангенс угла касательной α выражает скорость изменения регулируемой величины y_0 .

Снятие кривой разгона проводят не менее трёх раз. Полученные характеристики ОР позволяют судить о его динамических свойствах и используются при выборе регулятора, параметров его настройки, обеспечивающих устойчивость и качественные показатели САР. Регуляторы являются важнейшей составной частью САР, поэтому рассмотрение регуляторов мы проводим в отдельной главе, посвящённой системам автоматического регулирования.

4.3. Классификация САР

САР можно классифицировать по пяти признакам (по В.В. Дембовскому):

1) по характеру изменения выходного объекта или *по принципу управления регулируемым параметром* (стабилизирующие, комбинированные, программные, следящие, оптимизирующие):

– стабилизирующие САР – предусматривается, что заданное значение регулируемой величины постоянно (подразделяются на САР по отклонению и САР по возмущению);

– комбинированные САР – сочетают в себе достоинства систем управления по отклонению и возмущению, что повышает точность управления. Действие неучтённых возмущений в комбинированных системах компенсируется или ослабляется управлением по отклонению;

– программные САР – значение регулируемой величины изменяется во времени по заранее разработанной (известной) программе;

– следящие САР – заданное значение регулируемой величины изменяется во времени по заранее неизвестной программе, которая формируется в процессе регулирования;

– оптимизирующие САР – системы экстремального регулирования;

2) *по математическому описанию* (линейные, нелинейные);

3) *по характеру воздействия на объект во времени и виду функциональной связи между входными и выходными параметрами* САР делят на системы непрерывного действия (аналоговое, бесконтактное регулирование) и прерывистого (дискретного) действия (релейно-контактное регулирование);

4) *по характеру действия и использованию вспомогательной энергии* (прямого действия – без вспомогательной энергии, непрямого действия – с вспомогательной энергией);

5) *по виду применяемой энергии* САР делятся на электрические, пневматические, гидравлические и механические.

Описание разновидностей САР приведено в табл. 1.

Классификация систем автоматического регулирования

Принцип классификации	Системы	Отличительные признаки	Примечания
По характеру изменения выхода объекта	Стабилизирующее	Значение $y_{0.3}$ постоянно (до его изменения обслуживающим персоналом)	Наиболее распространенная разновидность систем
	Программного регулирования	Значение $y_{0.3}$ автоматически изменяется по заданному закону во времени	Применяются для ведения процесса по времени
	Оптимизирующие (экстремального регулирования)	Значение $y_{0.3}$ не устанавливается	Регулятор (оптимизатор) обеспечивает $y_o \rightarrow \max$ или $y_o \rightarrow \min$ в зависимости от задачи системы
По математическому описанию	Линейные	Системы и их звенья описываются линейными выражениями	–
	Нелинейные	По крайней мере часть системы не может быть описана линейным выражением	
По характеру воздействия на объект во времени	Непрерывного действия	С появлением сигнала x_p регулирующий орган перемещается непрерывно	–
	Дискретного действия	Дискретный процесс изменения y_p	Релейные или импульсные системы
По виду рабочей энергии	Системы прямого действия	Энергия для работы регулятора и его исполнительного механизма заимствуется от объекта	Простейшие случаи регулирования давления и расхода жидкостей и газов
	Системы непрямого действия	Энергия подводится извне в виде электричества (электрические системы), жидкости под давлением (гидравлические системы) или сжатого воздуха (пневматические системы)	–

4.4. Структура САР

Структура САР складывается из отдельных звеньев (элементов), которые характеризуются определёнными входными и выходными параметрами и выполняют некоторые типовые функции (табл.2).

Таблица 2

Звенья САР и их функции

Звено	Выполняемые функции
Датчик (первичный измерительный прибор)	Изменение фактического выхода объекта с передачей соответствующего сигнала на вторичный измерительный прибор и на вход регулятора
Вторичный измерительный прибор	Индикация или регистрация фактического значения выхода объекта
Задатчик	Формирование сигнала заданного значения выхода объекта
Усилитель	Усиление сигнала x_p
Исполнительный механизм	Привод регулирующего органа
Дополнительная обратная связь	Формирование требуемого закона (алгоритма) регулирования
Регулирующий орган	Реализация воздействия регулятора на вход объекта

Параметры звеньев САР с условными обозначениями приведены в табл.3, в которой сочетаются характеристики ОР ($y_{o.ф}$, $y_{o.з}$, x_o) и АР (y_p , x_p).

В общем случае имеют место соотношения:

$$y_o = f(x_o, z); y_o = y_{o.ф} \text{ (см.табл.3)}$$

$$x_p = y_o - y_{o.з};$$

$$y_p = x_o$$

Поясняем: на вход регулятора x_p подаётся с выхода объекта разность $y_o - y_{o.з}$, а выход регулятора y_p подаётся на вход объекта x_o (рис.6).

Зависимость $y_p = f(x_p, \tau)$ называется законом (алгоритмом) регулирования (здесь τ – время работы регулятора, x_p – вход регулятора).

Наглядно варианты структуры САР представлены на блок-схеме рис. 6. Из неё видно, что в вариантах структур САР вто-

ричный измерительный прибор может находиться в замкнутом контуре (а) или вне его (б). В последнем случае аварийный выход из строя этого прибора не вызывает прекращения работы САР.

Таблица 3

Параметры звеньев САР

Параметр	Условное обозначение	Определение	Примеры
Выход объекта фактический	$y_{o.ф}$	Регулируемый технологический параметр	Фактически достигнутая температура металла в плавильной печи
Выход объекта заданный	$y_{o.з}$	Технологическое задание	Требуемая по условиям технологии температура металла
Вход объекта	x_o	Регулирующий параметр, оказывающий необходимое воздействие на объект со стороны САР	Подводимая к печи электрическая мощность или расход топлива
Возмущение	z	Параметр, воздействующий на объект независимо от САР	Изменение напряжения в сети электропитания печи или темпа загрузки материалов плавки
Вход регулятора	x_p	Отклонение фактического выхода объекта от заданного	Отклонение температуры металла от заданного ее значения
Выход регулятора	y_p	Степень воздействия регулятора на вход объекта	Устанавливаемая регулятором электрическая или тепловая мощность печи (обычно в % от максимальной)

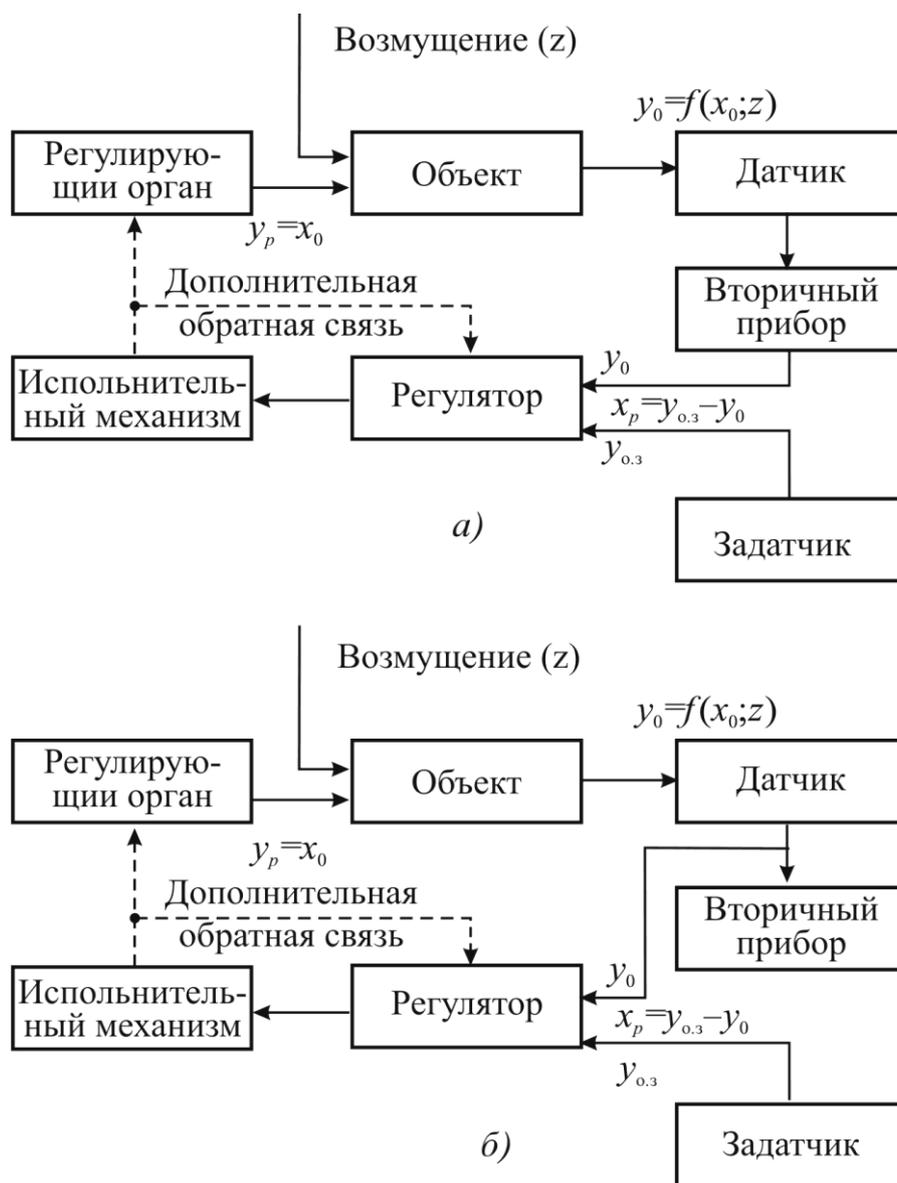


Рис. 6. Блок-схемы САР: а – вторичный измерительный прибор находится в замкнутом контуре; б – вторичный измерительный прибор находится вне контура

4.5. Характеристики элементов САР

Все рассмотренные выше элементы САР независимо от их назначения обладают определённой совокупностью характеристик и параметров, которые определяют их эксплуатационные и технологические особенности. *Параметры элементов САР не следует путать с рассмотренными ранее параметрами ОР.* К числу важных характеристик элементов САР относятся:

- статическая характеристика,
- динамическая характеристика,
- коэффициент передачи (статический, динамический и относительный),
- порог чувствительности.

Статическая характеристика элементов САР является важнейшей. Она представляет собой зависимость выходной величины y_p от входного параметра x_p в установившемся режиме, т.е. $y_p=f(x_p)$. В зависимости от влияния знака входной величины различают статические характеристики: нереверсивные (когда знак выходной величины во всём диапазоне изменения остаётся постоянным) и реверсивные (когда изменение знака входной величины приводит к изменению знака выходной величины).

Динамическая характеристика элементов САР используется для оценки работы элемента в динамическом режиме, т.е. при быстрых изменениях входной величины. Её задают переходной характеристикой, передаточной функцией, частотными характеристиками. Переходная характеристика элементов САР представляет собой зависимость выходной величины y_p от времени τ при скачкообразном изменении входного параметра x_p : $y_p=f(\tau)$.

Коэффициент передачи элементов САР можно определить по статической характеристике элемента. Статический коэффициент передачи $K_{ст}$ представляет собой отношение выходной величины к входной, т.е. $K_{ст}=y_p/x_p$. Применительно к усилителю статический коэффициент передачи называют коэффициентом усиления.

Для элементов с нелинейной характеристикой используют динамический (дифференциальный) коэффициент передачи

$$K_d = \Delta y_p / \Delta x_p.$$

Относительный коэффициент передачи $K_{от}$ элементов САР равен отношению относительного изменения выходной величины элемента $\Delta y_p / y_{p.n}$ к относительному изменению номинальной входной величины $\Delta x_p / x_{p.n}$, т.е.

$$K_{от} = (\Delta y_p / y_{p.n.}) / (\Delta x_p / x_{p.n.}),$$

где $y_{p.n.}$ и $x_{p.n.}$ – номинальные значения выходной и входной величин. Этот коэффициент является безразмерной величиной и удо-

бен при сравнении элементов, различных по конструкции и принципу действия.

Порог чувствительности элементов САР – наименьшее значение входной величины, при которой происходит заметное изменение выходной величины. Он связан с наличием в конструкциях элементов трения, зазоров и люфтов в соединениях.

4.6. Кривые регулирования и режимы работы САР

Ниже мы рассмотрим кривые регулирования, отражающие различные режимы работы САР. При этом обращаем особое внимание на то, что *не следует путать кривые регулирования с ранее рассмотренными кривыми разгона ОР*. Как отмечалось выше, кривые разгона снимаются при отключённом регуляторе и относятся к поведению ОР, не связанному с работой САР. Кривые разгона используются только для характеристики особенностей и параметров ОР. Кривые регулирования непосредственно характеризуют работу САР. Ниже мы рассмотрим ряд новых, специальных понятий, не включенных ранее в перечень базовых понятий по причине их особой специфики, относящейся к режимам работы САР: установившийся и переходный режим; устойчивая и неустойчивая система; аperiodические (без колебаний) и колебательный процессы.

Существует два основных режима работы САР – установившийся и переходный.

Установившийся режим работы САР. Полагаем, что в какой-то период времени САР обеспечивает заданное значение выходной величины ОР, т.е. выходная величина $y_{o.ф}$ равна заданной величине $y_{o.з}$ ($y_{o.ф} = y_{o.з}$) при некотором значении возмущающего воздействия z . Состояние САР, в котором не происходит изменений задающих и выходных величин и возмущающие воздействия не изменяются, называется установившимся режимом.

Переходный режим работы САР. Представим, что в какой-то момент времени величины задающего воздействия $y_{o.з}$ или возмущающего воздействия z изменяются, в результате чего выходная величина $y_{o.ф}$ отклоняется от заданного значения $y_{o.з}$. При

этом возникает ошибка регулирования. САР, отработывая эту ошибку, изменяет регулирующее воздействие на ОУ таким образом, что обеспечивается требуемое выходное значение $y_{0.3}$. В результате система переходит в новое, установившееся состояние. *Процесс перехода САР к новым значениям регулируемого параметра или возвращения к его заданному значению называется переходным.*

Если причиной возникновения переходного процесса является изменение задаваемого значения регулируемой величины $y_{0.3}$, то после переходного процесса САР установит это новое значение (кривая 1 на рис.7). Если же его причиной явилось изменение величины возмущающего воздействия z , то в ходе переходного процесса будет восстановлено прежнее заданное значение y_0 (кривая 2 на рис.7). В общем случае требуемое значение $y_{0.3}$ в новом, установившемся состоянии, возможно, будет установлено с некоторой погрешностью (статической ошибкой регулирования) Δ , зависящей как от точности работы отдельных элементов САР, так и от принципиальных свойств САР. В ходе переходного процесса могут возникнуть недопустимые отклонения Δ или же время переходного процесса может оказаться слишком большим. При некоторых условиях САР вообще может не выполнить свои функции и величина $y_{0.ф}$ вместо возвращения к заданному значению начнёт всё больше отклоняться от него (кривая 3 на рис.7). Такое явление называется *потерей устойчивости САР*. В связи с этим подробнее рассмотрим понятия: устойчивая САР и неустойчивая САР.

Рассмотрим варианты переходного процесса в устойчивой САР. При введении управляющего воздействия, включающего новое задание $y_{0.3}$, устойчивая САР через некоторое время приходит в установившееся состояние (линия 1 на рис.7, линия 2 на рис. 8,*a*), которое характеризуется новым значением выходной величины с некоторой ошибкой Δ , вызванной статичностью системы или погрешностями в отдельных звеньях САР. Вид переходного процесса зависит от коэффициентов передачи $K_{об}$ и постоянных времени T объектов регулирования. Он может протекать апериодически (рис.8, кривые 2) или с затухающими колебаниями (рис.8, кривые 3).

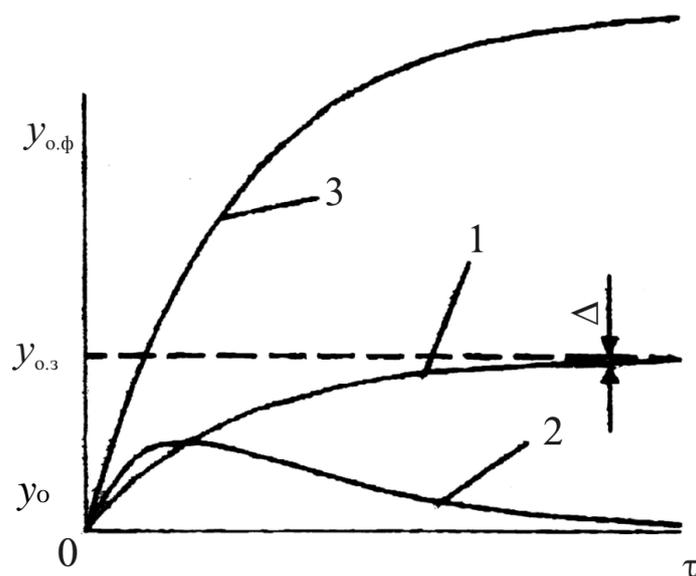


Рис. 7. Кривые регулирования (вариант 1)

При введении возмущающего воздействия САР через некоторое время приходит в установившееся состояние, восстанавливая прежнее значение выходной величины y_0 (кривые 2 на рис. 7 и 8,б). При этом переходный процесс может происходить также аperiodически (рис. 8,б, кривая 2) или с затухающими колебаниями (рис. 8,б, кривая 3).

Обратим внимание на отдельные аналогии в рис. 7 и 8. Так, аperiodическая кривая 1 рис. 7 аналогична кривой 2 на рис. 8,а; кривая 2 на рис. 7 аналогична кривой 2 рис. 8,б. Отличительной особенностью рис. 8 являются кривые 3, отражающие затухающие колебательные процессы.

Различные варианты кривых регулирования показаны также на рис. 9. При этом использованы обозначения: $y_{o,ф}$ – выходной параметр ОР; $y_{o,з}$ – заданное значение выходного параметра ОР; x_{p1} , x_{p2} – амплитуды динамического отклонения выхода объекта в переходном процессе (x_{p1} – максимальное отклонение – в первой полуволне колебаний); Δ – ошибка регулирования; τ – время; τ_p – время регулирования от начала переходного процесса до входа в зону $\pm \Delta$ от заданного значения выхода объекта (обычно принимают $\Delta=5\%$); δ – остаточное отклонение.

Отметим, что ошибка регулирования Δ привязана к времени регулирования τ_p .

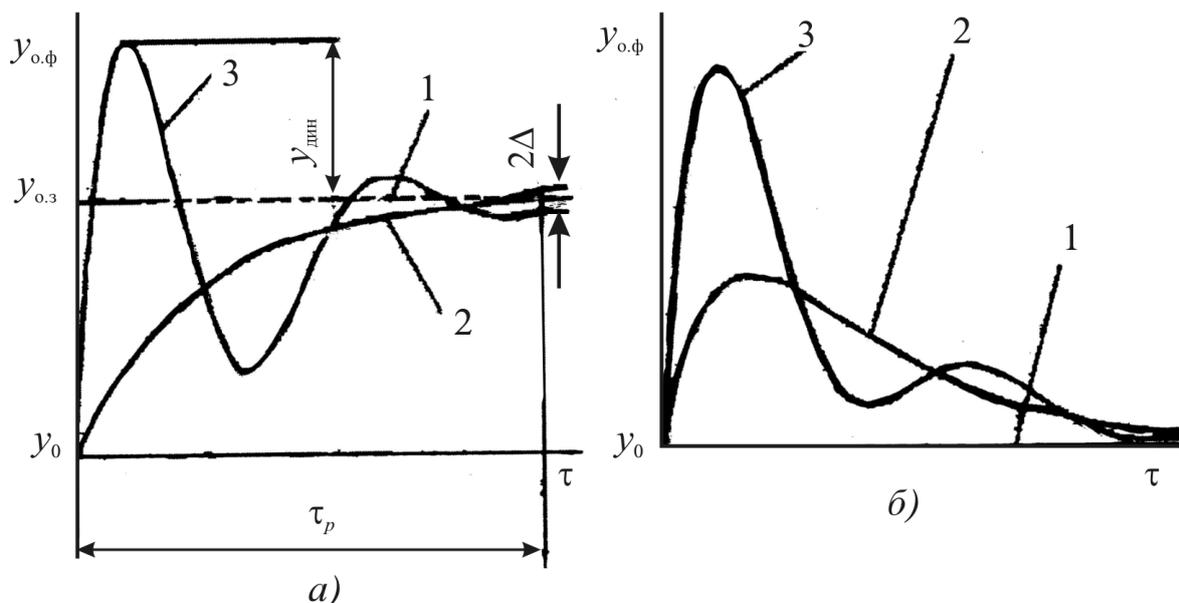


Рис. 8. Кривые регулирования (вариант 2):
 а) действие нового задания $y_{0.3}$; б) действие возмущения

Из вышеизложенного вытекают понятия, приведенные ниже.

Под устойчивостью САР понимается свойство системы восстанавливать состояние равновесия, из которого она была выведена действием возмущающих воздействий, после прекращения действия этих возмущений. Это означает, что устойчивость САР есть свойство системы возвращать регулируемую величину к заданному состоянию равновесия. Более подробно вопросы устойчивости САР рассмотрены в источниках, указанных в п.2 приложения.

Устойчивая САР – такая, при которой система после прекращения воздействия на ОР в результате переходного процесса возвращается в установившееся состояние. В общем случае САР может быть устойчивой только при малых возмущениях.

Неустойчивая САР – такая, которая не возвращается в равновесное состояние, из которого она вышла по той или иной причине, а непрерывно удаляется от него или совершает около него некоторые колебания.

Типы переходных процессов. Переходные процессы подразделяются по характеру кривой регулирования на два подкласса: апериодический процесс и колебательный процесс.

Апериодический процесс протекает без колебаний и характеризуется тем, что после отклонения регулируемой величины от

заданного значения она плавно (апериодически) возвращается к новому устойчивому значению (рис. 10,а).

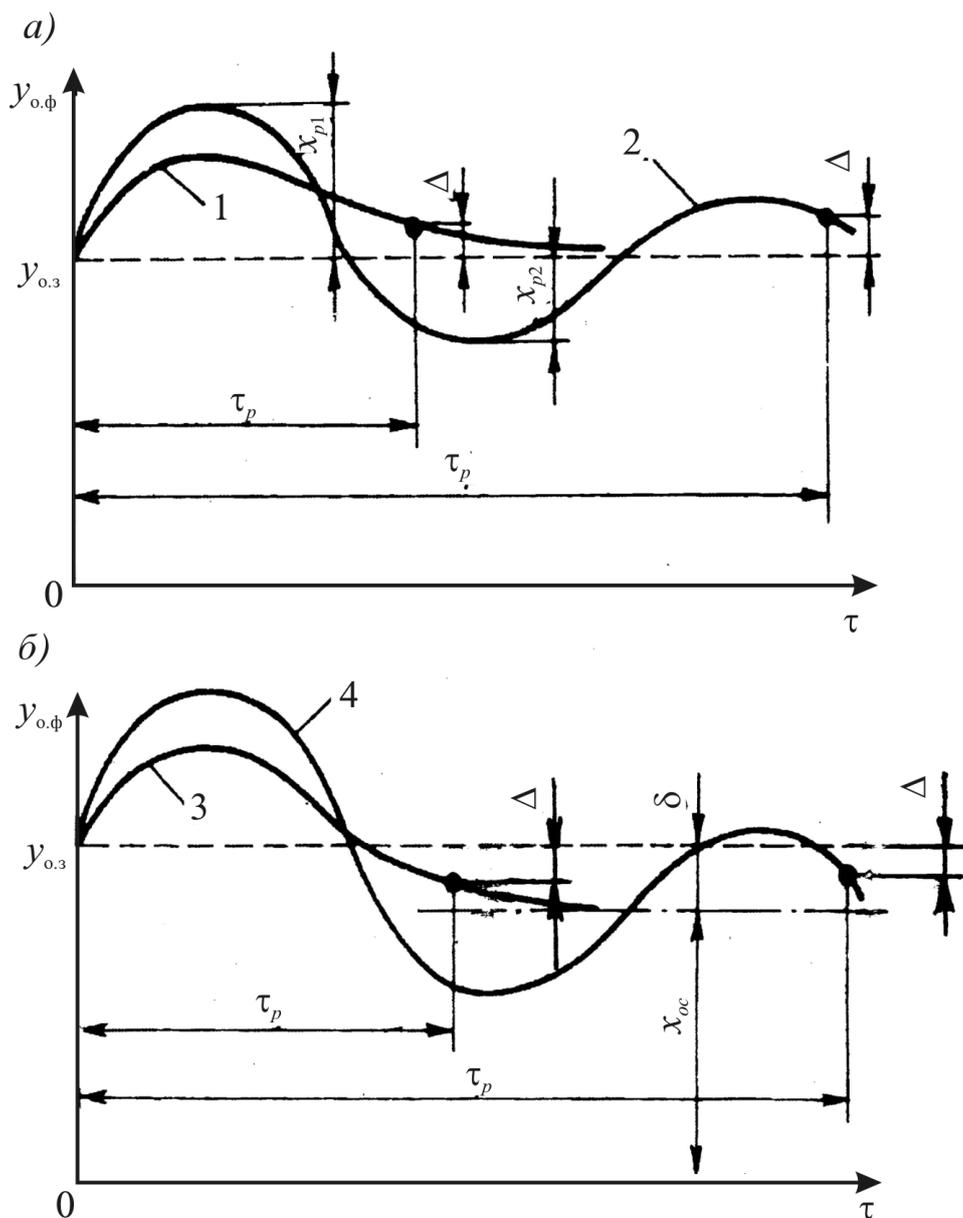


Рис. 9. Кривые регулирования: а – без остаточного отклонения ($\delta=0$); б – с остаточным отклонением ($\delta>0$); 1,3 – апериодические процессы; 2,4 – колебательные затухающие процессы

Колебательный процесс с затухающей амплитудой – процесс, в котором регулируемый параметр объекта регулирования изменяется относительно заданного значения с затухающей амплитудой (рис. 10,б). Рассмотренные процессы на рис. 10,а и б

(апериодический и колебательный с затухающей амплитудой) являются устойчивыми.

В неустойчивой системе регулируемый параметр объекта регулирования после возмущения и работы регулятора совершает гармонические колебания около заданного значения с постоянной амплитудой и частотой (рис. 10,в) или в ней возникают колебания, расходящиеся со всё увеличивающейся амплитудой (рис. 10,г). Примером допустимого неустойчивого регулирования с гармоническим характером изменения регулируемой величины, но с малой амплитудой колебаний, является двухпозиционное регулирование температуры в пространстве термических печей.

Переходные процессы в САР могут протекать по-разному в зависимости от динамических характеристик и настройки САР.

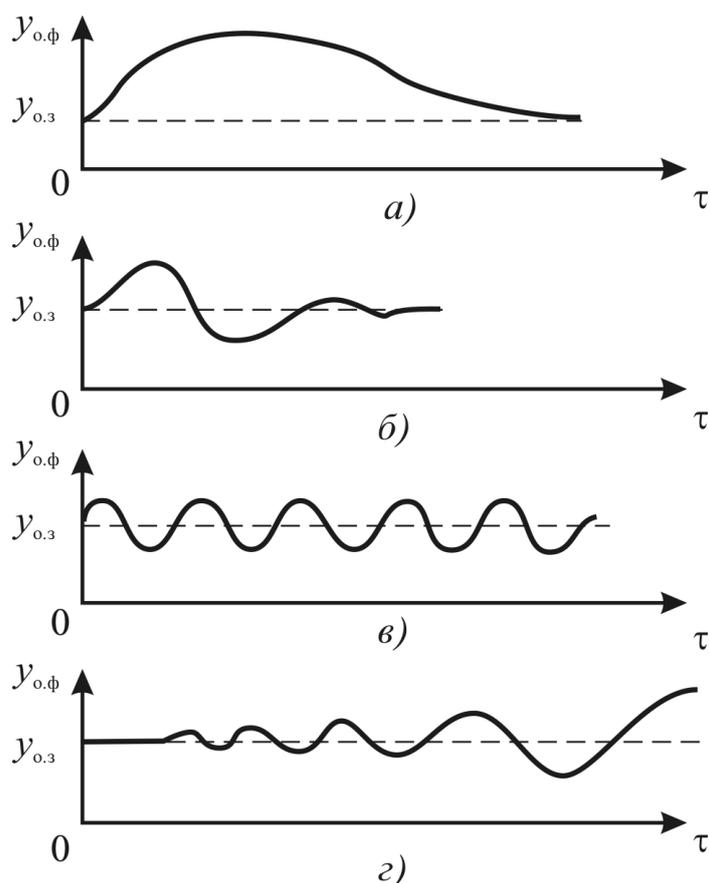


Рис. 10. Кривые регулирования: а – устойчивого апериодического процесса; б – устойчивого процесса с затухающей амплитудой колебаний; в – неустойчивого колебательного процесса; г – неустойчивого процесса с расходящейся амплитудой колебаний

4.7. Показатели качества автоматического регулирования

Показатели качества автоматического регулирования различны для разных режимов автоматического регулирования.

Показатель качества установившегося процесса регулирования. Для САР в установившемся режиме основным показателем качества регулирования является *точность*. Она характеризуется *ошибкой регулирования* Δ – отклонением регулируемой величины от заданного значения после окончания процесса регулирования. Одной из возможных причин возникновения этой ошибки может быть наличие зоны нечувствительности первичного преобразователя. Для уменьшения статической ошибки используют принципы регулирования по возмущению в комбинированных САР. Из множества действующих возмущений выбирают главное и в зависимости от его значения воздействуют на ОР таким образом, чтобы скомпенсировать влияние данного возмущения на регулируемую величину.

Показатели качества переходного процесса регулирования. Переходный процесс регулирования характеризуется комплексом показателей качества:

– *время регулирования* τ_p – это время, в течение которого (начиная с момента приложения воздействия на систему) отклонение регулируемой величины $y_{o.f}$ от её заданного значения $y_{o.z}$ станет меньше заданного значения ошибки Δ (см. рис. 7–9). Как отмечалось выше, обычно принимают $\Delta=5\%$ от заданного значения регулируемого параметра $y_{o.z}$. Время регулирования характеризует *быстродействие САР*. Оно зависит от динамических свойств ОР, закона регулирования и настроек регулятора. При этом время регулирования не может быть меньше некоторого минимального значения, зависящего в первую очередь от динамических свойств ОР. Таким образом, время регулирования τ_p – это длительность переходного процесса, по истечении которой разность между заданным и текущим значением регулируемой величины не превышает 5%. Заметим, что *время регулирования является универсальным показателем качества САР как в апе-*

риодическом процессе, так и в колебательном процессе с затухающими колебаниями;

– *ошибка* регулирования Δ – отклонение регулируемой величины от заданного значения при окончании переходного процесса – к моменту τ_p (см. рис. 7–9). Этот показатель в равной мере относится как к апериодическому, так и к колебательному процессу с затухающими колебаниями;

– *перерегулирование* – показатель, относящийся только к колебательной САР. Перерегулирование в разных учебных пособиях по автоматизации литейного производства трактуется неодинаково:

1) по В.П. Новикову – перерегулирование η – это отношение амплитуд двух последующих выбегов регулируемой величины (второго к первому), которое характеризует колебательность переходного процесса при регулировании. Величина перерегулирования зависит от динамических свойств ОР, закона регулирования и настроек регулятора;

2) по В.В. Дембовскому перерегулирование (в %) вычисляется по формуле

$$H = 100 x_{p2}/x_{p1},$$

где x_{p1} и x_{p2} – амплитуды динамического отклонения выходного параметра в переходном процессе, причём x_{p1} – максимальное отклонение (в первой волне колебаний) (см. рис.9);

3) по А.Г. Староверову величина перерегулирования σ определяется выражением

$$\sigma = [(y_{o.ф})_{\max} - y_{o.з}] / y_{o.з},$$

где $(y_{o.ф})_{\max}$ и $y_{o.з}$ – максимальное и заданное значения регулируемой величины. Оптимальным считается $\sigma=20\%$.

Вариант 3 неточен и отличается от вариантов 1 и 2, которые являются более достоверными.

При больших значениях перерегулирования могут возникнуть недопустимые отклонения регулируемых параметров, значительные динамические усилия в механических частях системы, перенапряжения в электрических элементах, поэтому перерегулирование ограничивается обычно величиной 20–50%;

– *максимальное динамическое отклонение* – показатель, относящийся только к колебательной САР. Максимальное дина-

мическое отклонение регулируемой величины $y_{\text{дин}}$ равно первому выбегу регулируемой величины (см. рис. 8,а). Оно зависит от динамических свойств ОР, вида возмущения, закона регулирования и настроек регулятора;

– *колебательность системы*. Иногда колебательность системы характеризуют числом колебаний регулируемой величины за время регулирования τ_p . Поскольку большое число колебаний вызывает излишний износ механизмов, колебательность по одним данным ограничивают обычно 1–2 колебаниями, по другим – число колебаний за время переходного процесса должно быть не более трёх;

– *интегральные показатели качества регулирования*. Интегральные показатели качества регулирования равны определённым интегралам по времени от некоторых функций отклонений регулируемой величины x_p от заданного значения. Обычный интегральный показатель применяется при апериодических переходных процессах. Интегральный квадратичный критерий характеризует отклонения при любом виде переходного процесса:

$$I = \int_0^{\infty} x_p^2 dt$$

При позиционном регулировании показателями качества являются амплитуда и период автоколебаний регулируемой величины.

Необходимые точность, устойчивость и качество регулирования САР обеспечиваются подбором подходящей структуры регулятора и его настройкой, выполняемой при наладке САР.

Для каждого технологического процесса определяются те показатели качества регулирования, которые обеспечивают наиболее рациональное функционирование процесса. Для колебательных процессов существуют три типа регулирования, один из которых, как правило, удовлетворяет требованиям технологического процесса:

1) процесс с минимальным временем регулирования характеризуется минимальным регулирующим воздействием и сравнительно большим отклонением $y_{\text{дин}}$;

2) процесс с 20-процентным перерегулированием и минимальным временем первого полупериода колебаний – обеспечивает наименьшее динамическое отклонение $y_{\text{дин}}$;

3) процесс с минимальным квадратичным интегральным показателем, что соответствует 40–45-процентному перерегулированию. Он имеет наименьшее динамическое отклонение $u_{\text{дин}}$ при наибольшем перерегулировании и времени регулирования.

4.8. Классификация технических средств САР

Ключевым техническим средством САР являются *автоматические регуляторы*. Помимо них САР включает ряд других элементов. Элементы САР делятся на основные и вспомогательные.

К основным элементам САР относятся:

– *воспринимающие* (измерительные, первичные преобразователи-датчики) – измеряют управляемые величины технологических процессов и преобразуют их из одной физической формы в другую (например, термоэлектрический пирометр преобразует разность температур в термоЭДС);

– *задающие* (задатчики) – служат для задания требуемого значения регулируемой величины ОР, которому должно соответствовать её действительное значение;

– *сравнивающие* (элементы сравнения) – сопоставляют заданное значение регулируемой величины объекта регулирования $y_{0.з}$ с действительным значением $y_{0.ф}$. Получаемый на выходе сигнал рассогласования $\Delta y = y_{0.ф} - y_{0.з}$ передаётся либо через усилитель, либо непосредственно на исполнительный элемент;

– *преобразующие* – осуществляют необходимые преобразования сигнала;

– *исполнительные* – создают управляющие воздействия на ОР. Они изменяют количество энергии или вещества, подводимой к ОР или отводимой от него для того, чтобы регулируемая величина соответствовала заданному значению;

– *корректирующие* – служат для улучшения качества регулирования;

– *усиливающие* – обеспечивают усиление сигнала в магнитных, электронных, полупроводниковых и других усилителях, когда мощность сигналов недостаточна для дальнейшего использования;

– *стабилизирующие* (элементы дополнительной обратной связи).

Вспомогательные элементы САР включают:

- переключающие устройства,
- элементы защиты,
- резисторы,
- конденсаторы,
- аппаратура сигнализации.

4.9. Автоматические регуляторы

4.9.1. Классификация регуляторов

Регуляторы классифицируют по различным признакам.

По виду регулируемой величины различают регуляторы температуры, давления, расхода, уровня и др.

По конструктивному исполнению регуляторы делятся на приборные, аппаратные, агрегатные.

Приборные регуляторы содержат измерительное устройство, которое одновременно выдаёт сигнал на измерительный прибор, регистрирующий значение контролируемой величины и сигнал управления. К приборным регуляторам относятся электронные потенциометры, автоматические мосты, логометры и т.п.

В регуляторах аппаратного типа вырабатывается только управляющий сигнал. В состав таких регуляторов входят измерительный блок и электронное устройство, формирующие закон регулирования.

В регуляторах агрегатного типа преобразовательно-усилительный блок сравнивает сигналы первичного преобразователя и задатчика и формирует выходной сигнал.

По способу действия регуляторы могут быть прямого и непрямого (косвенного) действия. Регуляторы прямого действия используют энергию регулируемой среды. Узкоспециализированные регуляторы прямого действия применяются лишь для регулирования давления жидкостей и газов в трубопроводах, а также стабилизируют температуру жидкостей (жидких компонентов формовочных и стержневых смесей или их композиций при подогреве паром). В большинстве случаев в условиях литейного производства автоматическое регулирование осуществляется с помощью регуляторов непрямого действия, являющихся

ся универсальными по виду регулируемого параметра. Регуляторы непрямого действия используют вспомогательную энергию.

По виду применяемой вспомогательной энергии различают регуляторы непрямого действия: электрические, гидравлические, пневматические и комбинированные. Наибольшей гибкостью в использовании и простотой сочетания с другими звеньями САР обладают электрические регуляторы. *Электрические регуляторы* имеют практически неограниченный радиус действия, их работа мало зависит от температуры и давления окружающей среды.

Вместе с тем более простыми и надёжными в ряде случаев оказываются гидравлические и пневматические регуляторы. При этом преимуществом пневматических регуляторов является их пожаро- и взрывобезопасность. *Пневматические регуляторы* обладают рядом положительных качеств, свойственных гидравлическим. Однако они сравнительно легко засоряются и поэтому требуют применения дополнительных воздушных фильтров. Характеристики пневматических регуляторов зависят от температуры и давления окружающей среды.

Преимущество гидравлических регуляторов – возможность получения высоких выходных усилий на исполнительном механизме при малой инерционности. Гидравлические регуляторы обеспечивают плавное регулирование в широком диапазоне и создают большие усилия на регулирующий орган. Они надёжны и удобны в эксплуатации, но имеют ограниченный радиус действия, определяемый длиной гидравлического трубопровода.

Помимо перечисленных применяют и *комбинированные регуляторы*. При конструировании комбинированных регуляторов стремятся использовать положительные характеристики каждого вида вспомогательной энергии.

По характеру действия различают регуляторы прерывистого (дискретного) и непрерывного действия. Регуляторы прерывистого действия подразделяются на позиционные (релейные), импульсные и цифровые. Регуляторы непрерывного действия включают 5 разновидностей: пропорциональные (П), интегральные (И), пропорционально-интегральные (ПИ), пропорционально-дифференциальные (ПД) и пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД). Более подробно регуляторы прерывистого и непрерывного действия рассмотрены в следующем разделе.

Особое место занимают *экстремальные регуляторы*. Они осуществляют поиск заранее неизвестного экстремального значения выхода объекта (максимума либо минимума). Примерами экстремального регулирования являются:

- управление температурой чугуна θ на выпуске из вагранки путём поддержания оптимальной температуры воздуха при данном расходе топлива с обеспечением целевой функции $\theta \rightarrow \max$;
- управление себестоимостью J выплавки металла в дуговых и индукционных печах путём поддержания оптимального электрического режима с обеспечением целевой функции $J \rightarrow \min$.

Более подробно примеры экстремального регулирования рассмотрены ниже в разделах, посвящённых управлению процессами плавки в вагранках и дуговых печах.

Экстремальные регуляторы имеют сложное устройство и их используют для решения относительно простых оптимизационных задач. При решении сложных задач экстремального регулирования функции экстремальных регуляторов целесообразно передавать ЭВМ или микропроцессорным системам.

Автоматические регуляторы являются одной из важнейших составных частей САР, САУ и АСУ ТП. Выше была дана обобщённая классификация регуляторов. Ниже более подробно рассмотрены регуляторы прерывистого и непрерывного действия.

4.9.2. Регуляторы прерывистого (дискретного) действия

Регуляторы прерывистого действия подразделяются на позиционные, импульсные и цифровые.

Позиционными (релейными) называют регуляторы, у которых регулирующий орган может занимать определённое число положений. В литейном производстве позиционное регулирование используют при автоматизации температурного режима малоинерционных печей типа электросопротивления и электрических сушильных установок. В литейных цехах используются в основном двух- и трёхпозиционные регуляторы (например температуры в электрической печи). При двухпозиционном регулировании процесс происходит в автоколебательном режиме. Одним из основных недостатков двухпозиционного регулирования (рис.11) является невозможность сочетания быстрого нагрева (для этого необходима большая мощность) и высокой точности

регулирования, для которой требуется небольшая избыточная мощность. Поэтому развитие позиционного регулирования пошло в двух направлениях: улучшение свойств двухпозиционного регулирования и переход на трёхпозиционное регулирование. При введении трёхпозиционного регулирования колебания регулируемого параметра уменьшаются на 20...30% по сравнению с колебаниями при двухпозиционном регулировании.

В регуляторах импульсного действия (рис.12,а) отклонения регулируемой величины преобразуются в последовательность импульсов, следующих друг за другом через определённые интервалы времени. Импульсы могут отличаться амплитудой, длительностью и полярностью.

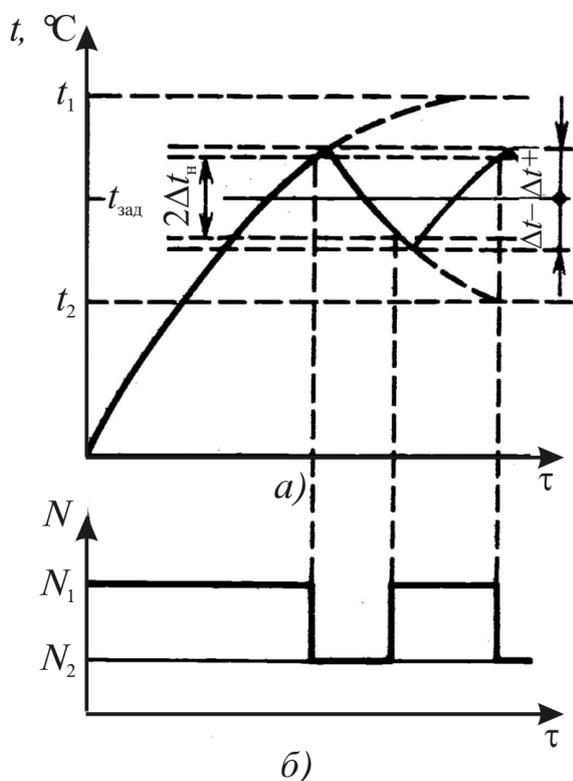


Рис. 11. Изменение при двухпозиционном регулировании: а – температуры; б – мощности

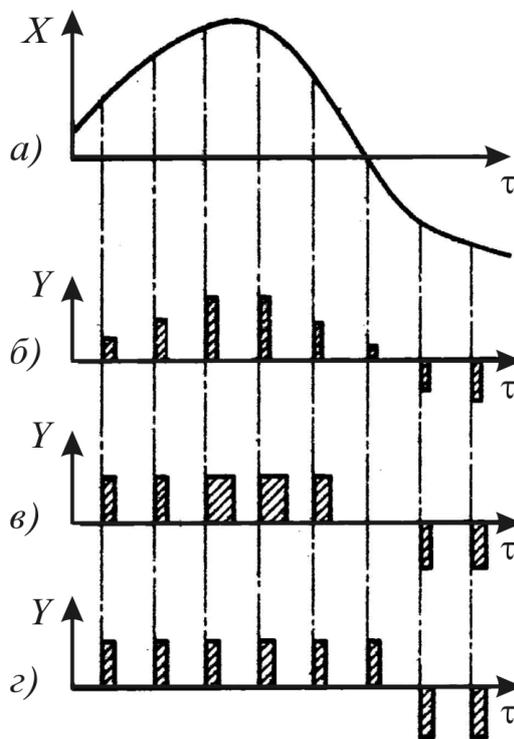


Рис. 12. Графическое изображение действия импульсного регулятора X – регулируемая величина, Y – амплитуда импульсов, а – зависимость X от τ , б, в, г – группы регуляторов (пояснение в тексте).

Соответственно импульсные регуляторы подразделяются на три типа:

1) регуляторы, в которых амплитуда импульсов пропорциональна изменению регулируемой величины (рис.12,б);

2) регуляторы с преобразованием регулируемой величины в последовательность импульсов, длительность которых зависит от отклонения регулируемой величины (рис.12,в);

3) регуляторы с преобразованием отклонения регулируемой величины в последовательность импульсов с постоянными амплитудами и длительностью, но с переменным знаком (рис. 12,г). Знак импульсов зависит от изменения знака регулируемой величины.

Импульсные регуляторы применяются для регулирования медленно протекающих процессов в ОР, обладающих большой инерционностью и значительным запаздыванием.

Цифровые регуляторы, построенные на использовании цифровой техники, относятся к особому типу регуляторов.

4.9.3. Регуляторы непрерывного действия

Регуляторы непрерывного действия подразделяются на пять типов: *пропорциональные, интегральные, пропорционально-интегральные, пропорционально-дифференциальные, пропорционально-интегрально-дифференциальные.*

Пропорциональные регуляторы (П-регуляторы). В данных регуляторах перемещение регулирующего органа пропорционально отклонению регулируемой величины от заданного значения. Эти регуляторы также называют статическими, потому что в процессе регулирования они всё время стремятся «догнать» отклонившуюся от заданного значения регулируемую величину и остановить её, т.е. прекратить её дальнейшее отклонение. Для П-регуляторов диапазон регулируемой величины, в пределах которого происходит перемещение регулирующего органа из одного крайнего положения в другое, называют пределом пропорциональности. Этот показатель обратно пропорционален чувствительности регулятора. Чем больше предел пропорциональности, тем меньше его чувствительность и наоборот.

Закон, реализуемый регулятором, имеет вид

$$y_p = K_p x_p,$$

где y_p – выходная величина регулятора (положение регулирующего органа); K_p – статический коэффициент передачи (усиления) регулятора; x_p – отклонение регулируемой величины.

Преимуществами П-регуляторов являются их быстроедействие (малое время переходного процесса) и высокая устойчивость процесса регулирования; основным недостатком – наличие ошибки регулирования, что снижает точность регулирования.

П-регуляторы применяют на ОР с малым самовыравниванием и без самовыравнивания, когда изменение нагрузки незначительно.

Интегральные (астатические) регуляторы (И-регуляторы) характеризуются перемещением регулирующего органа пропорционально интегралу отклонения регулируемой величины от заданного значения. При этом регулирующий орган перемещается со скоростью, пропорциональной отклонению регулируемой величины, т.е.

$$d y_p / d \tau = K_p x_p / T_u$$

Проинтегрировав это выражение, получим

$$y_p = K_p (1/T_u) \int_0^{\tau} x_p d \tau,$$

где T_u – время изодрома, за которое регулирующий орган переместится из одного крайнего положения в другое при максимальном отклонении регулируемой величины от заданного значения. Оно является параметром настройки регулятора.

В структуру И-регулятора входят последовательно включённые усилительные и интегрирующие звенья. В качестве интегрирующего звена обычно используется гидравлический сервопривод или электродвигатель постоянного тока, скорость вращения которого пропорциональна отклонению регулируемой величины.

Использование И-регуляторов исключает ошибку регулирования при изменениях нагрузки. Эти регуляторы применяют на объектах с переменной нагрузкой, обладающих самовыравниванием и малым запаздыванием. И-регуляторы работают лучше, чем больше степень самовыравнивания и меньше время запаздывания.

Пропорционально-интегральные регуляторы (ПИ-регуляторы) называют изодромными регуляторами или регуляторами с упругой обратной связью. ПИ-регуляторы представляют собой сочетание пропорционального и интегрального регуляторов. Реализуемый ими закон регулирования имеет вид

$$y_p = K_p [x_p + (1/T_u) \int_0^{\tau} x_p d\tau]$$

Передаточный коэффициент регулятора (статический коэффициент усиления) K_p и время изодрома T_u являются параметрами настройки регуляторов этого типа.

В ПИ-регуляторах регулирующий орган при наличии отклонения регулируемой величины сначала перемещается быстро (пропорционально отклонению), а затем продолжает своё перемещение в результате интегрального воздействия (обычно медленнее). Пропорциональная часть регулятора стремится как бы «догнать» и остановить изменение регулируемой величины. По достижении равновесия пропорциональная составляющая прекращает своё влияние на регулирующий орган, а действие интегрирующей составляющей продолжается. В результате этого воздействия регулирующий орган займёт такое положение, при котором статическая ошибка будет ликвидирована. Таким образом, наличие в регуляторе пропорционального воздействия ускоряет процесс стабилизации регулируемой величины, а интегральное воздействие снимает остаточное отклонение. В подобных регуляторах пропорциональную функцию выполняет жёсткая обратная связь, а интегральную – гибкая (изодромная) обратная связь.

ПИ-регуляторы могут поддерживать в установившемся режиме постоянное значение регулируемой величины при нулевой ошибке Δ независимо от нагрузки и положения регулирующего органа. Эти регуляторы способны работать с ОР с различными свойствами.

Пропорционально-дифференциальные регуляторы (ПД-регуляторы) обеспечивают перемещение регулирующего органа как пропорционально отклонению регулируемой величины, так и пропорционально скорости отклонения. Подобные регуляторы ещё при подходе регулируемой величины к заданному значению осуществляют действия, препятствующие переходу величины за пределы заданного значения. В начальный момент рассогласо-

вания скорость отклонения регулируемой величины проявляется более значительно, чем изменение величины регулирующего параметра. Поэтому в закон регулирования ПД-регуляторов вводят предваряющее воздействие, что эффективно сказывается на качестве регулирования. Закон регулирования ПД-регуляторов описывается уравнением

$$y_p = K_p [x_p \pm T_n d(x_p)/d\tau],$$

где T_n – время предварения (дифференцирования). Знак «плюс» или «минус» указывает на то, что предварение может быть положительным или отрицательным.

Поскольку скорость изменения регулируемой величины есть первая производная её изменения во времени, то такие регуляторы называют регуляторами по первой производной. Они применяются при регулировании быстропротекающих процессов и сопровождаются ошибкой Δ .

Пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы (ПИД-регуляторы) известны также под названием «изодромные с предварением». В ПИД-регуляторах регулирующий орган перемещается пропорционально отклонению, интегралу и скорости отклонения регулируемой величины. Работу этих регуляторов можно рассматривать как совместное действие статического и астатического регуляторов с учётом скорости изменения регулируемой величины. Закон регулирования ПИД – регуляторов выражается дифференциальным уравнением

$$y_p = K_p [x_p + (1/T_u) \int_0^\tau x_p d\tau \pm T_n d(x_p)/d\tau]$$

Параметрами настройки ПИД-регуляторов являются статический коэффициент передачи K_p , время изодрома T_u и время предварения T_n .

Приставка предварения вырабатывает сигнал, который заставляет регулирующий орган перемещаться с некоторым временным опережением, возрастающим с увеличением скорости изменения регулируемой величины. Предварение может осуществляться с помощью подключённых на вход регулятора элементов, измеряющих скорость изменения регулируемой величины, или введением дополнительной обратной связи.

ПИД-регуляторы сочетают свойства всех рассмотренных выше регуляторов. Они удовлетворяют наиболее трудным условиям и требованиям регулирования и исключают ошибку Δ .

4.9.4. Выбор типа регуляторов и параметров их настройки

При выборе типа регуляторов и определении параметров их настройки учитывают общий вид динамических характеристик и численные значения динамических параметров ОР. *Высокая точность регулирования ($\Delta=0$) характерна для регуляторов, в выражении закона регулирования которых присутствует интеграл* (И-, ПИ- и ПИД-регуляторы). В противном случае имеет место ошибка регулирования Δ . В зависимости от установленных на регуляторе параметров настройки могут быть переходные процессы рассмотренных выше двух типов – апериодические либо колебательные затухающие. Настройка регуляторов должна обеспечивать рассмотренное выше основное требование к САР – их устойчивость, способствующую последовательному уменьшению отклонения выходов ОР во времени от его заданного значения. Кроме обеспечения устойчивости, на практике предъявляются дополнительные требования к настройкам регулятора с тем, чтобы получить необходимые по технологическим соображениям показатели качества регулирования, рассмотренные выше.

Сравнительные характеристики регуляторов и их назначение приведены в табл.4.

Таблица 4

Сравнительные характеристики регуляторов

№пп	Тип	Назначение	Преимущества	Недостатки
1	2	3	4	5
1	Дискр. действия (релейные), позиционный (двух-трёхпоз.)	ОР с малым запаздыванием; одноёмкостные; без самовыравнивания; пост. нагрузка; $\tau_{II} / T < 0,2$	Простая и дешёвая система	Малая точность регулирования; повышенные тепловые и динамические нагрузки; большое число срабатываний элементов САР

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5
2	Дискретного действия (релейные), импульсный	ОР без больших запаздываний; средней ёмкости; пост. нагрузка; $\tau_{\Pi} / T < 0,2$	Простая и дешёвая система	Малая точность регулирования; повышенные тепловые и динамические нагрузки; большое число срабатываний элементов САР
3	Непрерывного действия, пропорциональный (П)	ОР одноёмкостные; без самовыравнивания или с малым самовыравниванием; большое время переходного процесса; допускается большая ошибка регулирования в установившемся режиме; $\tau_{\Pi} / T > 0,2$	Максимальное быстродействие (минимум времени регулирования); высокая устойчивость процесса регулирования	Наличие статической ошибки регулирования
4	Непрерывно интегральный (И)	Статические ОР с переменной нагрузкой; с самовыравниванием и значительным запаздыванием; $\tau_{\Pi} / T > 0,2$	Высокая статическая точность регулирования. Ошибка регулирования равна нулю	Невозможность применения на астатических объектах
5	Непрерывно пропорц.-интегральный (ПИ)	Любые ОР; большие нагрузки, ёмкости; значительные запаздывания; $\tau_{\Pi} / T > 0,2$; $\tau_a > 6 \tau_{\Pi}$	Универсальность ОР; высокая точность регулирования; ошибка регулирования равна нулю; хорошее быстродействие	

1	2	3	4	5
6	Непрерывно пропорц.-дифференциальный (ПД)	ОР средней ёмкости; малое изменение нагрузки; большие запаздывания; $\tau_{\Pi} / T > 0,2$; быстрота протекающих процессов	Повышенная динамическая точность регулирования	Наличие статической ошибки регулирования
7	Непрерывно пропорц.-интегрально-дифференциальный (ПИД)	Самые сложные процессы регулирования; ОР любой ёмкости; резкие изменения нагрузки; большие запаздывания; $\tau_{\Pi} / T > 0,2$; $\tau_a = 4 \dots 6 \tau_{\Pi}$	Повышенная динамическая точность регулирования, ошибка регулирования равна нулю	Сложность устройства, наиболее дорогая система

Обозначения:

τ_a – время переходного процесса, T – постоянная времени ОР. τ_{Π} – время полного запаздывания.

Для регуляторов непрерывного действия в зависимости от типа ОР и желаемого вида переходного процесса параметры настройки выбираются в соответствии формулами, приведенными в табл. 5 и 6. В первую очередь рассчитывается коэффициент передачи регулятора K_p (функция) (табл.5), а в качестве определяющих факторов в общем случае выступают:

- коэффициент передачи ОР ($K_{об}$),
- полное запаздывание ОР (τ_{Π}),
- постоянная времени ОР (T),
- время изодрома (удвоения) T_u ,
- время предварения T_n .

Вид формулы для настройки регулятора определяется тремя факторами:

- тип ОР (статический или астатический),
- тип регулятора (П, И, ПИ, ПД, ПИД),
- типовой процесс регулирования: аperiodический при минимальном времени регулирования $(\tau_p)_{\min}$; колебательный при

перерегулировании 20% либо минимальном интегральном квадратичном критерии I.

Методы определения параметров настройки регуляторов импульсного действия даже для простейших законов регулирования оказываются весьма сложными, а для регуляторов комбинированного действия являются проблемными. Для направленного поиска оптимальных параметров настройки регуляторов в сложных случаях используют численное моделирование переходных процессов в САР с помощью ЭВМ.

Таблица 5

Формулы коэффициента передачи регулятора (статический ОР)

Тип регулятора	Типовой процесс регулирования	
	апериодический	колеб., 20%-е перерегулирование
И-регулятор	$K_p = 1 / (4,5 K_{об} T)$	$K_p = 1 / (1,7 K_{об} T)$
П-регулятор	$K_p = 0,3 / (K_{об} \tau_{II} / T)$	$K_p = 0,7 / (K_{об} \tau_{II} / T)$
ПИ-регулятор	$K_p = 0,6 / (K_{об} \tau_{II} / T)$ $T_i = 0,6 T$	$K_p = 0,7 / (K_{об} \tau_{II} / T)$ $T_i = 0,7 T$
ПИД-регулятор	$K_p = 0,95 / (K_{об} \tau_{II} / T)$ $T_i = 2,4 \tau_{II}; T_n = 0,4 \tau_{II}$	$K_p = 1,2 / (K_{об} \tau_{II} / T) T_i = 2 \tau_{II};$ $T_n = 0,4 \tau_{II}$

Примечание: в приведенных формулах K_p – коэффициент передачи регулятора; $K_{об}$ – коэффициент передачи объекта; τ_{II} – полное время запаздывания; T_i – время изодрома; T_n – время предварения.

Таблица 6

Алгоритмы регулирования и параметры настройки

Тип	Алгоритм регулирования	Параметры настройки
Пропорциональный (П)	$y_p = K_p x_p$	Передаточный коэффициент K_p
Интегральный (И)	$y_p = K_p (1/T_u) \int_0^{\tau} x_p d\tau$	Передаточный коэффициент K_p и время изодрома T_i
Пропорционально-интегральный (ПИ)	$y_p = K_p [x_p + (1/T_u) \int_0^{\tau} x_p d\tau]$	Передаточный коэффициент K_p и время изодрома T_i
Пропорционально-дифференциальный (ПД)	$y_p = K_p [x_p \pm T_n d(x_p)/d\tau]$	Передаточный коэффициент K_p и время предварения T_n
Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД)	$y_p = K_p [x_p + (1/T_u) \int_0^{\tau} x_p d\tau \pm T_n d(x_p)/d\tau]$	Передаточный коэффициент K_p , время изодрома T_i и время предварения T_n

Технические средства САР, а также САУ и АСУ ТП функционируют на основе выработки и передачи информации в виде сигналов, поэтому в следующем разделе перед рассмотрением первичных преобразователей и измерительных приборов рассматриваются вопросы информатики и разновидности сигналов.

4.10. Основные понятия информатики и разновидности сигналов

Развитие информационных технологий сыграло и продолжает играть исключительную роль в области автоматизации и управления, поэтому такие понятия как «информация», «передача информации», «сигналы», «виды сигналов» и пр. очень важны для понимания устройства и функционирования всех систем автоматизации и управления. В связи с этим мы сочли необходимым рассмотреть эти вопросы, учитывая, что в прежних пособиях по автоматизации и управлению литейным производством понятиям информатики не было уделено должного внимания.

Очевидно, что базовым понятием информатики является информация. Любая деятельность человека представляет собой процесс сбора и переработки информации, принятия на ее основе решений и их выполнения. С появлением современных средств вычислительной техники информация стала выступать в качестве одного из важнейших ресурсов научно-технического прогресса.

По современным представлениям информация является одной из исходных категорий мироздания наряду с материей и энергией. Эти категории тесно взаимосвязаны между собой. Связи между ними можно усмотреть и в природе и в процессах, порожденных человеком. Пример связи этих категорий в природных явлениях: переход жидкости из твердого состояния в жидкое – здесь есть материальные преобразования, энергетические затраты, а также потеря информации относительно расположения атомов. Есть существенное отличие информации от материи и энергии – информация может возникать и исчезать.

Невозможно ответить на вопрос – какая категория (материя, энергия или информация) важнее для человека. Вместе с тем прогресс человечества неизбежно влечет увеличение общего объема информации, которым оно располагает, причем объем этот растет гораздо быстрее, чем население земного шара и его материальные потребности. Таким образом, можно утверждать, что значимость информации по отношению к двум другим рассмотренным категориям постепенно возрастает.

Информация содержится в человеческой речи, текстах книг, журналов, газет, сообщениях радио и телевидения, показаниях приборов и т.д. Человек воспринимает информацию с помощью органов чувств, хранит и перерабатывает ее с помощью мозга и центральной нервной системы. Передаваемая информация обычно касается каких-то предметов или нас самих и связана с событиями, происходящими в окружающем нас мире.

Понятие «информация» – есть первичное и неопределяемое понятие (как, например «точка» в геометрии, «множество» в математике).

Сам термин «информация» происходит от латинского слова *informatio* – разъяснение, пояснение.

Первоначально смысл слова «информация» трактовался как нечто присущее только человеческому сознанию и общению – знания, сведения, известия. Затем смысл этого слова начал расширяться и обобщаться. Так, с позиций материалистической теории познания одним из всеобщих свойств материи (наряду с движением, развитием, пространством, временем и др.) было признано отражение, заключающееся в способности адекватно отображать одним реальным объектом другие реальные объекты, а сам факт отражения одного объекта в другом и означает присутствие в нем информации об отражаемом объекте. Таким образом, как только состояния одного объекта находятся в соответствии с состояниями другого объекта (например, соответствие между положением стрелки вольтметра и напряжением на его клеммах или соответствие между нашим ощущением и реальностью), это значит, что один объект отражает другой, т. е. содержит информацию о другом.

Высшей, специфической формой отражения является сознание человека.

Особенностью понятия «информация» является его универсальность – оно используется во всех без исключения сферах человеческой деятельности: в философии, естественных и гуманитарных науках, биологии, медицине, психологии человека и животных, социологии, искусстве, технике и экономике и, конечно, в повседневной жизни.

Рассмотрим ряд других понятий, связанных с информацией.

Информация – категория нематериальная, следовательно, она должна быть связана с какой-то материальной основой, без этого она просто не сможет существовать.

Определение: материальный объект или среду, которые служат для представления или передачи информации, будем называть ее материальным носителем (бумага, диск, воздух и т.п.).

При этом хранение информации связано с фиксацией состояния носителя (например, уже напечатанный текст на бумаге), а распространение информации – с процессом, который протекает в носителе (только с нестационарным процессом, характеристики которого меняются). Определение: изменение характеристики носителя, которое используется для представления информации, называется *сигналом*, а значение этой характеристики, отнесенное к некоторой шкале измерений, называется *параметром сигнала*.

Примеры:

Способ передачи	Процесс	Параметры сигнала
Звук	Звуковые волны	Высота и громкость звука
Изображение	Световые волны	Частота и амплитуда световых волн

Одиночный сигнал не может содержать много информации (требуется много сигналов).

Определение: последовательность сигналов называется *сообщением*.

Сообщение, таким образом, служит переносчиком информации, а информация является содержанием сообщения.

Выше уже говорилось о том, что в отличие от материи и энергии информация может создаваться и исчезать.

Определение: изменение с течением времени содержания информации или представляющего его сообщения – это *информационный процесс*.

Основные виды информационных процессов:

- 1) создание новой информации,
- 2) преобразование информации,
- 3) уничтожение информации,
- 4) передача информации.

Понятие «информация» обычно предполагает наличие двух объектов – источника и приемника информации (рис.13). Информация передается от источника к приемнику в материально-энергетической форме в виде сигналов, распространяющихся в определенной среде.

Определение: *источник информации* – это субъект или объект, порождающий информацию и представляющий ее в виде сообщения.

Определение: *получатель информации* – это субъект или объект, принимающий сообщение и способный правильно его интерпретировать.

Итак, информация передается в форме сообщений от некоторого источника информации к получателю посредством системы связи между ними.

Совокупность технических средств, используемых для передачи сообщений от источника к получателю, называется *системой связи*.

Канал связи – совокупность технических устройств, обеспечивающих передачу сигнала от передатчика к приемнику.

Кодирующее устройство предназначено для кодирования информации (преобразования исходного сообщения от источника к виду, удобному для передачи информации).

Декодирующее устройство предназначено для преобразования полученного сообщения в исходное.

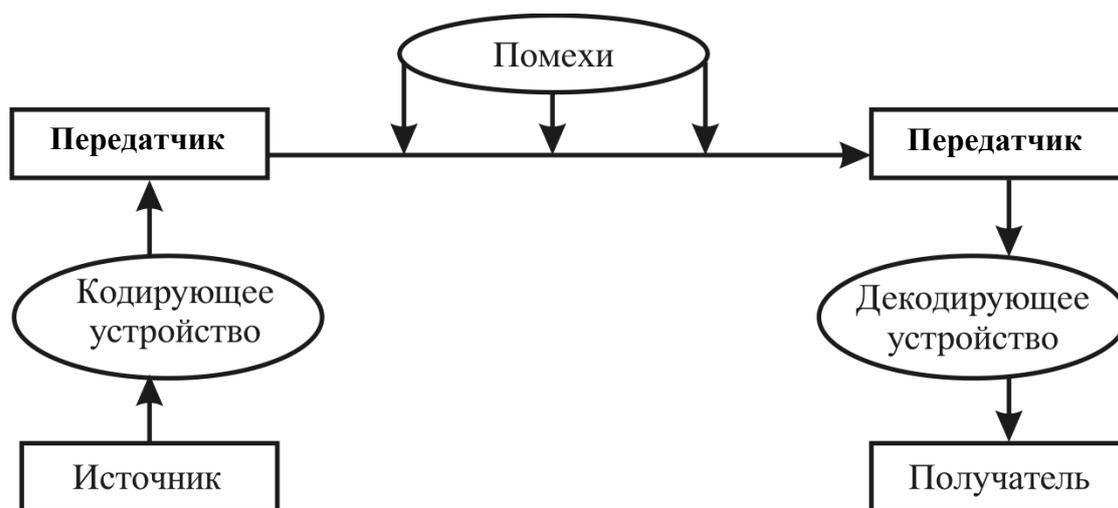


Рис. 13. Структурная схема передачи информации

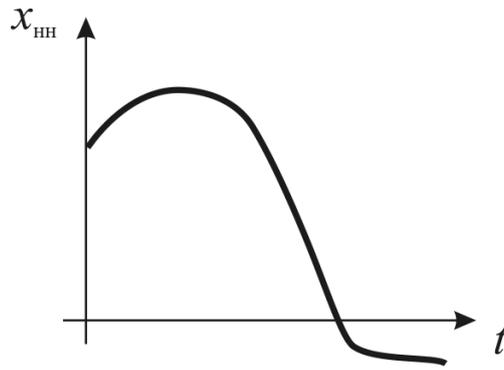
Выше говорилось о том, что передача информации производится с помощью сигналов. Различают два вида сигналов: непрерывный и дискретный.

Определение: сигнал называется *непрерывным* (или аналоговым), если его параметр может принимать любое значение в пределах некоторого интервала (речь, музыка); соответствующая информация – непрерывная.

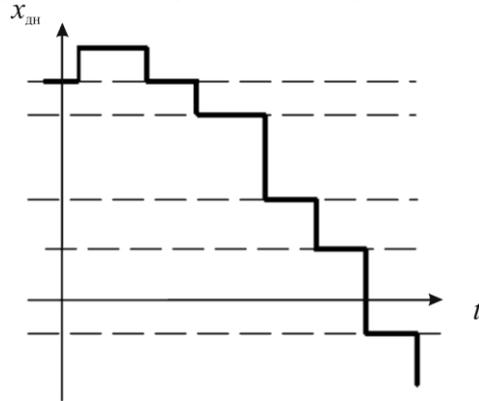
Определение: сигнал называется *дискретным*, если его параметр может принимать конечное число значений в пределах некоторого интервала; соответствующая информация – дискретная.

Следует различать непрерывность или дискретность сигнала **по уровню и во времени** (рис.14).

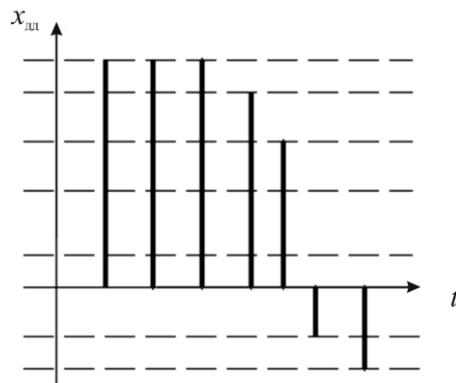
Пример дискретного сообщения – процесс чтения книги, информация в которой представлена текстом, то есть дискретной последовательностью отдельных букв. Примером непрерывной информации служит человеческая речь, передаваемая модулированной звуковой волной; параметром сигнала в этом случае является давление, создаваемое этой волной в точке нахождения приемника – человеческого уха.



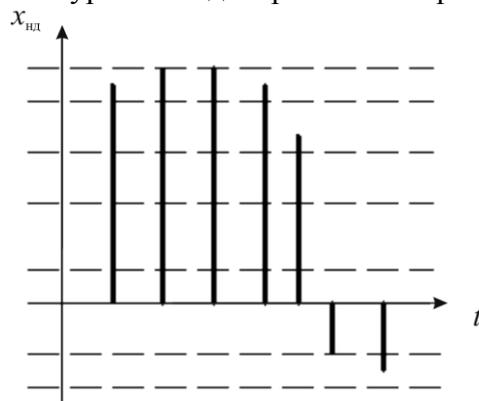
непрерывный по уровню и во времени сигнал x



дискретный по уровню и непрерывный по времени сигнал x



непрерывный по уровню и дискретный по времени сигнал x



дискретный по уровню и во времени сигнал x

Рис. 14. Классификация сигналов

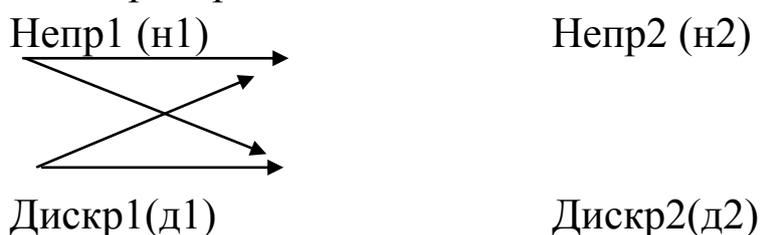
Принципиальное различие: дискретные сигналы можно обозначить, то есть каждому из значений (их конечное множество!) можно приписать некоторый знак.

Определение: знак – это элемент некоторого конечного множества отличных друг от друга сущностей.

Определение: набор знаков, в котором установлен порядок их следования, называется алфавитом. Пример – десятичные цифры от 0 до 9. Ими можно записать любое число в системах от двоичной до десятичной.

Преобразование сообщений

Поскольку имеется два типа преобразований, то возможно четыре варианта преобразований:



Примеры: а) микрофон: звук преобразовывается в электрические сигналы;

б) телекамера: изображение и звук – в электрические сигналы.

При таком преобразовании из-за помех, образуемых самим техническим устройством, всегда происходит потеря информации.

Д1→Д2

Это преобразование связано с переходом при представлении сигналов к другому алфавиту. Эта операция называется перекодировка: шифровка текста, «пляшущие человечки», русские слова английскими буквами и т.п.

Н→Д

С математической точки зрения переход от аналоговой формы сигнала к дискретной означает замену описывающей его непрерывной функции $Z(t)$ на некотором временном интервале $[t_1, t_2]$ конечным множеством $\{z_i, t_i\}$, $i=0, \dots, n$, где n – количество точек разбиения временного интервала.

Это преобразование называется *дискретизацией* непрерывного сигнала (рис.15) и осуществляется посредством следующих процедур:

а) развертки по времени;

б) квантования по величине.

Развертка по времени осуществляется за счет того, что наблюдение за $Z(t)$ проводится не непрерывно, а только в определенные моменты времени с интервалом:

$$\Delta t = \frac{t_n - t_0}{n}$$

Квантование по величине – это отображение значения $Z(t)$ в конечное множество чисел, кратных так называемому шагу квантования ΔZ .

Практически совместное выполнение этих операций равносильно:

1) нанесению масштабной сетки на график $Z(t)$ в соответствии с величинами Δt и ΔZ ;

2) выбору в качестве пар значений $\{z_i, t_i\}$ узлов сетки, расположенных наиболее близко к $z(t_i)$. Полученное множество называется дискретным представлением исходной непрерывной функции.

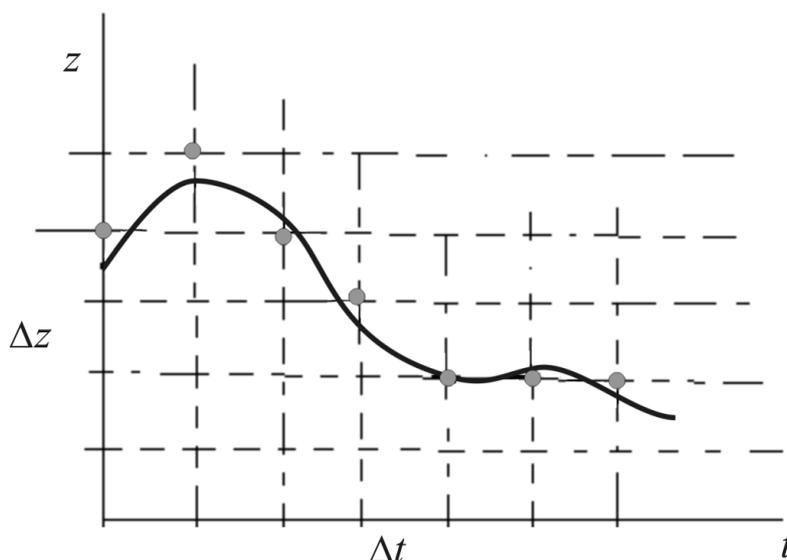


Рис. 15. Схема дискретизации непрерывного сигнала

Очевидно, что чем меньше n , тем меньше узлов, но и меньше точность (т.е. может происходить потеря информации). Кажется бы, что увеличивая n можно неограниченно повысить точность, но полностью избежать потерь это все-таки не позволит, так как n – конечная величина. Как же избежать потерь инфор-

мации? Ответом на этот вопрос является следующая теорема, которую мы примем без доказательств:

Теорема отсчетов: (Котельникова, 1933) Непрерывный сигнал можно полностью отобразить и точно воссоздать по последовательности измерений или отсчетов величины этого сигнала через одинаковые интервалы времени, меньшие или равные половине периода максимальной частоты, имеющейся в сигнале.

Замечание: Это для таких линий связи, где имеются только колебательные или волновые процессы. Но поскольку работа большинства практических устройств основана именно на этих процессах, то это не является ограничением.

Таким образом, с выбором Δt все ясно. А как выбирают шаг квантования? ΔZ определяется чувствительностью приемного устройства. Например, если глаз человека способен воспринимать 16 миллионов цветов, то при квантовании просто нет смысла делать большее число градаций.

Д→Н

Теорема отсчетов дает ответ и на вопрос о возможности проведения такого преобразования без потери информации. Более подробно мы не будем на нем останавливаться.

ВЫВОД: во всех видах преобразования сообщений, где имеются Д-сообщения, возможно преобразование без потери информации.

Другие достоинства дискретной формы информации:

- 1) высокая помехоустойчивость;
- 2) простота и надежность устройств по обработке информации;
- 3) точность обработки информации;
- 4) универсальность устройств.

Последнее свойство является следствием того обстоятельства, что любые дискретные сообщения, составленные в совершенно различных алфавитах, можно привести к некоторому единому алфавиту, который принять за БАЗОВЫЙ (за счет $D \rightarrow D$). Далее можно в этом базовом алфавите представлять всю дискретную информацию. Следовательно, устройство, работающее с информацией в этом базовом алфавите, универсально, так как может быть использовано для любой дискретной информации. Такой базовый алфавит – двоичный, а устройство – компьютер.

Глобальный ВЫВОД: Везде далее можем говорить только о дискретной информации, а для ее представления использовать фиксированный алфавит. При этом не надо рассматривать ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ передачи и представления, то есть характер процессов и виды сигналов. Полученные результаты будут справедливы для любой дискретной информации независимо от реализации сообщения, с которым она связана. С этого момента и начинается наука ИНФОРМАТИКА.

Подводя итог относительно понятия ИНФОРМАЦИЯ, можно сказать, что информацию нельзя считать лишь техническим термином, т.к. это фундаментальная философская категория, которой присущи такие свойства как запоминаемость, передаваемость, преобразуемость, воспроизводимость, стираемость. Можно дать следующее определение:

Информация – специфический атрибут реального мира, представляющий собой его объективное отражение в виде совокупности сигналов и проявляющийся при взаимодействии с «приемником» информации, позволяющим выделять, регистрировать эти сигналы из окружающего мира и по тому или иному критерию их идентифицировать. Таким образом:

1) информация объективна, так как это свойства материи – отражение;

2) информация проявляется в виде сигналов и лишь при взаимодействии объектов;

3) одна и та же информация различными получателями может быть интерпретирована по-разному.

Информация имеет определенные функции и этапы обращения в обществе. Основными из них являются:

1) **познавательная**, цель которой – получение новой информации. Функция реализуется в основном через такие этапы обращения информации, как:

- ее синтез (производство),
- представление,
- хранение (передача во времени),
- восприятие (потребление);

2) **коммуникативная** – функция общения людей, реализуемая через такие этапы обращения информации, как:

- передача (в пространстве),
- распределение;

3) **управленческая**, цель которой – формирование целесообразного поведения управляемой системы, получающей информацию. Эта функция информации неразрывно связана с познавательной и коммуникативной и реализуется через все основные этапы обращения, включая обработку.

Без информации не может существовать жизнь в любой форме и не могут функционировать созданные человеком любые информационные системы. Без нее биологические и технические системы представляют груды химических элементов. Общение, коммуникации, обмен информацией присущи всем живым существам, но в особой степени – человеку. Будучи аккумулированной и обработанной с определенных позиций, информация дает новые сведения, приводит к новому знанию. Получение информации из окружающего мира, ее анализ и генерирование составляют одну из основных функций человека, отличающую его от остального живого мира.

4.11. Первичные преобразователи (датчики) и измерительные приборы

Первичным преобразователем (датчиком) называют элемент, который первым воспринимает контролируемый параметр и устанавливается непосредственно на технологическом оборудовании. Он преобразует измеряемые физические величины в

сигналы, удобные для дальнейшей передачи в измерительные или управляющие устройства. К числу основных признаков, позволяющих классифицировать первичные преобразователи, относятся принцип действия и вид входного и выходного сигналов (рис. 16).

По принципу действия они подразделяются на параметрические (преобразуют контролируемую величину в один из параметров электрической цепи – сопротивление, индуктивность, ёмкость) и генераторные (непосредственно преобразуют неэлектрическую энергию входного сигнала в электрическую энергию, значение которой пропорционально значению контролируемого параметра).



Рис. 16. Классификация первичных преобразователей (датчиков)

Между параметрическими и генераторными датчиками имеется и другое различие:

- параметрические датчики обязательно используют энергию внешнего источника электрической энергии;
- генераторные датчики не нуждаются в подводе внешней электроэнергии (работают автономно).

Примеры параметрических датчиков: потенциометрические, индуктивные, ёмкостные, тензометрические. К генераторным

датчикам относятся термоэлектрические (термопары), фотоэлектрические, пьезоэлектрические, тахометрические и др.

По виду входного сигнала датчики делятся на следующие группы: температуры, давления, разрежения, расхода, уровня, состава и влажности веществ, плотности, перемещения, скорости, ускорения и т.д.

По виду выходного сигнала первичные преобразователи подразделяют на несколько групп: одна группа преобразует контролируемую величину в изменение активного сопротивления, другая – в изменение ёмкости, третья – в изменение индуктивности и т.д.

По виду выходного сигнала различают датчики:

– с непрерывным (аналоговым) выходным сигналом (непрерывное изменение входного сигнала и непрерывное изменение выходного сигнала), пример – термопары;

– с дискретным выходным сигналом (непрерывное изменение входного сигнала и дискретное изменение выходного сигнала);

– с релейным выходным сигналом (частный случай предыдущего варианта, при котором на выходе возможны только два значения – да или нет; 0 и 1), примеры – конечный выключатель, реле давления, реле скорости и др.;

– с цифровым выходным сигналом.

Метрологические характеристики датчиков:

1) статическая характеристика – изменение зависимости выходной величины от входной, т.е. $y=f(x)$;

2) чувствительность – отношение приращения выходной величины к приращению входной величины, т.е. $S=dy/dx$;

3) порог чувствительности – наименьшее значение входной величины, которое вызывает появление сигнала на выходе (зона, в пределах которой при наличии входного сигнала на выходе датчика сигнал отсутствует, называется зоной нечувствительности);

4) инерционность – время, в течение которого выходная величина принимает значение, соответствующее входной величине (это время переходного процесса или постоянная времени).

Функционирование датчиков связано с измерениями и измерительными приборами. Измерение физической величины заключается в её сравнении с соответствующей единицей измере-

ния. Измерение – нахождение значения физической величины опытным путём с помощью специальных технических средств. При измерении происходит преобразование измеряемой величины в сигнал (см. выше), удобный для наблюдения или для дальнейшего преобразования в системе управления. Измерение осуществляется измерительной цепью, которая является совокупностью технических средств, с помощью которых выполняется процесс измерения (рис. 17).

На выходе измерительной цепи могут быть:

- измерительный прибор (ИП) – измерительный преобразователь, выходной сигнал которого предназначен для наблюдения;
- регулятор САР;
- управляющая вычислительная машина (УВМ), в частном случае – программируемый контроллер.

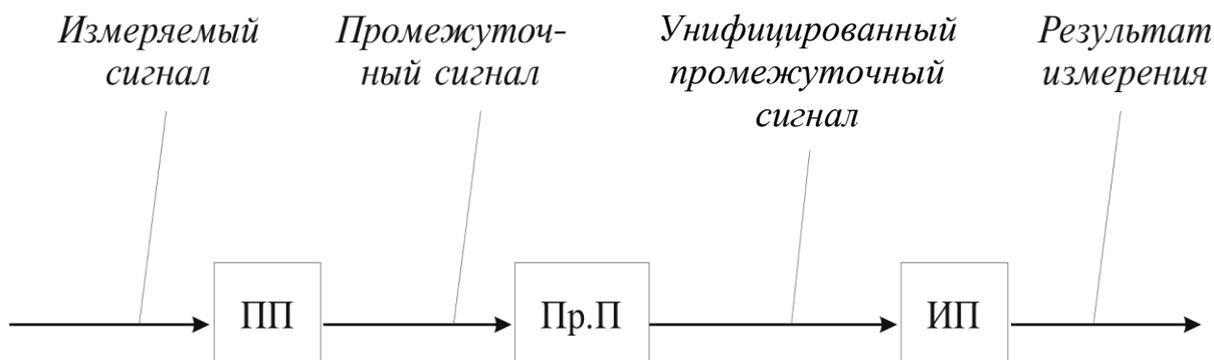


Рис. 17. Схема измерительной цепи: ПП – первичный преобразователь; Пр.П – промежуточный измерительный преобразователь; ИП – измерительный прибор

Промежуточные преобразователи используются для усиления сигнала, его размножения и т.д.; они вырабатывают унифицированный промежуточный сигнал. По Государственной системе приборов (ГСП) предусматривается строго ограниченное количество видов сигнала, названных унифицированными, что существенно сокращает номенклатуру измерительных приборов. Наиболее распространены электрические или пневматические выходные сигналы, т.к. они удобны для дистанционной передачи (табл.7). При выборе вида унифицированного промежуточно-

го сигнала руководствуются длиной канала связи. При длине канала до 300м можно применять любой вид сигнала, а до 10 км – постоянный ток или частотный сигнал. Преимуществом пневматического сигнала является пожаро- и взрывобезопасность. Для большой длины канала связи (больше 10 км) наилучший – кодированный дискретный сигнал, который является наиболее помехоустойчивым.

Дискретные цифровые сигналы по сравнению с аналоговыми более устойчивы к помехам и ослаблению сигналов при их передаче в регулирующее устройство, а также к ошибкам операторов.

В состав устройства датчика входят чувствительный элемент (основная часть) и вспомогательные элементы (средства защиты и крепления).

Таблица 7

Разновидности унифицированных сигналов

Ветвь ГСП	Унифицированный сигнал	Пределы изменения
1. Электрическая		
а) аналоговая	Постоянный ток	0–5;0–20мА
	Напряжение постоянного тока	0–10;0–100мВ
	Напряжение переменного тока	1–0–1;0–2В
	Взаимная индуктивность	0–10;10–0–10мГн
	Частота	4–8кГц
б) дискретная	Код	По ГОСТ
2. Пневматическая	Давление сжатого воздуха	20кПа–0,1МПа

Измерительные приборы классифицируются по разным признакам:

- по точности – технические, лабораторные и образцовые;
- по виду выходного сигнала – компарирующие (приборы сравнения), показывающие, самопишущие, интегрирующие, регулирующие.

Измерения бывают двух типов – прямые и косвенные. Косвенные методы измерений часто используются в случаях невозможности прямой оценки физической величины. При этом вместо подлежащей измерению величины используют другой показатель (косвенный), связанный определённой зависимостью с прямой величиной (примеры: изменение электросопротивления

проводника – косвенный показатель температуры; деформация упругого элемента датчика – косвенный показатель давления). Желательно выбрать косвенный показатель, мало зависящий от возмущающих воздействий.

Системы автоматического контроля и сигнализации являются дальнейшим этапом развития измерительных устройств и представляют собой системы централизованного контроля, с помощью которых можно осуществлять быстросредействующий опрос состояния контролируемых величин, производить простейшую обработку и регистрацию получаемой информации. Система автоматического контроля (рис.18,*а*) представляет собой совокупность элементов, последовательно воздействующих друг на друга. Изменение контролируемого параметра в объекте контроля *1* воспринимается измерительным элементом (первичным преобразователем *2*), который преобразует поступившую на его вход какую-либо физическую величину *A* в сигнал *X*, способный воздействовать на исполнительный элемент *3*. Результат действия *Y* исполнительного элемента подаётся на воспроизводящий элемент *4*, который записывает или показывает текущее значение контролируемого параметра.

В зависимости от функции воспроизводящего элемента системы автоматического контроля подразделяются на варианты: измерения, сигнализации и сортировки (контроля готовой продукции).

По структуре автоматические системы измерения делят на:

– системы с разомкнутой структурой (небалансные) (*а*). Они основаны на непосредственном измерении выходного сигнала первичного преобразователя с одним направлением преобразований от входа системы к выходу;

– системы с замкнутой структурой (балансные) (*б*), включающие наряду с прямой цепью обратную связь. С этой целью в систему дополнительно введены элементы сравнения *5* и усиления *6*, а также балансирующий элемент *7*. Системы этого типа подразделяются на системы непрерывного балансирования и системы периодического балансирования.

По виду выходного сигнала измерительные системы подразделяются на аналоговые (стрелочные) и цифровые (последние получили наибольшее применение).

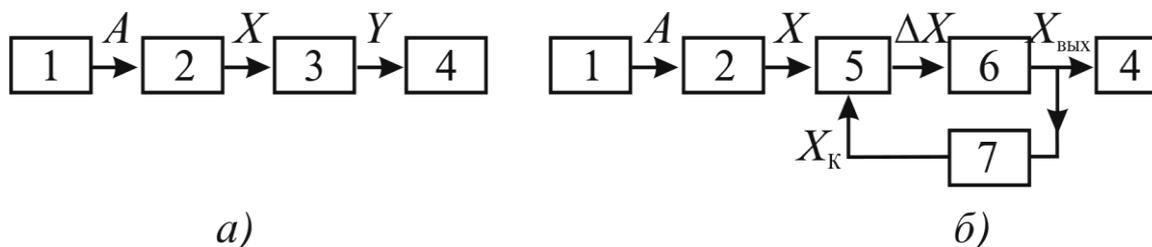


Рис. 18. Схема системы автоматического контроля:
а – небалансной; б – балансной

4.12. Усилители и стабилизаторы

Выходные сигналы первичных преобразователей обладают обычно небольшой мощностью, не могут быть непосредственно измерены и неспособны привести в действие исполнительный механизм. Поэтому сигнал усиливают до значения, пригодного для измерения либо для приведения в действие исполнительного механизма.

Усилитель – устройство, усиливающее сигналы датчиков. В некоторых случаях усилитель параллельно производит качественное преобразование сигнала. По виду преобразований сигналов усилители делятся на четыре группы (рис.19).

К усилителям групп верхнего ряда последовательно относятся:

- 1 – рычажные устройства, механические регуляторы, механические и гидравлические муфты;
- 2 – электромеханические реле, электромашинные, магнитные и электронные устройства;
- 3 – вентили, золотники, дроссельные заслонки;
- 4 – переменный резистор, автотрансформатор, контактные реле.

Из усилителей нижнего ряда наибольшее применение получили электрические усилители.

Основные характеристики усилителей: выходная мощность (определяется потребной мощностью исполнительного механизма), коэффициент усиления (по напряжению, току и мощно-

сти) и форма статической характеристики (относится к установившемуся режиму и может быть линейной, что предпочтительно, либо нелинейной).



Рис. 19. Классификация усилителей

Стабилизаторы-элементы, обеспечивающие поддержание какого-либо параметра энергетической цепи (давления, напряжения и др.) на постоянном уровне. Качество стабилизации параметров (напряжения и др.) характеризуют коэффициентом стабилизации, определяемым как отношение относительного изменения воздействующего фактора к относительному изменению выходного параметра.

Различают два метода стабилизации – параметрический (элементы с нелинейными статическими характеристиками) и компенсационный (на основе замкнутых систем регулирования).

4.13. Задающие устройства

Задающие устройства (ЗУ) предназначены для задания требуемого значения регулируемого (управляемого) параметра и делятся на ЗУ непрерывного действия (имеют недостатки: ограниченное быстродействие, невозможность изменения программы без выключения регулятора, невысокая точность задания программы) и ЗУ дискретного действия, не имеющие отмеченных недостатков (более широко распространённые). По виду вырабатываемых сигналов они подразделяются на аналоговые (непрерывные либо дискретные) и цифровые (только дискретные). По роду энергии вырабатываемых сигналов ЗУ бывают электрические, пневматические, гидравлические и механические. ЗУ обычно включают привод, носитель программы и элемент настройки.

4.14. Вспомогательные элементы

К вспомогательным элементам относятся:

- переключающие устройства,
- элементы защиты,
- резисторы,
- конденсаторы,
- аппаратура сигнализации.

К *переключающим устройствам* относятся электрические реле, реле времени, контактные аппараты управления, бесконтактные устройства управления.

Электрические реле – коммутационные устройства, скачкообразно меняющие своё состояние при воздействии каких-либо внешних факторов. Они классифицируются по виду физических величин, на которые реагируют реле (электрические, механические, магнитные, тепловые, оптические и др.). Реле включает пять основных элементов: воспринимающий, преобразующий, сравнивающий, исполнительный и регулирующий. Электрические реле различают по типу контактов: замыкающие, размыкающие и переключающие. Характеристики реле: статическая ха-

рактика управления, время срабатывания и возврата, срок службы. По назначению реле делят на реле защиты (прямые и косвенные), управления, автоматики, связи и пр. По принципу работы реле бывают электромеханические (электромагнитные, магнитоэлектрические, электродинамические, индукционные), статические (ферромагнитные, электровакуумные, в т.ч. фотореле; ионные и полупроводниковые) и электротепловые. В литейном производстве часто применяют электротепловые реле (с биметаллическим элементом), фотореле (для включения исполнительных механизмов систем автоматизации формовочных машин и выбивных устройств) и др.

Реле времени – элементы автоматики, предназначенные для получения заданной выдержки времени при включении-выключении цепей управления. Различают механические; электромеханические; электрические; резисторные (для малых выдержек времени); электромагнитные; электродвигательные и электронные (для длительной выдержки времени); тепловые; пневматические и др. реле времени.

Контактные аппараты управления дискретного действия устройства для коммутации силовых цепей и цепей управления. В литейных цехах наибольшее применение получили электромеханические аппараты управления:

– ручного управления – кнопки управления, кнопочные станции, рубильники, пакетные и универсальные переключатели, путевые выключатели нажимного или рычажного типов, микропереключатели;

– автоматического управления – шаговые искатели, командоаппараты, контакторы, магнитные пускатели и др. Перечисленные аппараты дискретного действия имеют недостатки (недолговечность, ненадёжность).

Бесконтактные устройства (транзисторные и магнитные логические элементы, схемы с тиристорами и др.) – отличаются более высокой надёжностью и быстродействием, обычно не имеют подвижных частей. Они более чувствительны к внешним электрическим помехам и воздействию температуры, что устраняется правильным построением схем устройств. Могут обеспечивать дискретные действия (включено-выключено). Бескон-

тактные устройства на основе логических элементов выполняют ряд логических функций: И, ИЛИ, НЕ, ПАМЯТЬ, ПОВТОРИТЕЛЬ, ВРЕМЯ, ЗАДЕРЖКА. Схемы с тиристорами применяют в системах автоматики для:

- бесконтактной коммутации цепей переменного тока,
- преобразования постоянного тока в переменный (инверторы и преобразователи частоты),
- получения различных режимов работы электроприводов.

Информация по другим вспомогательным устройствам (элементы защиты, резисторы, конденсаторы, аппаратура сигнализации) содержится в пособии А.Г. Староверова и др. (см. библиографический список) и здесь не приводится.

4.15. Исполнительные элементы

Исполнительное устройство (ИУ) является промежуточным преобразователем, состоящим из исполнительного механизма (ИМ) и регулирующего органа (РО). Это различные самостоятельные узлы, но иногда они объединяются в единое устройство (пример: мотор-редуктор). ИМ предназначены для воздействия через регулирующий орган на ТООУ. В ИМ входят двигатель и передаточное устройство. Основные параметры ИМ: усилие на выходе механизма, коэффициент усиления по мощности, линейное или угловое перемещение, частота вращения, быстродействие и др.

По типу управляющего воздействия ИМ подразделяются на *силовые* (воздействие на РО в виде силы или момента) и *параметрические* (изменение состояния РО связано с изменением его параметров или параметров подводимой энергии). Примерами силовых ИМ являются электромагниты, электромеханические муфты, двигатели. К параметрическому ИМ можно отнести усилитель автоматического термостата, совмещающий функции усилителя с исполнительным механизмом. По виду потребляемой энергии различают электрические, гидравлические, пневматические и механические ИМ. Наиболее распространены электрические ИМ. По характеру движения выходного вала ИМ де-

ляются на три вида: с линейным, поворотным и вращательным движением.

Регулирующий орган (РО) – устройство, которое непосредственно изменяет *расход энергии или вещества* и непосредственно влияет на регулируемую величину ТООУ. Схема классификации РО представлена на рис. 20.

По принципу регулирующего воздействия на ТООУ различают РО:

- дросселирующие (заслонки, клапаны, краны, шиберы, направляющие аппараты; принцип – переменное гидравлическое сопротивление),
- дозирующие механические (плужковые сбрасыватели, дозаторы, питатели, насосы, компрессоры); принцип-варьирование производительности,
- дозирующие электрические (реостатные, автотрансформаторные).

Дозирующие РО более экономичны, но более широко применяют дросселирующие РО.

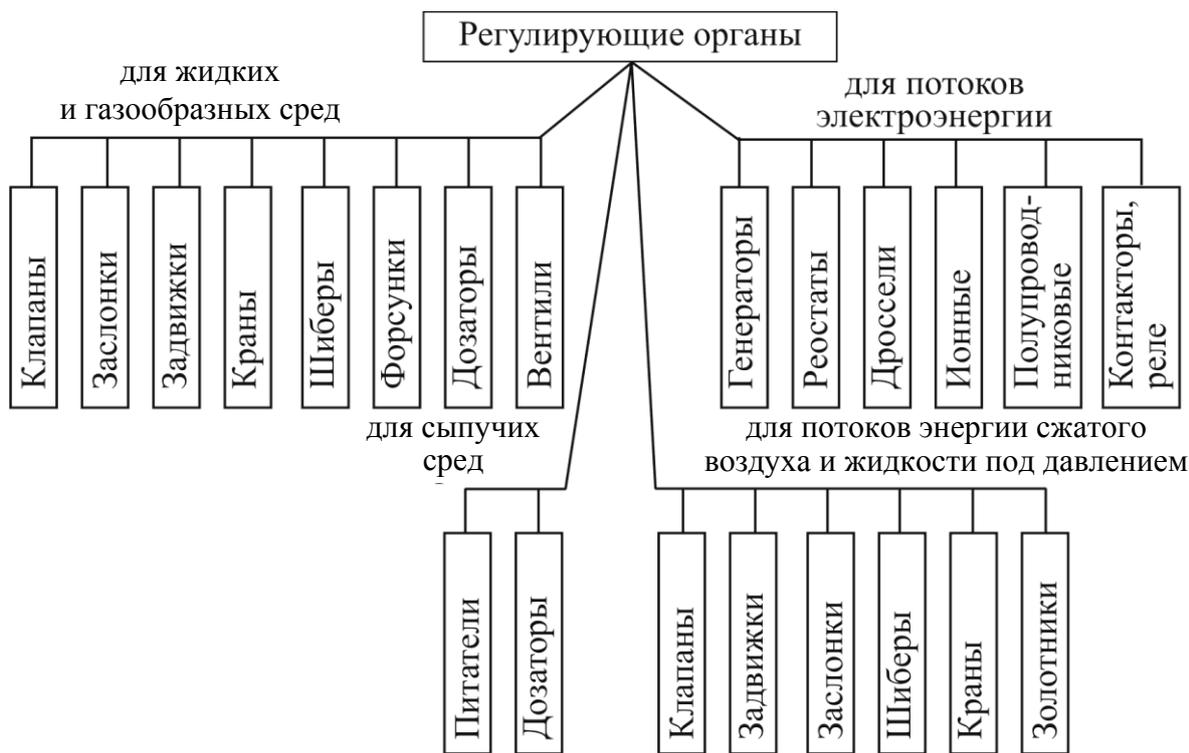


Рис. 20. Классификация регулирующих органов

В практике работы литейных цехов получили широкое применение следующие РО: заслонки на трубопроводах; клапаны

(двух- и трёхходовые, золотниковые, диафрагмовые и шланговые); краны (с пробкой в виде усечённого конуса); шиберы для дымоходов плавильных печей; плужковые сбрасыватели для регулирования уровня формовочных материалов в бункерах бегунов, формовочных и стержневых машин; дозаторы (непрерывного действия) для сыпучих и порошковых материалов.

4.16. Роботы и манипуляторы

Автоматизация производственных операций, связанных со сложными пространственными перемещениями объектов, базируется на использовании специальных устройств – промышленных роботов и манипуляторов. Их появление по существу является продуктом развития исполнительных механизмов и систем управления ими в направлении комплексной автоматизации оборудования и технологических процессов.

Робот – это автомат с внешней обратной связью, состоящий из чувствительного элемента, преобразователя информации, запоминающего устройства, манипулятора (исполнительного элемента) и каналов связи, соединяющих эти элементы. Различают человекоподобные, информационные и промышленные роботы.

По назначению промышленные роботы (ПР) можно разделить на производственные (для осуществления основных технологических процессов) и транспортные (для межоперационной передачи заготовок и пр.).

По типу силового привода различают электромеханические, пневматические, гидравлические и комбинированные роботы.

По характеру отработки программы различают роботы:

– жёсткопрограммируемые – роботы первого поколения, они имеют программное устройство управления, выполняют жёстко запрограммированные операции;

– адаптивные – роботы второго поколения, снабжены сенсорной системой, позволяющей функционировать в неполно-

стью определённой и часто меняющейся обстановке с адаптацией к ней, в поисковых режимах с автоматическим наведением;

– интеллектуальные роботы – роботы третьего поколения, имеют искусственное зрение и ряд др. устройств, позволяющих воспринимать и распознавать обстановку, автоматически принимать решение о дальнейших действиях и выполнять их, изменять своё поведение и самообучаться по мере накопления собственного опыта.

Манипулятор – это устройство, предназначенное для имитации двигательных и рабочих рук человека. Объектом манипулирования являются тела, перемещаемые в пространстве манипулятором. По методу управления манипуляторы разделяются на манипуляторы с ручным управлением, автоматические, интерактивные (со смешанным управлением). Из определения робота следует, что манипулятор – составная часть (исполнительный элемент) робота.

Структура промышленных роботов включает две основные системы:

– механическую систему, которая имеет следующие узлы – несущие конструкции, приводы, передаточные механизмы, исполнительные механизмы и захватные устройства;

– систему программного управления, включающую устройства ввода и вывода управляющей программы (последовательности простых инструкций, выполненных на формальном языке), её запоминания и хранения.

Достаточно полная классификация промышленных роботов представлена на рис.21 и в табл.8.

Схема робота показана на рис. 22. Современные промышленные роботы и автоматические манипуляторы успешно используются вместо человека в основных процессах производства отливок: от подготовки исходных материалов до операций очистки, грунтовки, окраски и т.п., а также для контроля и испытания, разгрузочно-погрузочных, транспортных и складских работ.

Применительно к литейному производству выделяли 5 направлений роботизации:

1) подготовка шихты: контроль заполнения закроев и бункеров, дозаторов шихты и автоматическая погрузка шихты из закроев в бункера, перемещение партий шихты и других грузов в пределах склада шихты, взятие проб шихты на химический анализ, проведение экспресс-анализа и др.;

2) шихтовка: загрузка бадей, коробов шихтой, взвешивание и передача их к плавильному агрегату, захват и передача бадей и бункеров по программе к группе плавильных агрегатов при наличии автоматизированной линии дозирования шихты, обслуживающей эти агрегаты, периодический контроль за работой механизмов линии шихтовки;

3) плавка: удаление и наведение шлака, взятие проб на химический анализ и оперативное проведение анализа, введение добавок в ванну металла, открытие и закрытие выпускных отверстий вагранок и дуговых электропечей, футеровка плавильных агрегатов и связанное с ней перемещение по необходимым направлениям футеровочных материалов (кирпичей, футеровочной массы, огнеупорных труб, каналов), удаление футеровки печи;

4) заливка: обеспечение бесперебойной подачи жидкого металла от плавильного агрегата к линии заливки, очистка металла от шлака в ковше, дозирование жидкого металла (объемное или весовое), заливаемого в литейную форму, перемешивание и рафинирование металла в ковше, наложение и съём грузов, контроль за заполнением форм, съём залитых чаш после затвердевания металла в литнике;

5) смесеприготовление: обеспечение бесперебойной подачи исходных формовочных материалов к смесителю и от смесителя в формовочное отделение, весовое или объемное дозирование формовочных материалов, отбор проб смеси на проведение физико-химических испытаний.

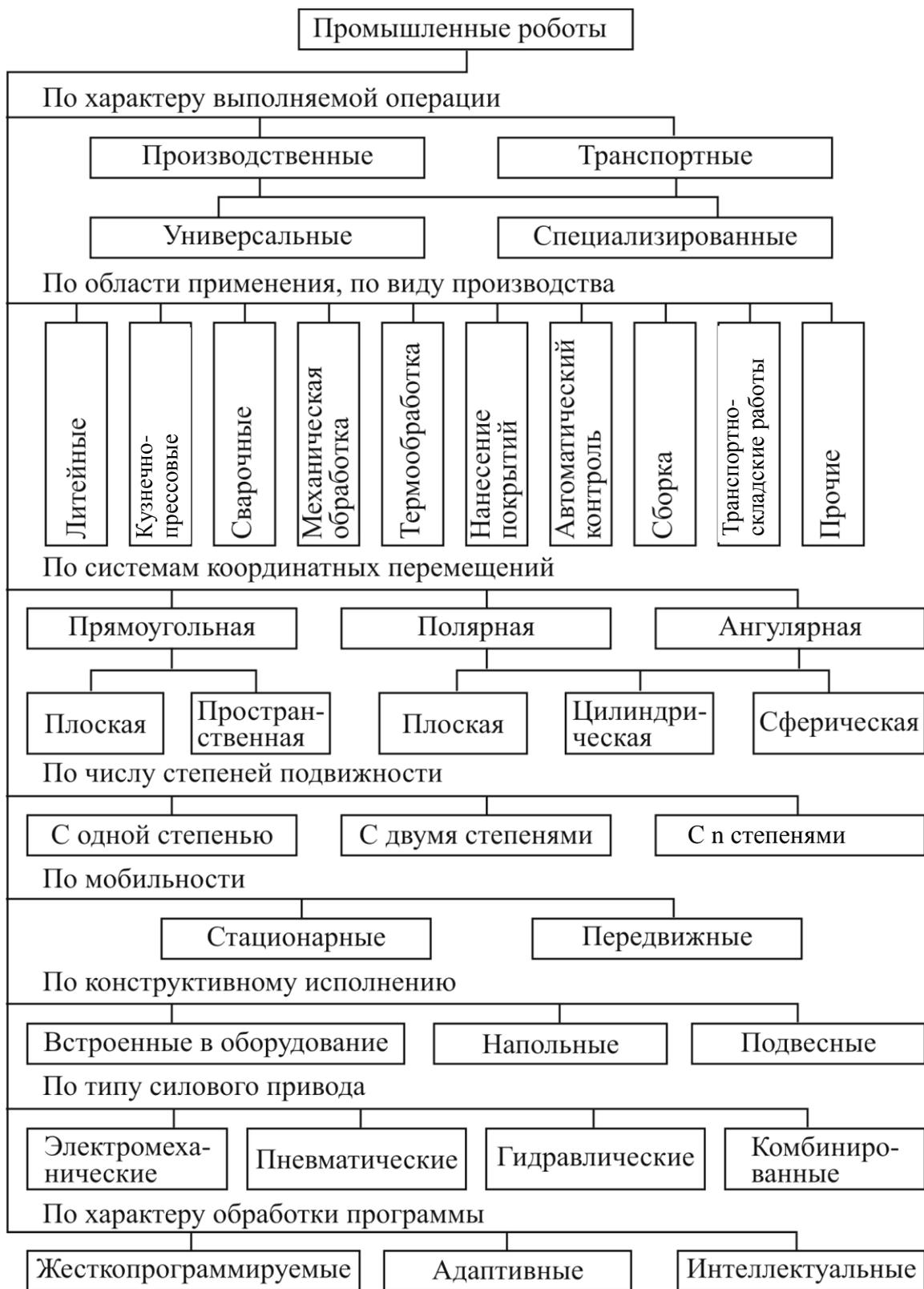


Рис. 21. Схема классификации промышленных роботов

Таблица 8

Классификация промышленных роботов

Классификационный признак	Градация роботов	Отличительные особенности	Характеристика систем управления роботом	Технические возможности роботов	Область применения роботов
Степень конструктивного развития	Роботы первого поколения типа «механическая рука»	Отсутствие технических органов чувств	Цикловые (на конечных выключателях, реле, бесконтактных логических элементах)	Циклическое выполнение определенного комплекса движений (действий) по заданной программе	Простые операции в условиях крупного и массового производства
	Роботы второго поколения типа «глаз – рука»	Наличие технических органов чувств в виде телеглаза, электронных дальномеров, тактильных и других датчиков	То же или с помощью микропроцессорной системы (числовое программное управление*)	То же, но с учетом информации, поступающей от технических органов чувств	Поиск и распознавание объектов (например, отливок), их сортировка, обработка, укладка в тару**
	Роботы третьего поколения типа «глаз – мозг – рука»	То же в сочетании с логическим анализом внешней информации высокого уровня	Управление роботом с помощью ЭВМ, обладающей значительным объемом памяти	То же, но с адаптацией робота к изменяющимся условиям производственной обстановки	Сложные действия вплоть до сборки узлов (например, установки стержней, сборки полуформ) по чертежу
Возможность перемещения в пространстве	Стационарные		В зависимости от принадлежности к определенному поколению	Транспортировка объектов в пределах рабочей зоны робота	
	Подвижные			Расширение рабочей зоны робота	
Назначение	Специализированные	Выполнение операций, характерных для определенного вида производства		–	–
	Универсальные	Выполнение любых технологических операций в пределах технических возможностей робота			

* Использование элементов цифровой вычислительной техники обеспечивает простоту смены программ и эффективное управление при большом количестве движений (80–100).

** Использование промышленных роботов второго и третьего поколений с числовым программным управлением открывает качественно новое направление комплексной автоматизации в условиях мелкосерийного и серийного производства.

Примеры применения промышленных роботов и манипуляторов в литейном производстве:

- роботы и манипуляторы для машин литья под давлением (автоматизация заливки металла способом объёмного дозирования, съём отливок и подача их в пресс для обрубки литников и пр.),
- роботы модульного исполнения для автоматизации ручных операций при литье по выплавляемым моделям,
- роботы для обслуживания процессов дробеструйной очистки,
- роботы для отрезки прибылей и литников от отливок,
- манипуляторы для удаления отливок с выбивных решёток,
- роботизированный технологический комплекс участка кокильного литья. Для съёма и переноса отливок применяют робот, работающий в цилиндрической или сферической системе координат. Робот извлекает отливку из формы и, удерживая её за литник, переносит на установку контроля целостности. После получения сигнала о том, что отливка вышла из формы полностью, робот переносит её для обрезки литника.

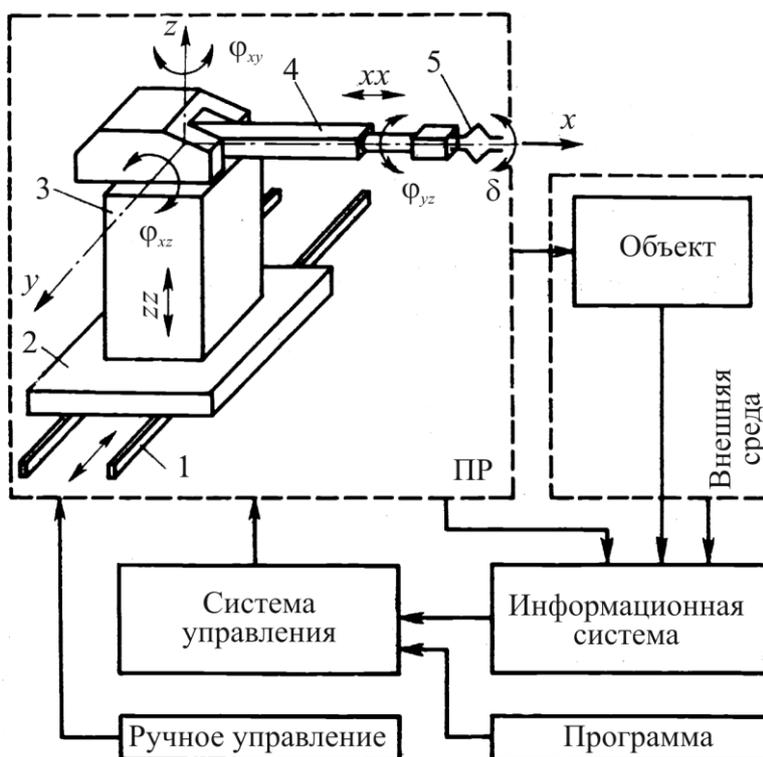


Рис. 22. Структурная схема промышленного робота, основные элементы его конструкции и виды движений рабочих органов: 1 – путепровод; 2 – основание; 3 – корпус; 4 – рука; 5 – захватное устройство; X, Y, Z – система координат основных движений

Общий вид робота американской фирмы показан на рис. 23. Робот имеет систему управления – позиционную с объёмом памяти на 180 команд, программирование производится методом обучения (всего *шесть движений*, основные движения осуществляются от гидроцилиндра, а движение схватывания – от пневмоцилиндра).

Дополнительная информация по манипуляторам и роботам содержится в источниках, указанных в п.2 приложения.

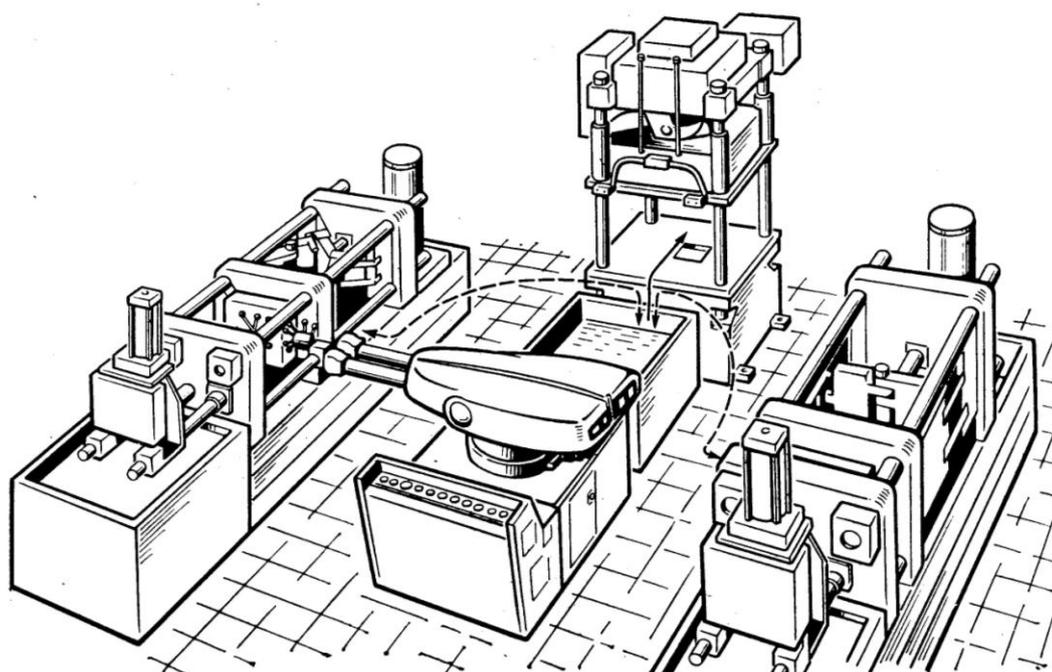


Рис. 23. Литейный участок с роботом фирмы Unimation, обслуживающим две машины литья под давлением

Контрольные вопросы к главе 4

1. Что такое объект регулирования?
2. Чем отличается статический объект от астатического?
3. Что называется нагрузкой и как она влияет на процесс регулирования?
4. Что называется ёмкостью и как она влияет на процесс регулирования?
5. Что называется самовыравниванием и как оно влияет на процесс регулирования?

6. Что такое время запаздывания и как оно влияет на процесс регулирования?
7. Чем отличается ёмкостное запаздывание от транспортного?
8. Как связаны чувствительность к возмущению и ёмкость?
9. Какие кривые называют кривыми разгона и как они строятся?
10. Что характеризуют время разгона и постоянная времени объекта?
11. Как определить постоянную времени объекта?
12. Какие физические величины являются входными для объекта и регулятора?
13. Что называется возмущением?
14. В чём заключается принцип программного регулирования?
15. По каким признакам можно классифицировать регуляторы?
16. Назовите разновидности регуляторов прерывистого действия.
17. Перечислите типы регуляторов непрерывного действия.
18. Что такое закон регулирования?
19. Каковы достоинства и недостатки пропорциональных и интегральных регуляторов?
20. Как работают ПИ- и ПИД-регуляторы?
21. Назовите и охарактеризуйте показатели качества регулирования.
22. Изложите общие рекомендации по выбору регуляторов различных типов.
23. Какие параметры настройки используются для регуляторов непрерывного действия?
24. Чем отличается промышленный манипулятор от промышленного робота?
25. Из каких функциональных элементов состоит промышленный робот?
26. Приведите примеры использования промышленных роботов в литейном производстве.

5. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

5.1. Основные признаки САУ

Возникновение САУ М.Ю. Рачков связывает с вторым этапом автоматизации, особенностью которого явилась автоматизация технологических процессов. С помощью САУ возникла возможность реализации не только регулирования, но и законов управления, решения задач оптимального и адаптивного управления, проведения идентификации объекта и состояний системы. Характерной особенностью этого этапа явилось внедрение систем телемеханики в управлении технологическими процессами. При этом человек всё больше отдалялся от объекта управления, между объектом и диспетчером выстраивался целый ряд измерительных систем, исполнительных механизмов, средств телемеханики и других *средств отображения информации (СОИ)*.

В соответствии с определением САУ по А.Г. Староверову можно в первом приближении принять, что $САУ = АУУ + ТОУ + АУ + СОИ$. С учётом трактовки М.Ю.Рачкова это определение нужно дополнить средством отображения информации, поэтому примем, что $САУ = АУУ + ТОУ + АУ + СОИ$. Дополнительным отличием САУ от САР является то, что САУ являются расширенной (рассредоточенной) системой (группа параметров вместо одного параметра).

В САУ управление осуществляется с использованием таких технических средств, как командные порядково-временные устройства, бесконтактные логические элементы, автоматические регуляторы, приводы литейных машин и автоматических линий, промышленные роботы и манипуляторы, микропроцессорные управляющие устройства (программируемые контроллеры). Таким образом, в отличие от АСУ ТП, включающей управляющие ЭВМ, в САУ используются более простые автоматические управляющие устройства, из которых наиболее совершенными являются контроллеры. В САУ управление осуществляется только по жёсткому алгоритму и без непосредственного участия человека.

5.2. Классификация САУ

САУ классифицируют по методу управления и функциональному признаку (рис. 24).

По методу управления и виду структуры все системы делятся на два больших класса: обыкновенные (несамоадаптирующиеся) и самоадаптирующиеся (адаптивные). Обыкновенные системы, относящиеся к категории простых, не изменяют своей структуры в процессе управления (рис. 25). Они наиболее разработаны и широко применяются в литейных цехах. Обыкновенные САУ подразделяют на три подкласса: разомкнутые, замкнутые и комбинированные (разомкнутые плюс замкнутые) (рис. 26).

Разомкнутые САУ в свою очередь делят на системы автоматического жёсткого управления (САЖУ) и системы управления по возмущению. У САЖУ регулятор P (рис.26,а) воздействует на объект управления ОУ независимо от полученного результата, т.е. значения регулируемой величины $X(\tau)$ и внешнего возмущения $Z(\tau)$. Системы управления по возмущению (рис.26,б) работают по принципу, когда управляющее воздействие $Y(\tau)$ вырабатывается в зависимости от внешнего возмущения $Z(\tau)$, оказывающего влияние на ОУ. В качестве примера можно отметить систему отопления литейного цеха. В этом случае расход горячей воды в теплотрассе цеха зависит от внешних погодных условий. Чем ниже температура окружающей среды, тем больше подаётся горячей воды в батареи отопления и наоборот.

Замкнутые САУ, работающие по принципу отклонения, являются системами автоматического регулирования (САР). Их отличительной чертой является наличие замкнутого контура прохождения сигналов, т.е. наличие *обратного канала*, по которому информация о состоянии регулируемой величины $X(\tau)$ передаётся на вход элемента сравнения ЭС (рис.25 и 26,в). Отмеченное позволяет уточнить приведенное выше понятие САР. В конечном счёте можно рассматривать САР как локальную систему регулирования одного параметра на отдельной установке без непосредственного участия человека, представляющую собой замкнутую САУ, работающую по принципу отклонения и с использованием обратного канала связи. Особенностью авто-

матических замкнутых систем, в которых используется принцип управления по отклонению, является наличие обратной связи (рис.26,в,г). Принцип действия обратной связи удобно рассмотреть на примере системы управления температурой нагревательной печи. Чтобы поддерживать температуру в заданных пределах, поступающее на ОУ управляющее воздействие, т.е. напряжение, подводимое к нагревательным элементам, формируется с учётом значения температуры. При помощи первичного преобразователя температуры выход системы соединяется с её входом. Такое соединение, т.е. канал, информация по которому передаётся в обратном направлении, в отличие от управляющего воздействия называют обратной связью.

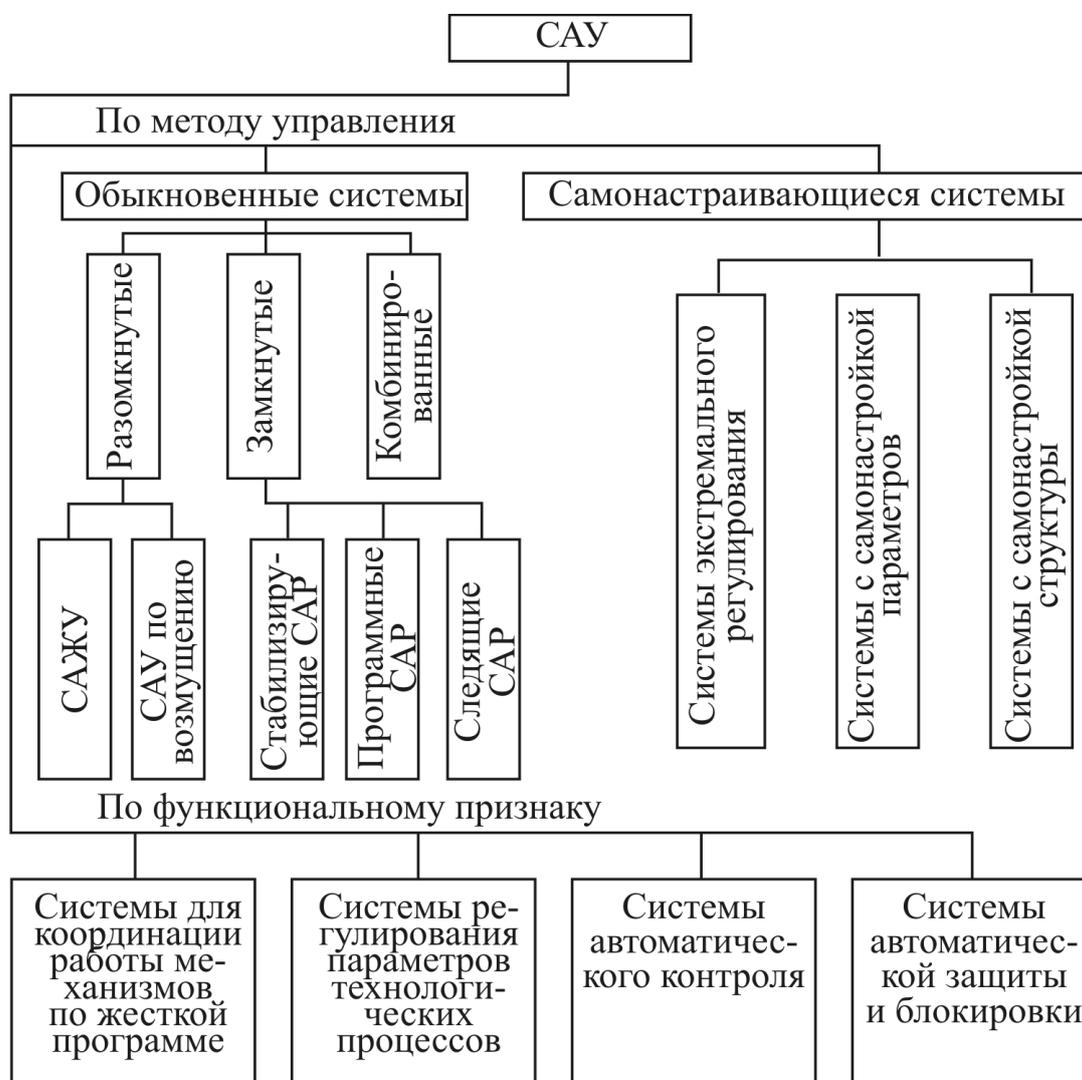


Рис. 24. Классификация систем автоматического управления (САУ)

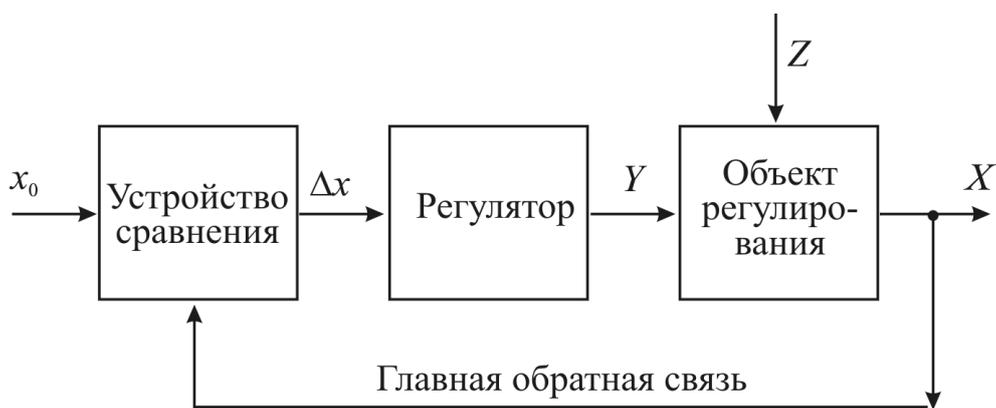


Рис. 25. Схема обыкновенной системы автоматического управления

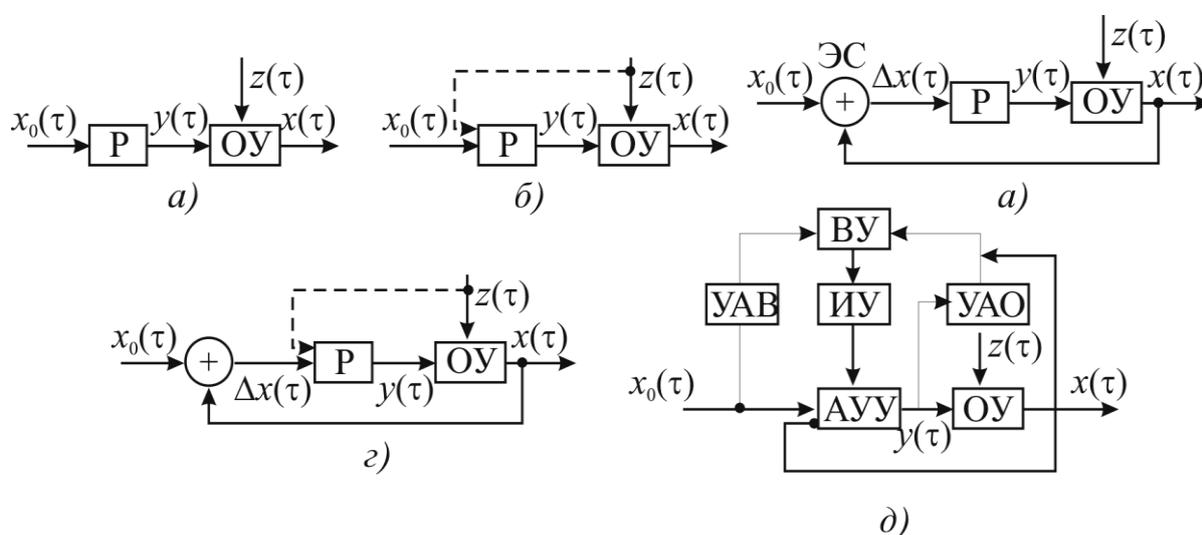


Рис. 26. Схемы САУ: а – разомкнутая; б – разомкнутая по отклонению и замкнутая по возмущению; в – замкнутая по отклонению и разомкнутая по возмущению; г – комбинированная (замкнутая по отклонению и возмущению); д – самонастраивающаяся;
 P – регулятор; ОУ – объект управления; ЭС – элемент сравнения;
 УАВ – устройство анализа задающего воздействия;
 ВУ – вычислительное устройство; ИУ – исполнительное устройство;
 АУУ – автоматическое управляющее устройство;
 УАО – устройство анализа объекта управления

Обратная связь классифицируется по трём признакам: положительная или отрицательная; жёсткая или гибкая; главная или дополнительная. На вопросе об обратной связи следует остановиться подробнее. Обратная связь делится на главную и дополнительную.

Главная обратная связь соединяет выход системы управления с её входом, т.е. связывает управляемую величину с задающим устройством. Остальные обратные связи считают дополнительными. В отличие от главной обратной связи, которая связывает регулируемую величину с задающим устройством, дополнительные обратные связи передают воздействия с выхода какого-либо звена САУ на вход любого предыдущего звена. Они используются для улучшения свойств и характеристик отдельных элементов. Для улучшения характера переходных процессов в САУ и САР могут вводиться стабилизирующие элементы (дополнительная обратная связь). Введение этих элементов обусловлено тем, что регулируемая величина обычно не сразу достигает заданного значения, и (если не принимать специальных мер) регулирование затягивается, сопровождаясь колебаниями регулируемой величины относительно заданного значения.

Положительная обратная связь характеризуется совпадением знаков воздействия обратной связи и задающего воздействия. В противоположном случае обратная связь является отрицательной. Соответственно сигнал дополнительной обратной связи, подаваемый на вход, может либо складываться с входным сигналом (положительная дополнительная обратная связь), либо вычитаться из входного сигнала (отрицательная дополнительная обратная связь). В САУ и САР чаще всего используют отрицательную дополнительную обратную связь.

В зависимости от характера воздействия дополнительная обратная связь подразделяется на жёсткую и гибкую. Если передаваемое воздействие зависит только от значения регулируемого параметра, т.е. *не зависит от времени*, то такую связь считают *жёсткой*. Жёсткая обратная связь действует как в установившемся, так и в переходном режимах. Жёсткая дополнительная обратная связь характеризуется передачей по ней на вход части полной выходной величины на протяжении всего времени управления (регулирования). Гибкой обратной связью считают такую, которая действует только в переходном режиме. Гибкая (упругая) дополнительная обратная связь характеризуется передачей по ней на вход первой или второй производной от измерения выходной величины по времени. У *гибкой* дополнительной

обратной связи сигнал на выходе существует только тогда, когда *сигнал изменяется во времени*. Таким образом, гибкая дополнительная обратная связь позволяет осуществлять управление (регулирование) входной величины по скорости и ускорению и тем самым значительно ускоряет процесс регулирования и улучшает его качество. Гибкая обратная связь начинает действовать только при изменении выходной величины и её действие прекращается после возвращения системы к установившемуся состоянию («исчезающая» обратная связь).

Самонастраивающиеся (адаптивные) системы (рис.26,д) можно разделить на три подкласса: экстремальные системы, системы с самонастройкой параметров и системы с самонастройкой структуры.

Системами экстремального управления (регулирования) называют системы стабилизирующего, следящего или программного управления, у которых настройка, программа или закон воспроизведения автоматически изменяются в зависимости от изменения внешних условий или внутреннего состояния системы с целью создания наивыгоднейшего (оптимального) режима работы ОУ. В таких системах вместо постоянной настройки или программы устанавливается *устройство автоматического поиска*, которое проводит анализ какой-либо характеристики ОУ (КПД, производительности, экономичности и т.д.) и в зависимости от полученного результата подаёт в управляющее устройство требуемое регулирующее воздействие так, чтобы данная характеристика получила экстремальное значение при непрерывном изменении различных возмущающих воздействий, оказывающих влияние на условия работы системы.

Задачей экстремального управления (регулирования) является поддержание одного или нескольких показателей процесса на наиболее высоком или наиболее низком уровне при непрерывном изменении различных возмущающих воздействий, влияющих на условия работы системы. Таким образом, задача экстремального регулирования возникает, когда характеристика установившегося состояния ОР имеет экстремум, который отве-

чает наиболее желательному режиму работы системы. Применение экстремального регулирования имеет смысл в том случае, если внешние и внутренние возмущения вызывают перемещение экстремальной точки. Поэтому в системе экстремального регулирования и должно быть упомянутое дополнительное устройство (автоматического поиска экстремума), которое бы непрерывно изменяло установку регулятора с таким расчётом, чтобы поддерживать регулируемую величину или другой показатель на максимальном или минимальном уровне в условиях непрерывного изменения возмущающих воздействий.

В экстремальной системе имеются два замкнутых контура: один состоит из главной обратной связи, с помощью которой процесс регулирования осуществляется обычным способом; второй обеспечивает самонастройку системы, т.е. автоматический поиск оптимальной точки.

Схема системы экстремального управления (регулирования) показана на рис. 27. В литейных цехах подобные системы используют для регулирования процесса горения топлива в печах.

В системах с самонастройкой параметров при изменении внешних условий или характеристик объекта регулирования происходит автоматическое (не по заранее заданной программе) изменение варьируемых параметров управляющего устройства с целью обеспечения устойчивой работы системы и поддержания регулируемой величины на заданном или оптимальном уровне.

В указанных системах при изменениях возмущающих воздействий или характеристик отдельных элементов автоматически корректируются те или иные параметры регулятора, например изменяются коэффициенты усиления, вводятся производная и интеграл в закон регулирования и т.п. В состав таких систем, как правило, входит вычислительное устройство, определяющее отклонение того или иного показателя работы системы от его оптимального значения, и настраивающее устройство, оптимизирующее параметры системы.

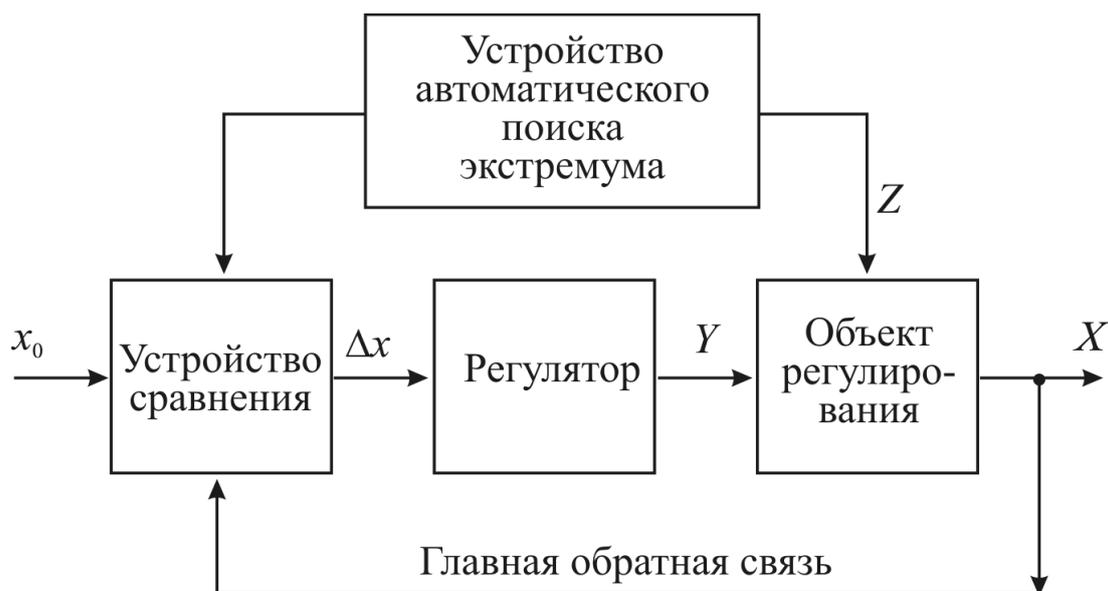


Рис. 27. Схема системы экстремального регулирования

В системах с самонастройкой структуры (самоорганизующихся системах) при изменении внешних условий и характеристик ОУ происходит переключение элементов в схеме соединений или введение в неё новых элементов. Целью таких изменений (отбора) структуры является достижение лучшего решения задачи управления. Отбор структуры осуществляется путём автоматического поиска с применением вычислительных и логических операций. Такие системы должны не только приспосабливаться ко всем изменениям внешних условий и характеристикам ОУ, но и функционировать нормально даже при наличии неполадок или отказов отдельных элементов, создавая новые цепи взамен нарушенных. Системы с самонастройкой структуры можно заставить самосовершенствоваться, приобретать «опыт» путём быстрого опробования нескольких вариантов, отбора и «запоминания» лучшего из них. Эти системы изменяют структурную схему основного управляющего устройства, поэтому их относят к системам с переменной структурой. Осуществляя автоматический поиск в соответствии с заданным критерием работы, система самостоятельно использует вычислительные и логические устройства, выбирает из ряда заранее подготовленных структур наилучшую, оптимально отвечающую заданным условиям работы. Возможность изменения структуры расширяет об-

ласть применения данных систем, в т.ч. применяется в системах управления роботами.

Согласно классификации по функциональному признаку все САУ подразделяют на четыре класса:

- системы для координации работы механизмов (САЖУ),
- системы регулирования параметров технологических процессов (САР),
- системы автоматического контроля (САК),
- системы автоматической защиты (САЗ) и блокировки (САБ).

Развитие САУ в направлении создания прогрессивных систем экстремального управления и самонастраивающихся систем способствовало переходу к наиболее высокому классу систем управления-АСУ ТП, отличающихся включением в систему человека (оператора), управляющей ЭВМ и более широкими возможностями гибкого управления сложными технологическими процессами с большим количеством разнообразных параметров.

Контрольные вопросы к главе 5

1. Назовите основные отличия САУ от САР и АСУ ТП.
2. Как классифицируются САУ по функциональному признаку?
3. Назовите разновидности обыкновенных САУ.
4. Опишите особенности разновидностей самонастраивающихся САУ.
5. Опишите особенности и варианты обратной связи.

6. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

6.1. Основные признаки и разновидности АСУ ТП

По М.Ю. Рачкову автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) появились на третьем этапе развития автоматических систем. Они характеризуются прежде всего широким внедрением в управление технологическими процессами современной вычислительной техники. Сначала применяли микропроцессоры, затем происходило активное развитие человеко-машинных систем управления, инженерной психологии, методов и моделей исследования операций, диспетчерского управления на основе использования автоматических информационных систем сбора данных и современных вычислительных комплексов. Диспетчер в многоуровневой системе управления технологическими процессами получает информацию с монитора ЭВМ или электронной системы отображения информации и воздействует на объекты, находящиеся от него на значительном расстоянии, с помощью телекоммуникационных систем, контроллеров, интеллектуальных исполнительных механизмов.

Из базового понятия АСУ ТП (формулировка по ГОСТ 20.003-84) следует, что наиболее характерными признаками АСУ ТП являются:

- человеко-машинная система (*участие человека в управлении*),
- автоматизированный сбор и обработка *информации*.

Важно понять отличия АСУ ТП от САУ, развитие которой предшествовало появлению АСУ ТП. В отличие от АСУ ТП САУ функционирует *по жёсткому алгоритму*, без непосредственного участия человека и с использованием более простых технических средств. Как правило, выход из строя одного из технических средств САУ лишает её работоспособности в целом. Кроме того, в отличие от АСУ ТП в САУ управление осуществляется более узкой группой параметров. Таким образом, переход от САУ к АСУ ТП можно представить формулой типа:

АСУ ТП=САУ + человек, принимающий содержательное участие в выработке решений по управлению, + управление по

гибкой программе + информационное обеспечение и переработка технологической и технико-экономической информации + современная вычислительная техника + повышенная надёжность системы + управление в режиме реального времени. Как и для САУ в АСУ ТП присутствуют АУУ, ТОУ и алгоритм управления. При этом в АСУ ТП автоматическое управляющее устройство *построено преимущественно с использованием ЭВМ*, имеет многоуровневую структуру и отличается большими возможностями.

Обратим также внимание на отмеченный выше важный признак АСУ ТП – осуществление управления в темпе протекания технологического процесса, т.е. в реальном масштабе времени.

6.2. Актуальность и предпосылки применения АСУ ТП в литейном производстве

Применение и развитие АСУ ТП исключительно важно для такой сложной и трудоёмкой отрасли, как литейное производство, являющееся базовым процессом в машиностроении, металлообработке и металлургии. Очевидно, что освоение вопросов, относящихся к АСУ ТП, является первоочередной задачей инженеров-литейщиков (технологов, конструкторов). При этом необходимо отметить, что современные АСУ нацелены не только на управление технологическими процессами, но и на планирование производства и управление корпорациями, предприятиями, цехами. Поэтому специалисту в области литейного производства полезно иметь представления не только по АСУ ТП, но и по современным подходам к управлению производством и планированием. Это тем более важно, поскольку в настоящее время несмотря на подготовку в РФ многочисленных менеджеров общего профиля, редко готовят менеджеров-литейщиков, призванных совершенствовать управление литейным производством на предприятиях и в цехах соответствующего профиля.

Развитие литейного производства в предыдущем столетии проходило в направлении широкой механизации и автоматизации. Одновременно на основе систематизации и обобщения про-

изводственного опыта, проведения широких исследований закономерностей плавильных и литейных процессов, формирования различных показателей качества отливок и слитков постепенно создавался необходимый фундамент для создания математических моделей технологических процессов, пригодных для использования в целях управления. К сожалению, следует признать, что достигнутый уровень наших знаний о плавильно-литейных процессах пока ещё не всегда удовлетворяет высоким требованиям разработчиков АСУ ТП. Вместе с тем, сам факт бурного развития АСУ, соответствующей вычислительной техники, программирования создаёт для специалистов-литейщиков дополнительные стимулы для более глубокого изучения плавильно-литейных процессов в направлении разработки адекватных математических моделей. Развитие в этом направлении создаст более широкие предпосылки для создания и освоения АСУ ТП в литейном производстве.

Отмечали, что необходимость в использовании специальных средств вычислительной техники в процессах управления возникает уже при определении тепловых нагрузок вагранки, работающей на различных видах топлива, калькуляции влажности формовочных и стержневых смесей методом прогнозирования её по влажности исходных компонентов, их содержанию в смеси т.д. Особенностью многих задач литейного производства является их многокритериальный и многофакторный характер, наличие существенных взаимодействий факторов в их совместном влиянии на параметры процессов. Это требует сбора и переработки больших массивов информации. Для решения подобных задач с весьма значительным объёмом перерабатываемой информации при практически неограниченной точности вычислений наиболее эффективно применение современных средств цифровой вычислительной техники.

Для современных ЭВМ характерна способность хранения больших количеств информации и высокая скорость её переработки. Это позволяет последовательно усложнять задачи, решаемые с помощью ЭВМ.

Для современного литейного производства характерны значительная дискретность технологических процессов и операций,

сложность и значительная неопределённость протекаемых явлений, разнообразие видов продукции в сочетании с разветвлённой сетью заказчиков и поставщиков сырья, наличие в технологических линиях звеньев с трудно-контролируемыми параметрами. С учётом специфики плавильно-литейного производства важную роль играет *обеспечение безопасной работы* плавильных агрегатов, различных литейных машин, формовочных линий и пр., а также требований по охране окружающей среды. В этих условиях управление сложным и пожароопасным производством на основе опыта и интуиции становится абсолютно неэффективным и в ряде случаев просто невозможным, т.к. требуется принятие оптимальных решений в быстроизменяющейся производственной ситуации. Это предопределяет особую актуальность создания и освоения АСУП и АСУ ТП в литейном производстве.

Важнейшие предпосылки построения АСУ ТП:

1) определение статических и динамических характеристик ТООУ на основе его идентификации;

2) удовлетворение требований наблюдаемости (контролируемости) и управляемости ТООУ;

3) применение прогрессивных форм высокопроизводительного и надёжного технологического оборудования, обладающего возможностями гибкой перестройки характера выполняемых операций и регулирования режимов действия в достаточно широком диапазоне параметров;

4) механизация производственных процессов;

5) расшивка узких мест;

6) наличие всех видов обеспечения АСУ ТП;

7) проведение в литейном цехе и на его участках комплекса организационных мероприятий, направленных на внедрение и неуклонное повышение уровня использования АСУ ТП в процессе производственной деятельности;

8) обучение ИТР и рабочих особенностям работы в составе АСУ ТП с целью преодоления психологического барьера и понимания роли ЭВМ в процессах управления на современном этапе;

9) формализация целевых функций АСУ ТП применительно к задачам, местным особенностям технологических процессов литейного производства и ограничениям на управляющие воздействия и выходы ТООУ;

10) стимулирование персонала.

6.3. Целевые функции АСУ ТП

Формулировка научно-обоснованных целевых функций АСУ ТП имеет чрезвычайно важное значение, т.к. от правильного выбора целей в значительной мере зависит эффективность АСУ ТП. Анализ ранее предложенных целевых функций АСУ ТП показывает их неоднозначность и несоответствие современным критериям эффективности производства. Поэтому мы критически рассмотрим ранее предложенные целевые функции и дополнительно дадим описание собственного, нового подхода к выбору оптимальной целевой функции АСУ ТП.

Ранее отмечали, что в качестве целевых функций оптимального управления процессами литейного производства возможно применение технических и экономических критериев.

При этом в качестве технических критериев предлагались критерии качества управления (регулирования), в частности время регулирования ($\tau_p \rightarrow \min$), интегральная квадратичная оценка ($\int_0^{\tau} x_p^2 dt \rightarrow \min$) и др. (здесь x_p – отклонение фактического выхода объекта от заданного). Хотя эти критерии качества управления относят к техническим целевым функциям АСУ ТП, *конечной технической целевой функцией АСУ ТП правильнее считать качество продукта литейного производства* (отливки, слитка), а не критерии качества управления. Последние играют важную, но вспомогательную задачу в достижении главного технического требования – получения стабильно-качественной продукции для потребителя.

В качестве одного из экономических критериев предлагали приведенный доход. Приведенный доход определяется выражением:

$$D_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n C_i \Pi_i - Z_3 - E_n K_i \rightarrow \max,$$

где C_i – отпускная цена отливок, руб.; Π_i – выпуск отливок за период времени τ , шт; Z_3 – эксплуатационные затраты, руб.; E_n – нормативный коэффициент; K_i – капитальные затраты за тот же период времени, руб.

Отмечалось, что росту критерия $D_{\text{пр}}$ способствуют повышение качества отливок и снижение затрат на их производство. Полагаем, что напрямую качество отливок не влияет на этот показатель. Вместе с тем, повышение качества отливок может увеличивать этот показатель через увеличение цены продукции, учитывающей надбавку за повышенное качество. Признавалось, что недостаток этого и др. экономических критериев заключается в неполной конкретизации применительно к управлению техническими системами. Отмечаем, что данный экономический показатель широко использовался в условиях прежней плановой экономики, а применительно к рыночной экономике является устаревшим. Это связано с тем, что в условиях рыночной экономики действуют новые экономические критерии эффективности производства, наиболее полно учитывающиеся в современном бизнес-планировании.

В качестве другого экономического критерия эффективности АСУ ТП предлагали удельные затраты

$$S = S_1 / S_2 \rightarrow \min,$$

где S_1 – затраты на потребляемое сырьё и энергию; S_2 – мера выпуска продукции за время τ .

Указанный критерий также носит частный характер, не в полной мере учитывает компоненты затрат, в т.ч. на оплату персонала, и объективно не отражает роль качества отливок (предполагает оценку качества отливки только эмпирическим коэффициентом).

В целом приведенные выше технические и экономические критерии нельзя признать эффективными целевыми функциями АСУ ТП. В качестве более рационального и интегрального критерия предлагается показатель конкурентоспособности продукции, выпускаемой с использованием АСУ ТП. Переход к использованию такого критерия в рамках АСУ по существу означал бы *автоматизированное управление конкурентоспособностью* (продукции, организации). Заметим, что управление конкурентоспособностью организации – новая развивающаяся область экономической науки. *Автоматизированное управление конкурентоспособностью* может явиться шагом в развитии управления конкурентоспособностью.

Рассмотрим несколько вариантов использования конкурентоспособности в качестве целевой функции АСУ ТП. Таким критерием в первом приближении может быть отношение показателя качества отливки КО к её валовой цене ЦВ

$$K_1 = \text{КО} / \text{ЦВ} \rightarrow \max,$$

где $\text{ЦВ} = \text{ЦО} + \text{ТР}$, ЦО – отпускная цена отливки, ТР – транспортные расходы на доставку отливки потребителю.

Приведенное решение может быть использовано только при наличии объективного критерия качества отливки. В принципе существуют методы эконометрики, позволяющие выполнить оценку интегрального критерия качества продукции, однако они имеют серьёзные недостатки:

- применяются субъективные способы экспертной оценки весовой роли различных параметров качества, что не позволяет гарантировать объективность интегрального показателя качества;

- интегральный параметр качества непосредственно не увязывается с его полезным эффектом у потребителя.

Более точным, но более сложным в оценке критерием конкурентоспособности продукции является показатель

$$K_2 = \text{ПЭ} / \text{ЦП} \rightarrow \max,$$

где ПЭ – полезный эффект продукции, учитывающий эффективность её использование потребителем, ЦП – цена потребления, причём $\text{ЦП} = \text{ЦВ} + \text{ЭЗ}$, где ЭЗ – эксплуатационные затраты потребителя (за период эксплуатации им продукции поставщика).

Критерий K_2 представляется более интересным, т.к. он потенциально отражает рыночную полезность продукции. Однако для реализации этого потенциала необходимо найти способ количественной оценки факторов ПЭ и ЭЗ. Применительно к отливке (изделию), являющейся одним из конструктивных элементов (КЭ) машины, в качестве ПЭ можно принять срок службы T_c соответствующего КЭ у потребителя, т.е. будет $\text{ПЭ} = T_c$. Очевидно, что априорная точная оценка T_c прямым методом невозможна. Вместе с тем, могут быть использованы косвенные методы. Представим, что на основе накопленного опыта эксплуатации КЭ в реальной машине известна оценка $(T_c)_б$ для базового образца и установлены зависимости T_c от некоторой совокупности показателей качества отливки. Тогда на основе

новой совокупности показателей качества отливки, полученной с использованием более совершенной технологии и с применением АСУ ТП, можно приближённо спрогнозировать новый, более высокий показатель T_c и ввести его в решение для K_2 . Эксплуатационные затраты потребителя могут им определяться применительно к машине в целом. Вычленив долю эксплуатационных затрат, относящуюся к КЭ этой машины, можно весьма приближённо: например, эту долю можно принять в виде отношения цены КЭ к цене всей машины. Если в качестве машины рассматривается достаточно сложное машинотехническое изделие, например автомобиль, то, очевидно, что цена отдельно взятой отливки (детали машины) составит очень малую долю цены всей машины. По этой причине во многих случаях ЭЗ, приходящиеся на отливку (деталь), будут относительно невелики сравнительно с ЦВ. Пренебрегая ЭЗ сравнительно с ЦВ, получим $ЦП=ЦВ$ и $K_2=ПЭ/ЦВ$, а с учётом $ПЭ=T_c$ целевая функция будет

$$K_2 = T_c / ЦВ \rightarrow \max$$

С учётом относительного характера критерия K_2 при переходе к относительному показателю получим

$$K_{отн} = [T_c / (T_c)_б] / [ЦВ / (ЦВ)_б]$$

Видно, что конкурентоспособность продукции литейного производства (отливки) тем больше, чем выше срок службы отливки (детали машины) и меньше валовая цена отливки, т.е. ниже её отпускная цена и стоимость доставки потребителю. Очевидно, что срок службы отливки (детали) определяется условиями эксплуатации и совокупностью частных показателей её качества (химический состав, структура, механические свойства и пр.). Использование приведенных критериев сопряжено с необходимостью установления зависимости срока службы T_c с отмеченной совокупностью частных показателей качества отливки, что является самостоятельной важной задачей.

Поставщик продукции (отливки) самостоятельно не может определять прямой выходной параметр T_c , поэтому возникает необходимость перехода к приемлемому косвенному выходному параметру. Требуемая зависимость T_c от комплекса частных показателей качества отливки может быть установлена только в

тесном взаимодействии с потребителем в рамках специальных стендовых либо натуральных испытаний литого изделия. На основании подобных испытаний может быть определён адекватный косвенный выходной параметр КВП (определяемый в виде функции от свойств, структуры, состава отливки), по величине которого можно было бы судить о показателе T_c . Повышение КВП (T_c) одновременно означает повышение конкурентоспособности изделия (отливки), поставляемого изготовителем, и машины, выпускаемой потребителем отливки (повышается надёжность и долговечность машины). Поэтому отмеченное выше взаимодействие соответствует интересам и поставщиков, и потребителей, т.к. результатом такого взаимодействия должно быть повышение конкурентоспособности обоих субъектов рынка.

С учётом вышеизложенного в конечном счёте получаем критерий управления

$$K_2 = \text{КВП/ЦВ} \rightarrow \max$$

Далее задача сводится к экстремальному управлению величиной K_2 с помощью специальной поисковой системы. При этом отмечаем, что одновременно с повышением КВП желательно понижение ЦВ. При $TP = \text{const}$ снижение ЦВ возможно путём уменьшения себестоимости отливки C , т.к. желательно сохранить прибыль PP и рентабельность производства. Тем самым возникает задача комплексного снижения издержек производства, т.е. расхода энергетических, материальных и трудовых ресурсов. Следовательно, достижение максимума комплексного показателя K_2 требует одновременного управления техническими и экономическими параметрами в направлении их оптимизации.

До сих пор в автоматизированном управлении в качестве одной из важных подсистем рассматривалась АСУ качеством продукции. Предлагаемый выше подход по существу означает переход от АСУ качеством продукции к АСУ конкурентоспособностью продукции. При этом не отменяется роль качества продукции, но она учитывается через критерий срока службы продукции (изделия) у потребителя, что сопряжено с решением задачи установления связи срока службы (эксплуатационной стойкости) с частными параметрами качества. Преимущество

предложенной целевой функции состоит в более точном и конкретном учёте требований и интересов потребителя, т.к. понятие качества продукции в традиционном понимании остаётся весьма неконкретным.

На практике в рамках АСУП и АСУ ТП управление качеством продукции в настоящее время сводится к отслеживанию различных параметров качества, регламентированных стандартами, и одновременному обеспечению их соответствия этим требованиям. При этом по существу имеется ввиду, что требуемое сочетание параметров качества продукции обеспечит приемлемые условия функционирования изделия у потребителя. Предлагаемый выше подход конкретизирует задачу получения потребителем полезного эффекта и нацеливает на его повышение путём использования автоматизированного управления конкурентоспособностью продукции.

Преимуществом предложенной целевой функции АСУ ТП (конкурентоспособности продукции) является интегральный характер – совместный учёт технических и экономических показателей. Использование предложенной целевой функции позволяет подчинить задачу создания и освоения АСУ ТП важнейшей конечной цели – повышению конкурентоспособности выпускаемой продукции и предприятия в целом.

Видно, что переход на указанный критерий означает необходимость достижения за счёт использования АСУ повышения качества отливок (слитков) при одновременном снижении совокупных издержек производства (себестоимости) и цены продукции. Предложенная целевая функция является научно обоснованной, поскольку опирается на новейшие исследования управления конкурентоспособностью, а её применение позволит обеспечить наивысшую эффективность АСУ и снижение срока окупаемости капитальных затрат на создание и освоение системы управления.

6.4. Разновидности обеспечения функционирования АСУ ТП

Функционирование АСУ ТП базируется на техническом, программном, информационном, организационном, метрологическом, правовом и лингвистическом обеспечениях. Упрощённая схема взаимодействия основных компонентов обеспечения АСУ ТП показана на рис.28.

Техническое обеспечение АСУ ТП представляет собой комплекс технических средств (КТС) для обеспечения работы системы. Этот комплекс включает в себя совокупность вычислительных и управляющих устройств, средств преобразования, отображения и регистрации сигналов, устройств и других элементов, достаточных для выполнения всех функций системы. Более детально техническая структура АСУ ТП будет рассмотрена ниже в соответствующих разделах.

Программное (математическое) обеспечение состоит из совокупности программ, которые обеспечивают реализацию функций АСУ и требуемое функционирование КТС в соответствии с принятыми математическими методами. Для построения математических моделей технологических процессов используют методы корреляционного анализа, регрессионного анализа, математического планирования эксперимента (предпочтителен активный эксперимент), группового учёта аргументов.

Для оценки и оптимизации состояния ГОУ используют методы наименьших квадратов, максимального правдоподобия, ранжирования и др. Для решения задач оптимизации используют методы вариационного исчисления; методы, основанные на принципе максимума; метод динамического программирования; градиентные методы¹. Отметим, что градиентные методы имеют значительные преимущества (простота реализации, сравнительно малый объём вычислений), но они весьма трудоёмки при поиске глобального экстремума в случае наличия на поверхности отклика нескольких частных экстремумов.

¹ См. кн. Новикова В.П. Управление техническими системами литейного производства. Уч. пос.М.МАСИ,1995, с.132-135.

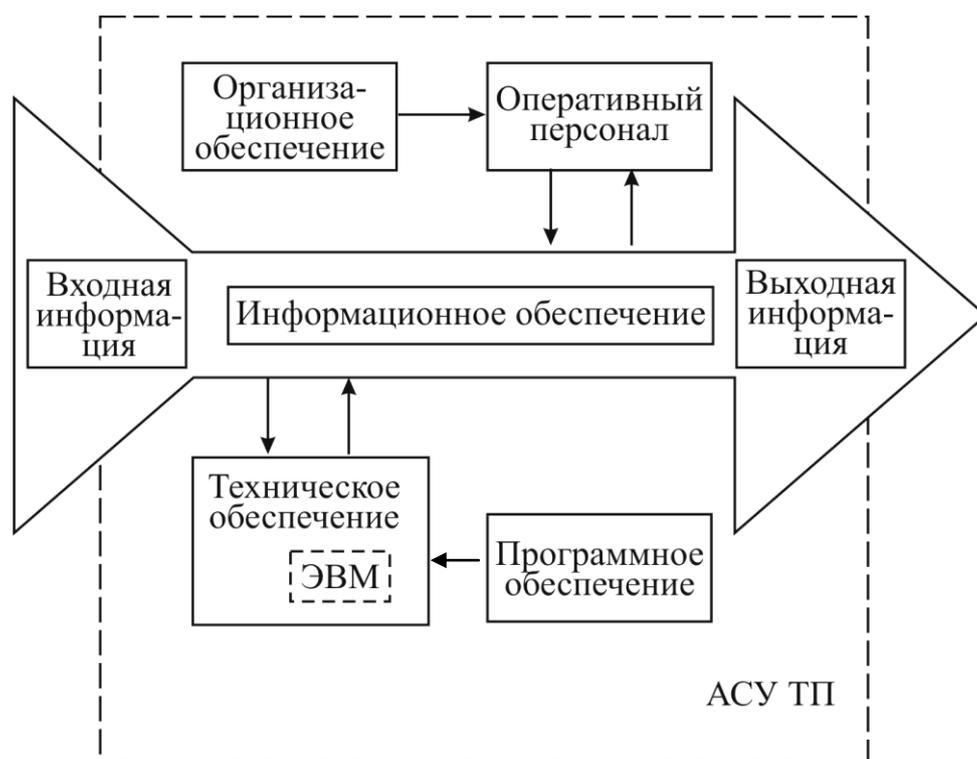


Рис. 28. Схема вариантов обеспечения АСУ ТП

Программное обеспечение делится на общее, необходимое для функционирования самого вычислительного комплекса, и специальное, предназначенное для решения конкретных задач по информации и управлению. Общее программное обеспечение включает в себя программы, поставляемые в комплекте со средствами вычислительной техники. В отличие от этого специальное программное обеспечение разрабатывается применительно к потребностям каждой конкретной системы соответственно её назначению и условиям работы.

Под программой принято понимать *алгоритм*, представленный в форме, воспринимаемой вычислительной машиной. При этом под алгоритмом понимается точное предписание, определяющее процесс вычислений и ведущее от варьируемых исходных данных к искомому результату. Важнейшими составными частями программного обеспечения являются «управление данными» (система управления базой данных-СУБД) и «управление программами». Роль СУБД весьма велика в обеспечении информационной взаимосвязи десятков программ в АСУ ТП.

Информационное обеспечение представляет собой совокупность систем классификации и кодирования технологической и

технико-экономической информации, сигналов, массивов данных и документов для выполнения всех функций АСУ ТП.

Организационное обеспечение является совокупностью описаний функциональной, технической и организационной структур, инструкций и регламентов для оперативного персонала на предмет обеспечения заданного режима действий последнего. Также в указанное обеспечение могут входить регламенты работы эксплуатационного персонала.

Метрологическое обеспечение включает в себя метрологические средства измерения технологических параметров и инструкции по их применению.

Правовое обеспечение включает законодательные акты, регламентирующие взаимоотношения между АСУ ТП и социальной средой.

Лингвистическое обеспечение включает языки программирования общего и специального назначения.

6.5. Роль персонала в АСУ ТП

Персонал является важнейшей составной частью организационного обеспечения АСУ ТП. Эволюция роли человека в различных системах автоматизации протекала весьма своеобразно. Сначала, в менее развитых системах автоматизации (САР и САУ), человек был отдалён от автоматики, но с переходом к АСУ ТП произошло соединение человека с управляющей машиной. Перед АСУ ТП стоят более сложные задачи сравнительно с САУ, причём не все из них поддаются формализации, т.е. описанию в терминах математики.

Человек – главное звено в контуре АСУ ТП. Одной из центральных проблем создания АСУ ТП является реализация оптимального взаимодействия «человек-машина», т.е. такая организация потоков информации к человеку и командной информации от него, при которой обеспечивается наилучшее, наиболее полное использование всех его творческих возможностей.

В общем случае общение человека с ЭВМ осуществляется по схемам: программист-ЭВМ и оператор(технолог)-ЭВМ.

Функции программиста и оператора-технолога радикально различны. Программист подготавливает и обслуживает программу, выполняемую ЭВМ. Его основные интересы связаны с внутренним функционированием ЭВМ. Оператор-технолог интересуется прежде всего самым технологическим процессом, а не вычислительной машиной. Рабочее место оператора-технолога в АСУ ТП оснащается средствами взаимодействия «человек-машина». Решение неформализуемых задач, требующих творческого подхода, в АСУ ТП остаётся за человеком. На долю человека приходится также ввод информации в ЭВМ там, где автоматический ввод по тем или иным причинам невозможен. Кроме того, человек использует результаты расчётов и рекомендации ЭВМ, полученные при переработке информации с использованием ряда специальных математических методов. Безмашинная их реализация требует огромной затраты человеческого труда и рабочего времени. Наконец, человек в АСУ ТП принимает на себя функции технических средств при выходе их из строя, что обеспечивает достаточную гибкость и надёжность этих систем. Таким образом, можно констатировать, что пока решали более простые задачи, с регулированием и управлением справлялись САР и САУ, не требующие участия человека. С усложнением задач управления и повышением требований по точности и надёжности потребовалось вернуть человека к активному участию в управлении, что и привело к созданию АСУ ТП, неотъемлемой чертой которой является взаимодействие человека с управляющей машиной.

По роли человека в АСУ ТП они подразделяются на разновидности:

1) системы, в которых человек, осуществляя функции управления, является одновременно исполнительным элементом и даже источником энергии, непосредственно воздействующим на технологическое оборудование объекта;

2) системы, в которых человек управляет внешними источниками энергии, добиваясь оптимального функционирования объекта. При этом существенна зависимость интенсивности результирующего воздействия источника энергии на процесс от степени управляющего воздействия человека;

3) системы автоматического управления, выполняющие функции управления в соответствии с некоторым заданным законом функционирования. Человеку отводится роль звена, осуществляющего наблюдения за ходом процесса и вводящего корректирующие воздействия;

4) системы, в которых человек, кроме выполнения функций наблюдения за поведением системы, вводит в неё необходимую информацию.

По способу представления информации для восприятия её человеком АСУ ТП условно делятся на разновидности:

1) системы, в которых информация выдаётся человеку в абстрактной форме (в виде цифр, формул, показаний стрелочных контрольно-измерительных приборов и т.п.);

2) системы, в которых информация воспроизводится в графической форме (в виде графических функциональных зависимостей, диаграмм на регистрирующих приборах и т.п.);

3) системы, в которых информация представляется в изобразительной форме (в виде мнемосхем, схем территориального расположения и т.п.);

4) системы, в которых информация выдаётся в виде буквенно-цифровых обозначений, текстов (на световых табло, электронно-лучевых трубках, лентах автоматических печатающих устройств и т.п.).

Персонал АСУ ТП подразделяется на оперативный и эксплуатационный. Оперативный персонал АСУ ТП состоит из технологов-операторов автоматизированного технологического комплекса, осуществляющих контроль за работой и управлением ТООУ. Оперативный персонал может работать в контуре управления или вне его. При работе в контуре управления оперативный персонал частично или полностью выполняет функции управления, используя рекомендации по оптимальному управлению, вырабатываемые техническими средствами АСУ ТП. В этом случае отдельные подсистемы управления частично или полностью замыкаются через человека. Действуя вне контура, оперативный персонал задаёт АСУ ТП режимы работы технических средств, используемых в замкнутых подсистемах управления. На оперативный персонал также возлагаются задачи кон-

троля за работой системы в целом и принятия на себя управления объектами в аварийных ситуациях.

Эксплуатационный персонал обеспечивает заданное функционирование системы в целом.

6.6. Технологические объекты управления

6.6.1. Блок схемы ТОУ

Ключевое место в САУ и АСУ ТП занимают технологический объект управления и автоматическое управляющее устройство. Блок-схема связи УУ с ОУ имеет вид, показанный на рис. 29 (по В.П. Новикову). Рассмотрение схемы показывает наличие ряда выходных параметров, что подтверждает правильность отнесения схемы именно к САУ или АСУ ТП, т.к. для САУ характерен один регулируемый параметр. Другим признаком САУ и АСУ ТП является отражение на схеме рис. 29 автоматического управляющего устройства, отсутствующего в САУ. Приведенная блок-схема представляется достаточно информативной и поэтому может быть рекомендована для использования в составе технических требований на разработку ТЗ на проектирование АСУ ТП.

Другая схема ТОУ (по В.В. Дембовскому) имеет вид, показанный на рис. 30. Примерами величин u в литейной технологии могут служить расходы сырых материалов, энергии, топлива и т.д; v – качественные показатели сырья, параметры состояния оборудования, простои; z – параметры, характеризующие внешнюю среду, контроль которых по тем или иным причинам практически невозможен в данных условиях; y – показатели состояния технологического процесса (температура, давление, состав вещества), качественные и количественные показатели промежуточных (литейная форма) или конечных (отливка) продуктов, технико-экономические показатели производства. На приведенных блок-схемах прямые выходные параметры y иногда заменяют подходящими косвенными параметрами (в случае невозможности либо трудностей измерения прямых параметров).

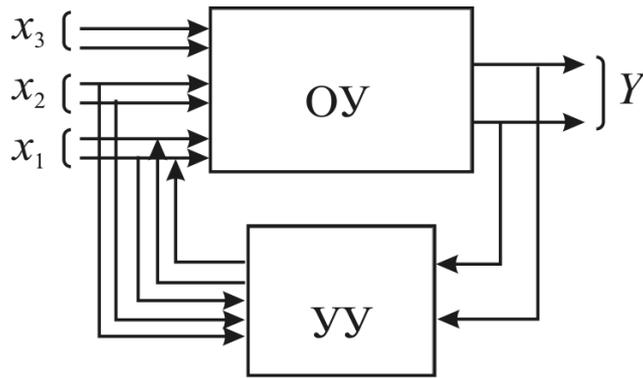


Рис.29. Блок-схема связи управляющего устройства (УУ) с объектом управления (ОУ): Y – вектор выходных параметров; x_1, x_2, x_3 – соответственно управляющие параметры, контролируемые и неконтролируемые входные воздействия (параметры). Необозначенными стрелками показаны потоки информации, поступающие к УУ, и управляющие воздействия на ОУ

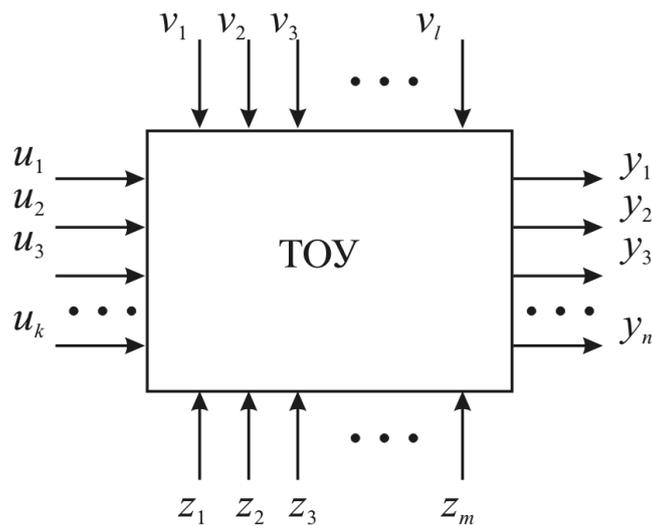


Рис. 30. Блок-схема технологического объекта управления: u – векторы контролируемых управляющих входов; v – векторы контролируемых возмущений; z – векторы неконтролируемых возмущений; y – векторы выходов объекта

6.6.2. Разновидности ТОО

Технологические объекты управления классифицируются по характеру протекания процессов во времени на три группы:

– *дискретные* (циклические) процессы, характерным признаком которых является *периодическое* выполнение технологических операций и переходов (последовательное либо параллельное). Такие процессы широко распространены как в литейном производстве, так и металлургии, машиностроении и др. отраслях промышленности. Примерами дискретных процессов в литейном производстве являются: выбивка отливки из формы на вибростолах, процесс получения стержней и др.

– *непрерывные* процессы, характерным признаком которых является непрерывное во времени протекание технологических операций и переходов. Примерами непрерывных процессов в литейном производстве являются: процессы управления температурой в печах и миксерах, получения смеси требуемого состава в смесителях непрерывного действия и др.

– процессы *непрерывно-дискретного* типа сочетают дискретные операции с непрерывными. Эти процессы наиболее распространены в литейном и металлургическом производстве. Примерами непрерывно-дискретных процессов в литейном производстве являются: сочетание непрерывного контроля и управления температурой в печи и миксере с дискретными операциями загрузки шихты в печь, перелива расплава из печи в миксер и из миксера в форму; сочетание дискретных операций шихтовки, плавки, разливки с изготовлением форм на непрерывной формовочной линии и др. В свою очередь, изготовление и заливка форм на непрерывной формовочной линии разбивается на ряд последовательных дискретных операций.

Тип ТОО в значительной мере предопределяет выбор той или иной системы управления. Для относительно простых дискретных и непрерывных процессов пригодны САР и САУ, а для сложных непрерывных и непрерывно-дискретных процессов с большим количеством входных и выходных параметров, а также возмущений необходимо использовать АСУ ТП.

6.6.3. Математические модели ТОУ

Математическое обеспечение особенно важно для ТОУ, относящихся к непрерывным технологическим процессам, причём в общем случае параметры процессов могут зависеть от времени (динамические процессы) либо не зависеть от времени (статические процессы). Параметры, приведенные на схеме рис.30, как правило, изменяются во времени τ , причём зависимости $u=f_1(\tau)$, $v = f_2(\tau)$, $z= f_3(\tau)$, $y= f_4(\tau)$ могут носить закономерный и случайный характер.

С учётом приведенной выше схемы ТОУ математические модели ТОУ представляют собой зависимости

$$y=f(u, v, z, \tau)$$

при известном виде функций f и существующих ограничениях на переменные.

Математические модели классифицируются на ряд разновидностей (рис.31):

- 1) статические либо динамические,
- 2) детерминированные либо стохастические,
- 3) комбинированные.

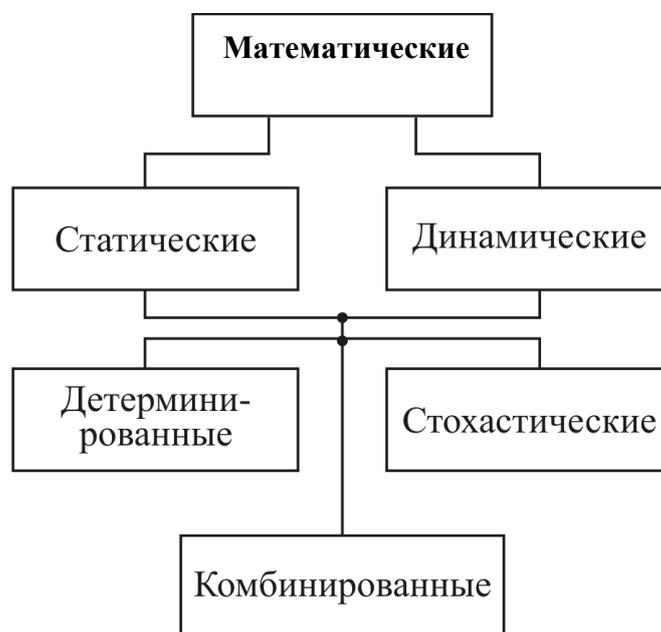


Рис. 31. Классификация математических моделей ТОУ

Статическая модель является частным видом приведенной выше зависимости с исключением из неё времени как аргумента.

Динамическая модель, в отличие от предыдущей, описывает процесс изменения состояния ТООУ во времени.

Детерминированная модель представляет собой совокупность алгебраических уравнений и неравенств (статическая модель) или дифференциальных уравнений (динамическая модель), т.е. детерминированная модель может быть, как статической, так и динамической. Она характеризует причинно-следственные связи между входами и выходами ТООУ при известных механизмах взаимодействия последних. Эти уравнения составляются на основании законов сохранения вещества и энергии, механики, массо- и теплопереноса, химических превращений и др. Для сложных производственных процессов, к которым относятся процессы литейной технологии, построение детерминированных моделей нередко оказывается невозможным вследствие неполноты существующих знаний о количественных характеристиках отдельных элементарных стадий технологического процесса. В этих случаях прибегают к использованию стохастических моделей.

Стохастическая модель отображает вероятностный характер связей между входами и выходами ТООУ и строится на основании специальной обработки статистических данных, накопленных за определённый интервал времени, без привлечения знаний механизмов конкретных процессов (модель «чёрного ящика»).

Комбинированная модель – сочетает признаки, характерные для детерминированной и стохастической моделей. При этом для описания превращений в ТООУ принимают подходящий вид уравнения (детерминированного типа), а численные значения входящих в него коэффициентов определяют методами параметрической идентификации объекта (стохастическая модель).

Математическая модель ТООУ, первоначально построенная на основе априорной информации, как правило является некоторым приближением к описанию реального процесса, поэтому в процессе освоения АСУ ТП целесообразно совершенствовать и уточнять модель с целью получения наиболее адекватного математического описания процесса и повышения эффективности управления. Знание математической модели имеет ключевое значение для решения задач оптимального планирования и

управления с помощью методов математического программирования. Этими методами составляются программы для ЭВМ, обеспечивающие решение задач оптимизации в АСУ ТП. Отмеченное весьма важно, т.к. безмашинная реализация исключительно трудоёмка и не обеспечивает требуемую оперативность.

6.7. Управляющие вычислительные машины

6.7.1. Электронно-вычислительные машины

Элементная база АСУ ТП весьма обширна, т.к. включает в себя технические средства САУ (САР), рассмотренные выше, и специальные технические средства, характерные именно для АСУ ТП.

УВМ является важной составной частью любой АСУ, в т.ч. АСУ ТП. Не следует путать УВМ с ЭВМ, предназначенной только для выполнения вычислительных функций. Отличием УВМ от ЭВМ является то, что *УВМ является совокупностью ЭВМ и устройства связи с объектом (УСО)*. Именно такое сочетание обеспечивает выполнение ЭВМ управляющих функций. УСО предназначено для осуществления связи ЭВМ с ТОУ.

Современные АСУ ТП строятся на базе ЭВМ, входящих в состав технического обеспечения АСУ и подразделяющихся на следующие классы: сверхпроизводительные (многопроцессорные) ЭВМ, называемые иногда суперЭВМ; ЭВМ общего назначения; малые ЭВМ (миниЭВМ); сверхмалые ЭВМ (микроЭВМ).

Специфические требования к ЭВМ:

– способность к одностороннему или двухстороннему обмену информацией между объектом и ЭВМ в процессе решения функциональных задач в реальном (натуральном) масштабе времени;

– пригодность к продолжительной непрерывной работе в течение сотен и тысяч часов;

– высокая надёжность и программная устойчивость к сбоям и отказам аппаратуры;

– возможность выполнения широкого круга задач управления при относительной неизменности их в течение всего периода эксплуатации.

Укрупнённые структуры ЭВМ по данным, заимствованным из разных источников, показаны на рис. 32–34.

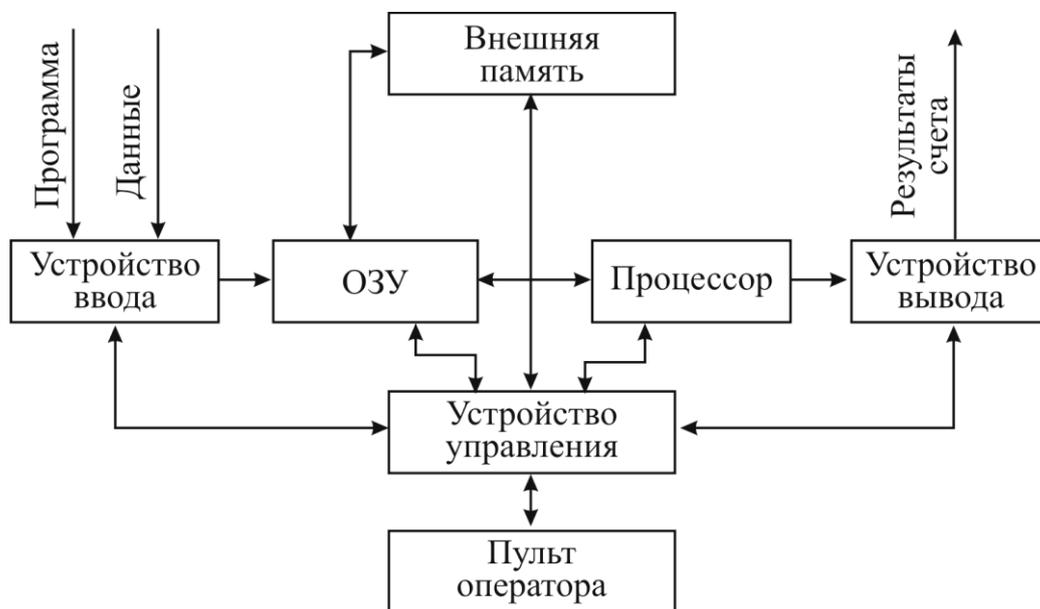


Рис. 32. Укрупнённая схема структуры ЭВМ по В.В. Дембовскому

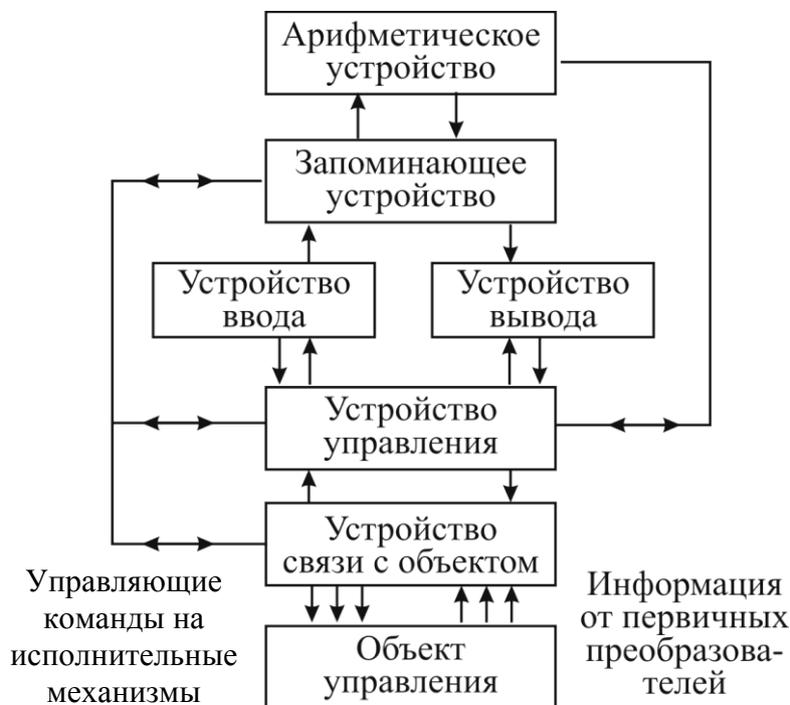


Рис. 33. Укрупнённая схема структуры ЭВМ по А.Г. Староверову

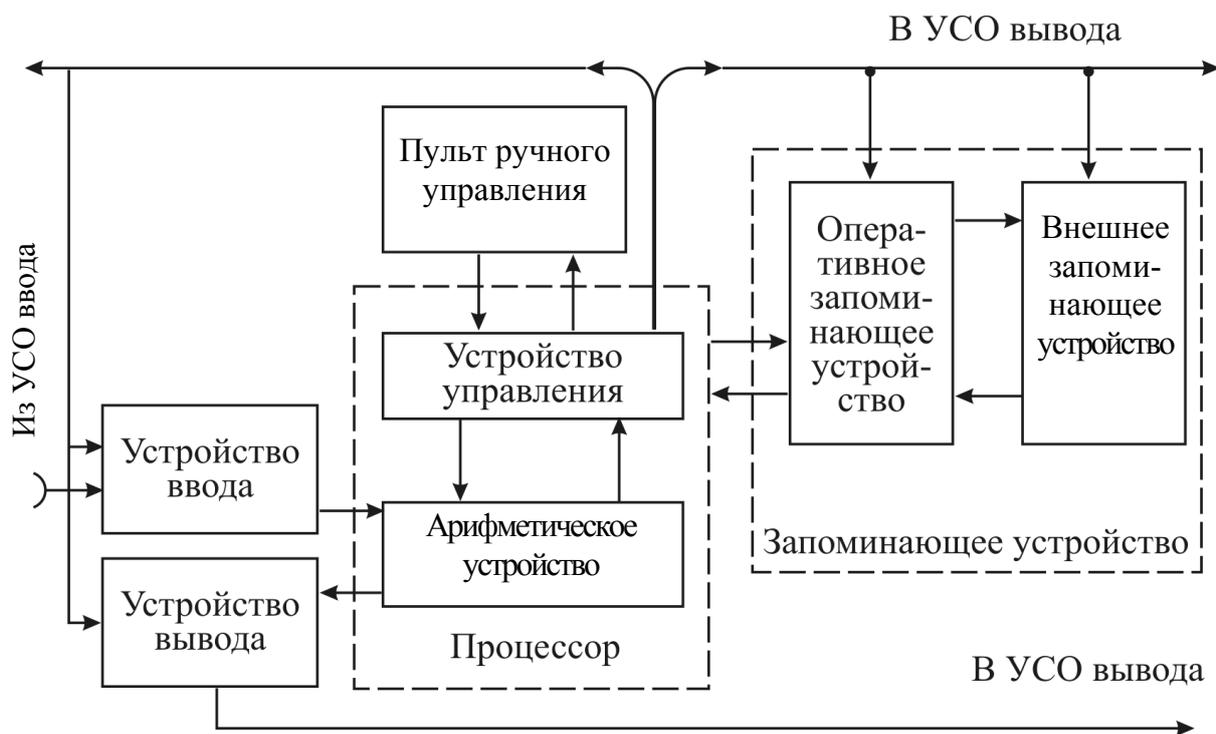


Рис. 34. Укрупнённая схема структуры ЭВМ по Е.П. Стефани

Все представленные схемы отражают основные составные части ЭВМ, при этом *более информативна схема Е.П. Стефани*, отображающая структуру процессора.

В состав ЭВМ входят:

- *арифметическое устройство АУ (арифметико-логическое устройство АЛУ)*, предназначенное для выполнения арифметических и логических операций. Арифметическое устройство функционально связано с запоминающим устройством, из которого оно получает исходные данные и в которое направляет результаты вычислений, а также с устройством управления, координирующим все действия;

- *запоминающее устройство ЗУ (оперативное запоминающее устройство ОЗУ или память)*, записывающее, хранящее и выдающее информацию, хранит исходные данные, промежуточные и окончательные результаты, а также программы и совокупности команд, необходимых для решения задач в определённой последовательности, обеспечивает возможность решения сложных задач, непосредственно связано с устройством ввода-вывода информации и с устройством управления;

- *устройства ввода и вывода информации (периферийные устройства)*, связанные через устройство управления с устрой-

ством связи с объектом. Устройство ввода используется для приёма дискретных данных, над которыми машина должна выполнить определённые действия, а также для ввода программы работы. В обычных универсальных ЭВМ ввод данных и программы осуществляется либо вручную путём набора на специальной клавиатуре машины, либо с какого-либо машинного носителя информации. В ЭВМ АСУ ТП устройства ввода позволяют принимать сигналы, несущие информацию о ходе технологического процесса. В зависимости от конструкции машина может иметь одно или несколько различных вводных устройств. Устройство вывода служит для выдачи результатов вычислений в различной форме (таблицы и пр.). К устройствам ввода относятся клавиатура, мышь, к устройствам вывода – принтер, дисплей, плоттер;

– *устройство управления (УУ)*, предназначенное для координации процесса вычисления и обмена информацией между различными узлами машины. Оно управляет всем вычислительным процессом, в т.ч. передаёт числа из ЗУ в АУ, включает АУ на выполнение требуемой операции и помещает полученный результат в ЗУ. Оно связано со всеми основными устройствами ЭВМ. С УУ связан также пульт ручного управления, служащий для контроля за работой ЭВМ и ручного управления. Машина после введения программы и исходных данных работает полностью автоматически. Ручное управление осуществляется обычно лишь в особых случаях, а также при ремонте машины и иногда при отладке программ.

УУ состоит из центрального и вспомогательных устройств, а также устройства сигнализации и устройства ручного управления. Под центральным устройством управления ЭВМ понимают совокупность блоков и узлов процессора, обеспечивающих координирование работы всех устройств ЭВМ и управления ими для всех принятых режимов. Оно организует все необходимые действия по приёму, оценке и преобразованию исходной информации, по получению результирующих данных и выдаче их пользователю. Устройства сигнализации и ручного управления непрерывно контролируют работу ЭВМ и различные изменения хода оперативного управления.

В состав ЭВМ кроме рассмотренных устройств входят различные внешние устройства, которые служат для подготовки данных и ввода их в ЭВМ, а также для оформления результатов вычислений и их хранения.

ЭВМ, предназначенная для управления, состыковывается с устройством связи с объектом (УСО), обеспечивающим сбор, преобразование и ввод в ЭВМ информации о состоянии контролируемых параметров управляемого объекта, а также преобразование и подачу управляемых команд на исполнительные механизмы.

Совокупность АЛУ и УУ образует процессор (см. рис. 34), входящий в качестве составной части в структурную схему микроЭВМ (рис. 35).

МикроЭВМ (контроллер) – разновидность обычной ЭВМ. Отличительная особенность микроЭВМ заключается в том, что преобразование данных и управление работой ЭВМ осуществляется одной микросхемой (большой интегральной схемой – БИС), которая называется микропроцессором, т.е. микроЭВМ – это ЭВМ, выполненная на базе микропроцессора.

Процессор предназначен для логической и арифметической обработки информации, а также для автоматического управления процессом вычислений в соответствии с заданной программой. Процессор организует и частично осуществляет заданную в виде программы последовательность действий (процессов). По назначению процессоры делятся на центральные и периферийные. В однопроцессорных ЭВМ все функции вычисления и управления выполняет процессор. В многопроцессорных ЭВМ имеется центральный процессор, который реализует основной процесс обработки информации, и периферийные процессоры, выполняющие различные специальные функции, в т.ч. управление работой внешних устройств. Процессор включает арифметико-логическое устройство, регистр общего назначения, регистр команд, счётчик команд. Он обладает высокой скоростью вычислений – до нескольких миллионов операций в секунду.

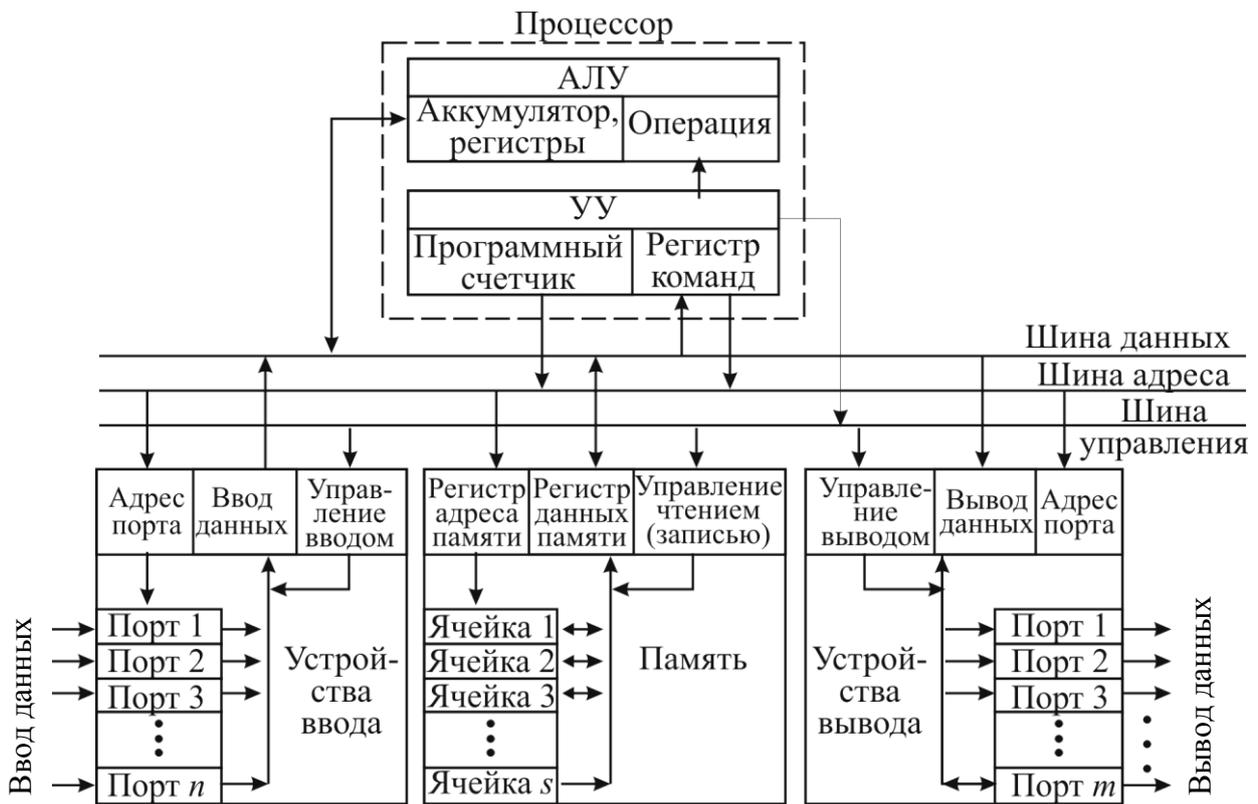


Рис. 35. Обобщённая структурная схема микроЭВМ

Взаимодействие функциональных устройств микроЭВМ определяется системным интерфейсом микроЭВМ, который включает в себя шину адреса, шину данных и шину управления. Шина адреса используется для передачи адресов памяти и адресов регистров устройств, подключённых к системному интерфейсу. Шина данных используется для обмена информацией между устройствами микроЭВМ, шина управления – для передачи управляющих сигналов. Каждое функциональное устройство, подключённое к системному интерфейсу, рассматривается процессором микроЭВМ как совокупность адресных регистров, разделяемых на регистры управления и состояния и регистры данных. В регистры управления и состояния записываются управляющие слова, которые определяют алгоритм работы функционального устройства при дешифрации их устройством управления. Регистры данных используются в качестве буферных регистров. Синхронизация работы функциональных устройств в микроЭВМ в целом осуществляется процессором.

Рассмотрение микроЭВМ ниже продолжено в разделе 6.7.3, посвящённом контроллерам и их разновидностям.

6.7.2. Схема действия ЭВМ

Всякий численный метод решения математической задачи сводит это решение к ряду последовательных арифметических действий и логических операций над числами, как заданными в условии задачи, так и полученными в процессе счёта. Каждая такая простая операция в ЭВМ выполняется под воздействием специальной команды. По форме команда представляет собой набор цифр (цифровой код), а по содержанию приказ устройству управления на выполнение определённой элементарной операции. Расшифровав команду, УУ выполняет строго определённое действие. Т.к. устройство управления цифровой вычислительной машиной само управляет всем процессом вычислений, предварительно должно быть составлено точное описание того, какие команды, в каком порядке и над какими числами должны быть выполнены. Такое описание всего процесса счёта называется программой решения данной задачи на ЭВМ.

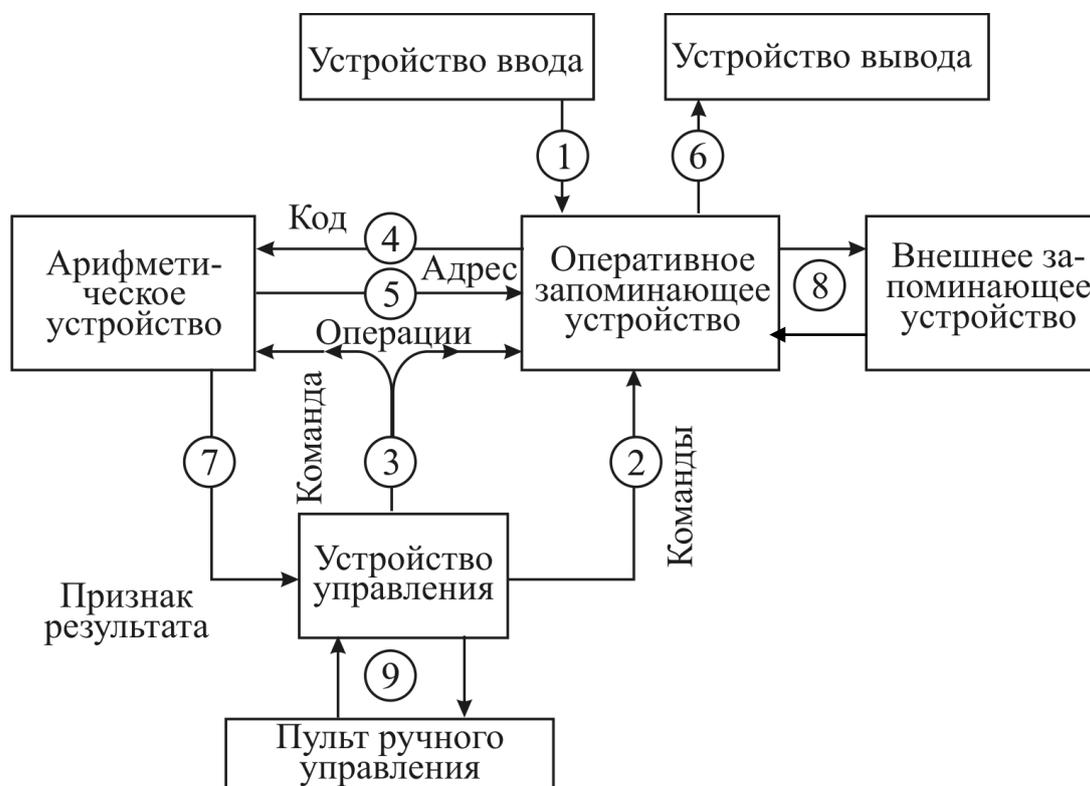


Рис. 36. Схема действия ЭВМ

Действие ЭВМ схематически может быть представлено следующим образом (рис.36):

1) в машину вводятся программа и исходные данные, после чего вся работа протекает автоматически;

2) из УУ начальный адрес программы направляется в ОЗУ, машина выбирает первую команду программы и пересылает её в УУ;

3) в УУ команда расшифровывается и расчленяется на кодовую и адресную части; кодовая часть, воздействуя на АУ и УУ, настраивает их на выполнение операции, предусмотренной кодом, адресная часть команды воздействует на ОЗУ;

4) под действием адресной части команды происходит выдача в АУ исходных чисел;

5) арифметическое устройство выполняет операцию и под действием адреса результат пересылается в соответствующую ячейку ОЗУ. После выполнения первой команды УУ извлекает из ОЗУ вторую и затем аналогичным образом выполняет её. Так же выполняются и остальные команды программы. Адрес программы изменяется с помощью счётчика команд УУ, состояние которого увеличивается на единицу после выполнения каждой команды;

6) после завершения выполнения программы полученный результат выводится через выводное устройство и машина останавливается. Возможен также и вывод промежуточных результатов вычислений, осуществляемый в процессе решения задачи. Вывод результата и останов машины происходят по специальным командам, предусматриваемым в программе;

7) ЭВМ обладает способностью выбирать то или иное продолжение вычислительного процесса в зависимости от знака полученного промежуточного результата или некоторых других его признаков. Для обеспечения такой работы в УУ из АУ после выполнения каждой команды поступает специальный сигнал, показывающий признак результата. Этот сигнал может менять состояние счётчика адреса команд;

8) в процессе решения задачи ЭВМ может часть данных переписывать во внешнее запоминающее устройство (ВЗУ) или, наоборот, вводить из него;

9) работа основных устройств ЭВМ контролируется; при необходимости допускается в некоторой части и ручное управление. Контроль и ручное управление со стороны оператора осуществляются через пульт управления.

6.7.3. Контроллеры

Специфические требования предъявляются к вычислительной аппаратуре, работающей в составе АСУ ТП в цеховых условиях. Здесь, наряду с обычными персональными ЭВМ, используются контроллеры, представляющие собой по существу микроЭВМ. Контроллеры широко используются в качестве управляющих устройств нижнего уровня управления. Они устанавливаются на пультах управления конкретными видами оборудования, в т.ч. входящими в автоматические комплексы. Тем самым контроллеры обеспечивают управление локальными подсистемами АСУ ТП, разгружая ЭВМ верхнего уровня управления и обеспечивая функционирование АСУ ТП в децентрализованном режиме.

Контроллеры подразделяются на два подкласса:

- программируемые логические,
- программируемые регулирующие.

Специализированные *программируемые логические контроллеры (ПЛК)*, называемые *промышленными компьютерами*. Специфика ПЛК – наличие нескольких аналоговых и цифровых портов, встроенный интерпретатор специализированного языка, детерминированные задержки при обработке сигналов, требующих незамедлительного реагирования. Однако ПЛК, в отличие от персональных компьютеров, рассчитаны на решение ограниченного круга задач. Они ориентированы на реализацию алгоритмов логического типа и предназначены для использования вместо различных морально-устаревших релейных и бесконтактных логических схем электроавтоматики и командоаппаратов.

В целом промышленные компьютеры имеют следующие особенности:

1) работа в режиме реального времени, для чего были разработаны специальные операционные системы;

2) конструкция, приспособленная для работы в цеховых условиях (повышенные вибрации, электромагнитные помехи, запылённость, перепады температуры, иногда взрывобезопасность);

3) возможность встраивания дополнительных блоков управляющей, регистрирующей, сопрягающей аппаратуры, что помимо специальных конструкторских решений обеспечивается использованием стандартных шин и увеличением числа плат расширения;

4) автоматический перезапуск в случае «зависания» программы;

5) повышенные требования к надёжности функционирования.

В значительной мере специализация промышленных компьютеров определяется программным обеспечением. Конструктивно промышленный компьютер представляет собой корзину (крейт) с несколькими гнёздами (слотами) для встраиваемых плат. Наиболее простые ПЛК предназначались для управления несложными объектами по фиксированной программе. Они имели 16–96 входов-выходов и малую ёмкость памяти. Более сложные ПЛК используются для управления достаточно сложными локальными объектами. Они имеют несколько сот входов-выходов, большой объём памяти.

Программируемые регулирующие контроллеры – ориентированы на реализацию алгоритмов автоматического регулирования аналоговых (непрерывных) и аналогово-дискретных технологических процессов и предназначены для использования вместо различных аналоговых и цифровых регуляторов. В частности, они применяются вместо регуляторов, работающих по ПИ- и ПИД-алгоритму регулирования в САР. Один программирующий контроллер, реализующий алгоритмы ПИД-регулирования, может вести управление по 8–16 каналам, т.е. заменяет собой 8–16 отдельных регуляторов.

Программы для контроллеров разрабатываются на ЭВМ. В программном обеспечении программируемых контроллеров используются специальные языки программирования. Для разработки программы управления для программируемого контроллера существуют специальные программы (например, ISA GRAF), которые выполняют эту работу автоматически. Напри-

мер, при разработке системы дискретной автоматики на языке релейных диаграмм элементы релейной схемы (условия и команды) вводятся в виде символов на графический монитор. Также указываются разветвления и другие элементы граф-схемы алгоритма управления, т.е. на мониторе рисуется граф-схема алгоритма управления. Отмеченная программа даёт возможность пользователю описать автоматизируемый процесс в наиболее лёгкой и понятной форме и не требует специальных знаний по программированию.

6.7.4. Структурные схемы УВМ, устройство связи с объектом, интерфейс

Ниже приведены варианты структуры УВМ (рис. 37, 38). На схеме рис. 37 в УСО1 и УСО2 собраны соответственно устройства для ввода информации от ТОУ и для вывода управляющих воздействий на объект. Назначение и функции таких узлов, как ПУ, Пр, ОП, ВП, УВв, те же, что и в обычных ЭВМ.

УВМ функционирует следующим образом. УСО1 получает от ТОУ сигналы двух видов: аналоговые (авхс – аналоговые входные сигналы) и сигналы цифровых и дискретных датчиков (сцдд). Аналоговые сигналы поступают от датчиков с аналоговым выходным сигналом, цифровые – от цифровых приборов и других ЭВМ, дискретные – от датчиков с дискретными и релейными выходными сигналами. Дискретные и релейные сигналы являются разновидностью цифровых и обрабатываются как цифровые.

Все входные аналоговые сигналы, каждый по своей линии связи, поступают на вход коммутатора (переключателя каналов) *КК1*. По командам, поступающим от процессора УВМ по линии связи с *КК1*, последний подключает на свой выход один из аналоговых датчиков, сигнал от которого в данный момент требуется передать в УВМ. С выхода *КК1* сигнал поступает в аналого-цифровой преобразователь *АЦП*. Последний преобразует аналоговый сигнал в цифровой. Коммутатор каналов *КК2* по командам от УВМ подключает ко входу УВМ один из цифровых или дискретных датчиков.

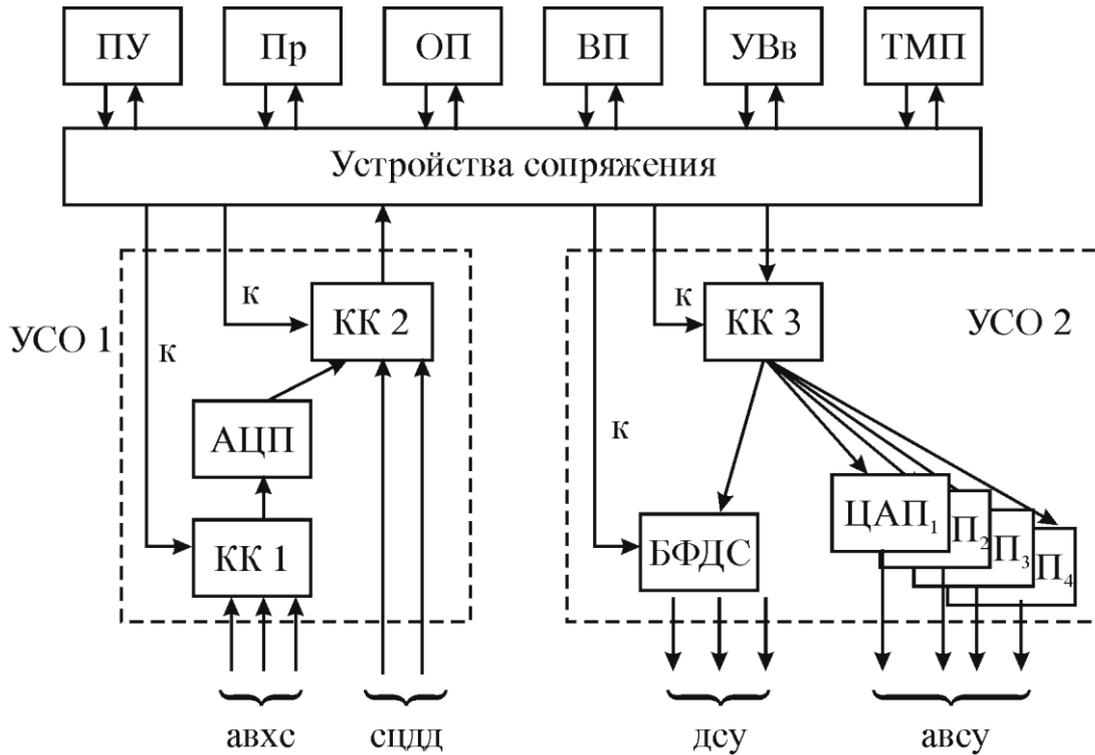


Рис. 37. Структурная схема УВМ (по В.П. Новикову): ПУ – пульт управления; Пр – процессор; ОП – оперативная память; ВП – внешняя память; УВв – устройство ввода-вывода информации (монитор, клавиатура, принтер); ТМР – таймер (счётчик времени)

Сигналы управления, выдаваемые УВМ на ГОУ, также должны быть двух видов: дискретные (дсу – дискретные сигналы управления) и аналоговые (авсу – аналоговые выходные сигналы управления). Пример дискретного сигнала управления – включение контактора электродвигателя; пример аналогового сигнала – значение напряжения, которое должно быть подано на исполнительный механизм регулятора с непрерывным алгоритмом регулирования. При управлении электродвигателем с контактором УВМ выдаёт релейное значение логической переменной (1 или 0), которое в УСО должно преобразоваться в напряжение, необходимое для включения контактора. При управлении исполнительным механизмом системы непрерывного регулирования в УВМ будет выработана числовая величина, которая в УСО должна преобразоваться в соответствующее аналоговое значение напряжения или тока.

Дискретные сигналы управления и сигналы двухпозиционного регулирования вырабатываются в блоке формирования дискретных сигналов управления – *БФДС*. К выходам этого блока подключаются катушки контакторов, реле, электромагниты распределителей и т.п. Аналоговые сигналы управления вырабатываются в цифро-аналоговых преобразователях *ЦАП*. Для каждого аналогового сигнала управления необходим свой преобразователь. Коммутатор каналов *ККЗ* по команде от УВМ подключает к ней тот канал, для которого она в данный момент выдаёт результат. Поскольку УВМ обращается к каждому управляемому устройству периодически, *БФДС* и *ЦАП* должны запоминать и поддерживать выданные УВМ значения в промежутки времени между обращениями к одному и тому же каналу.

Связь ЭВМ с УСО осуществляется точно так же, как и с другими устройствами ввода-вывода. Каждому устройству присвоен определённый номер (адрес). Свои номера имеют как стандартные устройства ввода-вывода (монитор, клавиатура, принтер), так и устройства, подключённые к УСО.

При исполнении программы, когда наступает необходимость получения данных от какого-либо внешнего устройства или получено значение какого-либо управляющего воздействия, выполняется оператор ввода-вывода, который содержит номер устройства, с которого следует считать информацию (датчика, таймера и др.) или которому следует выдать информацию (*ЦАПу*, регулятору, контактору и т.п.).

Таймер весьма часто используется в программах управления. Он может выполнять следующие функции: сообщать текущее время (от заданного начального момента); задавать какие-либо действия ЭВМ в заданные моменты времени; вести учёт или ограничивать время решения задачи на ЭВМ и др. Таймер представляет собой устройство, на выходе которого формируется число, пропорциональное времени. Считывая с таймера значения текущего времени, можно решать различные задачи управления, требующие отсчёта временных интервалов. УВМ должна работать в реальном масштабе времени. Под этим понимается тот факт, что результаты работы машины должны своевременно использоваться для целей управления.

Другая структурная схема УВМ показана на рис. 38.

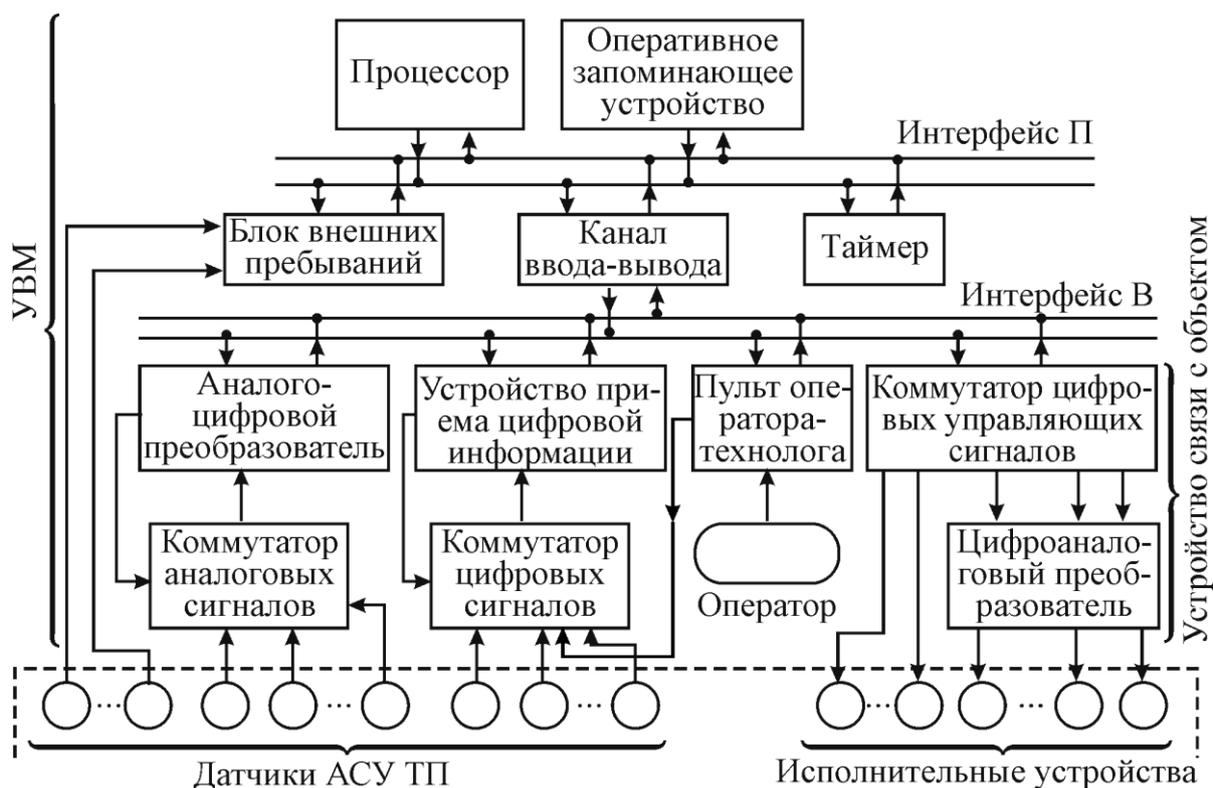


Рис. 38. Структурная схема УВМ, включающая устройство связи с объектом управления (УСО) (по В.Д. Родионову и др.)

На схеме показано, как конкретно осуществляется обмен информацией между отдельными устройствами УВМ. Для этой цели используются так называемые *интерфейсы*. Под интерфейсом понимается совокупность унифицированных аппаратных, программных и конструктивных средств, необходимых для реализации алгоритма *взаимодействия* различных функциональных блоков в автоматизированных системах обработки информации и управления при условиях, предписанных стандартом и направленных на обеспечение информационной, электрической и конструктивной совместимости указанных блоков. Интерфейсы системы связи рассчитаны на выполнение по командам *обмена данными* между устройствами в цифровой форме и содержат для этого необходимый состав цепей. В упрощённой формулировке *интерфейс – средство сопряжения различных блоков УВМ*.

Структура системы связи УВМ с ТОУ содержит, как это видно из рис. 38, два интерфейса: стандартный интерфейс ввода-вывода *В* и внутренний интерфейс *П*, обслуживающий процессор УВМ. Управление работой интерфейса *В*, к которому подсоединены все устройства связи УВМ с ТОУ, осуществляет канал

ввода-вывода. Интерфейс *П* обеспечивает обмен информацией между процессором, оперативной памятью (*ОП*) и каналом ввода-вывода. К интерфейсу *П* подсоединён блок внешних прерываний процессора по сигналам от датчиков АСУ ТП и таймер-устройство текущего времени, формирующее сигналы для организации обработки информации и управления объектом.

6.7.5. Режимы функционирования УВМ

УВМ может работать в *однопрограммном* или в *мультипрограммном режиме*. Мультипрограммный режим нужен для того, чтобы УВМ могла одновременно управлять несколькими параметрами или несколькими механизмами. Мультипрограммный режим – организация одновременного выполнения нескольких программ на одной машине. При этом выполняется следующее:

1) устанавливается принцип приоритетного разделения выполняемых программ. По этому принципу в каждый данный момент времени выполняется заявка на выполнение той программы, чей приоритет наивысший из всех поступивших или выполняемых заявок (заявка – это сигнал или требование на выполнение какой-либо программы);

2) в УВМ предусматривается возможность прерывания вычислительного процесса. Прерывание – это временное прекращение вычислений по одной программе для выполнения другой программы. Сигналы, вызывающие прерывание, называются запросами прерывания. Запросы на прерывание могут поступать:

- из выполнения программы,
- от датчиков ТОУ,
- от таймера,
- с пульта оператора.

Работа УВМ в мультипрограммном режиме с приоритетом программ организуется следующим образом. Если при выполнении какой-либо программы поступила заявка на выполнение программы с более низким приоритетом, то эта заявка ставится в очередь, т.е. организуется очередь программ. Если поступившая заявка имеет более высокий приоритет, то работа с выполняемой программой прерывается, её результаты запоминаются и выполняется поступившая заявка. После выполнения заявки с высоким приоритетом следует вернуться к прерванной программе.

6.8. Общая структура АСУ ТП

Ниже приведена схема общей структуры АСУ ТП литейного цеха (рис. 39). В схеме представлены следующие основные звенья: центральный пункт оператора-технолога; машинный зал, включающий управляющий вычислительный комплекс (УВК), оператора УВК и пр. Здесь в общем случае в зависимости от сложности систем регулирования и управления под системами локальной автоматике следует подразумевать САР, САУ либо подсистемы АСУ ТП.

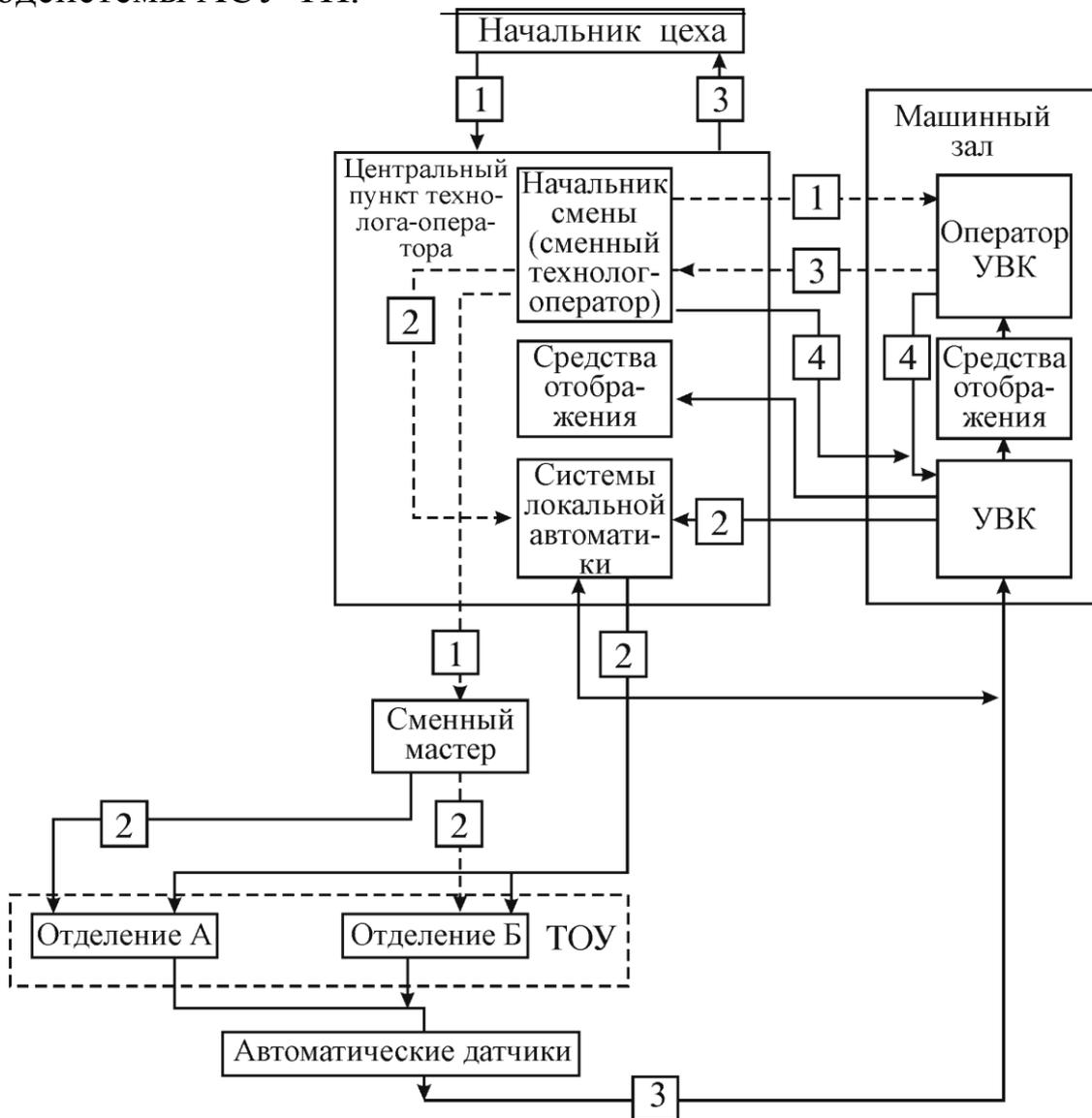


Рис. 39. Схема общей структуры АСУ ТП литейного цеха:
 автоматическая связь; ----- неавтоматическая связь;
 1 – указания и распоряжения; 2 – управляющие воздействия;
 3 – информация о состоянии объекта; 4 – ввод информации

Более детальная, техническая структура АСУ ТП представлена на рис. 40. Согласно этой схеме непосредственно на объекте управления устанавливаются:

- первичные измерительные преобразователи (датчики), воспринимающие значения параметров процесса (давление, расход газов или жидкостей, температуру, электрическую мощность, уровень жидкости и т.д.);

- сигнальные двухпозиционные устройства, дающие информацию о включении или выключении того или иного оборудования;

- исполнительные двухпозиционные или регулирующие органы, осуществляющие управляющие воздействия путём открытия вентилей и заслонок, изменения частоты вращения двигателей, режима работы насосов и т.п.

В непосредственной близости от технологических объектов устанавливаются местные щиты управления, на которых монтируются регуляторы 1, вторичные измерительные приборы показывающие 2 и самопишущие 3, а также другие устройства и узлы локальной автоматики 4. Иногда местные щиты не являются постоянным рабочим местом персонала, ими пользуются обходчики, сменные мастера (по мере необходимости).

Оператор, ведущий технологический процесс всего объекта управления, постоянно находится на центральном пульте управления, который оборудован щитами, пультами, а также электрифицированной печатающей машинкой 15 для регистрации параметров по вызову оператора и кроссовым шкафом 16. На пульте установлены аналоговые измерительные приборы (показывающие 5, самопишущие 6, цифровые измерительные приборы 7, показывающие по вызову оператора адрес (номер) и значение индицируемого параметра, индикаторы на электронно-лучевых трубках 8 для представления оператору буквенно-символьной и графической информации (дисплей), сигнальные табло 9, сообщающие оператору те или иные рекомендации по ведению управляемого процесса.

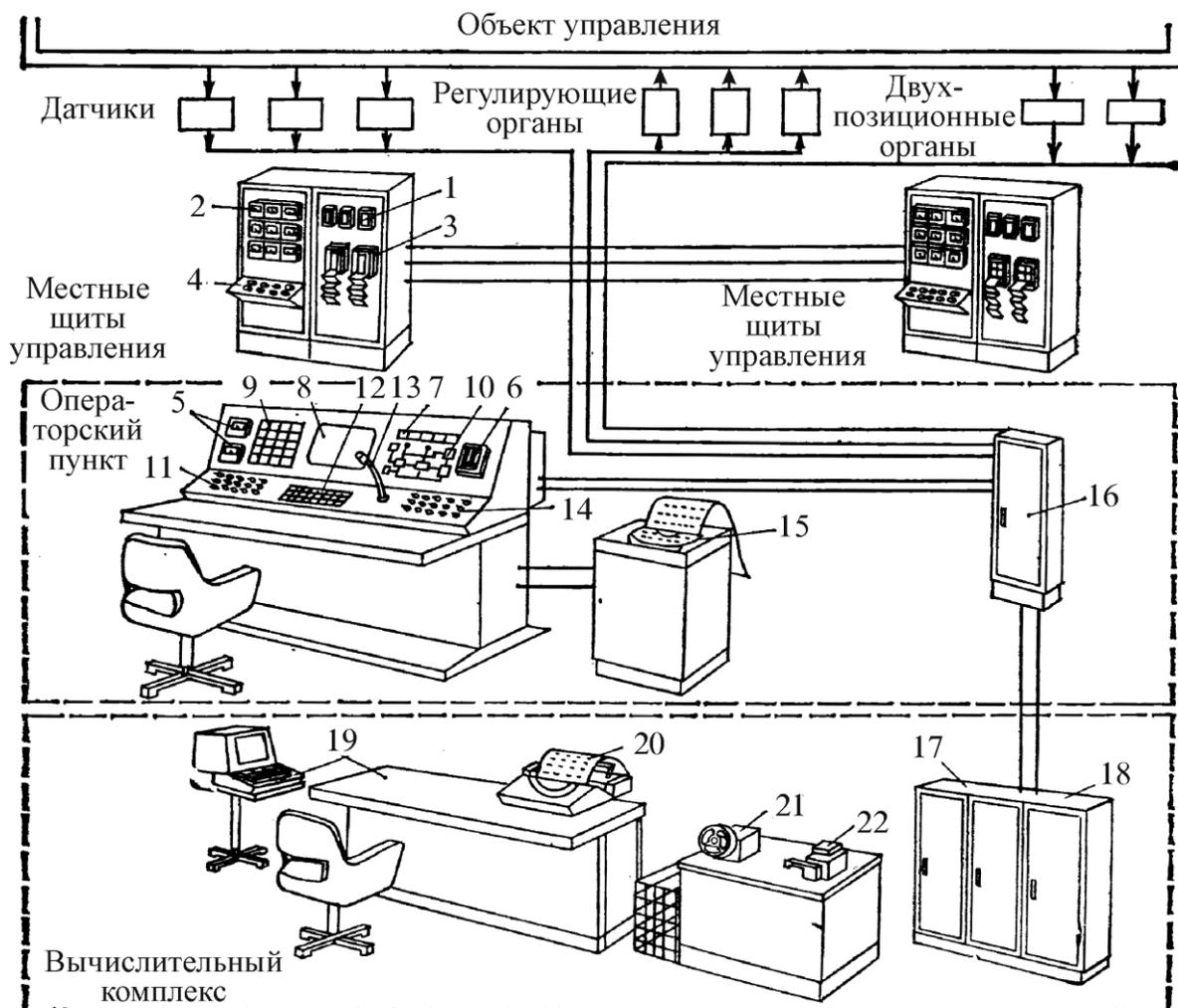


Рис. 40. Схема технической структуры АСУ ТП

Кроме того, часто имеется мнемоническая схема 10, соответствующая технологическому процессу и дающая оперативную информацию о состоянии объекта в любой момент времени (какие именно агрегаты включены, какие заслонки перекрыты и т.д.); на мнемосхеме автоматически индицируется отклонение того или иного параметра от нормы.

На пульте оператора также устанавливаются:

- дистанционные задатчики 11, позволяющие оператору изменять уставки регуляторов, смонтированных на местных щитах;
- клавиатура 12 для вызова показаний на цифровые приборы 7;
- средства цеховой связи 13 (телефонный коммутатор или селектор, громкоговорящая связь и т.п.);

– ключи дистанционного управления *14*, позволяющие оператору производить на объекте те или иные переключения.

На центральном пункте размещается ЭВМ – вычислительный комплекс АСУ ТП. В его состав входят:

– устройства информационной подсистемы *17* (коммутаторы сигналов, аналого-цифровые преобразователи, устройство выработки отклонений параметров, превышающих допустимые значения, устройство памяти предельных значений параметров, устройство масштабирования для преобразования относительных показаний датчиков в абсолютные, устройство опроса состояний сигнальных двухпозиционных органов и др.);

– устройства управляющей подсистемы *18* (арифметическое устройство, оперативное запоминающее устройство, внешнее запоминающее устройство на магнитных дисках или лентах, устройство мультиплексной (селекторной) связи с другими устройствами вычислительного комплекса, цифро-аналоговый преобразователь, устройства кодового управления исполнительными механизмами или органами сигнализации на щите оператора, устройство аналогового управления регуляторами и регулируемыми органами и др.);

– инженерный пульт (пульт программиста) *19* – рабочее место оператора ЭВМ;

– электрическая пишущая машинка *20*, аналогичная машинке *15* в операторском пункте, но предназначенная для периодической печати (например, учётных показателей за смену);

– считыватель с перфоленты *21* для ввода программ и постоянной информации в память машины;

– ленточный перфоратор *22* для перфорации на бумажной ленте промежуточных результатов расчётов.

6.9. Схема функционирования и комплекс типовых функций АСУ ТП

Наглядная схема функционирования АСУ ТП представлена на рис.41. Она отражает основные функции АСУ ТП – измерение параметров, сбор информации о ТОУ, формирование заданий на управление, выработку команд управления и пр.

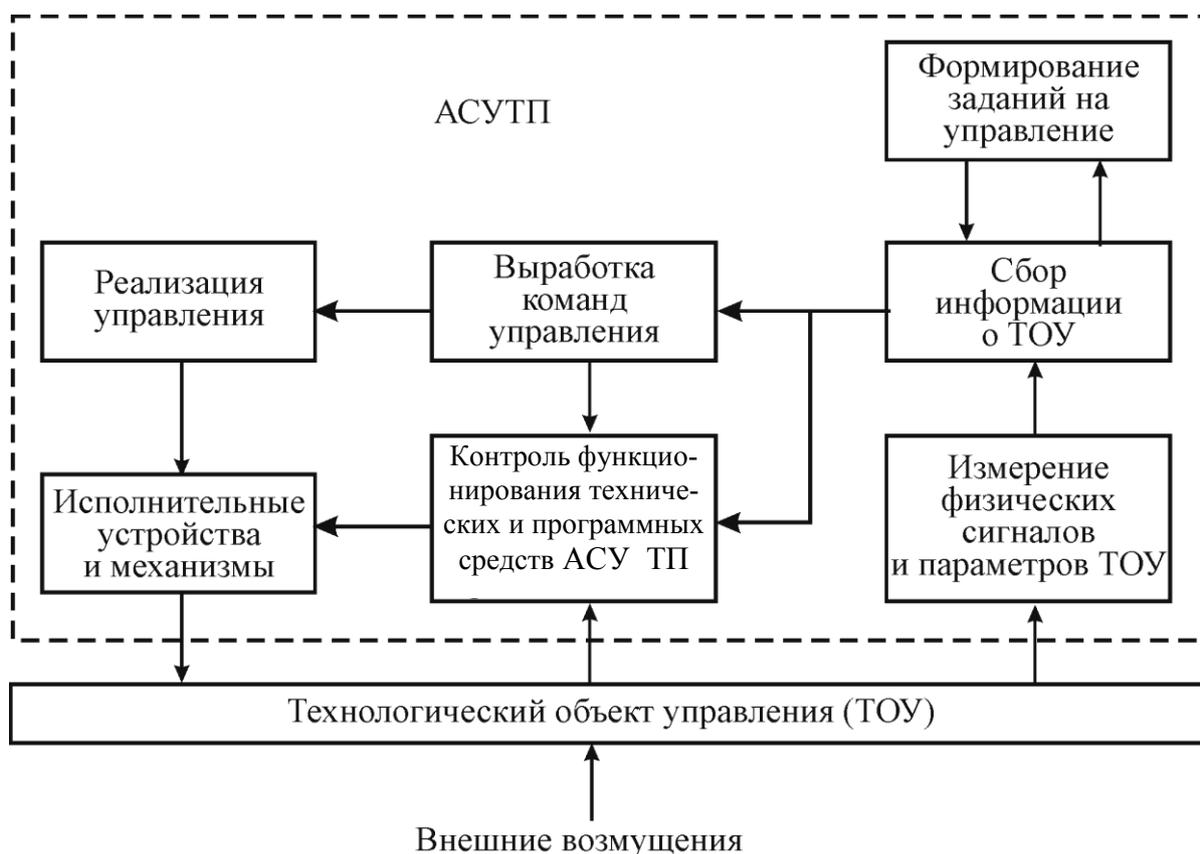


Рис. 41. Обобщённая блок-схема функционирования АСУ ТП

Функции АСУ ТП – совокупность действий системы, направленных на достижение частной цели управления. Они подразделяются на информационные, управляющие и вспомогательные.

Информационные функции АСУ ТП – это функции системы, содержанием которых является сбор, обработка и представление информации о состоянии автоматизированного технологического комплекса (АТК) оперативному персоналу или передача этой информации для последующей обработки. К информационным функциям АСУ ТП относятся:

– контроль основных параметров, т.е. непрерывная проверка соответствия параметров процесса допустимым значениям и не-

медленное информирование персонала при возникновении несоответствий;

- измерение или регистрация по вызову оператора тех параметров процесса, которые его интересуют в ходе управления объектом;

- информирование оператора (по его запросу) о производственной ситуации на том или ином участке объекта управления в данный момент;

- фиксация времени отклонения некоторых параметров процесса за допустимые пределы;

- вычисление по вызову оператора некоторых комплексных показателей, не поддающихся непосредственному измерению и характеризующих качество продукции или другие важные показатели технологического процесса;

- вычисление достигнутых технико-экономических показателей работы технологического объекта;

- периодическая регистрация измеряемых параметров и вычисляемых показателей;

- обнаружение и сигнализация наступления опасных (предварийных, аварийных) ситуаций;

- подготовка и передача информации в смежные системы управления.

Выполняя эти основные информационные функции, АСУ ТП своевременно обеспечивает своего оператора (диспетчера) или вышестоящую систему сведениями о состоянии и любых отклонениях от нормального протекания технологического процесса.

Управляющие функции АСУ ТП – это функции, результатами которых является выработка и реализация управляющих воздействий на ТОО. Здесь под выработкой понимается определение на основании полученной информации рациональных воздействий, а под реализацией – действия, обеспечивающие осуществление принятых после выработки решений. К управляющим функциям АСУ ТП относятся:

- регулирование (стабилизация) отдельных технологических параметров;

- программное изменение режима процесса по заранее заданным законам;

- оптимальное управление установившимися или переходными режимами или отдельными стадиями процесса;
- логическое управление операциями или механизмами, управление пусками и остановами агрегатов;
- защита оборудования от аварий.

Отличительная особенность управляющих и информационных функций АСУ ТП – их направленность на конкретного потребителя (ТОУ, оперативный персонал, смежные системы управления).

Вспомогательные функции АСУ ТП состоят в обеспечении контроля состояния функционирования технических и программных средств системы, обобщённой оценки и проверки состояния АТК и его оборудования.

6.10. Иерархия уровней АСУ ТП

В соответствии с рассмотренными типовыми функциями современная АСУ ТП является многоуровневой системой, построенной по определённой иерархической системе (рис.42). При укрупнённом рассмотрении она включает два уровня:

- верхний уровень (диспетчерский),
- нижний уровень (контроллерный).

Верхний диспетчерский (информационный) уровень – включает автоматизированное рабочее место оператора АРМ и строится на концепции SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), обеспечивающей диспетчерское управление и сбор данных, что позволяет достичь высокого уровня автоматизации в решении задач разработки систем управления, сбора, обработки, передачи, хранения и отображения информации. SCADA-системы обеспечивают полноту и наглядность представляемой информации, удобство пользования подсказками и справочной системой, что повышает эффективность взаимодействия диспетчера с системой и сводит к нулю его критические ошибки при управлении. Большой объём информации, непрерывно поступающей с устройств ввода-вывода систем управления, предопределяет наличие в таких системах баз данных.

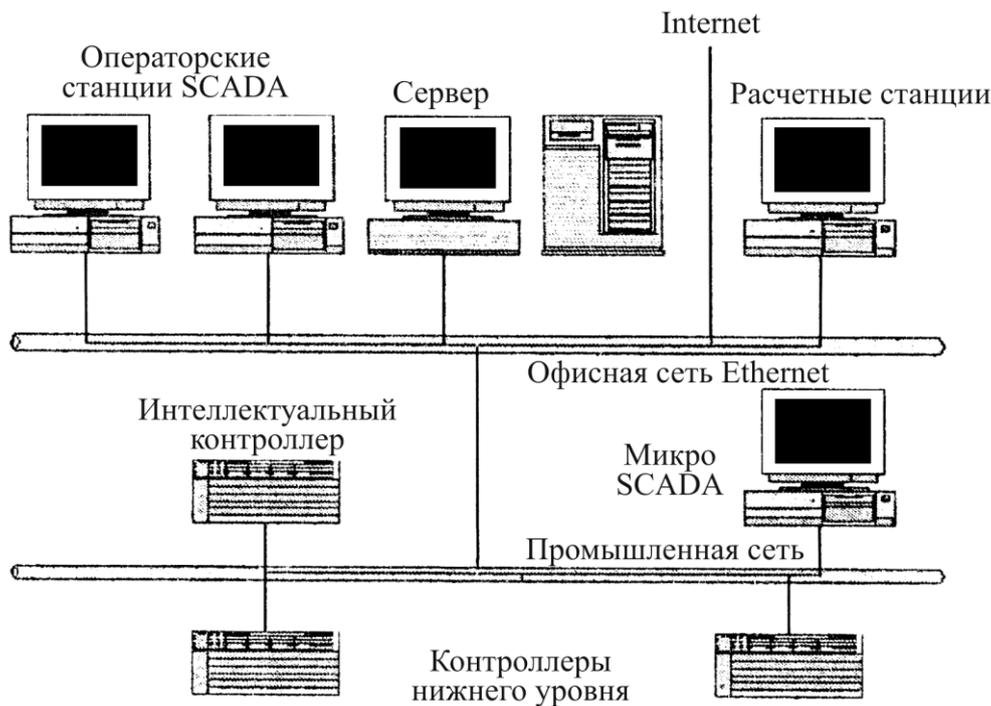


Рис. 42. Иерархия уровней АСУ ТП:
 верхний уровень SCADA (диспетчерский) и нижний уровень (контроллерный)

Техническое обеспечение на диспетчерском уровне обычно представлено персональными компьютерами. В настоящее время системы SCADA являются наиболее перспективными методами автоматизированного управления сложными динамическими системами и процессами, к которым относятся ТОО литейного производства.

Функции систем SCADA:

- сбор первичной информации от датчиков;
- хранение, обработка и визуализация данных;
- управление и регистрация аварийных сигналов;
- связь с корпоративной информационной сетью;
- автоматизированная разработка прикладного программного обеспечения;
- представление текущей информации оперативному персоналу и другим пользователям.

SCADA-системы состоят из терминальных компонентов, диспетчерских пунктов и каналов связи (промышленных шин).

Нижний, контроллерный уровень включает программируемые логические или регулирующие контроллеры, встроенные в

технологическое оборудование (встроенные системы), различные датчики для сбора информации о ходе технологического процесса, регуляторы и исполнительные механизмы для реализации управляющих воздействий. Датчики поставляют информацию программируемым контроллерам с операционными системами реального времени, которые могут выполнять следующие функции:

- 1) запуск, тестирование и выключение оборудования;
- 2) регулирование отдельных параметров технологических процессов и многосвязное регулирование;
- 3) логическое управление (выполнение логических операций дискретного управления процессом и оборудованием);
- 4) выработка управляющих воздействий для рабочих органов программно-управляемого оборудования, управление исполнительными механизмами;
- 5) оптимальное управление технологическим процессом и оборудованием;
- 6) сбор и обработка информации о состоянии параметров технологического процесса и технологического оборудования;
- 7) регистрация параметров технологического процесса и состояния оборудования;
- 8) контроль и регистрация отклонений параметров процесса и состояния оборудования от заданных;
- 9) анализ срабатывания блокировок и защит технологического оборудования;
- 10) сигнализация о неисправностях;
- 11) диагностика и прогнозирование хода технологического процесса и состояния технологического оборудования;
- 12) оперативное отображение информации и рекомендаций ведения технологического процесса и управления технологическим оборудованием;
- 13) расчёт технико-экономических и эксплуатационных показателей технологического процесса и технологического оборудования.

В зависимости от характера и условий производства распределение функций между верхним и нижним уровнем АСУ ТП может меняться.

6.11. Режимы функционирования АСУ ТП

АСУ ТП можно классифицировать по режимам функционирования (информационный; советчик оператора; супервизорное управление; непосредственное числовое, цифровое управление) и по структуре (централизованные и децентрализованные); при этом, как будет показано ниже, степень централизации системы увязывается определённым образом с режимом функционирования АСУ ТП.

Рассмотрим последовательно варианты режимов функционирования:

1. *Информационный режим* (рис. 43,а) – осуществляется в *разомкнутом контуре*, в информационном режиме выходы $y_1 \dots y_n$ ТООУ контролируются системой датчиков Д1, Д2, Д3 и т.д. Сигналы датчиков и дискретные сигналы ДС непосредственно от ТООУ передаются оператору и вводятся им в ЭВМ (УСО отсутствует). Эти данные обрабатываются по установленным зависимостям и регистрируются системой вывода для последующего использования инженером-технологом. Сбор данных необходим для изучения процесса при различных условиях, а также для построения или уточнения математической модели процесса. Часть экономической информации (организационно-экономического характера) и программа вводятся с пульта ручного ввода и управления ЭВМ. Вручную вводится также технологическая информация, которая не воспринимается автоматически, например, при отсутствии соответствующих средств измерения. Результаты переработки информации фиксируются в памяти ЭВМ, выводятся на печать и отображаются на экранах дисплеев, табло, устройствах сигнализации в форме, облегчающей их восприятие и анализ обслуживающим персоналом. В процессе управления эти результаты используются, например, для коррекции оператором заданий Z_d местным регуляторам P , воздействующим на входы объекта $x_1 \dots x_k$ через исполнительные механизмы ИМ1, ИМ2, ИМ3 и регулирующие органы.

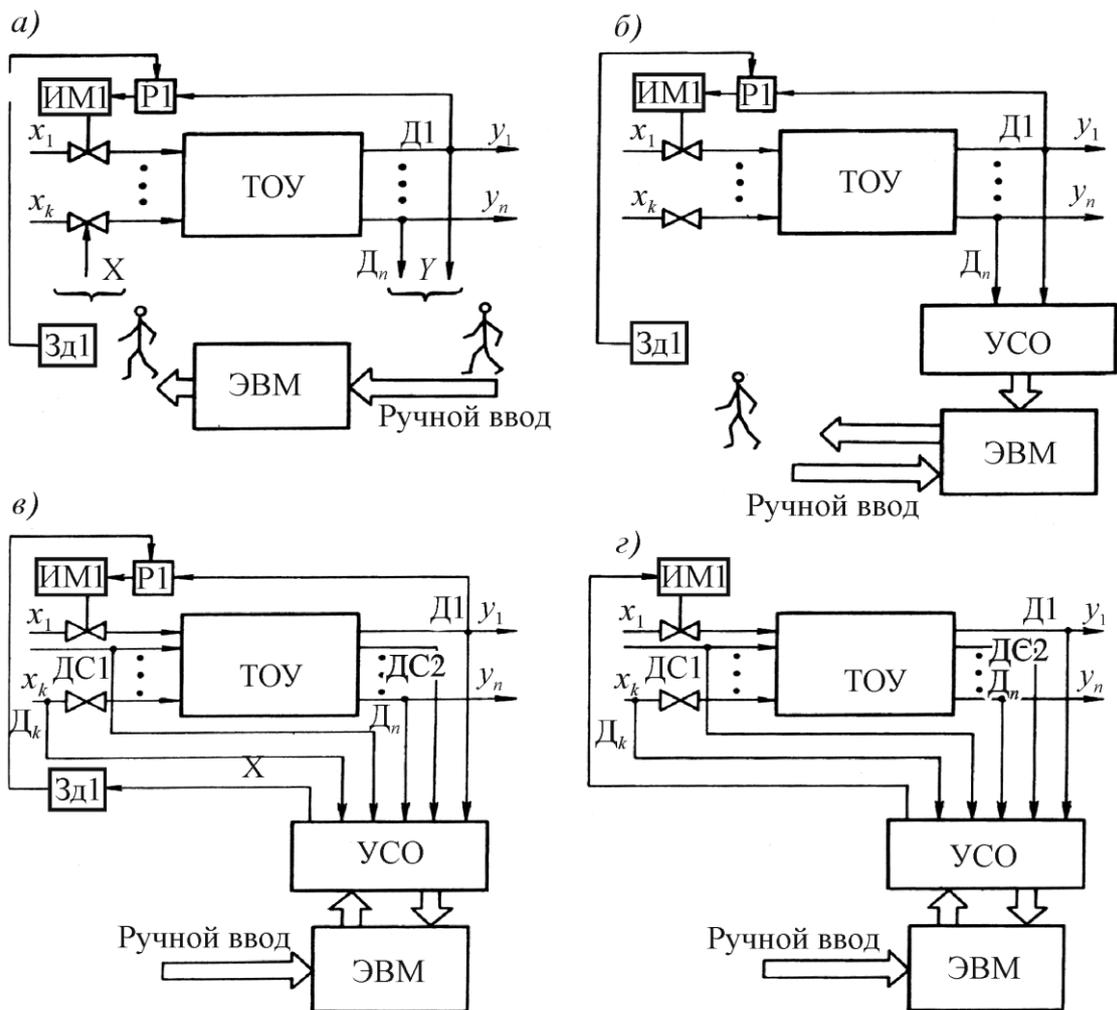


Рис. 43. Схема режимов функционирования АСУ ТП:
 а) информационный; б) советчик оператора; в) супервизорный;
 г) прямое цифровое управление

В информационном режиме ЭВМ выполняет следующие процедуры:

- непрерывно контролирует соответствие параметров процесса допустимым значениям; при обнаружении несоответствия выдаёт сигнал, регистрирует момент выхода за допустимые пределы; при достижении вышедшим ранее за допустимые пределы параметром нормального значения фиксирует момент достижения нормы;

- производит избирательный (по желанию оператора) вызов любого из параметров процесса;

- периодически регистрирует значения контролируемых параметров;

- сигнализирует о наступлении аварийного состояния;
- вычисляет некоторые комплексные показатели хода контролируемого процесса (расход вещества, энергии; средние значения параметров за заданное время; КПД агрегата и др.).

В этом режиме преимущественно реализуются информационная система сбора данных и контрольные функции.

2. *Режим советчика оператора* (рис.43,б) – осуществляется также в *разомкнутом контуре*. В этом режиме ЭВМ работает по более сложной программе и с большим объёмом информации с тем, чтобы по результатам её переработки выдавать оператору рекомендации по поддержанию оптимальных режимов функционирования ТООУ. При этом результаты измерения и контроля, а также полученные ЭВМ показатели и советы используются в АСУ ТП для определения оптимальных управляющих воздействий, а собственно формирование и ввод управляющих воздействий на объект осуществляются вручную с помощью устройств дистанционного управления. Оператор-технолог осуществляет управляющие воздействия после получения указаний от ЭВМ, включающей УСО.

ЭВМ функционирует следующим образом. Через заданные промежутки времени (обычно один раз за 5–10 мин.) входные переменные процесса через АЦП и схемы цифрового входа поступают в ЭВМ, где они линеаризуются, масштабируются и используются в модели управления. После вычисления по алгоритмам, необходимым для приближения процесса к оптимальному режиму, результаты расчёта в виде указаний оператору на изменение уставок регуляторов печатаются устройствами вывода. Оператор управляет процессом, изменяя уставки регуляторов или выполняя другие действия в соответствии с указаниями ЭВМ. Регуляторы являются средствами поддержания оптимального управления процессом, а оператор является следящим и управляющим звеном, при этом ЭВМ непрерывно направляет оператора с целью оптимизации технологического процесса.

3. *Супервизорный* (управляющий) режим (рис.4,в) – наиболее распространённый на практике, осуществляется в *замкнутом контуре* управления, в этом режиме ЭВМ автоматически контролирует задания местным регуляторам и реализует цифро-

вое управление уставками регуляторов. Работа входной части при супервизорном управлении мало отличается от работы ЭВМ в режиме советчика. Принципиальное отличие от режима советчика заключается в режиме работы выходной части. После выполнения расчётов по модели и определения управляющих воздействий они непосредственно поступают в виде уставок на регуляторы (минуя оператора, через которого они проходят в режиме советчика). Так как контур управления при данном режиме замкнут, то функции оператора сводятся лишь к визуальному контролю и наблюдению за ходом технологического процесса и вмешательству при аварийных ситуациях.

Помимо контрольных функций в этом режиме ЭВМ может выполнять:

- пуск и останов агрегатов;
- определение параметров оптимального режима в соответствии с выбранным критерием оптимальности;
- формирование управляющих воздействий, обеспечивающих ведение оптимального (или заданного оператором) режима;
- расчёт и регистрацию текущих и усреднённых технологических и экономических показателей;
- выполнение необходимых расчётов для определения параметров объекта в случае их изменения (коррекцию математической модели объекта);
- обработку сигналов из управляющих систем высшего уровня и выдачу информации в управляющие системы высшего уровня (при иерархическом построении АСУ).

Типовая структура супервизорной АСУ ТП изображена также на рис. 44. По данным, поступающим от датчиков (Д) локальных подсистем через УСО, УВМ вырабатывает значение уставок в виде сигналов, поступающих непосредственно на входы САР. Основная задача супервизорного управления – автоматическое поддержание процесса вблизи оптимальной рабочей точки. Кроме того, супервизорное управление позволяет оператору-технологу использовать плохо формализуемую информацию о ходе технологического процесса, вводя через УВМ коррекцию уставок, параметров алгоритмов регулирования в локальные контуры. Например, оператор вводит необходимые изменения в

управление процессом при изменении сырья и состава вырабатываемой продукции. Это требует определения новых значений коэффициентов уравнений математической модели ТОУ, что может выполняться любой другой внешней ЭВМ или самой УВМ, если она не загружена.

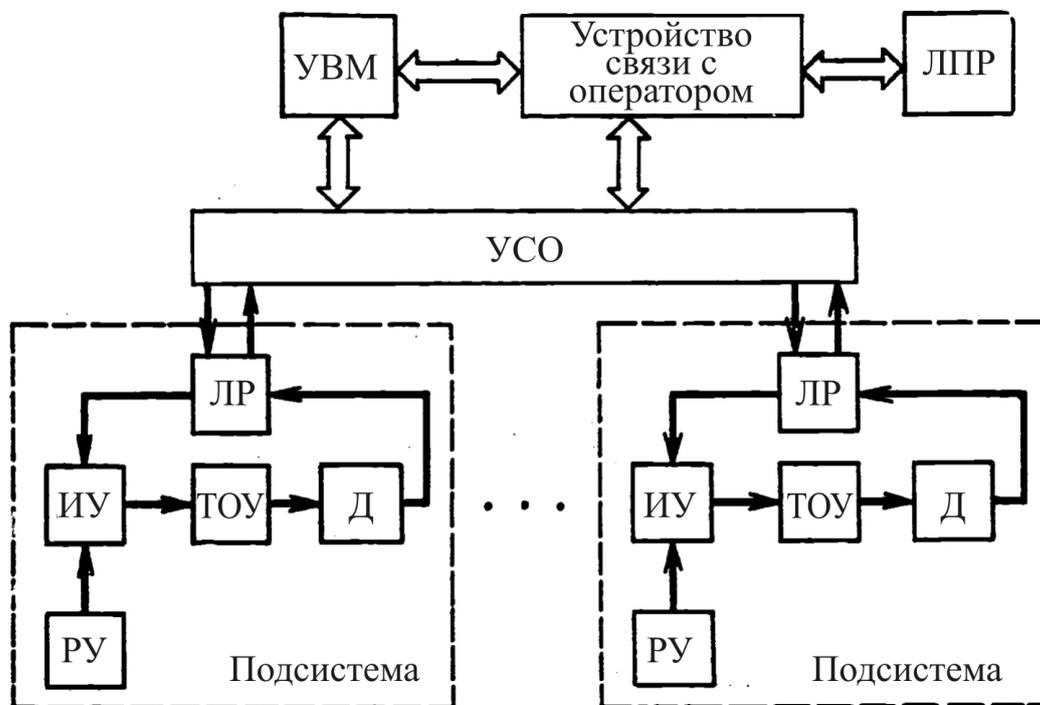


Рис. 44. Типовая структура АСУ ТП с супервизорным режимом работы УВМ: ЛПР – центральный пульт оператора; ЛР – локальный регулятор; ИУ – исполнительное устройство; РУ – ручное управление; Д – датчик

Работа информационно-измерительной части системы супервизорного управления практически не отличается от системы с ПЦУ (см. ниже). Функции оператора в этом случае сводятся лишь к наблюдению, а его вмешательство необходимо только в аварийных ситуациях.

Достоинство системы супервизорного управления состоит в том, что УВМ в ней не только автоматически контролирует процесс, но и автоматически управляет им вблизи оптимальной рабочей точки. Рассматриваемая система управления технологическим процессом является многоканальной как в информационной части, так и на уровне оптимизации.

4. *Непосредственное прямое цифровое управление (ПЦУ)* (рис. 43,г и 45). В данном режиме необходимость в местных регуляторах отпадает, структура системы упрощается.

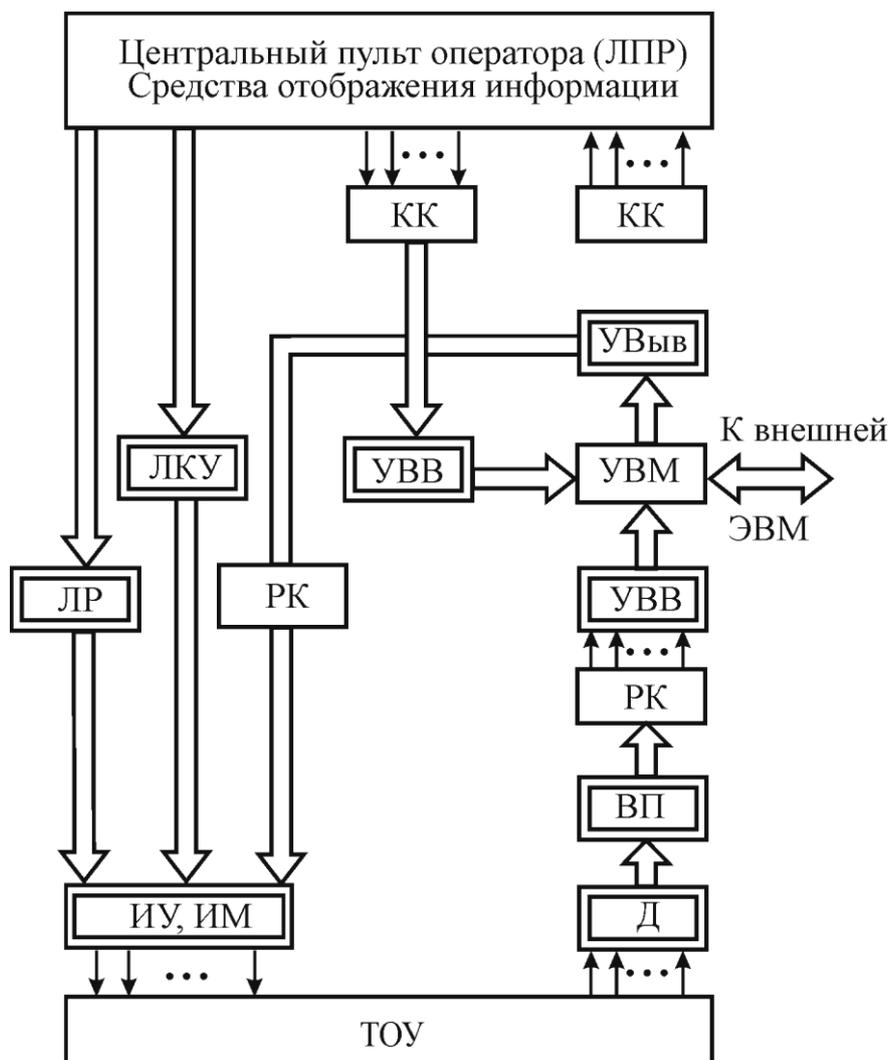


Рис. 45. Типовая структура системы с прямым цифровым управлением

Принцип действия системы с ПЦУ (рис.45): часть функций регулирования и логико-командного управления выполняют локальные (*Л*) средства контроля (*К*), регулирования и управления (*У*), а именно ЛР и ЛКУ, а остальную часть их выполняет УВМ в режиме ПЦУ (в цепи с ЛКУ локальный регулятор ЛР исключён). Сигналы от источников информации – датчиков (*Д*), вторичных преобразователей (*ВП*) – через распределитель каналов (*РК*) поступают на входы устройства ввода (*УВВ*) и оттуда в цифровой форме вводятся в УВМ. Через другое устройство ввода в УВМ поступают сигналы задания из центрального пульта через коммутатор каналов (*КК*). В УВМ формируются управляющие воздействия на регулирующие органы *ТОУ* (через *РК* и исполнительное устройство *ИУ* или исполнительный механизм *ИМ*),

определяются оптимальные настройки для ЛР, вырабатываются данные и команды для визуализации технологической информации, передаваемые от УВМ через устройства вывода (УВыв) и коммутатор каналов (КК).

В АСУ ТП с ПЦУ оператор должен иметь возможность изменять уставки, контролировать избранные переменные, варьировать диапазоны допустимого изменения переменных, изменять параметры настройки и иметь доступ к управляющей программе. Для обеспечения этих функций необходимо иметь сопряжение (человек-машина) в виде пульта оператора и средств отображения информации.

Применение УВМ в режиме ПЦУ позволяет строить программным путём системы регулирования по возмущению, комбинированные системы, учитывающие связи между отдельными частями ТООУ. ПЦУ позволяет также реализовать не только оптимизирующие функции, но и адаптацию к изменению внешней среды и переменным параметрам объекта. В системах с ПЦУ упрощаются реализация режимов пуска и остановки процессов, переключение с ручного управления на автоматическое, операции переключения исполнительных механизмов основного и вспомогательного оборудования. Одно из главных преимуществ ПЦУ заключается в его гибкости, простой возможности изменения алгоритмов управления или их замены, т.к. данная задача легко решается соответствующим изменением программы без какой-либо аппаратурной доработки. Однако новые программы должны быть тщательно проверены перед их использованием в реальном процессе.

Серьёзный недостаток ПЦУ – централизация управления, в результате которой при отказе ЭВМ в условиях отсутствия регуляторов вести управление становится невозможно – при отказе ЭВМ объект теряет управление. Поэтому для обеспечения «живучести» АСУ ТП нужна *повышенная надёжность* средств вычислительной техники, поскольку при отказах ЭВМ вся система требует перевода на ручное (дистанционное) управление. Несмотря на высокую надёжность всех средств системы, отказы ЭВМ возможны и это обстоятельство необходимо особо учитывать при построении АСУ ТП с ПЦУ.

Из рассмотренных режимов варианты «в режиме советчика» и «супервизорный режим» по сравнению с режимом ПЦУ обладают более широкими возможностями и повышенной надёжностью.

Применительно к литейным и металлургическим производствам возможно использование всех рассмотренных режимов управления, при этом рационально начинать освоение АСУ ТП с простейшего варианта (информационного режима) с последовательным переходом к более сложным режимам управления. На начальном этапе в рамках информационной системы изучают автоматизируемый процесс, собирают данные и их статистически обрабатывают. Затем методом активного или пассивного эксперимента строят регрессионную модель технологического процесса и проводят её идентификацию по экспериментальным данным. Далее можно перейти к использованию режима советчика оператора, когда по полученным уравнениям модели рассчитываются управляющие воздействия, которые использует оператор для изменения уставок регуляторов с целью достижения оптимального процесса управления. После полной комплектации системы необходимыми устройствами сопряжения с объектом можно осуществить режим супервизорного управления. В дальнейшем после промышленной отработки алгоритмов контроля и управления можно перевести часть контуров управления в режим прямого цифрового управления.

6.12. Разновидности АСУ ТП по функциональному назначению

По функциональному назначению различают АСУ ТП трёх типов:

1) *АСУ ТП логико-программного управления.* По сравнению с ручным управлением они имеют следующие преимущества: исключаются ошибочные действия человека; можно использовать объём информации, соответствующей знаниям специалистов многих смежных областей, который значительно превосходит объём знаний отдельного оператора. Они разделяются на *однопрограммные и мультипрограммные.* Последние часто используются для управления группой технологических установок

в режиме разделения времени между ними, а также для управления непрерывными технологическими процессами;

2) *АСУ ТП оптимального управления*. Основное отличие систем оптимального управления от систем логико-программного управления заключается в структуре не технических средств, а *алгоритмов управления*. Системы оптимального управления подразделяются на варианты:

– *неадаптивные*, которые удобно использовать тогда, когда технологические процессы имеют точно описывающие их математические модели, а неконтролируемые возмущающие воздействия малы либо отсутствуют. Такие системы также используются для управления последовательностью технологических операций, между которыми существует транспортное запаздывание;

– *адаптивные АСУ ТП* для «нешумящих» объектов – на основе адаптивных ПИД – регуляторов; *смысл адаптации состоит в автоматическом* выборе коэффициентов пропорциональности закона регулирования; коэффициенты настройки рассчитываются автоматически по расхождению между заданной и реальной переходной характеристикой таким образом, чтобы это расхождение стало минимальным. Использование адаптивных алгоритмов в ПИД – регуляторах для управления ТОУ позволяет улучшить реакцию системы управления на возмущение и уменьшить перерегулирование, снизить расход энергии в производстве и сократить сроки освоения технологического оборудования;

– *адаптивные АСУ ТП* для сложных, «шумящих» объектов, снабжённые специальными техническими или программными блоками для фильтрации шумов;

3) *АСУ ТП комплексного (организационно-технологического) управления*, предназначенная для управления организационно-связанной группой технологических процессов (операций) с комплексом основного и вспомогательного оборудования, а также с потоками материалов и энергоносителей. Фактически это организационно-связанные технологические подсистемы, входящие в структуру АСУП и занимающие в ней среднее положение (между верхним и нижним уровнями АСУП).

6.13. Разновидности АСУ ТП по структуре

Структура АСУ ТП подразделяется на три разновидности: одноуровневые (с одним уровнем управления) централизованные, одноуровневые децентрализованные и многоуровневые (несколько уровней управления).

Централизованными системами называются одноуровневые системы, в которых управление объектом осуществляется с одного пункта управления. Одноуровневые системы, в которых отдельные части сложного объекта управляются из самостоятельных пунктов управления, называются *децентрализованными*. Структурные схемы одноуровневых и децентрализованных систем показаны на рис. 46, на котором стрелками показаны только основные потоки передачи информации от объекта управления к системе управления и управляющие воздействия системы на объект управления. На рис. 46 отдельные части сложного ТООУ, управляемые соответственно с пунктов ПУ1-ПУ3, разделены штриховыми линиями. Одноуровневые централизованные системы применяются в основном для управления относительно несложными объектами или объектами, расположенными на небольшой территории. Большинство промышленных объектов в настоящее время представляет собой сложные комплексы, отдельные части которых расположены на значительном расстоянии друг от друга.

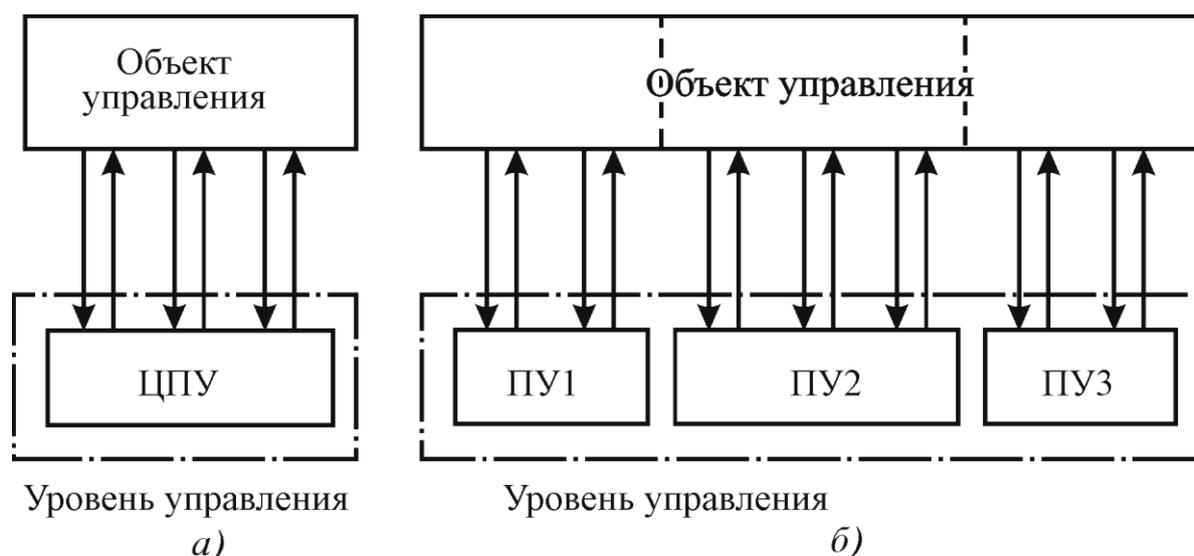


Рис. 46. Схемы одноуровневой системы управления:
а – централизованная; б – децентрализованная

Кроме основных технологических установок объекты имеют большое число вспомогательных установок-подобъектов (промышленные котельные, компрессорные, насосные станции оборотного водоснабжения, котлы-утилизаторы, очистные сооружения и т.п.), которые необходимы для обеспечения технологических установок всеми видами энергии, а также для утилизации и нейтрализации остаточных продуктов технологического процесса. Если управление такого комплексного объекта построить по одноуровневой централизованной системе, то намного усложнятся коммуникации системы управления, резко возрастут затраты на её сооружение и эксплуатацию, центральный пункт управления получится громоздким. Переработка информации, большая часть которой является ненужной для непосредственного ведения технологического процесса, представляет большие затруднения. Удалённость пункта управления от того или иного вспомогательного подобъекта затрудняет принятие оперативных мер по устранению тех или иных неполадок. В этом случае более приемлемой становится одноуровневая децентрализованная система управления.

Вместе с тем с помощью одноуровневых систем не всегда представляется возможным оптимально решить вопросы управления технологическими процессами. Это в первую очередь относится к сложным технологическим процессам. Тогда целесообразно переходить к многоуровневым системам управления. В качестве примера на рис. 47 представлена трёхуровневая система управления сложным объектом с разветвлёнными технологическими связями между установками.

Отдельные технологические установки управляются децентрализованно с пунктов управления 1–7. Это первый уровень управления. С пунктов 1–7 управляются объекты, имеющие существенную технологическую взаимосвязь. Наиболее ответственные регулируемые параметры установок передаются на пункты управления 8–10 второго уровня управления. Основные параметры, определяющие технологический процесс объекта в целом, могут управляться и контролироваться с пункта управления 11 третьего уровня. Трёхуровневая структура системы управления обеспечивает её надёжность, оперативность, ремонтно-

пригодность. При этом легко решается оптимальный уровень централизации управления с минимальным количеством средств технологического контроля, управления и линий связи между ними.

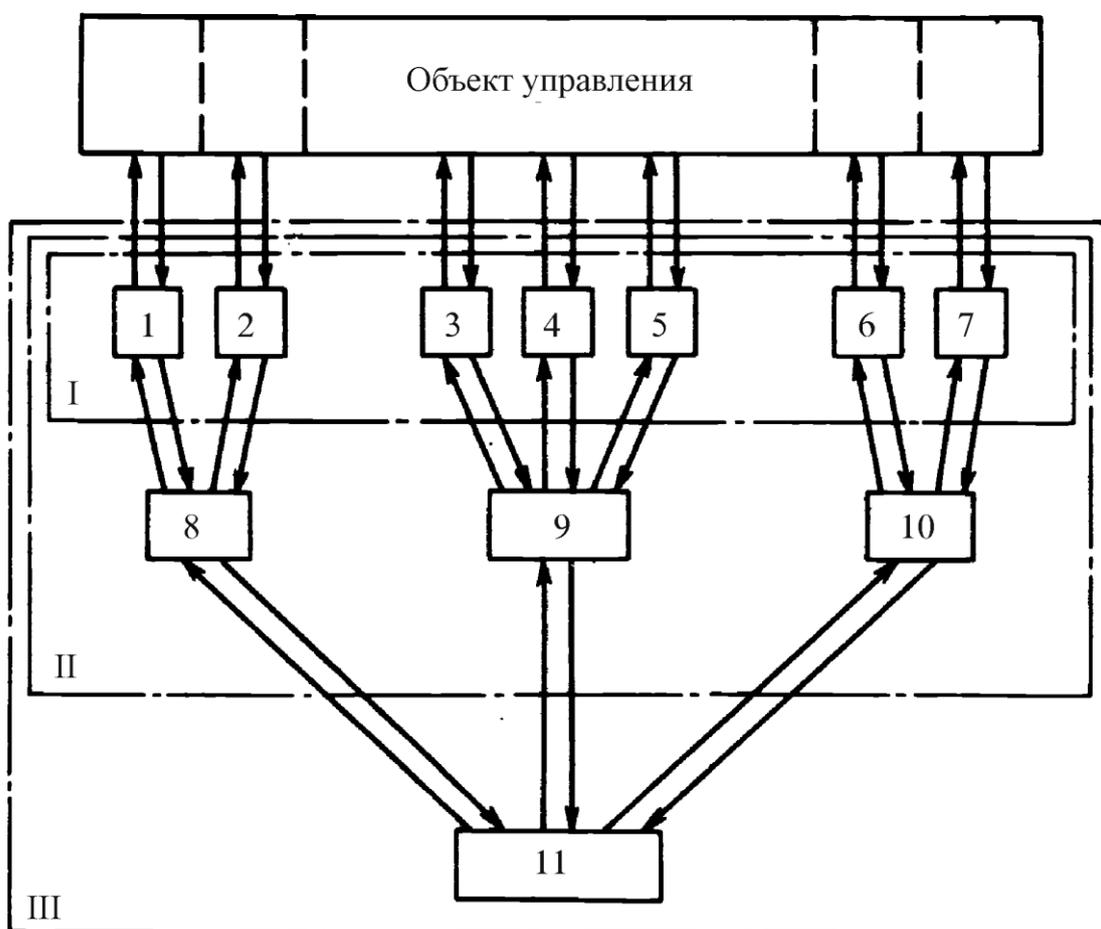


Рис. 47. Схема трёхуровневой системы управления:
I, II, III – уровни управления

АСУ ТП классифицируются на уровни классов 1, 2 и 3:

- к классу 1 (АСУ ТП нижнего уровня) относятся АСУ ТП, управляющие агрегатами, установками, участками производства, не имеющие в своём составе другие АСУ ТП,
- к классу 2 (АСУ ТП верхнего уровня) относятся АСУ ТП, управляющие группами установок, цехами, производствами, в которых отдельные агрегаты (установки) имеют свои локальные системы управления, не оснащённые АСУ ТП класса 1,
- к классу 3 (АСУ ТП многоуровневые) относятся АСУ ТП, объединяющие в своём составе АСУ ТП классов 1, 2 и реализующие согласованное управление отдельными технологическими установками или их совокупностью (цехом, производством).

Построение систем автоматизации по уровням управления определяется как требованиями снижения трудозатрат на их реализацию, так и целями (критериями) управления технологическими объектами.

На начальном этапе развития структура АСУ ТП носила централизованный характер: она строилась на базе центральной ЭВМ, выполняющей все функции сбора и обработки данных, и периферийных устройств, подключённых к ней по звёздной (радиальной) схеме.

Централизованные АСУ ТП охватывают целиком управление сложным ТООУ. Характерным примером такой централизованной системы является вариант с прямым цифровым управлением (ПЦУ), системы с другими режимами функционирования не относят к централизованным. Типовая структура централизованной АСУ ТП показана на рис. 48.

До появления микропроцессоров эволюция систем управления технологическими процессами сопровождалась увеличением степени централизации. Однако затем выяснилось, что возможности централизованных систем оказались ограниченными и не отвечали современным требованиям по надёжности, гибкости, стоимости систем связи и программного обеспечения.

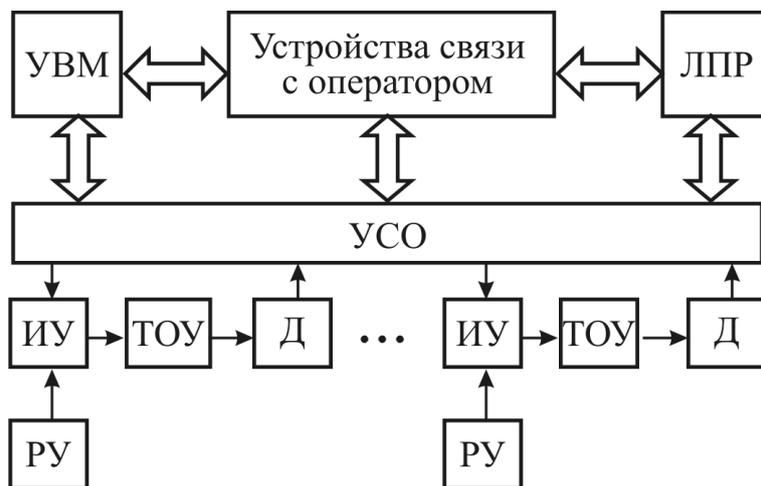


Рис. 48. Типовая структура централизованной АСУ ТП с ПЦУ

Возрастание мощности отдельных технологических агрегатов, их усложнение, повышение требований по быстродействию

и точности в работе также стимулировали переход от централизованных систем к децентрализованным.

Централизация систем управления экономически оправдана при сравнительно небольшой информационной мощности (число каналов контроля и регулирования) ТОО и его территориальной сосредоточенности. Тенденции развития объектов управления в направлении усложнения, повышение требований к живучести систем управления, увеличение функций центральной ЭВМ вызывали большие затруднения при программировании, так как были необходимы организация параллельных процессов, комплексная отладка, требовалось применение дорогостоящих средств защиты от отказов центральной ЭВМ (резервирование).

Обобщая вышеизложенное, можно сформулировать следующие недостатки традиционной централизованной системы:

– *недостаточная надёжность*. С выходом из строя центрального вычислительного комплекса теряется большая часть функций системы. При наличии локальных устройств, резервирующих вычислительный комплекс и другие критические компоненты, АСУ ТП продолжает функционирование, однако оптимальное управление становится невозможным;

– *ограниченная гибкость*. Для централизованных систем характерны высокие начальные затраты, которые мало зависят от объёма фактически выполняемых функций; наращивание функций в процессе развития возможно лишь до некоторого предела, определяемого производительностью ЭВМ, а после его достижения резко возрастают трудности программирования;

– *сложность программирования*. Почти каждый современный технологический процесс – это множество автономных взаимосвязанных процессов, протекающих одновременно, т.е. параллельно в отдельных агрегатах. Это характерно и для многооперационного литейного производства. Однако ЭВМ работает последовательно, поочередно обслуживая агрегаты; это объективное несоответствие режимов работы технологического оборудования и системы управления порождает сложные проблемы увязки взаимодействия отдельных прикладных программ решения задач;

– *высокая стоимость линий коммуникации.* Централизованное положение ЭВМ в АСУ ТП предполагает наличие большого числа радиальных связей; известны АСУ ТП, в которых стоимость средств передачи данных составляет до 75% стоимости всего оборудования системы.

Децентрализованные АСУ ТП. Из изложенного выше видно, что необходимость пересмотра структуры систем управления диктуется логикой развития самих управляемых объектов. При большом числе каналов контроля, регулирования и управления, протяжённой длине линий связи в АСУ ТП децентрализация структуры системы управления становится принципиальным методом повышения живучести АСУ ТП, снижения стоимости и эксплуатационных расходов. Функции вышедшей из строя ЭВМ может взять на себя резервная ЭВМ, причём возможна автоматическая реконфигурация комплекса, построенного по типу разомкнутого или замкнутого кольца с децентрализованным управлением. Децентрализованная система при 10 станциях требует в 5–10 раз меньше (по длине) линий связи, чем централизованная. В целом *затраты на создание крупных АСУ ТП снижаются вдвое при переходе к децентрализованной структуре.* При этом упрощается программное обеспечение, которое благодаря рассредоточению по нескольким процессорам становится более простым и обозримым, осуществляется более быстрая реакция на запросы технологического процесса в реальном времени.

Наиболее перспективными направлениями децентрализации АСУ ТП являются автоматизированное управление процессами с *распределённой архитектурой* в двух возможных вариантах:

– функционально-целевая децентрализация – это разделение сложного процесса или системы на меньшие части (подпроцессы или подсистемы) по функциональному признаку (например, пределы технологического процесса, режимы работы агрегатов и т.д., имеющие самостоятельные цели функционирования). Такой подход в дальнейшем использован при рассмотрении рациональной интегрированной АСУ ТП литейного производства;

– топологическая децентрализация, означающая возможность территориального (пространственного) разделения процесса на функционально-целевые подпроцессы. При оптималь-

ной топологической децентрализации число подсистем распределённой АСУ ТП выбирается так, чтобы *минимизировать суммарную длину линий связи*, образующих вместе с локальными подсистемами управления сетевую структуру. Технической основой создания эффективных децентрализованных систем явилось появление микропроцессорных систем (микроЭВМ – контроллеров). Возникла возможность заменить мини-ЭВМ системой из нескольких микроЭВМ в целях децентрализованного управления технологическими процессами для обеспечения повышенной надёжности и живучести АСУ ТП, в т.ч. в случаях, когда возможности мини-ЭВМ не используются полностью.

Микропроцессорные системы могут выполнять в подсистемах распределённой АСУ ТП все типовые функции контроля, измерения, регулирования, управления, представления информации оператору. Так как *распределённая система содержит минимум две функционально связанные подсистемы*, то в техническом плане образуется либо многомашинная (более одной ЭВМ), либо многопроцессорная (два и более микропроцессоров) системы.

Так как в распределённых АСУ ТП подсистемы функционально связаны и их совместная работа подчинена общей цели, то между машинами (мини- и микроЭВМ) в многомашинной системе возникает помимо аппаратной связи программный обмен, осуществляемый с помощью каналов связи.

6.14. Сведения по эффективности АСУ ТП

Очевидно, что принятие решения об оснащении АСУ ТП нового производства либо действующего предприятия (цеха, участка) должно приниматься на основе специальной технико-экономической проработки. Это тем более важно, поскольку сведения по экономической эффективности АСУ ТП пока весьма ограничены, в т.ч. применительно к литейным и металлургическим производствам.

Источники экономической эффективности АСУ ТП классифицируются в зависимости от класса АСУ ТП (табл. 9).

Ранее рассматривался в упрощённой форме вопрос о оптимальном выборе комплекса технических средств (КТС) для АСУ ТП. Принималось, что одним из наиболее важных критериев выбора КТС может служить их стоимость, занимающая в общей стоимости системы управления значительную часть. На рис. 49 показана зависимость экономичности \mathcal{E} от объёма капитальных вложений K и совершенства C технических средств в предположении о линейной зависимости C от K . При этом экономичность \mathcal{E} определяли как разность $\mathcal{E} = \mathcal{E}_\phi - C$, где экономичность \mathcal{E} , эффективность \mathcal{E}_ϕ и совершенство C выражаются в одинаковых единицах (стоимость).

Таблица 9

Основные источники экономической эффективности АСУ ТП

Класс АСУ ТП	Источник эффективности
Автоматизированные системы логико-программного управления	Повышение производительности труда при выполнении технологической операции. Резкое сокращение ошибок оперативного персонала и брака по причине ошибок. Стабилизация технологического процесса. Сокращение числа работающих при мультипрограммном управлении.
Автоматизированные системы оптимального управления технологическим процессом	Повышение качества и надёжности выпускаемой продукции. Увеличение объёма выпуска продукции. Оптимизация номенклатурного распределения выпускаемой продукции.
Автоматизированные системы комплексного управления	Сокращение потерь рабочего времени на участках и технологических линиях. Повышение оперативности управления производственным процессом со стороны оперативного персонала. Повышение качества управления технологическим процессом.

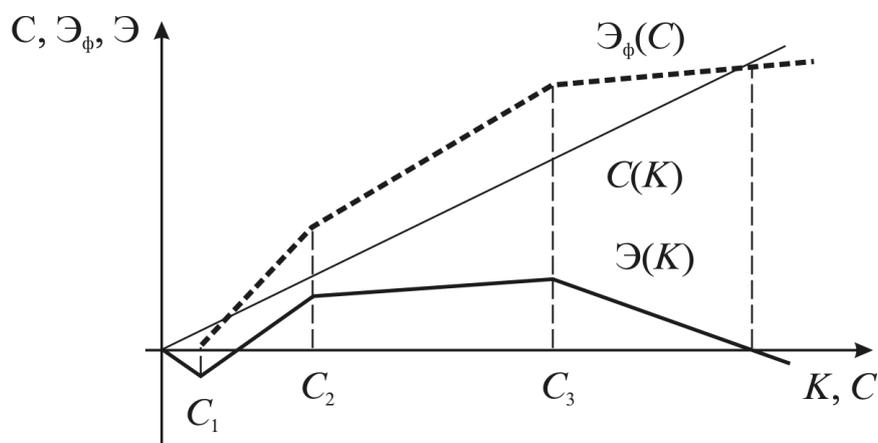


Рис. 49. Зависимость экономичности (\mathcal{E}) АСУ ТП от объёма капитальных вложений (K) и совершенства технических средств (C)

Зависимость $\mathcal{E}_\phi(C)$ имеет сложный характер:

- сначала она отражает проявление эффективности после достижения определённого уровня совершенства (C_1);
- далее проявляется резкий рост эффективности на участке C_1-C_2 , соответствующий эффекту «первого шага»;
- затем имеется первый изгиб C_2 и рост эффективности (участок C_2-C_3) за счёт использования технических средств, комплексно решающих более сложные задачи автоматизации;
- далее возникает второй изгиб и значительное уменьшение роста эффективности АСУ ТП лишь за счёт совершенства технических средств, что свидетельствует об исчерпании возможностей принятой структуры алгоритмов АСУ ТП или же самой технологии производства.

Зависимость $\mathcal{E}(K)$ свидетельствует о том, что при слишком малом и слишком большом объёме затрат внедрение АСУ ТП может быть убыточным. Достижение максимальной эффективности \mathcal{E}_ϕ за счёт совершенства выбранных средств C возможно при некотором разумном компромиссе между затратами на технические средства и их совершенством. Следовательно, можно полагать, что капитальные затраты на АСУ ТП должны соответствовать некоторому рациональному уровню. При этом очевидно, что этот рациональный уровень должен быть минимально-возможным.

Вышеизложенное показывает, что выбор технических средств при проектировании АСУ ТП является задачей оптимизационного, многокритериального характера, от решения которой зависит экономическая эффективность АСУ ТП. Задача проектирования АСУ ТП является поливариантной. Из множества вариантов построения комплекса технических средств для конкретной АСУ ТП требуется выбрать и обосновать такой, который обеспечивает решение заданного набора функциональных задач системы автоматизации с заданным качеством при минимуме капитальных и эксплуатационных затрат. При этом следует учесть обеспечение возможности функционирования системы управления в условиях прогнозируемого изменения состава задач автоматизированного технологического комплекса (АТК).

Отмечают, что развитие информационных технологий и современной вычислительной техники сопровождается уменьшением её стоимости. Тем не менее, технические средства АСУ ТП и программное обеспечение являются достаточно дорогими. Кроме того, при создании АСУ ТП неизбежны затраты на подготовку ТЗ на АСУ ТП, непосредственную разработку самой системы, её наладку и освоение, что ведёт к дополнительному повышению капитальных затрат на АСУ ТП. В связи с этим важное значение приобретает обеспечение наивысшей эффективности от использования АСУ ТП и приемлемого срока окупаемости капитальных затрат на создание АСУ ТП. Пока информация по срокам окупаемости АСУ ТП достаточно неоднородна и отрывочна. Приводят сведения, из которых следует, что срок окупаемости АСУ ТП различного назначения колеблется в диапазоне от 7–8 мес. до 1,5–2-х лет. Применительно к литейному и металлургическому производствам, для которых фактический срок окупаемости новых предприятий достигает 4–6 лет, можно полагать отмеченные выше сроки окупаемости АСУ ТП вполне приемлемыми.

Обеспечение приемлемых сроков окупаемости капитальных затрат на АСУ ТП требует предварительной, серьёзной технико-экономической проработки ожидаемой экономической эффективности АСУ ТП, что является непростой задачей. При наличии соответствующих исходных данных задача оценки ожидаемой экономической эффективности АСУ ТП может быть выполнена с использованием современных методик бизнес-планирования. В конечном счёте определяющее значение имеют:

- оценка ожидаемого снижения себестоимости продукции, выпускаемой с использованием АСУ ТП, сравнительно с базовым уровнем, не включающим АСУ ТП;
- оценка суммарных капитальных затрат на разработку, создание и освоение АСУ ТП.

Особую сложность представляет прогнозирование возможного повышения технико-экономических характеристик за счёт конкретного вклада АСУ ТП, без чего невозможно оценить экономическую эффективность системы. С учётом проблематичности соответствующих априорных оценок важной задачей являет-

ся обобщение накопленного зарубежного и отечественного опыта по эффективности АСУ ТП в области литейного производства и металлургии.

Накопленный опыт создания и эксплуатации АСУ ТП свидетельствует об их высокой экономической эффективности. При наличии АСУ ТП повышаются оперативность и надёжность управления технологическими процессами, достигаются стабилизация и оптимизация режимных параметров, улучшается использование оборудования по мощности и во времени. Всё это приводит к увеличению выпуска продукции без дополнительного ввода производственных мощностей. Выпуск продукции при функционировании АСУ ТП растёт главным образом вследствие повышения интенсивности работы оборудования и в характерных случаях прирост составляет 2–8%.

Благодаря постоянному контролю за расходом сырья, топлива, энергии, материалов, выявлению отклонений фактического их расхода от нормативного, соблюдению плановых норм расхода и доведению их до прогрессивного уровня при применении АСУ ТП обеспечивается сокращение материально-сырьевых и топливно-энергетических затрат на 2–4%.

Использование передовых методов контроля и управления в АСУ ТП и более точное соблюдение технологического режима позволяют во многих случаях улучшить качество продукции, снизить отходы и брак.

АСУ ТП часто обеспечивает возможность ведения интенсивного технологического процесса при минимальной численности персонала, что снижает затраты на трудовые ресурсы.

Вышеотмеченное в совокупности обеспечивает снижение себестоимости продукции и повышение её конкурентоспособности.

АСУ ТП приносят и определённый социальный эффект: освобождение обслуживающего персонала от тяжёлого и опасного труда, улучшение условий работы, повышение безопасности, изменение характера деятельности – повышение содержательности и творческого начала в труде. Это особенно важно для литейных и металлургических производств, отличающихся непростыми условиями труда.

В качестве примера приведём накопленные отечественные сведения *по эффективности АСУ ТП дуговой плавки*:

- сокращение расходов на металлошихту на 11–17%,
- повышение производительности на 3–17%,
- сокращение расхода огнеупоров на 5–7%,
- сокращение расхода электроэнергии на 3–7%,
- снижение брака слитков и отливок до 25%,
- снижение себестоимости стали и чугуна,
- срок окупаемости АСУ ТП дуговой плавки – примерно 7 мес. (0,6 года).

По зарубежным данным (США) на основе применения АСУ ТП в литейном производстве достигали:

– *снижения стоимости шихты на 5% благодаря оптимизации процесса составления шихты* методом линейного программирования. Это весьма важно, т.к. около 25% себестоимости отливок приходится на приготовление расплава;

– *снижения энергетических затрат на 15% благодаря оптимальному управлению процессами плавки с использованием АСУ ТП*. Это весьма важно, т.к. более половины энергии, расходуемой в литейных цехах (кокс, газ, электричество), затрачивается на выплавку металла;

– *повышения производительности труда*; на основе применения АСУ ТП в литейном производстве повышали производительность на 10%, а также снижали простои оборудования на 10–15%. На 50% повышали коэффициент использования автоматических формовочных линий благодаря уменьшению простоев и стабилизации качества формы на основе управления качеством смеси. Поскольку свыше 50% себестоимости отливок приходится на долю смесеприготовления и формовки, то весьма важным является обеспечение снижения затрат на выполнение этих операций с помощью АСУ ТП смесеприготовительных и формовочных отделений литейных цехов;

– *снижения стоимости удаления литников и заливок на 17,5%* на основе автоматизации этой операции с помощью роботов. Отметим, что стоимость обрубки, очистки и финишных операций составляет примерно 26,2% общей стоимости отливок, в т.ч. 28,6% приходится на операцию удаления литников и заливок.

Контрольные вопросы к главе 6

1. Назовите основные признаки АСУ ТП и их отличия от САУ.
2. Почему создание АСУ ТП особенно актуально для литейных производств.
3. Опишите перспективный подход к выбору целевой функции АСУ ТП.
4. Перечислите разновидности обеспечений АСУ ТП и их сущность.
5. Опишите роль персонала в АСУ ТП.
6. Какие параметры отражаются в блок-схеме ТОУ?
7. Назовите разновидности ТОУ по характеру протекания процессов во времени.
8. Опишите разновидности и особенности математических моделей ТОУ.
9. В чём заключается отличие УВМ от ЭВМ?
10. Перечислите основные компоненты структуры ЭВМ.
11. Опишите схему действия ЭВМ.
12. Что такое устройство связи с объектом и из каких элементов оно состоит?
13. В чём заключается отличие контроллеров от ЭВМ? Приведите типы контроллеров и их назначение.
14. Объясните смысл понятия «интерфейс».
15. Опишите общую структуру АСУ ТП и перечислите основные элементы системы.
16. Опишите комплекс типовых функций АСУ ТП.
17. Опишите сущность, назначение и оснащение иерархических уровней АСУ ТП.
18. Приведите варианты режимов функционирования АСУ ТП, опишите их сравнительные преимущества и недостатки.
19. Опишите классификацию АСУ ТП по функциональному назначению.
20. Приведите классификацию АСУ ТП по структуре. Опишите преимущества и недостатки централизованных и децентрализованных АСУ ТП.
21. Приведите накопленные сведения по сроку окупаемости и другим показателям эффективности АСУ ТП.

7. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

7.1. Общие сведения о современной АСУП

Системы управления в промышленности, как и любые сложные системы, имеют иерархическую многомодульную структуру. Концерн – система верхнего уровня, завод – система второго уровня, цех – система третьего уровня, ниже располагаются отделения, участки и т.д. Автоматизация управления на различных уровнях осуществляется с помощью АСУ. В общем случае АСУ подразделяют на АСУП и АСУ ТП. АСУП является более широкой системой сравнительно с АСУ ТП, т.к. последнюю, по нашему мнению, целесообразно рассматривать как самостоятельную часть АСУП. Вместе с тем, часто рассматривают АСУ ТП вне связи с АСУП. При этом считают, что АСУП включает:

1) систему планирования и управления предприятием ERP (Enterprise Resource Planning). Наиболее развитые системы ERP выполняют различные бизнес-функции, связанные с планированием производства, закупками, сбытом продукции, анализом перспектив маркетинга, управлением финансами, персоналом, складским хозяйством, учётом основных фондов и т.п. В системах ERP важная роль отводится системам управления данными EDM;

2) систему планирования производства и требований к материалам MRP-2 (Manufacturing Requirement Planning). Эта система ориентирована, главным образом, на бизнес-функции, непосредственно связанные с производством;

3) производственную исполнительную систему MES (Manufacturing Execution Systems), которая направлена на решение оперативных задач управления проектированием, производством и маркетингом. Эта система по своей функциональности близка к системам ERP и имеет ряд подсистем следующего назначения:

- синтез расписаний производственных операций,
- распределение ресурсов, в т.ч. распределение исполнителей по работам,
- диспетчирование потоков заказов и работ,

- управление документами, относящимися к выполняемым операциям,
- оперативный контроль качества,
- оперативная корректировка параметров на основе данных о протекании процессов;

4) систему управления взаимоотношениями с заказчиками CRM (Customer Requirement Management). Система CRM выполняет на этапе реализации продукции функции управления отношениями с заказчиками и покупателями, проводит анализ рыночной ситуации, определяет перспективы спроса на планируемые изделия;

5) системы электронного бизнеса (E-commerce). Эти системы организуют на сайтах Интернета витрины товаров и услуг, объединяют в едином информационном пространстве запросы заказчиков и данные о возможностях множества организаций, специализирующихся на предоставлении различных услуг и выполнении тех или иных процедур и операций по проектированию, изготовлению, поставкам заказанных изделий. Такие системы называют системами управления данными в интегрированном информационном пространстве. Проектирование непосредственно под заказ позволяет добиться наилучших параметров создаваемой продукции, а оптимальный выбор исполнителей и цепочек поставок ведёт к минимизации времени и стоимости выполнения заказа. Характерная особенность этих систем – обеспечение взаимодействия многих предприятий, т.е. обеспечивается интегрирующее информационное пространство для функционирования систем разных предприятий.

Маркетинговые задачи иногда возлагаются на систему, которая одновременно используется для решения проблем обслуживания изделий. На этапе эксплуатации применяют также специализированные компьютерные системы, занятые вопросами ремонта, контроля, диагностики эксплуатируемых систем.

Функции АСУП в различных сочетаниях объединяются в несколько групп, вследствие чего и возникли рассмотренные выше разновидности АСУП. Границы между системами АСУП не всегда очень чёткие. Так, иногда функции управления поставками и отношениями с заказчиками относят к функции ERP, но

часто эти функции реализуются в самостоятельных системах, в том числе CRM.

В большинстве случаев АСУП охватывает уровни от предприятия до цеха, а АСУ ТП – от цеха и ниже. В то же время в АСУ ТП могут быть и межцеховые связи, если управление единым производственным процессом выполняется в нескольких цехах.

Характерные особенности современных АСУП:

1) открытость по отношению к ведущим платформам (программам), возможность работы в среде распределённых вычислений;

2) возможность сквозного выполнения всех допустимых бизнес-функций или их части, что обеспечивается модульным построением (процедуры, выполняющие эти функции, часто называют бизнес-функциями, а маршруты решения задач управления, состоящие из бизнес-функций, бизнес-процессами);

3) адаптируемость к конкретным заказчикам и условиям рынка;

4) наличие инструментальных средств (языка расширения и пр.);

5) техническое обеспечение АСУП – компьютерная сеть, узлы которой расположены как в административных отделах предприятия, так и в цехах.

В современных АСУП выделяют ряд подсистем:

– календарное планирование производства (основные функции: сетевое планирование производства, расчёт потребностей в мощностях и материалах, межцеховые спецификации и учёт движения изделий, контроль выполнения планов);

– оперативное управление производством (функции: сопровождение данных об изделиях, контроль выполненных работ, брака и отходов, расчёт норм расхода ресурсов, управление обслуживающими подразделениями);

– управление проектами (функции: сетевое планирование проектных работ и контроль их выполнения, расчёт потребности в производственных ресурсах);

– финансово-экономическое управление, бухгалтерский учёт (функции: учёт денежных средств и производственных затрат, маркетинговые следования, ценообразование, составление смет

расходов, ведение договоров и взаиморасчётов, финансовые отчёты, отчётность по налогам, анализ платёжеспособности предприятия);

– логистика (функции: сбыт и торговля, статистика и анализ реализации, складское обслуживание, управление снабжением, запасами и закупками, управление транспортировкой, оптимизация маршрутов транспортных средств);

– управление персоналом (функции: кадровый учёт, ведение штатного расписания, расчёт зарплаты);

– управление информационными ресурсами (функции: управление документами и документооборотом и др.).

7.2. Информационные технологии в АСУП

В области АСУП всё более широкое применение в мире, в т.ч. в России, получают информационные технологии (ИТ). В связи с этим ряд фирм предлагают услуги по построению информационных систем управления производством. К наиболее крупным фирмам, работающим в этой области, относятся IBM, PSI, IBS, SAP, «Аусферр», «Мекомп». К настоящему времени информационные технологии управления получили определённое применение на наиболее крупных металлургических комбинатах РФ.

Опыт показал, что информационные продукты эффективно функционируют в условиях непрерывного крупнотоннажного производства на предприятиях с разветвлённой технологической цепочкой и широким сортаментом выпускаемой продукции. Очевидно, что ИТ-технологии представляют интерес для управления литейным производством, отличающимся сложной структурой. Поэтому начинается применение этих технологий в управлении литейным производством.

При построении информационных систем управления используют технические решения, открывающие новые возможности в управлении процессом производства и качеством металлопродукции. При этом в разработки закладывается возможность гибкой интеграции со смежными информационными системами

и поддержка минимального набора функций отсутствующих модулей. Это обусловлено тем, что для крупных промышленных предприятий характерна сложная структура автоматизированного управления. В основном ИТ-решения используют для корпоративного и цехового уровней управления предприятием. Рассмотрим эти решения на примере информации, приведенной в рекламном проспекте компании «Аусферр».

В комплексную систему управления компании «Аусферр» входят (рис.50):

1) система управления нормативно-справочной информацией (НСИ). Эта система построена на решениях класса MDM (Master Data Management). Она является «ядром» информационного пространства промышленного предприятия. Система обеспечивает обмен нормативными данными между автоматизированными системами всех уровней, позволяя кардинально снять проблему качества информации – исключить её дублирование и противоречивость, повысить достоверность и обеспечить целостность;

2) информационная система управления технологией и качеством продукции. Система представляет собой интегрированное масштабируемое решение, предназначенное для управления технологией и качеством продукции на предприятии. Может с успехом применяться в масштабах отдельного подразделения или всего предприятия на основе создания корпоративного Хранилища технологической информации (Data Warehouse). В этом случае формируется единое информационное пространство для взаимодействия всех автоматизированных систем и служб, участвующих в процессах управления технологией и качеством, открываются широкие возможности в поиске и устранении причин возникновения брака, оптимизации технологии производства и других процессов, основанных на анализе технологической информации;

3) система оперативного управления производством. Обеспечивает полномасштабное решение класса MES (Manufacturing Execution Systems). Позволяет решить весь комплекс задач управления производством на уровне отдельного подразделения или группы подразделений, входящих в единый цикл;

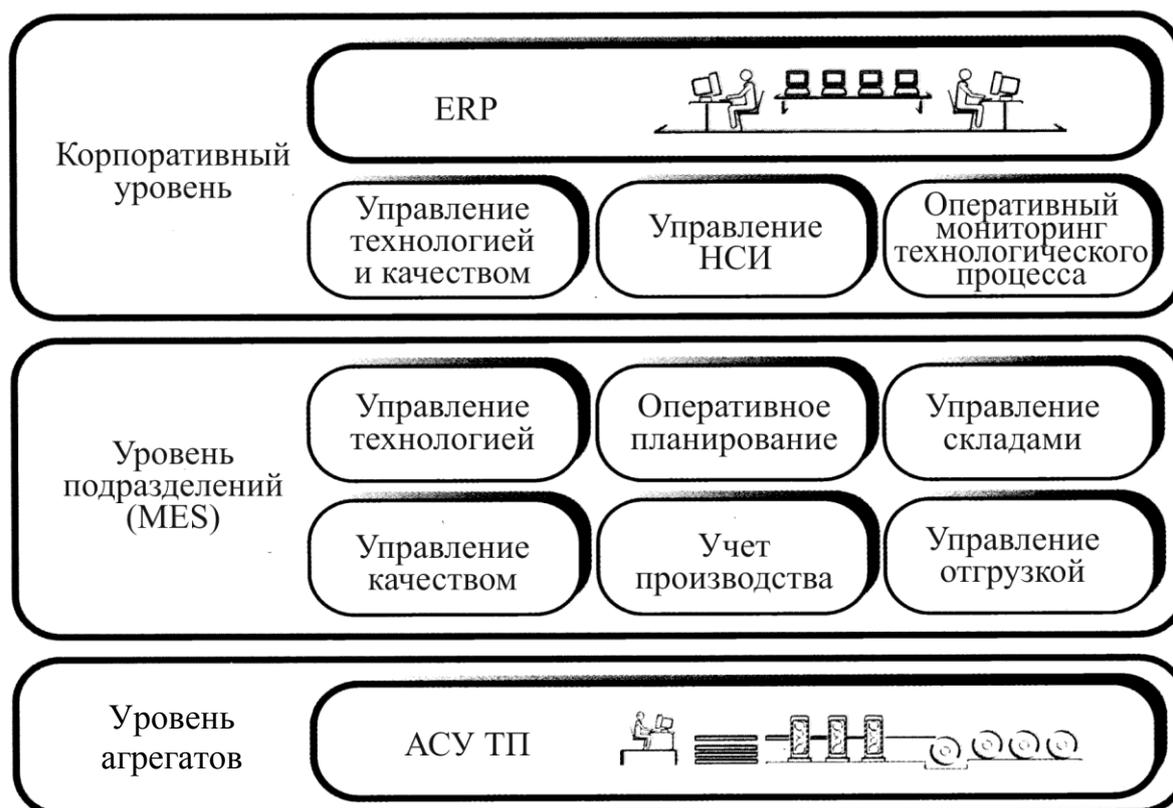


Рис. 50. Схема комплексной системы управления производством

4) оперативный мониторинг производственного процесса. Обеспечивает сервис для предоставления в режиме реального времени диспетчерским службам и менеджерам предприятия ключевой информации о ходе технологического процесса на производственных участках.

7.2.1. Система управления нормативно-справочной информацией

IT-решение позволяет объединить всю нормативно-справочную информацию (НСИ) предприятия в единую строго организованную структуру.

Основные функции системы:

- создание единого информационного пространства предприятия путём формализации справочников и унификации их сопровождений;
- формирование среды для распределённого ведения НСИ при централизованном управлении;
- оптимизация бизнес-процессов ведения НСИ;

– интеграция всех информационных сетей на основе единой НСИ.

Принципы реализации и ключевые особенности. Решение представляет собой интегрированную систему, позволяющую решить проблему обеспечения НСИ всех служб, а также всех уровней автоматизации предприятия. Универсальность алгоритмов системы, их независимость от области использования позволяют в короткие сроки адаптировать её к условиям конкретного производства. Внедрение системы осуществляется на основе преемственности – в качестве основы принимаются методы структурирования информации и структура реквизитов, применяемые в ключевой для предприятия информационной системе, например ERP-системе. Учитываются особенности организационной структуры и сложившейся практики ведения документации. Реализованы механизмы переноса, наследования и групповой обработки информации, значительно сокращаются затраты рабочего времени на ведение справочников и нормативов, обеспечивается полное сохранение функциональности действующих прикладных систем, возможность миграции и преобразования накопленных информационных массивов. Система ориентирована на многоцелевое использование. Каждой группе пользователей предоставляется индивидуальный, адаптированный к её функциональным задачам классификатор на основе общих словарей наименований и терминов. Связь классификаторов через общие словари наименований и терминов позволяет избежать усреднения в пределах разнородных групп нормативов и обеспечить максимальную эффективность работы. Поддерживается возможность автоматической генерации наиболее объёмных детализированных справочников на основе обобщённых классификаторов, объединённых единым словарём наименований и терминов. Это позволяет значительно сократить трудозатраты на сопровождение НСИ и исключить многочисленные ошибки, связанные с ручным вводом данных. Обеспечена возможность эффективного контроля содержания НСИ за счёт создания интерфейсов, идентичных принятым на предприятии официальным нормативным документам. Это позволяет значительно упростить процесс изменения нормативов и сохранить принятое распреде-

ление ответственности за их содержание. Заполнение детализированных справочников система осуществляет автоматически, что исключает ошибки, связанные с ручным вводом. Высокая степень надёжности и отказоустойчивости системы обеспечивается применением развитых средств авторизации, доступа, протоколирования событий, репликации и архивирования данных.

Функциональность и состав системы. Система включает контент НСИ в виде словаря, классификаторов, справочников и нормативных данных, а также модули бизнес-логики НСИ, администрирования и интеграции. Структура НСИ представлена на рис.51.

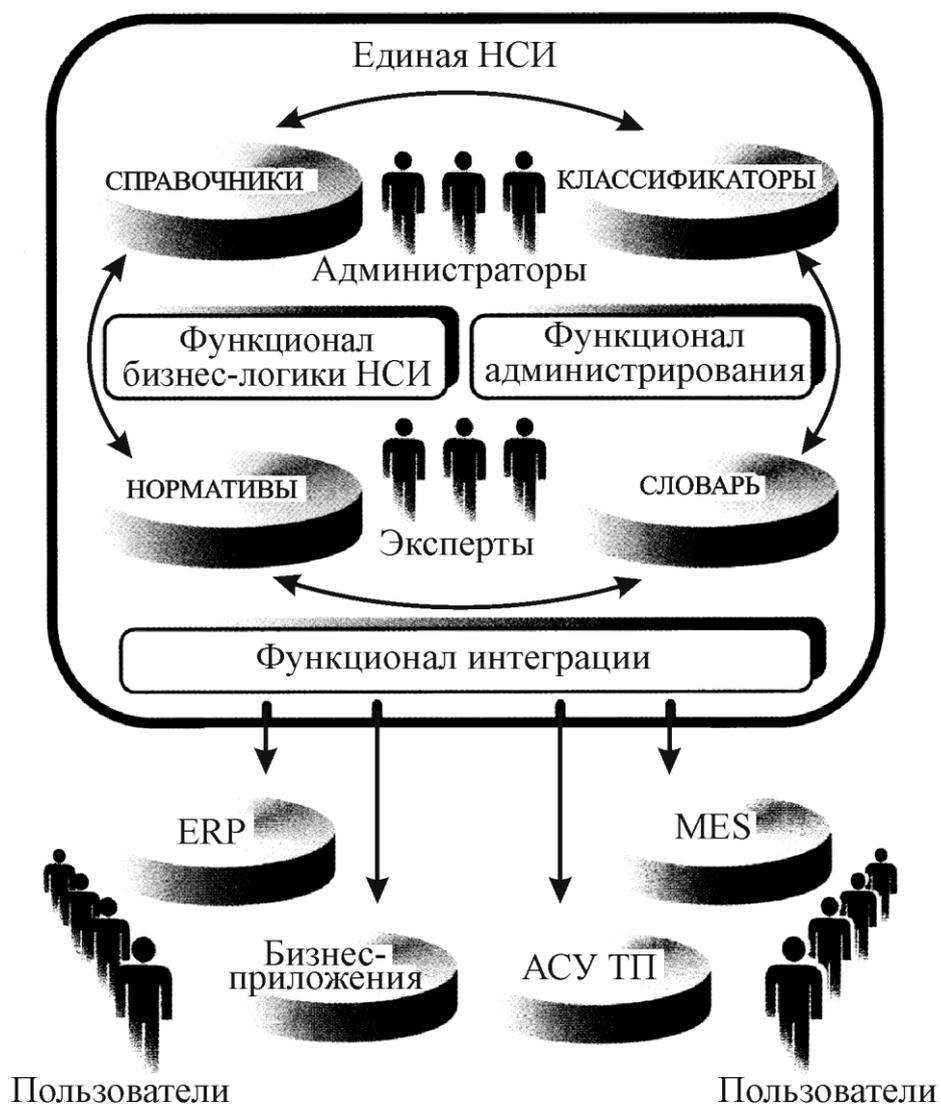


Рис. 51. Схема системы управления нормативно-справочной информацией

Словарь. Представляет собой единый перечень всех используемых на предприятии наименований и терминов. Использование нового термина возможно только после внесения его в словарь. Данные в словаре организованы таким образом, что при добавлении новых записей они должны быть помещены в строго определённый раздел, класс, подкласс и т.д. Создание единого словаря позволяет систематизировать внесение новых терминов, устранить их дублирование и противоречивость, исключить ошибки в написании. Именно наличие словаря обеспечивает широкие возможности в гибком построении классификаторов для различных групп пользователей при сохранении целостности информации.

Классификаторы, справочники, нормативы. Предназначены для хранения нормативно-справочной информации по каждому объекту учёта на предприятии. Классификаторы и справочники предназначены для структурирования объектов учёта предприятия и их однозначной идентификации. Нормативы определяют расширенные свойства элементов классификатора, определяющие допустимые значения параметров объекта учёта. В условиях крупного предприятия наибольшей проблемой является создание удобного для всех групп пользователей классификатора, имеющего объём и структуру, приемлемую для эффективного использования. Решение позволяет создать связанную через единый словарь систему из нескольких классификаторов. Каждый из них учитывает специфические требования определённой группы пользователей. Описание объектов представляет собой сгруппированную в виде дерева цепочку связанных комбинаций терминов из словаря. В результате обеспечивается чёткое структурирование данных и единообразное описание однотипных данных. Каждая группа пользователей работает со сравнительно небольшими и простыми для восприятия иерархическими классификаторами. На их основе автоматически генерируются объёмные детализированные для каждого объекта учёта справочники. Обычно именно наполнение справочников вызывает наибольшие трудности и связано с большим количеством ошибок. Используемый подход позволяет описывать и эффективно

поддерживать весьма сложные структуры объектов учёта, характерные для крупных предприятий.

Модуль бизнес-логики НСИ. Включает средства поддержания в актуальном и корректном состоянии контента НСИ. Создание и сопровождение контента осуществляется группой экспертов. Программные средства модуля позволяют легко дополнять и модифицировать хранящуюся информацию, например в случае изменения структуры бизнес-процессов, освоения производства новых видов продукции, изменения требований рынка, внедрения новых технологий. Большинство изменений происходит путём простого переконфигурирования структуры, т.е. не требует перепрограммирования. В состав модуля входят средства взаимодействия пользователей с экспертами, позволяющие чётко регламентировать процесс подачи и рассмотрения заявок на изменение контента.

Модуль администрирования. Включает средства, обеспечивающие разграничение полномочий и прав доступа, согласования версий, предупреждения и устранения сбоев. Развитые средства автоматизированной проверки работоспособности системы, возможность создания резервных копий и отмены внесённых изменений – всё это позволяет администраторам оперативно предотвращать или устранять неполадки.

Модуль интеграции. Осуществляет взаимодействие системы НСИ с пользователями и смежными автоматизированными системами предприятия. Для повышения надёжности и быстродействия работы системы конечные потребители информации взаимодействуют с копией базы данных, расположенной в его локальной сети. В локальные базы данных передаётся только та информация, которая необходима её пользователям. Модуль протоколирует все изменения базы данных с возможностью их отмены и осуществляет автоматический контроль целостности информации при конфигурировании системы. Поддерживается возможность параллельной работы с несколькими локальными базами данных, регулируя загруженность сетевого трафика.

Отраслевая направленность. Решение адаптировано к условиям крупного промышленного предприятия. Применяемая конфигурация базы данных рассчитана на ведение связанных

справочников продукции материалов, норм технологических маршрутов, каждый из которых может содержать миллионы записей. В состав решения входят преднаполненные словари и классификаторы для металлургической отрасли.

Эффективность применения. Создание единой системы нормативно-справочной информации, а также единого регламента и технологической среды, доступа к ней в масштабах всего предприятия значительно сокращает расход времени и средств на информационное обеспечение производственного процесса. Возрастает скорость формирования отчётности и снижается количество ошибок, что позволяет повысить оперативность и точность управленческих решений. Опыт внедрения системы показал, что временной разрыв между корректировкой технологии и её применением уменьшается до нескольких минут. Более плотная интеграция информационных систем предприятия повышает общую эффективность всего комплекса автоматизации.

Взаимодействие со смежными системами. Решение легко интегрируется в информационную систему предприятия, снабжая системы управления ресурсами (ERP), производством (MES) и технологическими процессами (АСУ ТП) необходимыми данными. Средства интеграции, входящие в состав программного обеспечения, преобразуют данные в требуемые форматы.

Взаимодействие с пользователями. Удобный WEB-интерфейс, развитые средства визуализации, многопользовательские средства сопровождения справочных таблиц, возможность проектирования, создания и редактирования произвольной архитектуры данных – это только некоторые из достоинств решения, делающие работу персонала с технологической информацией лёгкой и удобной. Использование различных классификаторов одной и той же продукции для целей учёта производства, настройки технологических режимов оборудования и контроля качества позволяет в значительной степени облегчить ведение справочников и нормативов. При этом каждый пользователь может работать в привычных для него условиях, руководствуясь существующими на текущий день нормативными документами. Создание дополнительных интерфейсов, максималь-

но приближённых по внешнему виду к принятым на предприятии нормативным актам, позволяет значительно облегчить пользователям восприятие и контроль содержания НСИ.

7.2.2. Информационная система управления технологией и качеством продукции

Данная система представляет собой интегрированное масштабируемое решение, предназначенное для управления технологией и качеством продукции на крупном предприятии. Может с успехом применяться в пределах отдельного производственного участка, взаимодействуя непосредственно с АСУ ТП агрегатов. Потенциал системы обеспечивает возможность полного охвата производственного цикла предприятия и организации взаимодействия всех автоматизированных систем и служб, участвующих в процессах управления технологией и качеством. Агентом системы на цеховом уровне может являться система оперативного управления производством («Аусферр»). Такое сочетание позволяет сформировать единый комплекс управления производством, технологией и качеством, обеспечивая его высокую эффективность за счёт использования общих подходов в управлении взаимосвязанными процессами.

Основные функции:

- регламентация технологии изготовления и контроля качества продукции;
- мониторинг управления и исполнения технологии и качества продукции;
- оценка качества и аттестация продукции;
- анализ причин возникновения брака и управление технологией;
- ведение архива сертификатов и расследований рекламаций;
- передача отчётности в систему управления ресурсами предприятия и другие смежные информационные системы.

Принципы реализации и ключевые возможности. Комплексный подход к решению проблем обеспечения качества продукции позволяет в рамках единого решения реализовать полный набор соответствующих функций: контроль исполнения технологии и свойств продукции, аттестацию продукции, визуализацию и анализ накопленных данных, автоматизацию рабочих

мест персонала соответствующих служб и т.д. Сквозное отслеживание и контроль качества каждой единицы продукции по всем технологическим переделам, охваченным системой, позволяет кампании-заказчику получить дополнительные конкурентные преимущества за счёт исключения вероятности отгрузки потребителям некачественной продукции. Обеспечивается возможность широкого использования статистических методов контроля качества и менеджмента качества за счёт консолидации технологических данных и показателей качества в единый архив и их долговременного хранения. Использование универсальных средств интеграции позволяет обеспечить взаимодействие с любыми существующими на предприятии информационными системами.

Отраслевая направленность решения. Решение полностью адаптировано к условиям металлургической промышленности. Учтена отраслевая специфика ведения нормативно-справочной и технической документации. Поддерживаются стандарты статистических методов менеджмента качества и контроля качества.

Состав и принципы функционирования. Решение строится на базе трёх основных подсистем: управления качеством, управления технологией и хранилища технологических данных (рис.52).

Подсистема управления технологией. Содержит средства, позволяющие сотрудникам соответствующих служб предприятия осуществить эффективное управление технологией изготовления продукции. Подсистема содержит специализированные интерфейсы для осуществления мониторинга технологии за длительные промежутки времени, поиска наиболее «проблемных» позиций сортамента и выявления технологических режимов, требующих корректировки. Специализированный интерфейс позволяет в короткие сроки провести сквозной анализ действующей технологии и внести в неё необходимые изменения. Для этого предусмотрена возможность использования средств статистической обработки массивов технологических данных.

Подсистема управления качеством. Осуществляет оценку качества и аттестацию продукции, автоматизирует работу служб технического контроля и испытательных лабораторий. На основе полученных из АСУ ТП агрегатов технологических протоко-

лов формируется технологический паспорт продукции. Проводится сравнение технологических режимов с нормативами и анализ данных неразрушающего контроля. В случае положительного заключения продукция отгружается потребителям. Для продукции, произведенной с нарушением технологии, назначаются дополнительные испытания. Сформированный на основании полученных данных паспорт качества продукции вместе с технологическим паспортом направляются в хранилище технологических данных.

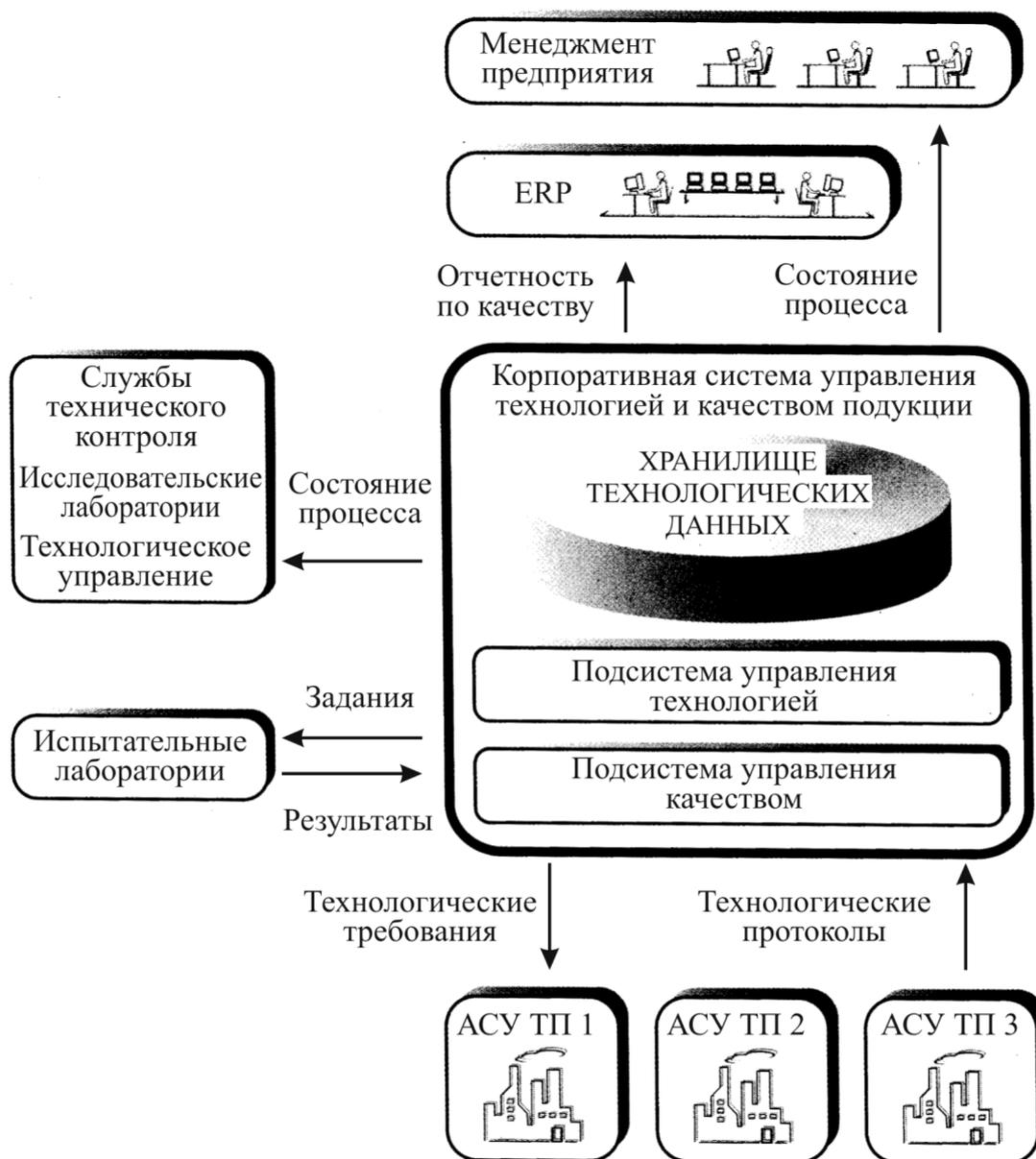


Рис. 52. Схема информационной системы управления технологией и качеством продукции

Хранилище технологических данных. Подсистема осуществляет сбор технологической информации, генерируемой подсистемами управления технологией и качеством, в единую структуру. Реализованный принцип структурирования информации направлен на обеспечение максимальной скорости и удобства поиска необходимой информации. В подсистеме использован целый ряд специальных методик и приёмов, направленных на обеспечение высокого быстродействия системы и уменьшение размеров базы данных. Входящие в подсистему универсальные средства репликации данных позволяют осуществить сбор информации из любых типов баз данных и поддерживают возможность параллельного взаимодействия с несколькими источниками данных. Помимо описанных основных модулей система содержит комплекс служебных модулей и программных средств, обеспечивающих администрирование системы, конфигурирование баз данных, предупреждение сбоев и т.д.

Подсистема ключевых показателей. Осуществляет непрерывный контроль стабильности производственных процессов, определяющих качество продукции. Данная функция основана на методиках статистического контроля процессов (Statistical Process Control-SPC). В подсистеме они реализованы в соответствии с требованиями ИСО/ТУ 16949. Эта информация позволяет менеджменту не только оценить работу предприятия, но и сравнить полученные результаты с аналогичными показателями конкурентов, поставщиков, клиентов. Фирма «Аусферр» постоянно развивает систему управления качеством. Суть методики SPC состоит в расчете определенных критериев показателей качества и стабильности технологических режимов. По величине этих индексов можно объективно судить о степени стабильности той или иной характеристики и степени управляемости того или иного технологического процесса. Можно полагать, что подход фирмы «Аусферр» к управлению качеством продукции перспективен не только для металлургических, но и для литейных производств, отличающихся многооперационным, многофакторным и многокритериальным характером.

Взаимодействие со смежными системами. Решение позволяет осуществлять передачу производственной информации из

систем АСУТП в систему управления ресурсами предприятия (ERP), сопровождая её сформированной отчётностью по качеству. Развитые средства интеграции позволяют обеспечить взаимодействие с базами данных любого типа.

Эффективность применения системы. Внедрение системы обеспечивает значительный экономический эффект, основанный на повышении качества продукции, снижении затрат на контроль качества продукции, уменьшении количества рекламаций, ускорении и обеспечении комплектности отгрузки, повышении эффективности смежных систем автоматизации. Кроме того, контроль качества продукции и возможность её поштучной сертификации способствуют формированию благоприятного имиджа предприятия и росту доверия потребителей.

7.2.3. Система оперативного управления производством

Полномасштабный комплекс MES позволяет решать все задачи управления производством на уровне отдельного подразделения или группы подразделений, входящих в единый цикл. Отличием системы от других известных решений данного класса является учёт специфических требований металлургического производства и расширенные возможности в управлении технологией и качеством металлопродукции.

Основные функции:

- оперативное планирование производства с формированием производственных программ для агрегатов;
- оперативный учёт производства и отслеживание материальных потоков;
- нормативно-справочное сопровождение производственного процесса и контроля качества продукции;
- управление технологией, включая формирование и передачу АСУ ТП агрегатов технологических карт на производство продукции;
- управление качеством продукции, включающее протоколирование и паспортизацию технологических процессов, автоматизацию исследовательских и контрольных лабораторий, контроль качества продукции с использованием неразрушающих методов;

– информационное управление складами заготовок и готовой продукции, сопровождение процессов аттестации и отгрузки продукции;

– взаимодействие со смежными системами автоматизации.

Принципы реализации и ключевые возможности. Комплексный подход к автоматизации всех бизнес-процессов управления производством на уровне подразделения. Модули системы во взаимодействии решают задачи оперативного планирования, управления производством и качеством учёта и диспетчеризации материальных потоков. Предусматривается применение развитых средств управления качеством продукции, позволяющих осуществить 100%-й контроль исполнения технологии и качества. Реализована возможность поштучной или попартийной сертификации продукции. Высокая степень автономности, универсальности и отказоустойчивости модулей системы обеспечивает возможность их функционирования независимо от смежных модулей. Это позволяет формировать комплект поставки по желанию заказчика. Решение выполняет свои функции вне зависимости от готовности или наличия смежных систем автоматизации. Для этого предусмотрено дублирование основных функций смежных систем в штатном режиме работы и реализована возможность ручного ввода ключевых данных в случае невозможности их автоматического получения. Реализация проекта включает адаптацию к существующим на предприятии техническим решениям и организационной структуре. Создаются интерфейсы взаимодействия со смежными системами автоматизации.

Состав и принципы функционирования системы. Решение строится на базе шести основных подсистем (рис. 53):

- оперативного планирования производства;
- учёта производства и слежения за материальными потоками;
- управления технологией;
- управления качеством;
- ведения складов.

Подсистема оперативного планирования производства. Обеспечивает оперативное производственное планирование, диспетчеризацию, составление и оптимизацию производственных программ для агрегатов цеха. Процесс осуществляется на основе заказов, поступивших из системы управления ресурсами предприятия или заявок, введённых диспетчерами цеха. Слеже-

ние за выполнением и актуализация производственных программ для агрегатов производятся в режиме, близком к реальному времени. Для предоставления данных диспетчерскому персоналу реализован широкий спектр сводок, отчётных форм, визуализация производственных программ, программ агрегатов, рапортов выполнения и т.д.

Подсистема учёта производства и слежения за материальными потоками. Осуществляет слежение за перемещением материальных потоков, контроль выполнения производственных заданий, формирование отчётности о ходе процесса, визуализацию текущего состояния. Учёт материальных потоков строится на основе слежения за исполнением заданий и отгрузкой продукции. На основе данной информации, а также технологических паспортов качества продукции, генерируемых подсистемой управления качеством, формируется отчётность о ходе технологического процесса.

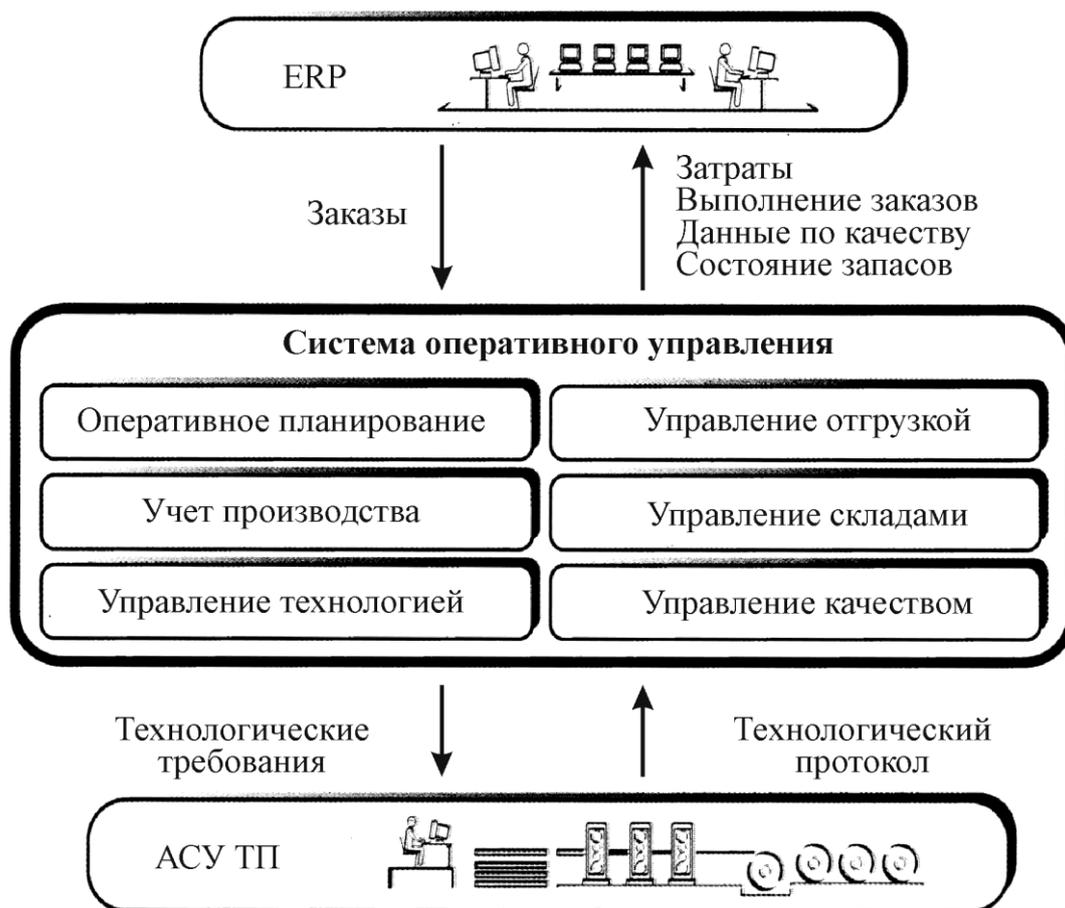


Рис. 53. Схема системы оперативного управления производством

7.2.4. Оперативный мониторинг производственного процесса

Данный сервис предоставляет диспетчерским службам и менеджменту предприятия возможность просмотра в режиме реального времени основной информации о текущем состоянии технологического процесса на производственных участках предприятия.

Основные функции:

- визуализация состояния технологического процесса;
- расчёт и представление в наглядном виде основных показателей производства;
- просмотр истории основных показателей процессов производства и отгрузки продукции;
- формирование мнемосхем состояния агрегатов.

Принципы реализации и ключевые особенности. Представление основных показателей технологического процесса в лаконичном и интуитивно понятном виде за счёт развитого инструментария создания мнемосхем и наличия библиотек стандартных мнемосхем, графиков, отчётных форм. Гибкая настройка интерфейсов представления данных позволяет сформировать наиболее удобный и привычный для пользователей вид представления данных.

Простота доступа к данным. Использование в качестве клиентов обычных web-браузеров позволяет осуществлять доступ руководителей предприятия к информации из любой точки мира.

Функциональность и состав системы. В состав системы входит инструментальная среда разработки систем мониторинга, сервер приложений, средства интеграции и WEB-интерфейс (рис. 54).

Инструментальная среда разработки системы. Предназначена для формирования информационной структуры и дизайна интерфейсов системы. Входящие в неё типовые формы представления информации, а также встроенная библиотека мнемосхем оборудования, графиков и отчётных форм позволяет в короткие сроки создать экономичный и интуитивно понятный дизайн WEB-интерфейсов пользователей.

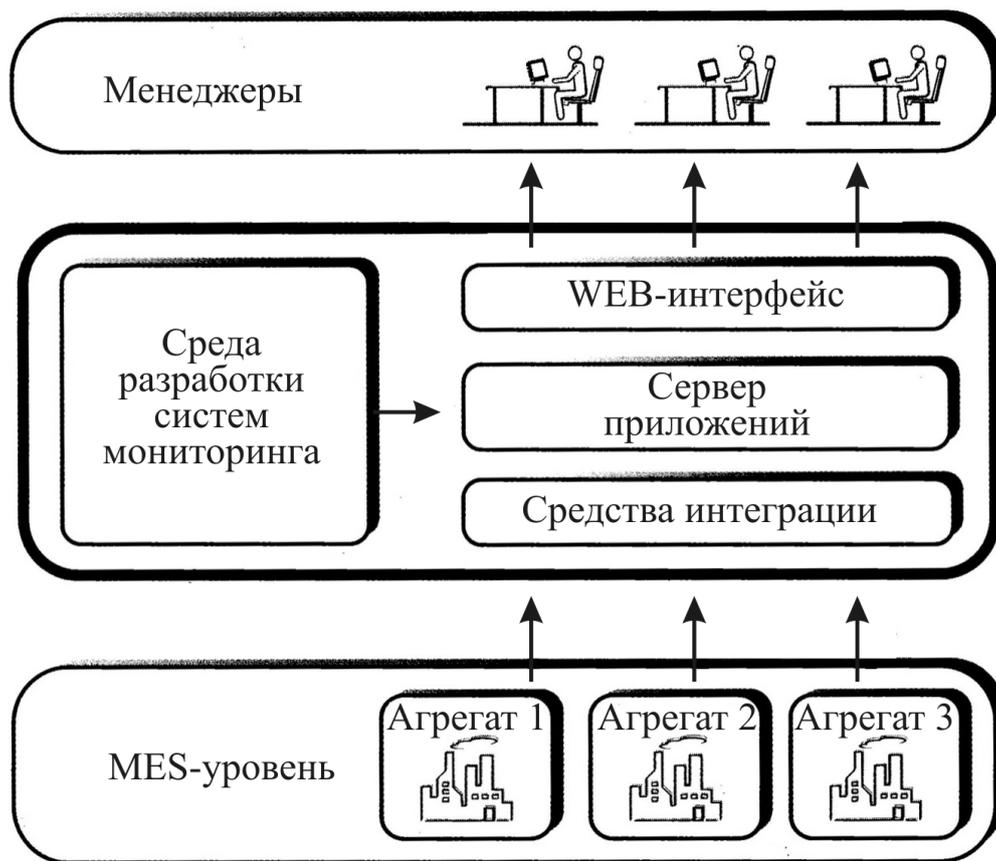


Рис. 54. Схема оперативного мониторинга производственного процесса

Сервер приложений. Предназначен для размещения программных средств системы, осуществляющих обработку информационных потоков, расчёт основных показателей технологических процессов и хранение истории их изменения.

Средства интеграции. Обеспечивают экспорт необходимой информации из систем оперативного управления технологическими процессами MES-уровня.

WEB-интерфейс. Предназначен для отображения основных показателей производственных процессов. В наглядном графическом или табличном виде пользователям предоставляется информация о загрузке оборудования, графиках производства, простоях, производительности и т.д. Быстрый анализ информации обеспечивается не только наглядностью информации, но и такими функциями интерфейса, как параллельное отображение на графиках теоретически возможных и фактических значений параметров.

Отраслевая направленность. В состав системы входят специализированные типовые формы представления информации, мнемосхемы оборудования, графики и отчётные формы для металлургической промышленности.

Взаимодействие со смежными системами. В качестве агентов на уровне агрегатов выступают системы MES-уровня, например, система оперативного управления производством. Гибкость и универсальность интеграционных средств позволяют осуществлять сбор необходимой информации из баз данных практически любого типа.

Взаимодействие с пользователями. WEB-интерфейс системы позволяет использовать в качестве клиентов практически любые типы web-браузеров. Вид представления данных позволяет быстро (в течение нескольких секунд) провести анализ основных показателей технологического процесса. В случае необходимости пользователи могут провести более глубокий анализ, воспользовавшись возможностью просмотра специальных отчётов и истории изменения параметров технологического процесса.

Эффективность применения системы. Эффективность применения системы основана на повышении оперативности и точности принятия решений менеджерами предприятия благодаря возможности быстрой оценки актуального состояния технологического процесса, выраженного в конкретных объективных характеристиках. Повышается эффективность дистанционного взаимодействия руководителей различных служб предприятия.

Применительно к сталеплавильному переделу, представляющему непосредственный интерес и для предприятий (цехов), выпускающих стальное фасонное литьё, «Аусферр» реализовала на ОАО «ММК» следующие проекты:

- система управления производством и качеством продукции электросталеплавильного цеха (ЭСЦ);
- АСУ «ЭСЦ – шихтовой двор»;
- интеграция системы АСУ контейнерной лаборатории в АСУ ЭСЦ;
- автоматизированная система диспетчеризации транспортных операций со сталеразливочными ковшами в кислородно-конвертерном цехе (ККЦ);

- исследовательский модуль в АСУП ККЦ;
- система управления вторичным охлаждением на машине непрерывной разливки стали в ККЦ;
- автоматизированная система учёта оборота ферросплавов - комплексная MES-система для ККЦ,
- проектирование интеграционного комплекса автоматизации для МНЛЗ 6 и нового комплекса внепечной обработки стали ККЦ.

7.2.5. Интегрированная АСУ литейным производством

Управление литейными цехами машиностроительных заводов может осуществляться с помощью АСУП, имеющей иерархическую структуру, показанную на рис.55. С учётом высокой сложности задач управления литейным производством используется принцип декомпозиции, согласно которому сложные задачи разлагаются по определённым уровням иерархии на систему подзадач (а системы управления – на соответствующие подсистемы в соответствии с тенденцией децентрализации АСУ, рассмотренной выше). При этом каждый из вышестоящих уровней оказывает директивное воздействие на нижестоящие, а обратная связь позволяет организовать массовый учёт и анализ производства, и, в ряде случаев, корректировку директив соответственно текущей производственной ситуации.

На высшем уровне 1 АСУП осуществляется планирование работы в соответствии с директивами вышестоящих звеньев (управляемая вертикаль). На уровне 2 согласно содержанию портфеля заказов производится их оформление, организация снабжения сырыми материалами и сбыта продукции, учёт технико-экономических показателей и простоев оборудования, планирование текущих ремонтов оборудования, составление графиков грузопотоков и загрузки оборудования, выбор рациональной технологии и оптимальных режимных параметров. На уровне 3, в соответствии информацией вышестоящего уровня, решаются задачи оптимального управления и координации действий отдельных подразделений.

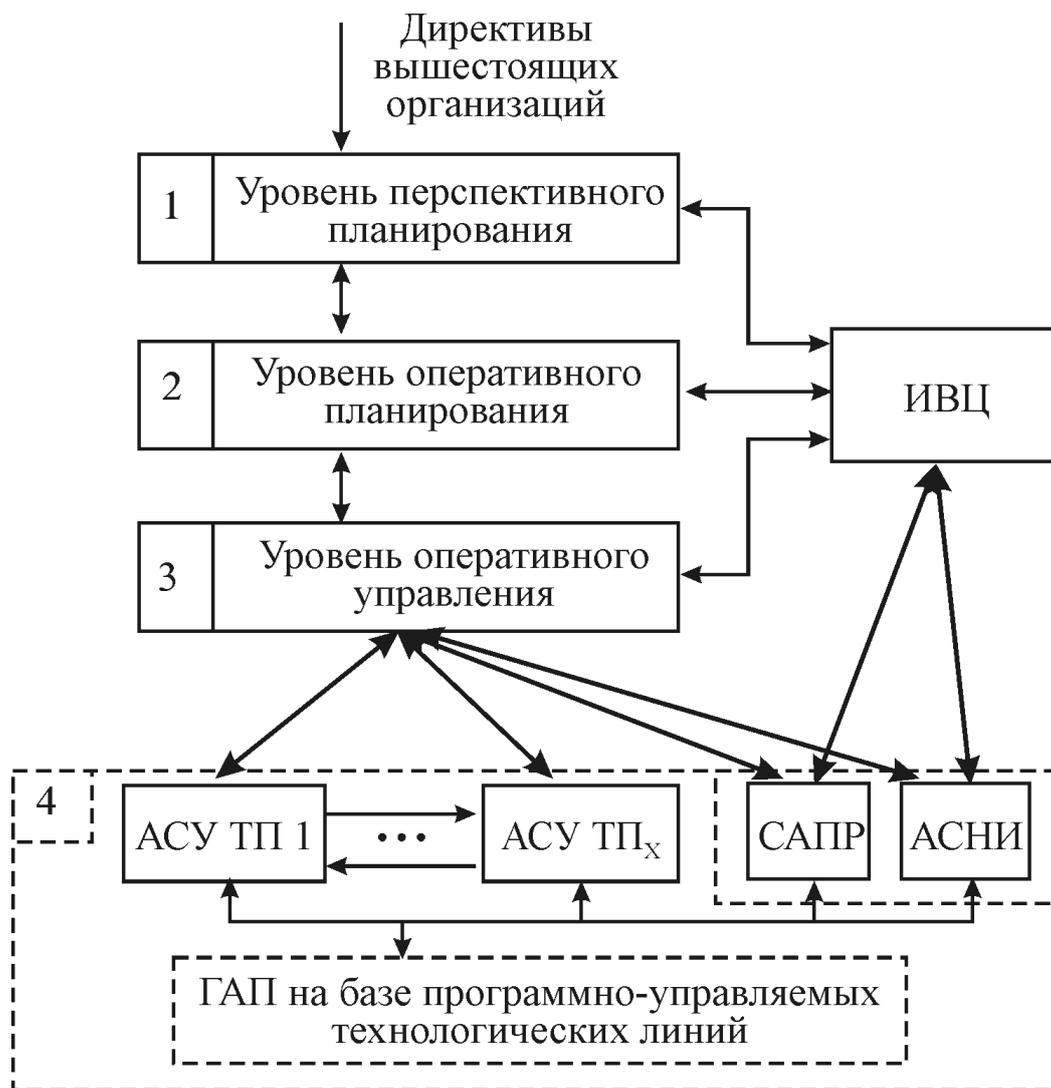


Рис. 55. Схема иерархии уровней управления литейным производством

Низшим уровнем (4) иерархической структуры АСУП является уровень АСУ ТП, к которому примыкают системы автоматизированного проектирования (САПР) и научных исследований (АСНИ), сопряжённые с теми же ТОО.

Информационно-вычислительный центр (ИВЦ) оснащается ЭВМ.

Современная АСУП литейного цеха является интегрированной системой, структурная схема которой, предложенная ранее, показана на рис. 56.

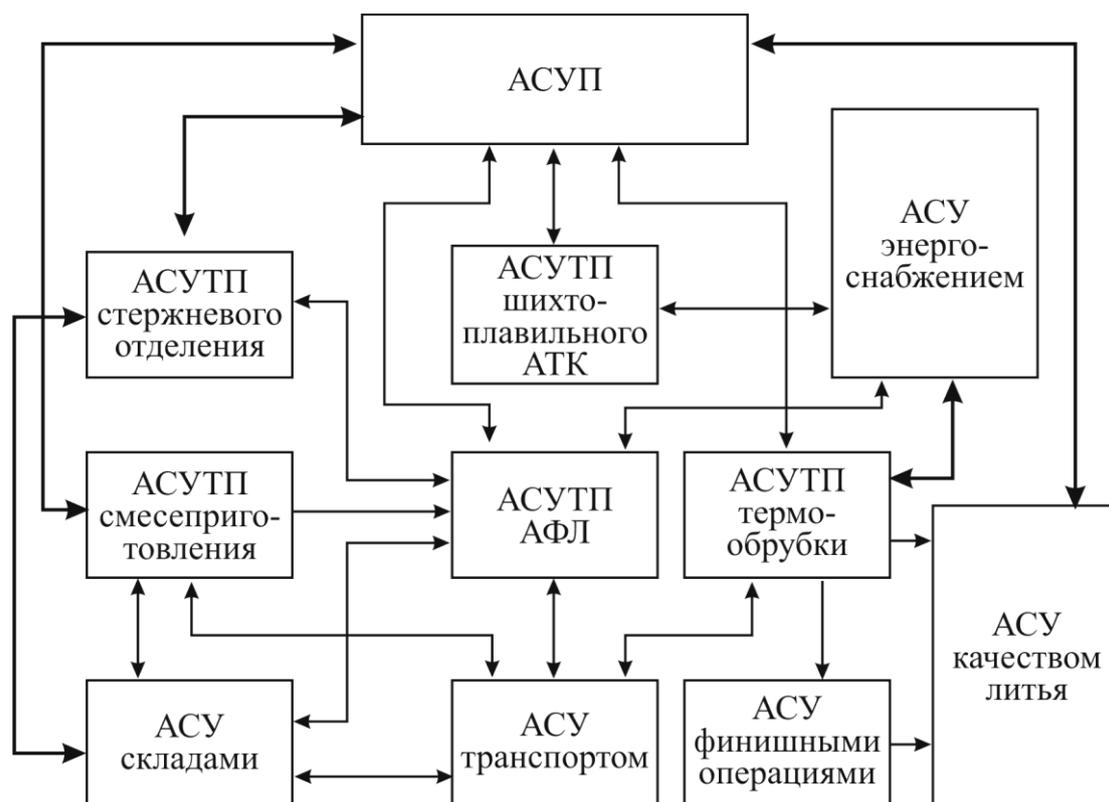


Рис. 56. Схема интегрированной АСУП литейным производством

Из неё видно, что АСУ ТП является децентрализованной системой, включающей ряд подсистем, соответствующих ключевым технологическим переделам литейного производства. Целесообразно создавать ряд отдельных АСУ ТП для автономных процессов, связанных с переработкой сырьевых материалов и получением отливок. К таким технологическим процессам относятся шихтовка, плавка металла, приготовление формовочных и стержневых смесей, изготовление стержней и форм, заливка металла в формы, выбивка и охлаждение отливок, термообработка, очистка и обрубка отливок. Возможно создание автоматизированных технологических комплексов (АТК), представляющих совокупность ТОУ и взаимодействующей с ним АСУ ТП. В первую очередь сосредотачиваются усилия на создании следующих АТК: шихто-плавильного, смесеприготовительного, стержневого, формовочно-заливочно-выбивного, обрубно-очистного. Цели функционирования каждого АТК определяются его назначением и местом в общей структуре производства. АСУ ТП отдельных производств, а также АСУП и АСУ качеством отливок должны объединяться интегрированной АСУ, которая должна содержать систему автоматизированного проекти-

рования (САПР) технологии. При создании интегрированной АСУ должна быть обеспечена функциональная, информационная, программная и техническая интеграция, которая может решаться как проблема создания сети программируемых технологических машин, УВМ и терминалов.

Оборудование САПР графическими дисплеями, графопостроителями и чертёжными автоматами позволяет обеспечивать технологическое проектирование процесса производства отливки вместе с конструированием детали. Создание общего банка данных для интегрированной АСУ позволяет резко уменьшить число информационных массивов (4-8 по сравнению с 50–60 массивами в АСУП первого поколения), сократить время поиска информации с 5–6 мин. до 1–2 с, уменьшить кратность дублирования информации в 30–35 раз. В данных системах возможно практически ликвидировать бумажные документы, которые заменяются таблицами, вызываемыми на экраны дисплеев.

Интеграция управления позволяет координировать все АСУ, уменьшить численность управленческого персонала, а через АСУ качеством и АСУП воздействовать материальными стимулами (путём доплаты к заработной плате за качественный труд) на производительность и качество на всех участках и переделах процесса производства отливок.

Таким образом, задача оптимального управления производством отливок подразделяется на ряд подзадач оптимального управления составляющими общего технологического процесса (шихтовка, плавка, смесеприготовление, формовка, заливка форм, выбивка, очистка поверхности отливок и пр.) на отдельных участках литейного цеха. В соответствии с принципом децентрализации специализированные подсистемы АСУ ТП на отдельных участках функционируют независимо друг от друга, но их работа координируется центральной ЭВМАСУ ТП литейного цеха.

Интегрированная АСУП, построенная на принципе децентрализации, выполняет координацию работы подсистем путём организованного обмена содержимым памяти отдельных ЭВМ. Информация поступает регулярно на пульт управления АСУП в виде сигналов автоматической связи обо всех видах работ, поступлении сырья, отгрузке готовой продукции, ходе выполнения плана.

В АСУП осуществляется множественный учёт массивов личного состава, основных фондов, норм и фактического расхода материалов; производятся расчёты заработной платы,

амортизационных отчислений и пр. На дисплее пульта управления АСУП с помощью средств автоматического графопостроения отображается вся необходимая информация в форме таблиц и графиков для анализа производственной ситуации и принятия решений по оптимальному управлению литейным производством.

Приведенная выше схема (см. рис. 56) представляется недостаточно совершенной. В ней все подсистемы АСУ ТП замыкаются непосредственно на АСУП, которая наряду с координацией подсистем АСУ ТП вынуждена управлять и рядом других специфических подсистем управления, связанных с планированием, сбытом и пр., которые на схеме не отражены. Представляется, что было бы правильнее замкнуть все подсистемы АСУ ТП на центральную АСУ ТП, входящую в структуру АСУП.

Далее место в АСУП АСУ качеством литья на схеме нельзя признать рациональным. В связи с особой важностью автоматизированного управления качеством отливок остановимся на этом вопросе отдельно. К настоящему времени разработаны технические средства оценки показателей качества отливок: массы и размеров отливок, глубины пригарных корочек, шероховатости поверхности, механических свойств, химического состава, внутренних дефектов и пр. При обнаружении отклонений от заданных значений показателей качества отливок на каждой стадии технологического процесса УВК вырабатывает необходимые управляющие воздействия на процесс производства отливок.

В целом необходимо ориентироваться на *процесс формирования качества отливки (слитка)*, учитывая, что вклад в качество отливки вносят режимы каждого ключевого технологического передела. В связи с этим замыкание АСУ качеством литья на АСУП, АСУТП термообработки и АСУ финишными операциями представляется неправильным. Более рационально было бы замкнуть АСУ качеством литья на центральную АСУ ТП, которая по сигналам от АСУ качества литья могла бы по специальной программе проводить анализ вероятных причин отклонения от заданных тех или иных показателей качества отливки и вырабатывать управляющие воздействия именно на те подсистемы АСУ ТП, которые управляют технологическими переделами, внёсшими свой определяющий вклад в отклонения качества от заданного уровня.

Отдельные специализированные АСУ (энергоснабжением, складами, транспортом), которые на схеме замкнуты на разные подсистемы АСУ ТП, было бы логичнее замкнуть не на подсистемы АСУ ТП, а на АСУП.

Возникает вопрос о целесообразном месте автоматизированной системы научных исследований АСНИ в интегрированной АСУП. Совершенствование программ АСУ ТП, необходимое при переходе к новым видам производимых отливок и технологическим режимам литья, перед запуском серии требует принятия обоснованных решений по новым конструктивно-проектным схемам и проектно-режимным параметрам, а для этого необходим пассивный или активный эксперимент. Необходимость проведения подобных экспериментов может возникнуть и при решении специальных задач повышения качества отливок, сокращения расходов материальных и энергетических ресурсов с целью совершенствования математических моделей процессов и явлений по накопленным результатам функционирования производства. В процессе таких экспериментов строятся либо уточняются математические модели процессов плавки, смесеприготовления, формообразования, затвердевания и пр. Результаты, полученные с помощью АСНИ, необходимо передавать в централизованную АСУ ТП для последующего использования в подсистемах АСУ ТП по соответствующему прямому назначению. В связи с этим на схеме рис. 56 целесообразно было бы ввести центральную АСУ ТП и на неё замкнуть АСНИ (вместо непосредственного замыкания АСНИ на подсистемы АСУ ТП). Это обусловлено тем, что набор возможных задач для АСНИ может быть весьма различен и сложно адресовать их от АСНИ непосредственно какой-то конкретной подсистеме АСУ ТП. Более логично распознавание адресности информации, поступающей от АСНИ, в центральной АСУ ТП и её последующая переадресовка от центральной АСУ ТП к подсистемам АСУ ТП. Тем самым с помощью центральной АСУ ТП можно осуществить координацию АСНИ с подсистемами АСУ ТП. Аналогичный подход можно применить и в отношении системы автоматизированного проектирования САПР. Эту систему представляется целесообразным подчинить центральной АСУ ТП, т.к. она могла бы использовать программы, разрабатываемые в САПР, для последующей их реализации в работе подсистем АСУ ТП.

В последнее время была предложена схема интегрированной системы управления производством (М.Ю. Рачковым), включающая три уровня управления. Самый нижний, первый, уровень решает локальные задачи управления отдельными видами оборудования. Второй, более высокий, уровень координирует работу ЭВМ первого уровня и имеет управляющую центральную ЭВМ, задачей которой является координированное управление участком в целом. Третий, высший, уровень управляет цехом и включает АСУП, автоматизированную систему технологической подготовки производства АСТПП и САПР, при этом АСУП и АСТПП связаны с центральной ЭВМ. Особенностью отмеченной схемы управления является отдельная (не включаемая в АСУП) АСТПП, что было бы целесообразно учесть в схеме управления фасонно-литейным производством, поскольку вопросы технологической подготовки производства в условиях современного гибкого производства с диверсифицированной и часто сменяемой номенклатурой отливок весьма важны.

Вышеизложенное показывает, что структурная схема интегрированной АСУП, показанная на рис. 56, является устаревшей и её необходимо совершенствовать; приведены соображения по модернизации этой схемы. В дальнейшем представляется целесообразным учесть применительно к литейному производству новейшие мировые тенденции в развитии АСУП и их подсистем, включая использование описанных выше информационных технологий в управлении производством.

Контрольные вопросы к главе 7

1. Назовите составные части комплексной АСУП, построенной на информационных технологиях.
2. Приведите особенности системы управления нормативно-справочной информацией.
3. Какие функции выполняет система оперативного управления производством?
4. Опишите структуру АСУП литейным производством.
5. Опишите направления совершенствования АСУП литейным производством.

8. ОСНОВЫ ПРЕДПРОЕКТНОЙ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

8.1. Порядок и подготовительные этапы предпроектной разработки системы управления

Подготовительный этап предпроектной разработки системы управления имеет весьма важное значение и выполняется специалистом-литейщиком в тесном взаимодействии с будущим разработчиком системы автоматизации и управления. В ранее выпущенных пособиях этот вопрос либо не рассматривался вообще, либо трактовался неверно. Так, при изложении взглядов на взаимодействие Заказчика и Разработчика АСУ ТП утверждалось (В.П. Новиковым), что разработчик системы выполняет свою работу на основе технического задания, выданного ему разработчиком технологического процесса. В действительности, согласно ГОСТ 34.602-89 «Техническое задание на создание автоматизированной системы» техническое задание на автоматизированную систему (АС) разрабатывает Организация-разработчик системы с участием Заказчика на основании его технических требований (заявки, тактико-технического задания и т. п.). При конкурсной организации работ варианты проекта ТЗ на АС рассматриваются Заказчиком, который либо выбирает предпочтительный вариант, либо на основании сопоставительного анализа подготавливает с участием будущего Разработчика АС окончательный вариант ТЗ на АС. Отмеченный стандарт (дата введения с 01.01.1990 г.) распространяется на автоматизированные системы (АС) для автоматизации различных видов деятельности (управление, проектирование, исследование и т. п.), включая их сочетания, и устанавливает состав, содержание, правила оформления документа «Техническое задание на создание (развитие или модернизацию) системы» (далее – ТЗ на АС).

Из вышеизложенного следует, что специалист-литейщик должен подготавливать технические требования для разработки ТЗ на АС и в связи с этим возникает вопрос о регламентации содержания этих технических требований, которое должно в дальнейшем помочь Разработчику АС в составлении ТЗ. Поэтому в содержании технических требований целесообразно дать пред-

варительное изложение вопросов (на уровне Заказчика), включаемых в будущее ТЗ. Содержание технических требований на разработку АС должно в дальнейшем использоваться Разработчиком системы при подготовке ТЗ в рамках п.2. «Состав и содержание», который согласно вышеуказанному ГОСТу включает материалы, приведенные в приложении 1. С учётом указанных материалов в первоочерёдном порядке специалисту-литейщику желательно отразить в технических требованиях:

1) общие сведения;

2) назначение и цели создания (развития) системы (указывают вид автоматизируемой деятельности – управление, проектирование и т. п.; перечень объектов автоматизации (объектов), на которых предполагается ее использовать; наименования и требуемые значения технических, технологических, производственно-экономических или других показателей объекта автоматизации, которые должны быть достигнуты в результате создания АС; указывают критерии оценки достижения целей создания системы;

3) характеристику объектов автоматизации (краткие сведения об объекте автоматизации или ссылки на документы, содержащие такую информацию; сведения об условиях эксплуатации объекта автоматизации и характеристиках окружающей среды);

4) требования к системе (требования к системе в целом; требования к функциям – задачам, выполняемым системой; требования к видам обеспечения);

5) предварительные соображения по математическому и информационному обеспечению системы;

6) предварительные соображения по требованиям к структуре и функционированию системы, в т.ч. перечень подсистем, их назначение и основные характеристики, требования к числу уровней иерархии и степени централизации системы; требования к режимам функционирования системы; перспективы развития, модернизации системы;

7) предварительные соображения по численности и квалификации персонала АС, требования к персоналу АС (требования к квалификации персонала, порядку его подготовки и контроля знаний и навыков; требуемый режим работы персонала АС);

8) предварительные соображения по требованиям к надежности: состав и количественные значения показателей надежно-

сти для системы в целом или ее подсистем; перечень аварийных ситуаций, по которым должны быть регламентированы требования к надежности и значения соответствующих показателей; требования к надежности технических средств и программного обеспечения; требования к методам оценки и контроля показателей надежности на разных стадиях создания системы в соответствии с действующими нормативно-техническими документами;

9) предварительные соображения по безопасности включают требования по обеспечению безопасности при монтаже, наладке, эксплуатации, обслуживании и ремонте технических средств системы (защита от воздействий электрического тока, электромагнитных полей, акустических шумов и т. п.), по допустимым уровням освещенности, вибрационных и шумовых нагрузок;

10) предварительные соображения по требованиям по эргономике и технической эстетике включают показатели АС, задающие необходимое качество взаимодействия человека с ЭВМ;

11) предварительные соображения по дополнительным требованиям (требования к оснащению системы устройствами для обучения персонала – тренажерами, другими устройствами аналогичного назначения и документацией на них; требования к сервисной аппаратуре, стендам для проверки элементов системы; требования к системе, связанные с особыми условиями эксплуатации);

12) специальные требования по усмотрению Заказчика системы.

Из технических требований Разработчик АС должен четко понять конкретные цели системы и ожидаемые технико-экономические результаты её функционирования, особенности объектов регулирования и управления, технологического процесса и оборудования, качества выпускаемой продукции и пр., научно-технические заделы по математическому обеспечению системы и пр.

Представляется целесообразным Заказчику отразить в технических требованиях ряд схем:

1) структурную схему технологического процесса, подлежащего управлению, с пояснительной запиской;

2) структурную схему технологического оборудования, подлежащего управлению, с пояснительной запиской;

3) циклограмму технологического процесса с технологическими переделами и пояснительной запиской (для дискретных и дискретно-непрерывных процессов);

4) схему связи ТОО с АУУ с отражением полной совокупности внешних и внутренних воздействий (параметров) с пояснительной запиской;

5) структурную схему автоматизации (с предварительным выбором исходных данных по структуре АСУ ТП, САР, САУ, характеристике подсистем) с пояснительной запиской (факультативно: для сложных ТОО – подготавливается совместно с Разработчиком системы);

6) блок-схему алгоритма управления с пояснительной запиской (факультативно: для сложных ТОО – подготавливается совместно с Разработчиком системы);

7) граф-схему алгоритма управления с пояснительной запиской (факультативно: для сложных ТОО – подготавливается совместно с Разработчиком системы);

8) функциональную схему автоматизации с пояснительной запиской (факультативно: для сложных ТОО – подготавливается совместно с Разработчиком системы).

Наряду с вышеизложенным в технических требованиях Заказчика желательно представить:

– предварительные соображения по режиму функционирования АСУ ТП (САУ, САР) применительно к заданному ТОО;

– математическую модель ТОО (детерминированную, стохастическую или комбинированную) – как основу будущего математического обеспечения системы;

– предварительные соображения по типу регуляторов и законов регулирования для САР (САУ, АСУ ТП) применительно к заданному ТОО.

В связи с целесообразностью подготовки наглядных схемных отображений в рамках технических требований к разработке ТЗ на АС ниже систематизированы и рассмотрены особенности и примеры соответствующих схем.

8.2. Классификация и особенности схем, используемых для автоматизации и управления

8.2.1. Общие сведения по разновидностям схемных отображений

Специалист-литейщик, участвующий в подготовке исходных данных для разработки АСУ ТП, должен иметь представление о схемных отображениях, которые используются в автоматизации и управлении. Схемы классифицируются по разным признакам:

1) *по видам* различают схемы: электрические, пневматические, гидравлические, комбинированные;

2) *по типам* схемы автоматизации подразделяются на: структурные, функциональные, принципиальные, монтажные, соединений.

Схемы 1, а также принципиальные, монтажные и соединений являются объектом разработки непосредственно специалистов по автоматизации и управлению. Структурные и функциональные схемы в предварительном порядке могут подготавливаться специалистами-литейщиками либо (в особо-сложных случаях) ими в сотрудничестве со специалистами по автоматизации и управлению.

Структурные схемы можно разделить на три основных разновидности:

- структурная схема технологического процесса,
- структурная схема оборудования (машины, агрегата, устройства),
- структурная схема системы автоматизации и управления (САР, САУ, АСУ ТП),
- мнемосхема.

Структурная схема технологического процесса наглядно отражает последовательность и взаимосвязь технологических операций процесса и является важной составной частью технических требований, т.к. она знакомит специалиста-разработчика системы автоматизации и управления с особенностями технологического процесса как части ТООУ.

Структурная схема оборудования, подлежащего автоматизации и управлению, также способна помочь разработчику АС понять особенности конструкции оборудования.

Структурная схема системы автоматизации и управления отражает укрупнённую структуру системы управления и взаимосвязи между её составными элементами, а также пунктами контроля и управления объектом; она является начальным вариантом графического отображения системы.

Функциональная схема автоматизации отражает функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, сигнализации, управления и регулирования технологического процесса; определяет оснащение ТОО приборами и средствами автоматизации. Схема является по существу развитием структурной схемы и отличается большей информативностью. Это достигается с помощью специальных обозначений, используемых при составлении данных схем.

Мнемосхема отражает (на дисплее пульта управления) функциональную структуру объекта управления и предназначена для оператора-технолога или диспетчера. Её задача – обеспечение оператора или диспетчера наглядной информацией с целью оперативного принятия управленческих решений.

8.2.2. Структурная схема технологического процесса

Схема этого типа позволяет получить наглядное представление о структуре технологического процесса. Она отражает набор технологических операций и технологических переделов и показывает последовательность их выполнения, взаимодействия между операциями и переделами. Схема представляет последовательно или параллельно выполняемые операции или переходы (рис. 57). Каждая операция процесса характеризуется своими определёнными входными параметрами, получаемыми на предыдущей операции и характеризующими выполняемую операцию, а также выходными параметрами. Операции процесса представляются прямоугольниками (*a*); входные параметры 1(*b*), формируемые на предыдущей операции, обозначаются стрелками, входящими в левую сторону прямоугольника; параметры выполняемой операции – стрелками 2 (*b*), входящими в прямоугольник сверху, выходные параметры 3(*b*) операции – стрелка-

ми, выходящими из прямоугольника вправо. На схеме технологического процесса параметры предшествующей операции будут являться входными параметрами последующей операции.

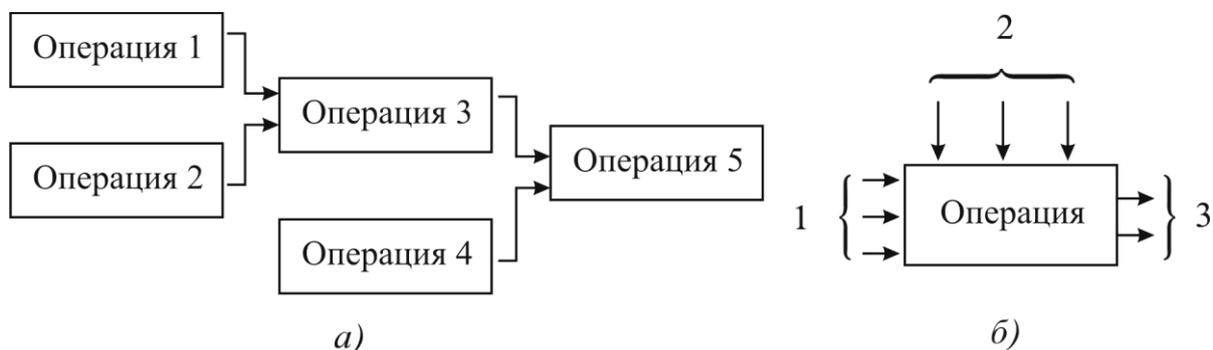


Рис. 57. Структурная схема технологического процесса:
а и б – пояснения в тексте

Соответствующие структурные схемы часто приводятся в литературе, относящейся к технологии плавильных и литейных процессов. При отсутствии готовых структурных схем технологического процесса специалист-литейщик, знакомый с особенностями технологии производства, способен самостоятельно составить такую схему.

8.2.3. Структурная схема оборудования

Схема данного типа отражает основные элементы оборудования (печи, линии, машины, устройства и т.д.) и их взаимное расположение. Соответствующие схемы часто приводятся в литературе по плавильному и литейному оборудованию. В случае отсутствия готовых схем (новое или нестандартное оборудование) задачей специалиста-литейщика является подготовка (совместно с конструктором-разработчиком оборудования) структурной схемы оборудования, подлежащего управлению.

8.2.4. Циклограмма технологического процесса

Для дискретных и дискретно-непрерывных процессов удобной и наглядной формой графического отображения является циклограмма – графическое изображение последовательной смены состояний машины во времени. Она показывает последовательность и взаимодействие технологических операций или переделов в более детальной форме, чем структурная схема тех-

нологического процесса. Циклограмма обычно строится в виде таблицы (схемы), в которой по вертикали перечисляются механизмы машины или технологические переходы, а по горизонтали откладываются длительности последовательно выполняемых переходов (см. приложение 2).

8.2.5. Схема связи ТОО с АУУ

Данная схема даёт наглядное представление об основных внешних и внутренних воздействиях (параметрах), в т.ч. о возмущающих воздействиях (контролируемых и неконтролируемых), выходных параметрах (прямых и косвенных), управляющих воздействиях. При этом в пояснении к схеме требуется раскрыть пронумерованные на схеме параметры применительно к особенностям рассматриваемого ТОО.

8.2.6. Структурная схема автоматизации

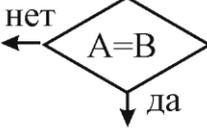
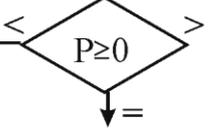
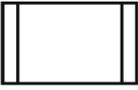
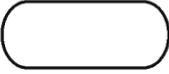
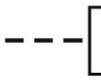
Схема этого типа отражает структурные элементы системы автоматизации (САР, САУ, АСУ ТП) и их взаимосвязи, т.е. она позволяет понять, из каких основных элементов может состоять будущая система и каким образом они между собой взаимосвязаны. Схема отражает системы контроля, регулирования, управления, сигнализации и пр. Она может быть подготовлена специалистом-литейщиком как схема первого приближения на основе имеющихся научно-технических заделов, отражённых в соответствующей литературе, а также на основе собственных представлений и знаний основ систем автоматизации и управления. В дальнейшем соответствующая схема более детально разрабатывается специалистами-разработчиками при подготовке ТЗ на АС.

8.2.7. Блок-схема алгоритма управления

Эта блок-схема раскрывает последовательность действий в процессе управления ТОО. Она может быть построена только при хорошем знании особенностей и процедуры управления. Любой алгоритм записывается в виде определённой последовательности действий над входной информацией. Эти действия

называются операторами. Они кодируются определёнными символами, изображающими арифметические, логические и неарифметические операции. Схемой алгоритма называется графическое изображение алгоритмического процесса, в котором каждый оператор переработки данных изображается в виде геометрических фигур (символов). Символы соединяются между собой линиями, указывающими последовательность выполнения каждого оператора. Внутри символов даётся формульное или словесное описание соответствующего действия. Наиболее употребляемые символы показаны в табл.10. Процесс – символ, отображающий выполнение операции или группы операций, в результате которых изменяются значения, форма представления или расположение данных. Решение – символ, используемый для разветвления процесса решения в зависимости от выполнения некоторых условий. Условия разветвления записываются над каждой выходящей линией потока или справа от неё. Ввод-вывод – символ, отображающий операции ввода и вывода. Предопределённый процесс – символ, отображающий в схемах использование ранее созданных и отдельно описанных алгоритмов и программ. Пуск-останов – символ, отображающий операции начала прерывания и конца алгоритма. Комментарий – символ, применяемый для пояснения характера параметров и особенностей процесса, линий потока и др., если содержание пояснения не помещается внутри символа. Линия потока – символ, указывающий последовательность переходов от символа к символу. Соединитель – символ, используемый для обрыва линий потока. Внутри символов можно записывать цифры, буквы или их комбинации. Символы – соединители, относящиеся к одной (прерванной) линии потока, помечаются одним и тем же идентификатором.

Условные обозначения элементов блок-схем алгоритмов управления

Наименование	Обозначение по ГОСТ 19.003–80	Примеры
Процесс		$u := u + v$ $u = a^2x + bx$ расчет u
Решение		 
Ввод-вывод		Ввод x, y, z печать x, y, z
Предопределенный процесс		расчет u по пр.прогр.1 формир. управл. запрос таймера
Пуск-останов		начало прог. 1 конец
Комментарий		расчет u по формуле (1) запись в оп значения x_i
Соединитель		   
Линия потока		

Имеются следующие разновидности алгоритмов:

- сбора и обработки информации (циклический и адресный опрос датчиков),
- определения истинных значений измеряемых величин по показаниям датчиков,
- распознавания или обнаружения событий,
- идентификации текущего режима,
- цифрового управления и регулирования,
- оптимального управления.

Представляется, что блок-схема алгоритма управления может быть построена как схема первого приближения специалистом-литейщиком на основе имеющихся научно-технических заделов (по литературным источникам) для относительно несложных ТОУ. В общем случае на стадии подготовки технических требований желательно при проработке такой схемы взаимодействие Разработчика технических требований с разработчиком ТЗ на АС.

8.2.8. Функциональная схема автоматизации

Указанная схема отражает функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, сигнализации, управления и регулирования технологического процесса и определяет оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации. *Особенностью схемы (сравнительно с обычной структурной схемой автоматизации) является использование специальных условных обозначений, отражающих функциональное назначение того или иного элемента системы (рис. 58).*

Наименование измеряемой величины и функции, выполняемые прибором, обозначают буквами латинского алфавита (табл. 11). Пример обозначения прибора показан на рис. 59.

Дополнительная информация по данному вопросу содержится в работах В.П. Новикова (приложение 2).

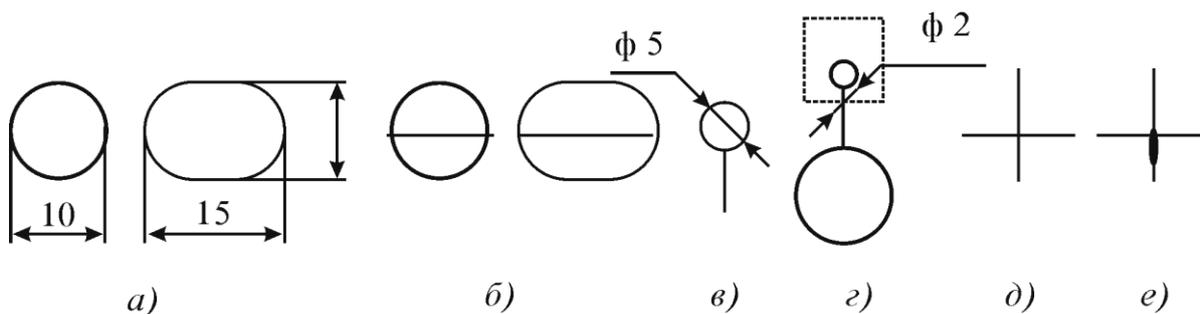


Рис. 58. Обозначения функциональных схем автоматизации:
 а – приборы с датчиками, устанавливаемые непосредственно на технологическом оборудовании; б – приборы, устанавливаемые на щите управления; в – исполнительный механизм; г – отборное устройство; д, е – линии связи и их пересечения (д – пересечение линий без соединения, е – пересечение линий с соединением)

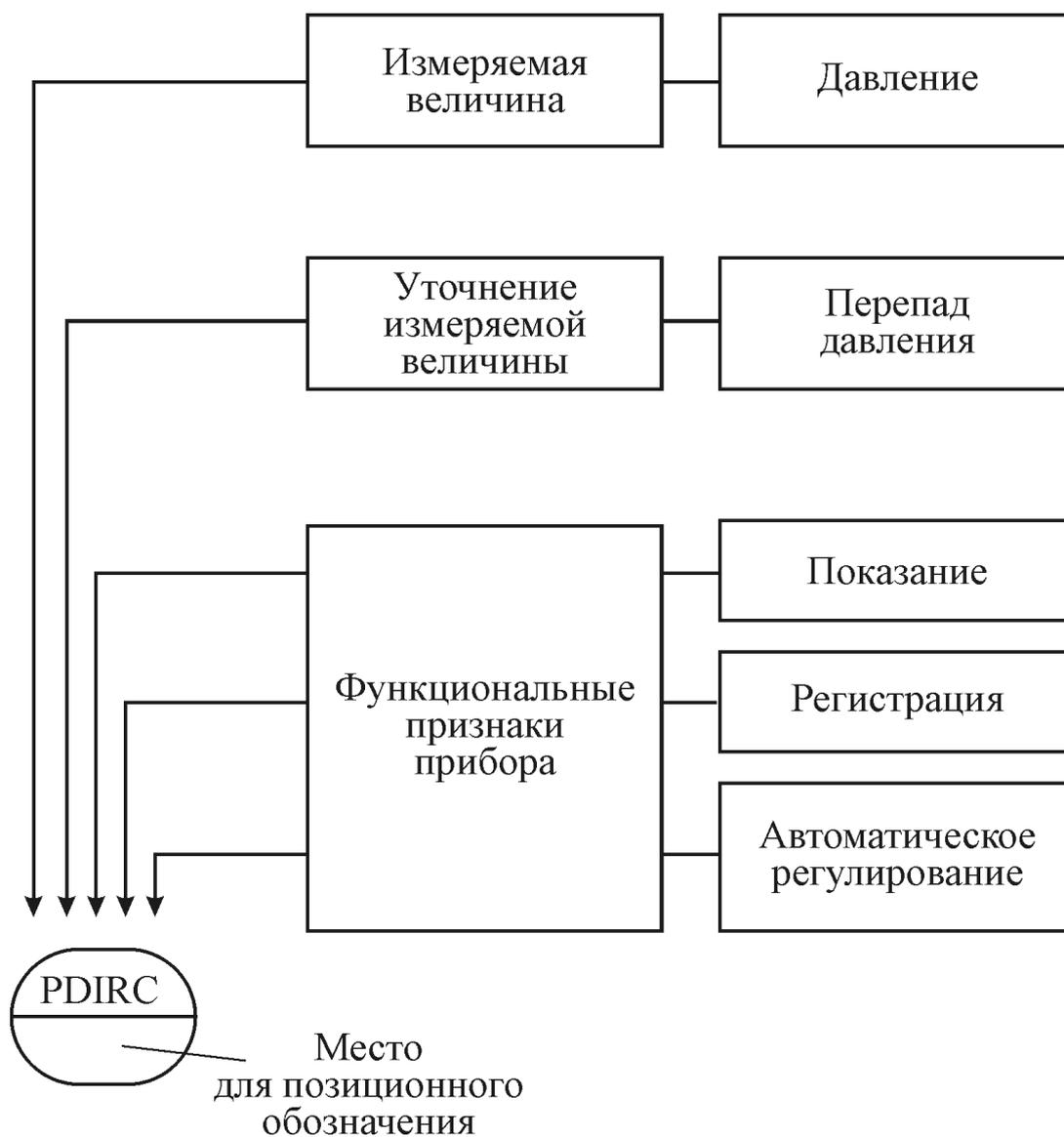


Рис. 59. Пример обозначения прибора на функциональной схеме автоматизации

**Условные обозначения параметров функциональных
схем автоматизации**

Обозначение	Измеряемая величина		Функции, выполняемые прибором		
	Основное обозначение измеряемой величины	Дополнительное обозначение, уточняющее измеряемую величину	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
1	2	3	4	5	6
A	+	–	Сигнализация	–	–
B	+	–	–	–	–
C	+	–	–	Автоматическое регулирование, управление	–
D	Плотность	Разность, перепад	–	–	–
E	Электрическая величина	–	–	–	–
F	Расход	Соотношение, доля, дробь	–	–	–
G	Размер, положение, перемещение	–	–	–	–
H	Ручное воздействие	–	–	–	Верхний предел измеряемой величины
I	+	–	Показание	–	–
J	+	Автоматическое переключение, обегание	–	–	–
K	Время, временная программа	–	–	+	–
L	Уровень	–	–	–	Нижний предел измеряемой величины

1	2	3	4	5	6
M	Влажность	–	–	–	–
N	+	–	–	–	–
O	+	–	–	–	–
P	Давление, вакуум	–	–	–	–
Q	Величина, характеризу- ющая каче- ство: состав, концентрацию и т.п.	Интегрирова- ние, суммиро- вание по вре- мени	–	+	–
R	Радиоактив- ность	–	Регистра- ция	–	–
S	Скорость, частота	–	–	Включение, отключение, переключе- ние, сигнала- лизация	–
T	Температура	–	–	+	–
U	Несколько разнородных измеряемых величин	–	–	–	–
V	Вязкость	–	+	–	–
W	Масса	–	–	–	–
X	Нерекоменду- емая резервная буква	–	–	–	–
Y	+	–	–	+	–
Z	+	–	–	+	–

Примечание. Буквенные обозначения, отмеченные знаком «+», являются резервными, а отмеченные знаком «–», не используются.

8.2.9. Граф-схема алгоритма управления

Данная схема, как и предыдущая, отражает последовательность действий в процессе управления, но в иной форме, более пригодной для реализации специальными программами и отображениями на дисплее. Граф-схема алгоритма управления включает круги с буквенными обозначениями операторов (действий) внутри кругов и стрелки, отражающие последовательность действий (см. приложение 2). Логические условия отображаются цифрами 0 и 1. Дополнительная информация по данному вопросу содержится в работах В.П. Новикова (приложение 2).

Граф-схемы алгоритма управления рассматриваются совместно с функциональной схемой автоматизации установки. Представляется, что граф-схема алгоритма управления, как и в предыдущем случае, может быть построена как схема первого приближения специалистом-литейщиком на основе имеющихся научно-технических заделов (по литературным источникам) для относительно несложных ТООУ. В общем случае на стадии подготовки технических требований желательно при проработке такой схемы взаимодействие Разработчика технических требований с Разработчиком ТЗ на АС.

8.2.10. Мнемосхемы

Разработчик АС трансформирует функциональную схему автоматизации в мнемосхему ТООУ, фрагменты которой с наложенной на неё цифровой информацией о значениях параметров выводятся на экран монитора. Мнемосхема представляет собой схематическое изображение функциональной схемы ТООУ или его отдельных частей. На неё в соответствующих точках накладывается динамическая информация (параметры процессов, положение механизмов, включение приводов и т.д.). По команде с клавиатуры вызывается заданный фрагмент мнемосхемы. С помощью мнемосхемы оператор получает информацию о значении параметров и соответствии их заданным значениям, положении механизмов, работе регуляторов и др. устройств. Мнемосхема представляет собой наглядное графическое изображение функциональной схемы автоматизации управляемого объекта. Она облегчает оператору запоминание хода технологического процесса, назначения различных приборов и органов управления, а также способов действия при различных режимах работы объекта. В процессе управления мнемосхема является для оператора важнейшим источником информации о текущем состоянии системы, характере и структуре протекающих в ней процессов, в т.ч. связанных с нарушениями технологических режимов, авариями и т.п. Применение мнемосхем наиболее эффективно в тех случаях, когда управляемый объект имеет сложную технологическую схему и большое число контролируемых параметров или когда технологическая схема может оперативно изменяться и это изменение должно запоминаться оператором. Мнемосхема наглядно отображает схему системы в целом и связи между ос-

новными объектами, входящими в систему; достаточно подробно отображает функциональные схемы автоматизации отдельных агрегатов или объектов; показывает связи и характер взаимодействия данной системы с другими системами и внешней средой; обеспечивает световую сигнализацию состояния (положения) важнейших технологических агрегатов; сигнализирует о всех существенных нарушениях в работе системы; обеспечивает возможность быстрого нахождения резервов для локализации аварий. Элементы мнемосхем, наиболее существенные с точки зрения контроля оператором состояния системы, принятия им решений и реализации управляющих воздействий, чётко выделяются размерами, формой и цветом.

По функциям операторов, работающих с мнемосхемами, различают *операторские и диспетчерские мнемосхемы*. Различие между ними состоит прежде всего в масштабе и сложности отображаемых объектов. Операторская мнемосхема отражает единый, пространственно сосредоточенный технологический комплекс, а диспетчерская мнемосхема – рассредоточенная система, включающая в себя разнообразные агрегаты, объекты, комплексы. Операторские и диспетчерские мнемосхемы резко различаются также степенью подробности отображения отдельных управляемых объектов, что обусловлено разным характером единиц, с которыми приходится иметь дело оператору и диспетчеру.

Мнемосхемы со встроенными в них индикаторами представляют собой одно из эффективных средств, призванных облегчить работу оператора, помочь ему среди множества контролируемых параметров выявить те, которые требуют его непосредственного вмешательства, облегчить восприятие общей картины протекания технологического процесса в целом и на отдельных его участках. Информация о важнейших параметрах и исполнительных механизмах отображается на мнемосхеме индивидуально; информация о второстепенных параметрах может обобщаться в том или ином виде.

Мнемосхемы выполняют либо чисто информационные функции, либо управляющие. В последнем случае наряду с индикаторами располагаются соответствующие органы управления (обычно двухпозиционного типа). В современном исполнении мнемосхемы отображаются на экране дисплея. Мнемосхемы строятся на основе несколько упрощённых технологических

схем, в которые вводят различные сигнальные элементы и надписи, при сохранении графического подобия взаиморасположения технологических линий и т.п.

Мнемосхема отличается от схемы технологического процесса:

- технологическая схема является детальным графическим отображением процесса;
- мнемосхема служит для контроля и управления объектом и поэтому отражает логику управления объектом, при этом выделяются те узловые места объекта, знание состояния которых позволяет оператору судить о состоянии объекта в целом.

В мнемосхемах используются условные знаки и символы для обозначения различных органов управления, приборов и технологических параметров.

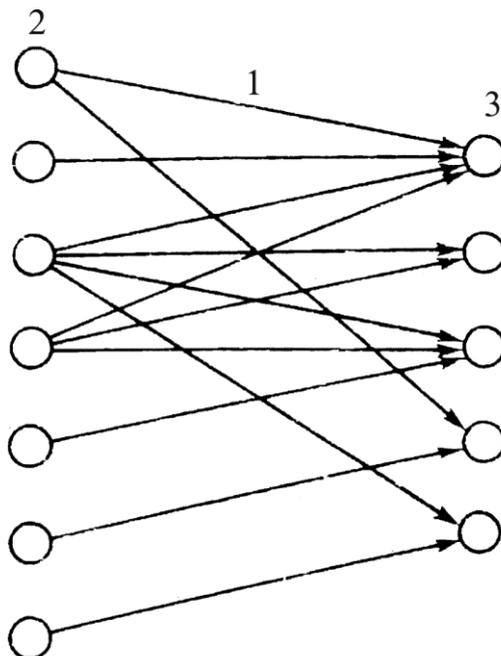
8.3. Процедура предварительного синтеза системы управления

Плавильно-литейные процессы, несмотря на некоторые накопленные знания по закономерностям их протекания, в общем остаются недостаточно изученными. Кроме того, сведения и математические модели, полученные для тех или иных технологических объектов, не всегда могут быть автоматически перенесены на другие объекты, отличающиеся по мощности, производительности и другим показателям. Поэтому в рамках предварительного синтеза системы управления необходимо на первом этапе предварительное обследование автоматизируемого технологического процесса, включающее ряд этапов:

- 1) *информационное обследование и описание ТОО*, включающее:
 - построение пооперационной схемы технологического процесса;
 - изучение технологического оборудования, систем регулирования и управления, входящих в состав оборудования, аппаратуры регистрации информации и её отображения;
 - исследование системы контроля технологических факторов и параметров продукции, системы сбора информации о ходе технологического процесса;

- исследование алгоритмов получения информации о качестве технологического процесса и необходимых мерах по управлению;
- выпуск контрольных партий продукции с оценкой разброса входных параметров, их влияния на параметры продукции;
- оценку устойчивости технологического процесса;
- информационное описание технологических операций и процессов.

Целесообразно построение структурных граф-схем связи входных и выходных параметров (рис. 60).



*Рис. 60. Граф-схема связи входных и выходных параметров:
 1 – технологические операторы; 2 – входные параметры
 (материалы и пр.) – контролируемые и неконтролируемые;
 3 – выходные параметры продукции*

Для технологических операторов и входных параметров желательно указывать номинальные значения и область их разброса. Особое внимание уделяется описанию взаимосвязи технологических операций в технологическом процессе, системы технологических регуляторов. Выделяется группа технологических операций, оказывающих приоритетное влияние на качество продукции, и проводятся контрольные экспресс-партии на этих операциях. Наряду с вышеизложенным выполняется описание систем управления организационными процессами (оперативная отчетность, оперативное планирование);

2) *анализ качества функционирования ТООУ, включающий:*

- анализ качества технологического процесса по выходу годной продукции (по операциям и в целом по процессу);
- анализ качества технологического процесса по характеру распределения контролируемых параметров;
- анализ качества технологических процессов по основным статистическим параметрам;

3) *анализ управляемости ТООУ, включающий* определение соответствия рабочей области технологического процесса контрольным границам; определение возможности управления номенклатурным распределением выпускаемой продукции; определение управляющих факторов по математическим моделям технологических процессов;

4) *совершенствование структуры технологических процессов* с целью повышения их управляемости и качества.

После предварительного обследования процесса проводится определение необходимых предпроектных научно-исследовательских работ (НИР), их объёмов, составление технического задания на НИР и плана-графика их выполнения. Задачей соответствующих НИР является не оптимизация текущего технологического процесса, а выявление закономерностей процессов и построение математических моделей, пригодных для последующего программирования в целях оптимального управления технологическим процессом и оборудованием с помощью подлежащей созданию АСУ ТП. При проведении предпроектных НИР проводят на основе информационного обследования *анализ технологического процесса как объекта управления*, определяют конкретную цель функционирования системы, формируют критерий управления и ограничения.

На следующем этапе подготовительных работ (либо параллельно с первым этапом) разрабатывается предварительное технико-экономическое обоснование создания АСУ ТП.

Создание системы управления технологическими процессом является многовариантным процессом, когда при проектировании проверяются различные варианты решения технической задачи. По мере удорожания стоимости труда, материалов, энергии и при относительном снижении стоимости средств управления более широкое применение находят сложные системы и средства управления.

Выбор метода управления начинается с определения возможности применения автоматического регулирования и управления. Существуют условия, при которых нецелесообразно автоматическое регулирование и управление:

- если динамические характеристики объекта отличаются большими запаздываниями, что не позволяет эффективно применить АС;
- применение АС экономически нецелесообразно;
- отсутствуют технические средства для управления (датчики и пр.).

Процедура предварительного синтеза АС должна включать следующие этапы:

- последовательное построение рассмотренных выше схемных отображений;
- выбор типа АС (САР, САУ, АСУ ТП);
- выбор метода регулирования (стабилизирующее, программное, следящее; позиционное или непрерывное);
- выбор типа регуляторов, контрольно-измерительных приборов, датчиков, исполнительных механизмов и регулирующих органов;
- выбор типа управляющих устройств (контроллеры, ЭВМ).

Контрольные вопросы к главе 8

1. Опишите функции специалиста-литейщика в разработке системы автоматизированного управления.
2. Какие элементы входят в состав технических требований к разработке ТЗ на автоматизированную систему управления?
3. Перечислите схемные отображения, которые желательно отразить в технических требованиях по п.2.
4. Опишите особенности блок-схемы алгоритма управления.
5. Чем отличается функциональная схема автоматизации от структурной схемы автоматизации?
6. Назовите особенности граф-схемы алгоритма управления.
7. Опишите особенности мнемосхем и их разновидностей.
8. Какие этапы включает процедура предварительного синтеза автоматизированной системы управления?

9. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

9.1. Управление плавильными процессами

9.1.1. Управление плавкой в вагранке

Процесс плавки начинается с расчёта и выбора рационального состава шихты. В учебных пособиях вопросы расчёта оптимального состава шихты часто относят к управлению плавильным процессом. Мы полагаем, что эти вопросы в большей мере относятся к САПР так же, как и все остальные задачи проектного выбора рациональных параметров технологии и оборудования, при решении которых используется современное компьютерное моделирование. С учётом выделения САПР в отдельный учебный курс мы не рассматриваем расчёт шихты в качестве объекта управления литейным производством. Вместе с тем к задачам управления следует отнести процессы, обеспечивающие подготовку, транспортировку и загрузку шихты в печь и непосредственное управление плавкой. Системы автоматического дозирования шихтовых материалов описаны в ранее опубликованных пособиях по оборудованию и автоматизации и мы на них отдельно не останавливаемся. Основное внимание в данном разделе уделено управлению непосредственно плавильными процессами.

Вагранка и процесс плавки чугуна в ней представляют собой ТООУ, имеющий определённые особенности (табл.12). Целевой функцией управления процессом плавки в вагранке считают обеспечение заданных пределов производительности печи, химического состава и температуры чугуна при минимизации его себестоимости, в т.ч. за счёт поддержания минимального удельного расхода кокса. Для достижения этой цели ставятся частные задачи стабилизации контролируемых возмущающих воздействий, указанных в табл.12. При этом важно регулировать температуру и влажность воздушного дутья, а также уровень пла-

вильной шихты в шахте вагранки. Основным регулирующим воздействием является расход воздушного дутья (табл.13). Осуществляется также регулирование расходов природного газа и технического кислорода.

Таблица 12

Характеристика входов и выходов вагранки как ТОО

Величина	Технологическая характеристика величины
Возмущения на входе: контролируемые	Изменение влажности воздушного дутья, природного газа, технического кислорода, содержания O ₂ в техническом кислороде, температуры и давления дутья, уровня загрузки шихтовых материалов
неконтролируемые	Изменение содержания примесей в шихте, содержания углерода, золы и влаги в коксе, химического состава золы кокса, состояния огнеупорной футеровки вагранки, пригара и угара элементов чугуна в процессе плавки
Управляющие воздействия: менденнодействующие быстродействующие	Расход кокса относительно расхода металлошихты Расходы воздушного дутья, природного газа и технического кислорода
Выходная величина	Производительность вагранки, химический состав чугуна и его температура, удельный расход кокса

Таблица 13

Характеристика способов регулирования дутьевого режима вагранок

Способ регулирования	Методика регулирования	Достоинства способа	Недостатки способа
Стабилизация объемного расхода дутья	Контроль расхода и изменение степени открытия дроссельной заслонки на трубопроводе холодного дутья	Наибольшая простота осуществления	Зависимость режима горения кокса от температуры окружающего воздуха
Стабилизация массового расхода дутья	То же	Исключение влияния температуры окружающего воздуха на режим горения кокса	—
Стабилизация содержания CO ₂ в отходящих газах	Контроль содержания CO ₂ и изменение степени открытия дроссельной заслонки на трубопроводе холодного дутья	Исключение влияния прочих технологических факторов (расхода и свойств кокса, газопроницаемости шихты и др.) на режим горения кокса	Сложность эксплуатационного обслуживания газоанализатора
Оптимизация расхода воздушного дутья по температуре чугуна на выпуске или непосредственно в горне вагранки в целях достижения максимальной температуры чугуна при заданном расходе кокса	Контроль температуры чугуна и изменение степени открытия дроссельной заслонки на трубопроводе холодного дутья	Исключение влияния любых технологических факторов на режим горения кокса и минимизация его расхода	—

При оснащении вагранки специальным рекуператором для подогрева воздушного дутья необходимо управлять тепловыми режимами дожигания СО и горения дополнительно вводимого природного газа путём надлежащего ввода воздуха в рекуператор.

На рис. 61 приведена функциональная схема автоматизации ваграночной установки, на которой обозначены: *I* – вагранка закрытого типа с охладительной рубашкой *II* и поворотным копильником *III*; *IV* – бадья системы шихтоподачи; *V* – воздуходувка; *VI* – мокрый очиститель отходящих газов; *VII* – радиационный рекуператор; *VIII* – конвективный рекуператор; *IX* – дымосос; *X* – осушитель воздуха. АСУ ТП включает локальные САР (табл. 14), которые строятся на основе средств контроля процесса плавки, приведенных в табл. 15, в сочетании с автоматическими управляющими устройствами: регуляторами, исполнительными механизмами, регулирующими органами.

Особенностью АСУ ТП ваграночной плавки, относящейся к объектам с экстремальными статическими характеристиками, является оптимальное управление дутьевым режимом – по максимуму температуры чугуна θ на выпуске

$$\theta = f(Q_T; Q_B)$$

где Q_T – расход топлива, кг/ч; Q_B – расход воздуха, м³/ч.

Оптимальный расход воздуха $(Q_B)_{\text{опт}}$ при данном расходе топлива обеспечивает $\theta \rightarrow \max$ (рис.62). Экстремальный регулятор воздействует на объект методом проб и ошибок. Процесс поиска оптимального расхода воздуха может осуществляться как в шаговом режиме (кривая *A* на рис.63), так и при непрерывном изменении входа объекта (кривая *B*). Реверсирование последнего осуществляется по обнаружению «ошибки», т.е. ухода от искомого максимума выхода объекта на величину Δ , которую называют зоной нечувствительности. Достижение значения Δ в большинстве конструкций таких регуляторов, предназначенных для работы на инерционных литейных и металлургических объектах, определяется сравнением текущего значения y_0 с запомненным максимальным значением $(y_0)_{\text{max}}$

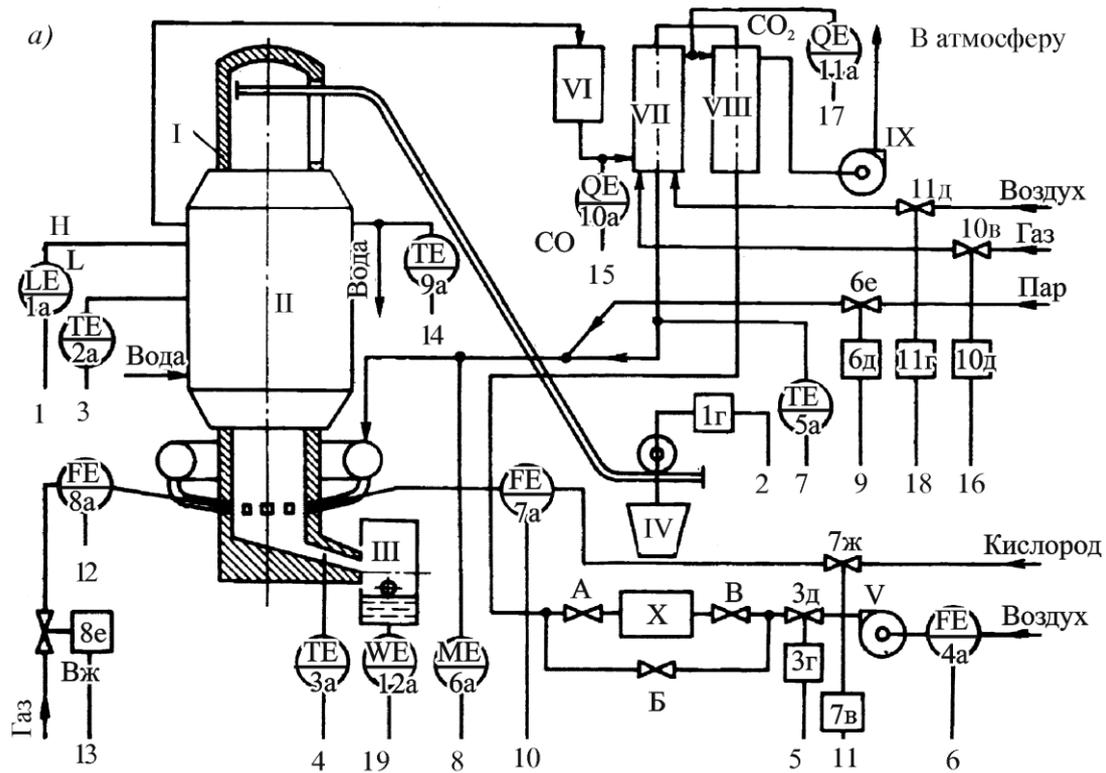
$$\Delta = (y_0)_{\text{max}} - y_0$$

Как следует из рис. 63, выход объекта при рассматриваемом способе регулирования поддерживается в автоколебательном режиме, при котором среднее значение выхода $(y_0)_{\text{ср}} < (y_0)_{\text{max}}$, т.е.

имеет место некоторая «потеря на поиск». Минимизация этой потери осуществляется оптимальной настройкой экстремального регулятора.

Достигнутое, близкое к максимально-возможному, значение выхода объекта при данном Q_T (см. рис.62) может отличаться от заданного согласно технологии ведения процесса. Для устранения отмеченного рассогласования объект оснащают двухконтурной системой авторегулирования, в которой один замкнутый контур предназначен для поиска оптимального значения одного из входов объекта (Q_B), а другой служит для поддержания выхода объекта вблизи его заданного значения путём воздействия на второй вход (Q_T).

Успешная работа экстремального регулятора требует тщательной фильтрации сигнала помех на его входе. Такой сигнал обусловлен случайным воздействием на объект различных технологических возмущений. Для выделения полезного сигнала выхода объекта на фоне действия помех на входе экстремальных регуляторов устанавливают соответствующие фильтры.



б)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Приборы по месту	LT/16				FT/46					FT/76	FT/86								
Щит управления	LRS/1B	TJA/26	TIR/36	FIR/4B	TIR/56	MIR/66	FIR/7B	FIR/8B	TIR/96	TIR/106	QIR/116	WIR/126							
Параметр	$L_{ш}$	T_{ϕ}	T_m	F_d	$T_{гд}$	M_d	F_k	F_r	T_b	Q		Q_1	Q_2					N	

Рис. 61. Автоматизация ваграночной установки: а – функциональная схема автоматизации; б – схема расположения приборов; 1–X – комплекс агрегатов; 1–19 – линии подключения приборов, приведенных на рис.б, в схему на рис.а; $L_{ш}$ – уровень загрузки шихты; T_{ϕ} – температура футеровки; T_m – температура металла; F_d – расход воздушного дутья; $T_{гд}$ – температура горячего дутья; M_d – влажность дутья; F_k – расход кислорода в горн; F_r – расход природного газа в дорн; T_b – температура воды; Q – состав отходящих газов (Q_1 – из вагранки; Q_2 – после дожигания); N – производительность вагранки

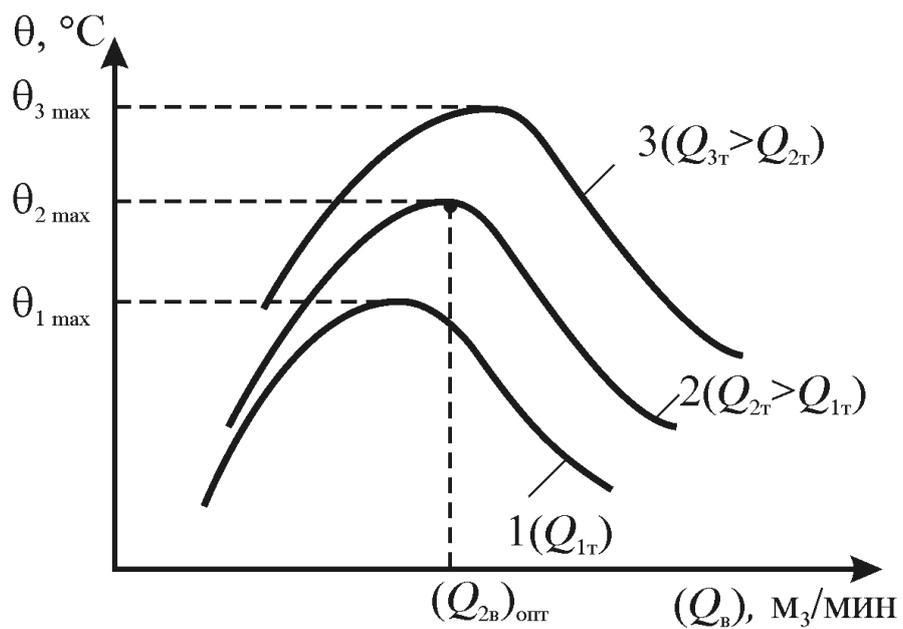


Рис. 62. Статические характеристики вагранки как объекта регулирования

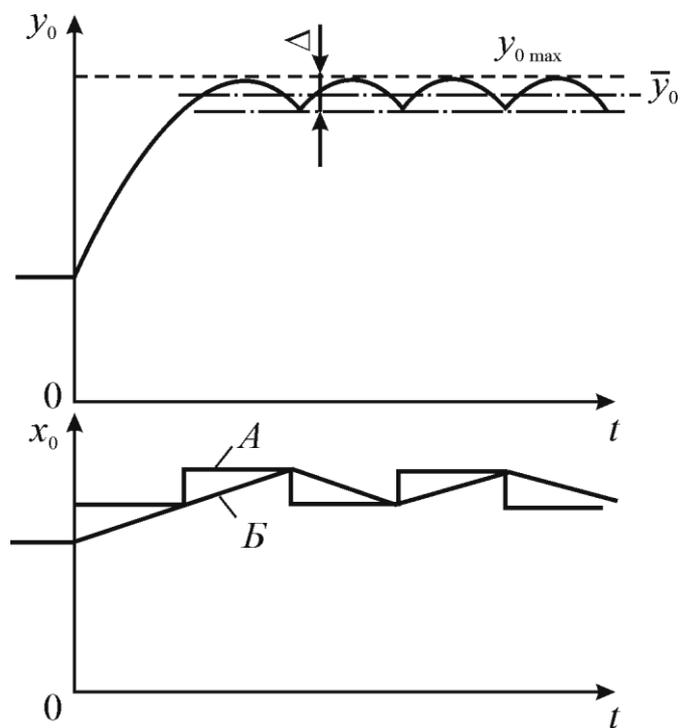


Рис. 63. Процесс поиска выхода объекта автоматическим оптимизатором

Внедрение АСУ ТП позволяет осуществить системный подход к проблеме комплексной автоматизации технологического процесса плавки чугуна в ваграночных установках на основе использования ЭВМ. Переход от отдельных локальных САУ к АСУ ТП даёт возможность не только оперативно устанавливать связи между частными задачами при решении общей задачи комплексной автоматизации ваграночного процесса, но и осуществлять оптимальное управление последним в целом с учётом технических, организационных и экономических факторов (табл.16). При этом в сферу действия АСУ ТП целесообразно включать не только участок плавки, но и примыкающие к нему вспомогательные участки хранения, дозирования и подачи шихтовых материалов к плавильным агрегатам. АСУ ТП ваграночной плавки может функционировать в режимах супервизорного управления (с выдачей расчётных заданий регуляторам локальных САУ) либо прямого цифрового управления (с исключением локальных регуляторов).

Характеристики локальных систем управления ваграночной плавкой

Система	Управляемый (регулируемый) параметр	Регулирующее воздействие	Состав системы	Позиция на рис.61	Особенности функционирования
Система регулирования уровня загрузки шихты	Уровень загрузки шихты при двух контролируемых его значениях	Включение исполнительного механизма системы загрузки шихты	Выходная цепь управления вторичного прибора гамма-реле Исполнительный механизм	1в 1г	Исполнительный механизм включается при достижении нижнего значения и отключается при достижении верхнего
Система оптимизации расхода дутья по температуре чугуна	Температура чугуна	Изменение расхода дутья	Оптимизатор Исполнительный механизм Регулирующий орган	3в 3г 3д	Обеспечивается подача такого количества воздуха, при котором для данного содержания топлива достигается максимальная температура чугуна
Система регулирования влажности дутья	Влажность дутья	Добавка к горячему воздушно-му дутью перегретого водяного пара	Стабилизирующий регулятор Задатчик Исполнительный механизм Регулирующий орган	6в 6г 6д 6е	Увлажнение дутья интенсифицирует тепловую работу вагранки, но выплавку специального чугуна во избежание образования горячих трещин в отливках ведут на осушенном дутье (регулирующий орган 6е закрыт, клапан Б закрыт, клапаны А и В открыты)

Продолжение табл. 14

Система	Управляемый (регулируемый) параметр	Регулирующее воздействие	Состав системы	Позиция на рис. 61	Особенности функционирования
Система регулирования подачи кислорода в горн	Расход кислорода	Изменение степени открытия регулирующего органа на кислородопроводе	Стабилизирующий регулятор Задатчик Исполнительный механизм Регулирующий орган	7а 7б 7е 7ж	—
Система регулирования подачи природного газа в горн	Расход природного газа	Изменение степени открытия регулирующего органа на трубопроводе газа	Стабилизирующий регулятор Задатчик Исполнительный механизм Регулирующий орган	8а 8б 8е 8ж	—
Система регулирования подачи природного газа в радиационный рекуператор	Суммарный ввод химической теплоты СО отходящих газов и СН ₄ природного газа в рекуператор	Изменение степени открытия регулирующего органа на трубопроводе природного газа, подаваемого в рекуператор	Стабилизирующий регулятор Задатчик Исполнительный механизм Регулирующий орган	10в 10а 10б 10е	—
Система регулирования подачи воздуха в радиационный рекуператор	Содержание СО ₂ в газах за радиационным рекуператором	Изменение расхода воздуха на сжигание природного газа и дожигание СО в отходящих газах	Оптимизатор Исполнительный механизм Регулирующий орган	11в 11а 11б	Обеспечивается полное сгорание при максимальном содержании СО ₂ за радиационным рекуператором

**Характеристика средств автоматического контроля
ваграночной плавки**

Контролируемые параметры	Применяемые приборы	Позиция на рис. 61	
Уровень загрузки шихты	Радиоизотопный сигнализатор уровня типа гамма-реле	1а	
	Промежуточный преобразователь сигнала	1б	
	Вторичный прибор	1в	
	Термопары	2а	
Температура футеровки	{Электронный потенциометр	2б	
Температура чугуна на выпуске	Термопары или пирометр излучения	3а'	
Расходы воздушного дутья, кислорода и природного газа соответственно	Вторичный прибор	3б	
	Диафрагмы	4а; 7а; 8а	
	Дифманометры	4б; 7б; 8б	
	Вторичные приборы	4в; 7в; 8в	
Температура горячего дутья	Термопара	5а	
	Электронный потенциометр	5б	
	Влажность дутья	Психрометр	6а
		Вторичный прибор	6б
Температура охлаждающей воды	Термопара	9а	
	Электронный потенциометр	9б	
	Содержание СО и СО ₂ в отходящих газах	Оптико-акустические газоанализаторы (или автоматический хроматограф)	10а; 11а
		Вторичные приборы (или один вторичный прибор к хроматографу)	10б; 11б
Масса чугуна в копильнике	Тензодатчики	12а	
	Вторичный прибор	12б	
Производительность вагранки	Дифференциатор	12в	
	Вторичный прибор	12г	
Химический состав металла и шлака	Специальное лабораторное оборудование	—	

Функции АСУ ТП плавки чугуна в вагранках

Операция	Источник информации	Адресат информационных сообщений и управляющих команд
Учет поступления шихтовых материалов и топлива	Приращение сигналов тензодатчиков закровов для складирования компонентов металлошихты, флюсов и кокса	Устройство алфавитно-цифровой печати, дисплеи оператора АСУ ТП и руководящего персонала цеха
Учет расходования шихтовых материалов и топлива	Датчики расходных (суточных) бункеров и дозаторов	То же
Учет динамики аккумуляции шихты на складе	Сопоставление прихода и расхода шихты	»
Управление оптимальным набором компонентов металлошихты	Сигналы датчиков расходных бункеров шихтовых материалов и результаты расчета оптимального состава шихты на ЭВМ	Устройства автоматического дозирования компонентов металлошихты
Управление подачей топлива и вводом воздушного дутья в соответствии с заданной производительностью вагранок	Результаты расчета на ЭВМ по статическим характеристикам объекта	Устройства автоматического дозирования кокса и автоматического регулирования дутьевого режима
Управление другими технологическими параметрами плавки	Комплекс контрольно-измерительных приборов	Комплекс исполнительных механизмов
Управление процессом загрузки шихты в вагранки	Сигнализаторы уровня в шахте вагранки	Исполнительные устройства системы загрузки шихты
Централизованный контроль теплотехнических и производственных параметров, включая химический состав выплавляемого чугуна	Датчики, контрольно-измерительные приборы АСУ ТП; в отдельных случаях — ручной ввод организационно-технической и технико-экономической информации	Устройство печати; по запросу – дисплеи оператора АСУ ТП и руководящего персонала; ЭВМ в режиме управления
Обеспечение обслуживания персонала оперативной информацией	То же	То же в сочетании с системами сигнализации и световыми табло
Расчет сводных технико-экономических показателей	»	Устройство печати, графопостроитель, дисплей
Связь с вышестоящими уровнями АСУ, учет выполнения производственной программы	»	АСУ ТП цеха и АСУП

9.1.2. Управление дуговой плавкой

Дуговые печи делятся на два типа – переменного и постоянного тока. Проявляется определённая тенденция к частичному вытеснению дуговых печей переменного тока прогрессивными печами постоянного тока, обладающими рядом важных преимуществ. Вместе с тем, для дуговых печей постоянного тока вопросы управления плавкой в литературе рассмотрены крайне ограниченно. В настоящем пособии рассмотрено управление более распространёнными дуговыми печами переменного тока для плавки чёрных металлов (чугун, сталь) в литейном и металлургическом производствах.

В задачи оптимального управления дуговой плавкой входят обеспечение максимальных показателей электрического и термического КПД, стабилизация продолжительности периодов плавки и температуры металла при ограничении температуры футеровки, повышение производительности, снижение расхода электроэнергии и огнеупоров и в конечном счёте уменьшение себестоимости расплава.

АСУ ТП дуговой печи с учётом сложности параллельно протекающих процессов строится как децентрализованная система, включающая три локальных подсистемы:

- управление электрическим режимом (приоритетная подсистема),
- управление тепловым режимом,
- управление технологическим режимом.

Вместо одной мини-ЭВМ используют несколько микроЭВМ, выполняющих однородные функции переработки информации и её использования для управления в одном случае электрическими параметрами, в другом – тепловыми, в третьем – технологическими.

На рис.64 представлена структурная схема комплексного регулирования электрического, теплового и технологического режимов дуговой плавки стали. Основные элементы системы управления:

- 1) датчики контролируемых параметров: $KФХП$ – химического состава металла и шлака; $ТП_m$ – температуры металла; $ТП_ф$ – температуры футеровки; $W_{эл}$ – расхода электроэнергии;

2) исполнительные механизмы: *G*-для дозирования и введения материалов в печь; *M*-для выполнения производственных операций (заправки и очистки печи, скачивания шлака и др.); *ЭП*-для электромагнитного перемещения металла; *O₂*-для дозированного введения кислорода; *ПЭ*-привод электродов; *ПВР*-привод высоковольтного разъединителя; *ПД*-привод дросселя; *ПСН*-привод переключателей ступеней напряжения трансформатора;

3) блоки управления: задания технологической программы плавки *ЗТП*; управление высоковольтной аппаратурой *УВА*; автоматическое регулирование теплового режима печи *АРТП*; автоматическое регулирование электрического режима печи *АРЭРП*; автоматическое регулирование технологических (физико-химических) процессов *АРФХП*; регистрация периодов процесса *РПП*;

4) табло световой сигнализации *1*.

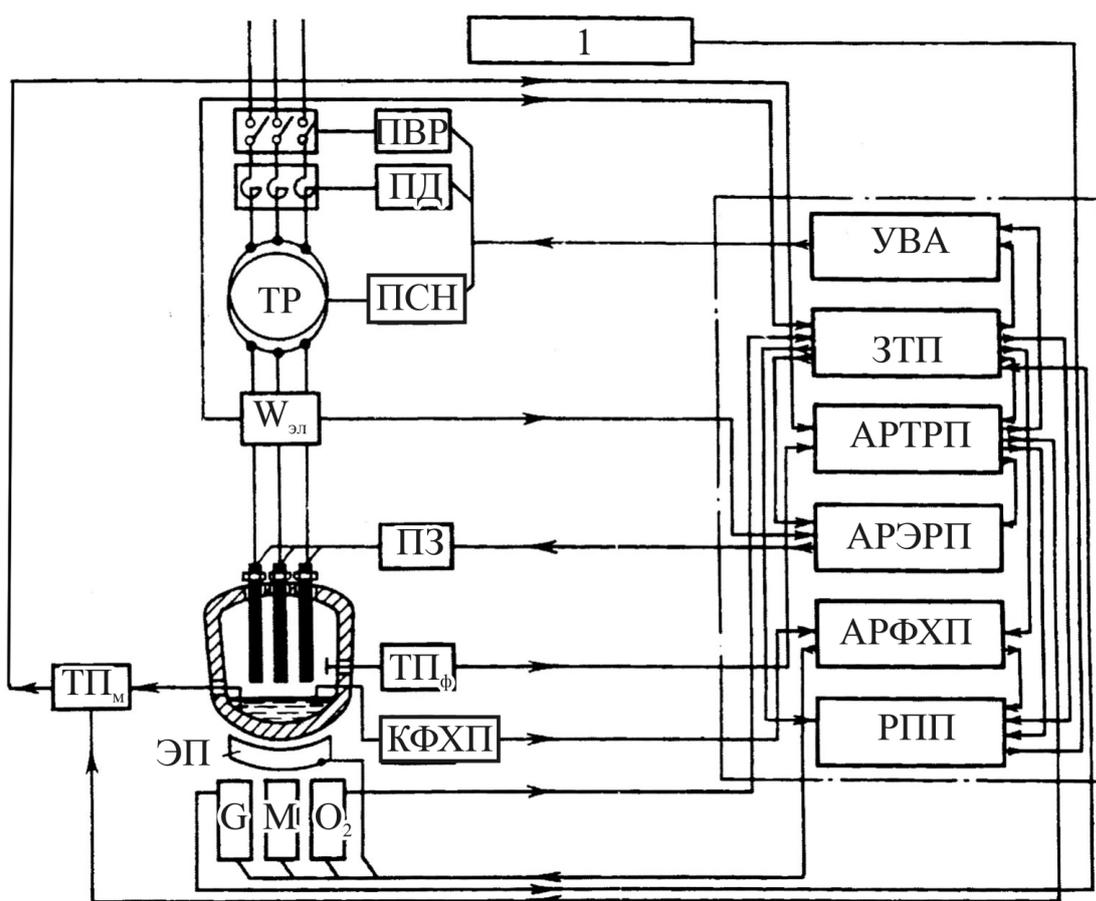


Рис. 64. Структурная схема автоматизации – комплексного регулирования электрического, теплового и технологического режимов дуговой плавки стали

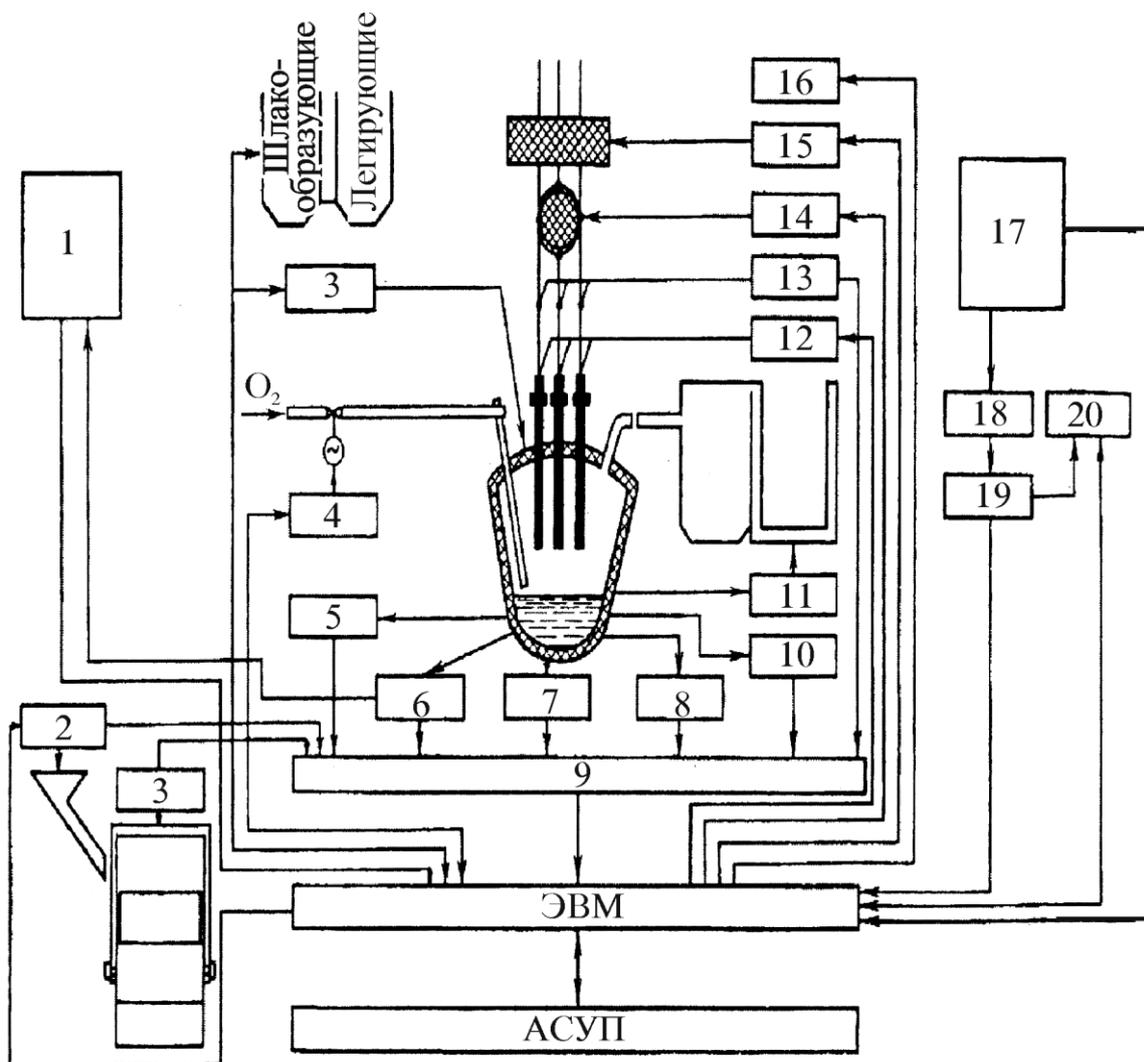


Рис. 65. Структурная схема автоматизации процесса плавки в ДСП с применением ЭВМ:

- 1 – экспресс-лаборатория (квантометры, экспресс-анализаторы);
 2 – весодозирующее устройство; 3 – взвешивающее устройство;
 4 – регулятор расхода кислорода; 5 – регулятор температуры металла;
 6 – пневмопочта; 7 – датчик температуры подины; 8 – термомер;
 9 – устройство первичной обработки информации; 10 – устройство контроля температуры футеровки; 11 – регулятор давления под сводом;
 12 – регулятор мощности; 13 – устройство контроля мощности и ступеней напряжения; 14 – устройство управления переключателем ступеней напряжения; 15 – устройство управления высоковольтным выключателем; 16 – табло сталевара; 17 – шихтовой пролёт;
 18 – взвешивающее устройство; 19 – устройство преобразования информации; 20 – табло световой индикации

Более детальная структурная схема автоматизации дуговой плавки представлена на рис.65. В состав АСУ ТП входят локальные системы управления электрической мощностью, продувкой ванны кислородом, давлением под сводом печи, дозированием массы материалов, присаживаемых в печь, шихтовкой. АСУ ТП снабжена устройствами контроля температуры металла, футеровки, тепловых потерь, первичной обработки информации, управления высоковольтным выключателем, переключения ступеней напряжения печного трансформатора под нагрузкой.

АСУ ТП выполняет следующие функции:

- выбирает оптимальный режим процесса плавки и выдаёт управляющие сигналы в локальные САУ,
- выдаёт информацию на печать и перфорацию,
- выполняет автоматизированный централизованный контроль основных технико-экономических показателей работы печи,
- рассчитывает количество электроэнергии, кислорода, легирующих, шлакообразующих материалов,
- выдаёт оперативную технологическую информацию оператору печи,
- контролирует запасы лома, легированных отходов, ферросплавов и др. материалов в шихтовом пролёте.

Входные и выходные параметры дуговой печи как ТООУ приведены в табл.17.

Рассмотрим вопросы управления приоритетным, электрическим режимом плавки. При этом используются базовые зависимости сопротивления R от напряжения U и силы тока I ($U/I=R$), а также зависимости мощности P от напряжения и сопротивления ($P=U^2/R$). Производится управление мощностью по периодам плавки варьированием напряжения, а также управление мощностью в целях её стабилизации в пределах каждого периода (вследствие возмущений напряжения в сети). Для поддержания постоянной мощности P отклонение питающего напряжения U следует компенсировать соответствующей коррекцией сопротивления фазы путём изменения задания регулятору электрического режима. В результате путём перемещения электродов и соответствующей корректировкой сопротивления дуги меняется сопротивление фазы на величину ΔR ; тем самым сохраняется на прежнем уровне мощность печи $P=U^2/R$.

Входные и выходные параметры дуговой печи

Величина	Технологическая характеристика величины
Возмущения на входе:	
контролируемые	Изменение напряжения в сети электропитания, обгорание электродов, изменение нагрузки отдельных фаз трехфазной сети электропитания
неконтролируемые	Короткие замыкания при обвалах плавящейся шихты и обрывы дуг в период плавления; изменение свойств шихты (состав, крупность куска) и огнеупорной футеровки
Управляющие воздействия:	
при автоматическом управлении	Полезная электрическая мощность, темп ввода электроэнергии в печь, напряжение дуги, ее длина и ток фазы
при ручном управлении	Выполнение технологических операций по проведению окислительного и восстановительного периодов, по поддержанию шлакового режима и вводу добавок по ходу плавки
Выходная величина	Производительность печи, химический состав и температура металла, удельный расход электроэнергии

Управление электрическим режимом печи с целью стабилизации мощности в пределах заданного периода основывается на специальном алгоритме (рис. 66). Согласно этому алгоритму последовательно выполняются операции:

- опрос датчиков тока I и напряжения фазы U_ϕ через заданные интервалы Δt времени t ,
- вычисление текущего значения сопротивления фазы, включая электрическую дугу, $R=U_\phi/I$,
- сравнение R с заданным сопротивлением фазы R_3 и вычисление отклонения $\Delta R= R_3 - R$,
- сравнение фактического ΔR с допустимым δR ,
- генерирование управляющего воздействия: если $|\Delta R| > \delta R$, то ЭВМ генерирует управляющее воздействие $\Delta U=K_p \Delta R$ (по пропорциональному закону регулирования). При этом учитывается зависимость

$$\Delta R=K (P - P_3) dt,$$

где K – коэффициент пропорциональности, P – мгновенное фактическое значение мощности, P_3 – заданное среднее значение мощности на период времени $t=0-T$,

– в результате к электродвигателю привода электрода подаётся напряжение ΔU , при этом выполняется перемещение электродов с последовательным изменением длины дуги l_d и её сопротивления. Сопротивление фазы R становится равным заданному R_3 , а мощность сохраняется на оптимальном уровне $P=U^2/R_3$. Таким образом, на задатчике регулятора электрического режима устанавливается R_3 и в случае появления в сети отклонения напряжения ΔU пропорционально этому отклонению меняется перемещением электродов сопротивление фазы на величину ΔR и тем самым, как отмечалось выше, сохраняется на прежнем уровне мощность печи $P=U^2/R$.

Выполнение алгоритма рис.66 сопряжено с подачей от ТОО аналоговых сигналов $U, I, R, \Delta R$ в аналого-цифровой преобразователь, где они преобразуются в цифровые сигналы, поступающие в ЭВМ. После выработки в ЭВМ управляющего сигнала ΔU в цифровой форме он преобразуется в цифро-аналоговом преобразователе в соответствующий аналоговый сигнал. Последний подаётся от ЭВМ через регулятор на исполнительный механизм-электродвигатель привода электрода, выполняющего его перемещение для приведения в соответствие сопротивления фазы питающему напряжению с целью сохранения заданной мощности P .

На рис. 67 представлена функциональная схема автоматизации дуговой плавки. На ней показаны: I – дуговая плавильная печь; II – печной трансформатор; III – переключатель ступеней напряжения; IV – выключатель электропитания.

В табл. 18 приведен комплекс контролируемых параметров и используемых контрольно-измерительных приборов.

С учётом значительных возмущений электрического режима оперативная компенсация их выполняется с помощью регуляторов электрического режима с особыми динамическими свойствами, к которым относятся электрогидравлические регуляторы.

Характеристики локальных САР приведены в табл. 19.

АСУ ТП дуговой плавки функционирует следующим образом. В памяти ЭВМ хранится информация: оптимальные законы изменения параметров по ходу плавки, технологические про-

граммы выплавки металла определённых марок, программы изменения электрической мощности во времени в период плавления в зависимости от характеристики материалов.

Вследствие сложности ТОУ и тесной внутренней взаимосвязи отдельных факторов наиболее надёжным путём выбора оптимальных управляющих воздействий является формально-статистический подход с использованием методов пассивного или активного эксперимента для построения математических моделей процесса плавки в дуговой печи. Структурная идентификация моделей производится на стадии проведения исследований, обычно предшествующих разработке и внедрению АСУ ТП.

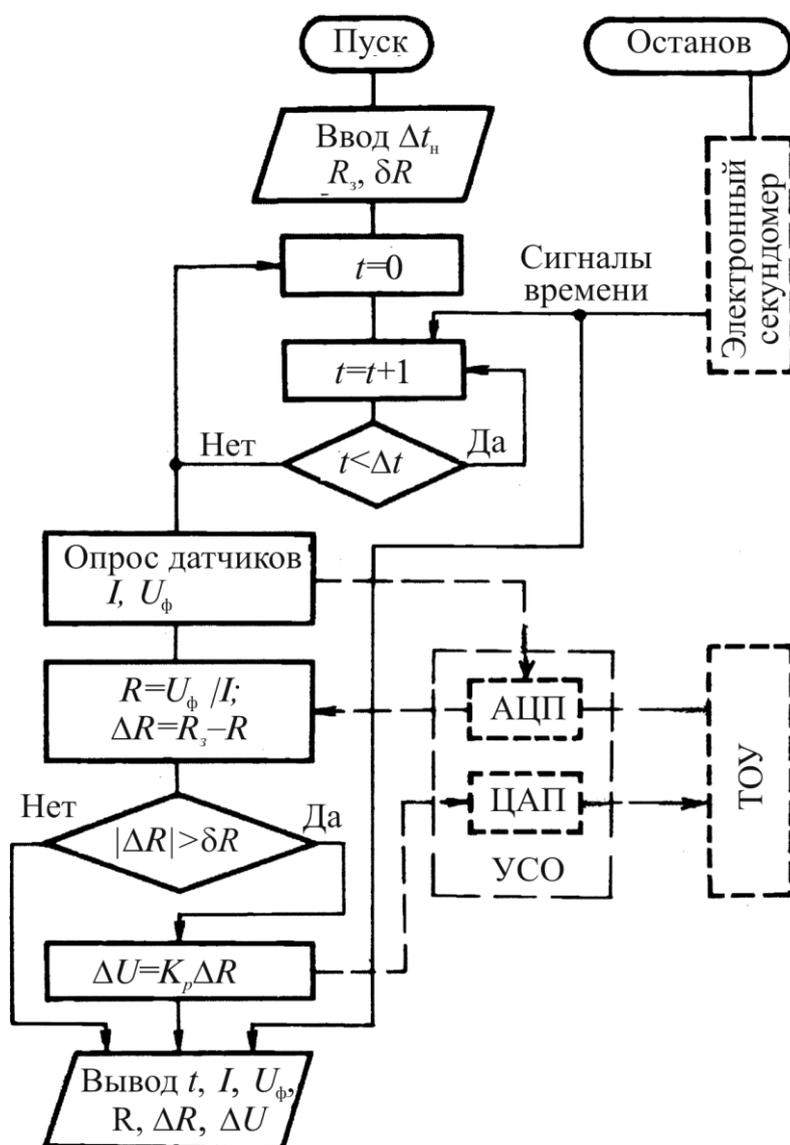


Рис. 66. Алгоритм управления электрическим режимом дуговой печи

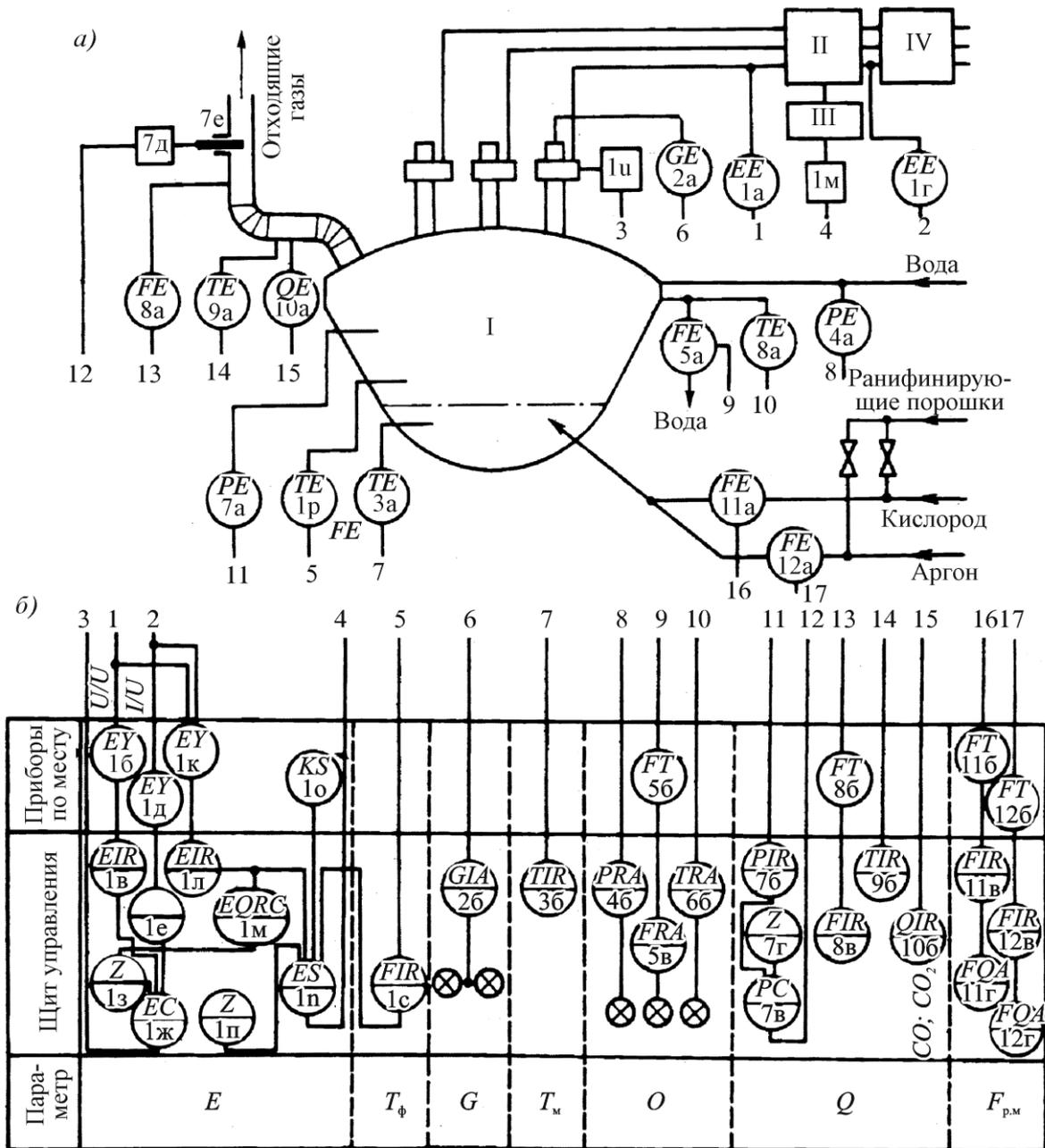


Рис. 67. Автоматизация дуговой печи: а – функциональная схема автоматизации; б – схема расположения приборов;
 I–IV – комплекс агрегатов; 1–17 – линия подключения приборов, приведенных на рис.б, в схему на рис.а; E – параметры электрического режима (токи, напряжения, мощность, количество израсходованной энергии); T_ф – температура футеровки; G – положения электродов; T_м – температура металла; O – параметры системы водяного охлаждения (температура, расход и давление воды); Q – состав отходящих газов; F_{р.м} – расход рафинирующих материалов

**Контролируемые параметры
и приборы, используемые в АСУ ТП дуговой плавки**

Контролируемый параметр	Применяемые прибора	Позиции на рис. 67
Напряжение фазы	Трансформатор напряжения	1а
	Нормирующий преобразователь E825/1	1б
Ток фазы	Вторичный прибор	1в
	Трансформатор тока	1г
Активная мощность фазы	Нормирующий преобразователь E824	1д
	Вторичный прибор	1е
	Нормирующий преобразователь E829	1к
Количество израсходованной электроэнергии	Вторичный прибор	1л
		Счетчик
Температура футеровки	Термопара или шомпольный термозонд	1р
Положение электрода	Электронный потенциометр	1с
	Датчик положения, например типа ППФ-3	2а
Температура металла	Вторичный прибор	2б
	Датчик	3а
Химический состав металла и шлака **	Вторичный прибор	3б
		Квантометр (в экспресс-лаборатории цеха)
Параметры охлаждающей воды на выходе из охлаждающей арматуры печи:	Манометр	4а
		Вторичный прибор
давление	Диафрагма	5а
	Дифманометр	5б
расход	Вторичный прибор	5в
	Датчик	6а
температура	Вторичный прибор	6б
	Манометр	7а
Давление газов в рабочем пространстве печи	Вторичный прибор	7б
	Манометр	7а
Параметры отходящих газов: расход	Вторичный прибор	7б
	Труба Вентури	8а
температура	Дифманометр	8б
	Вторичный прибор	8в
химический состав	Термопара	9а
	Электронный потенциометр	9б
Расход кислорода в ванну	Оптико-акустический газоанализатор (комплект на CO/CO ₂): датчики	10а
	вторичные приборы	10б
Расход аргона в ванну и расход рафинирующих материалов (молотых железной руды, извести, карбида кальция и пр.)	Диафрагма	11а
	Дифманометр	11б
Расход природного газа и кислорода на горелки для предварительного подогрева металлошхты	Вторичный прибор	11в
	Счетчик количества (интегратор расхода)	11г
Расход аргона в ванну и расход рафинирующих материалов (молотых железной руды, извести, карбида кальция и пр.)	Диафрагма	12а
	Дифманометр	12б
Расход природного газа и кислорода на горелки для предварительного подогрева металлошхты	Вторичный прибор	12в
	Счетчик количества (интегратор расхода)	12г
Расход природного газа и кислорода на горелки для предварительного подогрева металлошхты	Диафрагмы, дифманометры, вторичные приборы	–

* Указанный комплект приборов используют для каждой фазы короткой сети.

** Термопару (термозонд) устанавливают напротив дуги в наиболее горячем месте футеровки.

*** Устройства для отбора проб описаны в литературе. Пробы транспортируются в лабораторию пневмопочтой, результат анализа поступает на табло рабочей площадки, дисплей и АЦПУ оператора.

Характеристики локальных САР дуговой печи

Система	Регулируемый параметр	Регулирующее воздействие	Состав системы	Позиция на рис. 67
Система регулирования соотношения между напряжением и током фазы	Сопротивление дуги и примыкающего участка электрода	Перемещение электрода	Регулятор Задатчик Привод электрода	1ж 1з 1и
Система регулирования полезной мощности	Количество электроэнергии, израсходованной в течение заданного времени	То же	Специальное устройство, например ВУ-5086	1м
Система переключения ступеней напряжения	Время периода плавки, количество израсходованной электроэнергии, температура футеровки	Включение привода переключателя печного трансформатора:	Специальный дозатор электроэнергии Задатчики Исполнительный механизм Система контроля температуры	1н 1о; 1п 1т 1р; 1с
Система регулирования давления газов в рабочем пространстве печи	Давление газов	Изменение проходного сечения газоотводящего устройства	Регулятор Задатчик Исполнительный механизм Шиббер	7в 7г 7д 7е

В процессе функционирования АСУ ТП эти модели затем адаптируются к изменяющимся практическим условиям работы печей методами параметрической идентификации с оперативной обработкой ЭВМ поступающей статистической информации как без пробных воздействий на печь (пассивный эксперимент), так и с проведением пробных воздействий по определённому плану (активный эксперимент). В управляющий вычислительный комплекс вводится вся информация о результатах автоматического контроля состояния дуговой печи и процесса плавки. С помощью ЭВМ рассчитываются сводные показатели за плавку: напряжение дуги, индекс износа футеровки, электрический КПД, статьи теп-

лового баланса, термический КПД печи, удельный расход электроэнергии.

Использование математических моделей электрических, тепловых и технологических процессов позволяет прогнозировать ход плавки и вырабатывать оптимальные управляющие воздействия. Последние выдаются в виде рекомендаций обслуживающему персоналу через дисплей, табло, систему сигнализации или непосредственно реализуются по принципу управления параметрами плавки.

В АСУ ТП могут быть реализованы принципы программно-локального управления технологическими процессами плавки в дуговой печи. Сущность такого управления заключается в том, что на основании среднестатистических данных об успешно проведенных плавках составляется программа действий по ведению очередной плавки. Эту программу затем оперативно корректируют в зависимости от отклонений хода реальной плавки по сравнению с прогнозируемой. При этом важная роль ЭВМ заключается в распознавании технологических периодов плавки и коррекции мощности по температуре футеровки и металла в ванне печи.

Применение АСУ ТП дуговой плавки обеспечивает комплексное повышение технико-экономических характеристик процесса (см. раздел 6.14). Среди этих характеристик наибольший интерес представляет себестоимость выплавки расплава. В.П. Новиков предлагал использовать этот критерий в качестве целевой функции *оптимального управления* дуговой плавкой. При этом целевая функция J для оптимального управления электрическим режимом плавки записывается как сумма составляющих себестоимости, зависящих от режима плавки

$$J = \int_0^{\tau} (C_0 + C_1 P + C_2 P^n) dt,$$

где P – действующая мощность печи;

τ – длительность плавки;

C_0, C_1, C_2 – постоянные коэффициенты, причём коэффициент C_2 меняет своё значение в разных периодах процесса плавки;

$1 < n < 2$ – для дуговых печей и $n=1$ для индукционных печей.

Первое слагаемое целевой функции C_0 отражает удельные трудовые затраты, которые пропорциональны времени плавки; второе слагаемое – удельные затраты на электроэнергию и элек-

троды, зависящие от произведения потребляемой мощности на время плавки; третье слагаемое – удельные затраты на огнеупорные материалы и работы по их замене. Эти затраты зависят от величины и продолжительности теплового воздействия на футеровку. Поскольку величина теплового воздействия дуги на футеровку печи различна на разных стадиях процесса плавки, коэффициент C_2 изменяет свою величину от одной стадии процесса к другой.

Оптимальное ведение процессов дуговой и индукционной плавки включает выбор и поддержание электрического режима, оптимального для каждого текущего состояния процесса. При этом для реализации оптимальных режимов система управления должна определять (идентифицировать) состояние процесса и поддерживать в каждом периоде плавки оптимальный электрический режим, обеспечивающий минимальное значение функционала J . Специальные вопросы идентификации текущего режима (применительно к дуговой плавке) и связанные с ними понятия априорной вероятности были рассмотрены В.П. Новиковым (см. п. 2 приложения).

9.1.3. Управление плавкой в индукционной печи

Индукционные печи, особенно среднечастотные, всё более широко применяются в литейном производстве благодаря повышенному КПД, пониженному расходу электроэнергии и хорошей экологичности. При этом необходимо иметь ввиду, что их использование сопряжено с повышенными требованиями к качеству (чистоте) шихты ввиду практического исключения эффективного металлургического рафинирования в печи этого типа из-за низкой температуры шлака. При плавке качественных отходов эти печи весьма эффективны и достаточно легко управляемы.

Ниже рассмотрено управление процессом плавки в индукционной тигельной печи. На рис. 68 показана схема автоматизации индукционной тигельной печи. Плавка производится в огнеупорном тигле 4, окружённом индуктором 5 в виде водоохлаждаемой медной трубки. К индуктору подводят охлаждающую воду от специального насоса 7. Печь питается электроэнергией от сети переменного тока через выключатель 1 и преобразователь с трёхфазной схемой электропитания 3 (регулируемый трансфор-

мотор с переключателем ступеней напряжения для печей промышленной частоты, для других печей – генераторы или тиристорные преобразователи частоты). Неравномерное распределение мощности по фазам влечёт за собой недоиспользование мощности печного трансформатора, поэтому возникает задача обеспечения симметричной нагрузки фаз. Это осуществляется с помощью симметрирующего устройства 2, содержащего индуктивность L_c и ёмкость C_c .

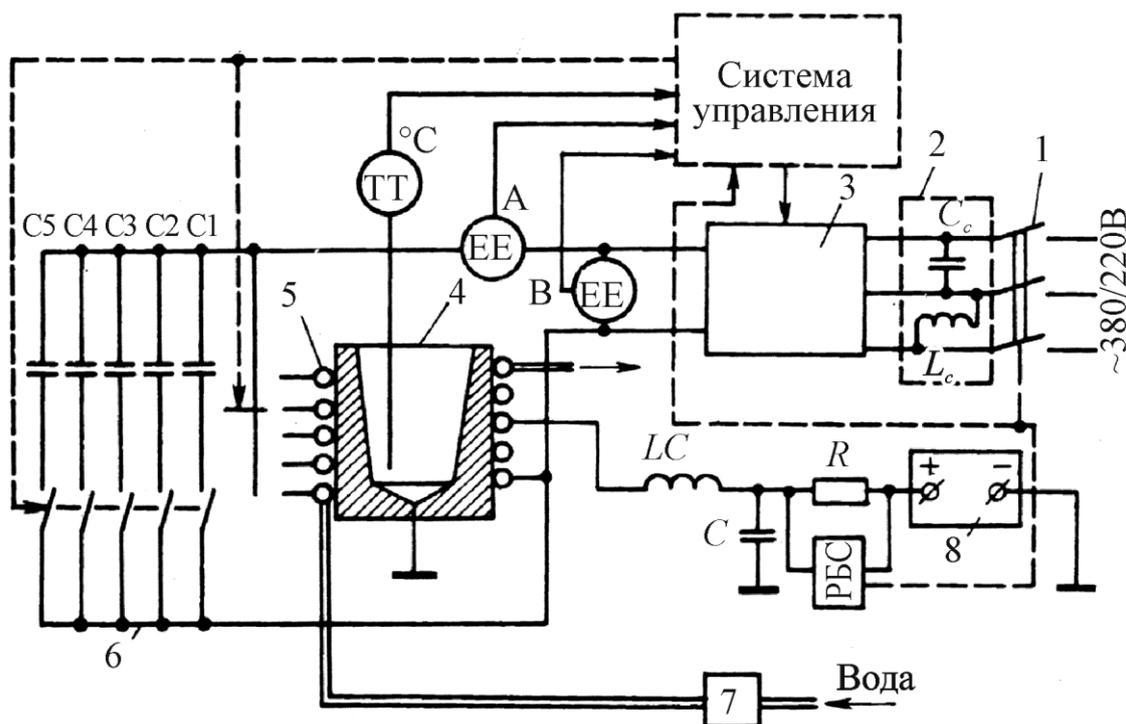


Рис. 68. Структурная схема автоматизации индукционной тигельной печи

Приоритетную роль играет управление электрическим режимом. При заданной производительности печи цель управления её электрическим режимом заключается в обеспечении максимальной экономичности процесса плавки за счёт сокращения расхода электроэнергии. Аналогично электродуговым печам в наибольшей степени эта цель достигается при комплексном подходе к проблеме управления не только электрическим, но также тепловым и технологическим режимами плавки. Используются различные средства автоматического контроля процесса индукционной плавки: вольтметры, амперметры, ваттметры, фазометры, термопары, квантометры и пр.

По ходу плавки регулируют следующие параметры электрического режима:

– *напряжение на вторичной обмотке печного трансформатора*. Ступени напряжения печного трансформатора обычно переключают по временной программе с коррекцией по температуре металла;

– *ток индуктора*. Для независимого регулирования тока индуктора в некоторых разновидностях индукционных плавильных печей имеются переключатели числа рабочих витков индуктора. При нагреве ферромагнитных материалов (чугуна, стали) в плавильном контуре повышается индуктивность, что снижает силу тока и замедляет процесс нагрева. С целью форсирования электрического режима в этот период к печному трансформатору подключают не весь индуктор, а лишь часть его витков;

– *коэффициент мощности ($\cos \varphi$)* печной установки. Оптимальное регулирование коэффициента мощности индукционных плавильных печей достигается компенсацией реактивной мощности индуктора путём параллельного подключения к нему ёмкостей С1–С5 из состава конденсаторной батареи б. Соотношение ёмкостей составляет $C1/C2 = C2/C3 = C3/C4 = C4/C5=2$. Вводом соответствующей ёмкости достигают оптимальных значений $\cos \varphi$ (0,98–1,0).

Предусматривается контроль состояния тигля и изоляции индуктора. С этой целью используется источник постоянного тока δ , подключённый к одному из витков индуктора. В цепь источника введён фильтр LC для подавления переменной составляющей тока от индуктора и резистор R , к которому подключено реле блокировки и сигнализации РБС. С уменьшением толщины футеровки тигля до критического значения или при повреждении изоляции тигля реле срабатывает, отключая электропитание печи и приводя в действие систему аварийной сигнализации. При этом могут быть также произведены отсечка подачи воды к индуктору и включение продувки его сжатым воздухом. ЗАО НПП «Электротехнология» применяет в системе управления индукционной тигельной печью сигнализатор футеровки, предназначенный для контроля и сигнализации состояния футеровки тигельной печи. Сигнализатор работает на принципе измерения тока утечки на землю через изоляцию электрической системы индуктора, а так-

же через стенки тигля от индуктора к заземленному металлу. Сопротивление футеровки в начале компании невелико из-за неполной просушки тигля, в середине компании оно повышается и затем, по мере спекания и износа тигля, снижается вплоть до нуля при коротком замыкании металла на индуктор. Суммарное сопротивление системы индуктора относительно земли обычно составляет величину порядка нескольких кОм и может снижаться до сотен Ом и ниже либо при разрушении футеровки, либо вследствие ослабления изоляции силовой цепи относительно земли. При настройке реле аварийного сигнала на срабатывание при суммарном сопротивлении футеровки и изоляции в пределах 3–10кОм, точное значение которого определяется в процессе эксплуатации, достигается предупреждение выхода металла к индуктору и исключается авария; кроме того, может быть получен сигнал о нарушении изоляции печного контура относительно земли. В целом сигнализатор при его правильной эксплуатации не устраняет необходимости визуального контроля состояния тигля и является средством, позволяющим более надежно эксплуатировать индукционные плавильные печи.

Применение АСУ ТП индукционной плавки позволяет осуществить взаимосвязанное регулирование электрических параметров печи (напряжения, силы тока, активной мощности, коэффициента мощности) наряду с дозированным вводом электроэнергии согласно принципам программно-логического управления и с учётом технологических факторов плавки. Аналогично управлению дуговыми печами в рамках АСУ ТП индукционных печей производится управление материальными потоками шихты и расчёт её оптимального состава, комплексный контроль процесса плавки и его паспортизация. Так же, как и плавка в дуговой печи, процесс плавки в индукционной печи может быть объектом *оптимального управления*, что следует из вышеизложенного подхода, включающего идентификацию различных периодов плавки, выбор оптимального электрического режима для каждого периода и минимизацию в конечном счёте целевой функции J.

С помощью компьютерных и микропроцессорных устройств информация от датчиков передается открытым или замкнутым управляющим системам с искусственным интеллектом. В этих системах сгруппированные параметры используются для рацио-

нального ведения процесса плавки и его оптимизации. Эти параметры рассчитываются компьютером, передаются на экран дисплея и протоколируются.

Контроль плавильного производства на основе электронной вычислительной техники реализует рациональную стыковку всех видов технологических операций, составляющих совокупный процесс плавки металла.

В конечном счёте автоматизированная система управления процессом индукционной плавки должна решать следующие задачи:

- сырьевой контроль (расчеты сырьевых компонентов, контроль складских запасов, регулировка химического состава и др.);

- контроль и управление плавильным процессом (регулирование подводимой энергии, контроль температуры, осуществление операций взвешивания, автоматическая сушка печной футеровки и шихты и т.д.);

- диагностика печей (контроль температуры охлаждающей воды, состояния футеровки, исправление возникающих неполадок и сообщение о них);

- стабилизация, анализ и оценка всех параметров печи.

Применение компьютерных систем управления электропитанием индукционных печей и миксеров позволяет снизить напряжённость труда и повысить производственную надёжность систем индукционной плавки металлов.

Современная среднечастотная индукционная плавильная печь питается от сети через тиристорный преобразователь частоты, который преобразует трёхфазный ток частотой 50 Гц в однофазный ток повышенной частоты. Мощность индукционной печи регулируется изменением напряжения на выходе преобразователя и автоматическим регулированием частоты в процессе плавки. На передней панели преобразователя помещаются органы управления, защиты, сигнализации и контроля преобразователя. В щите управления и сигнализации расположены органы дистанционного управления тиристорным преобразователем и аппаратура контроля и сигнализации. На сливной воронке установлены датчики контроля и сигнализации системы охлаждения индукционной печи и конденсаторов. Контроль за работой индукционной печи осуществляется с помощью приборов и органов управления, расположенных на лицевой панели щита управления и сигнали-

зации. Например, в индукционных печах германской фирмы «ABP Induction Systems GmbH» используются системы управления, использующие современные средства автоматизации и информационной техники. Они осуществляют непрерывный автоматический контроль плавильной системы и гарантируют ее надёжность. При этом возможно управление всем процессом плавки, как в ручном, так и в автоматическом режиме с постоянным контролем и регистрацией всех необходимых параметров процесса и установки. Система управления имеет программы для осуществления следующих процессов:

- автоматическая плавка металла,
- автоматическое спекание футеровки,
- автоматический ввод печи в эксплуатацию после перерыва в работе («холодный старт»),
- автоматический режим выдержки металла в печи при постоянстве его температуры.

В процессе работы контролируются, отображаются на экране промышленного компьютера и фиксируются:

- количество металла в печи,
- электрические параметры режима работы,
- температура воды в каждой цепи водоохлаждения,
- контроль состояния футеровки печи.

При отклонении контролируемых параметров от допустимых значений подаются звуковой и визуальный сигналы.

9.2. Управление смесеприготовлением

Целевая функция управления смесеприготовлением включает обеспечение требуемых показателей качества смеси для получения качественных форм и отливок путём стабилизации рационального состава и свойств смеси при минимальных издержках.

Особенностями процесса смесеприготовления являются многофакторный и многокритериальный характер, поэтому он является одним из наиболее сложных в цепочке технологических переделов фасонно-литейного производства. Отмеченное предопределяет сложность построения системы управления этим процессом.

Процесс приготовления смеси является циклическим. Он включает следующие последовательные операции:

1. складирование,
2. предварительная подготовка оборотной формовочной смеси,
3. транспортировка со склада на смесеприготовительный участок,
4. дозирование (жидких и сыпучих компонентов),
5. смешивание.

Упрощённая структурная схема этого процесса представлена на рис. 69.



Рис. 69. Упрощённая структурная схема процесса приготовления смеси

Входными параметрами процесса смесеприготовления являются расходы формовочных материалов: отработанная смесь m_0 , свежий песок m_n , глина или бентонит m_c , молотый уголь m_y , крахмалит или другие добавки, вода m_b . Выходные параметры (требуемые механические и технологические свойства смеси): прочность в сухом и влажном состоянии σ , газопроницаемость Γ , уплотняемость $у$, формуемость ϕ , текучесть v_n , объёмная масса и

др., которые контролируются с помощью лабораторного анализа. Кроме того, к выходным параметрам относится также компонентный состав смеси: содержание активного и эффективного связующих (c_a и $c_э$), содержание активного угля (y_a), влажность (v) или степень увлажнения связующего (соотношение v/c), содержание мелочи – влагопоглощающих мелких частиц (m) и гранулометрический состав смеси или модуль мелкости (mm). В конечном счёте объектом управления является компонентный состав смеси. Обеспечением оптимального состава компонентов готовой смеси, определённого экспериментально, можно добиться стабилизации на заданном уровне механических и технологических свойств смеси. Возмущения, которым подвержена смесеприготовительная система, значительно усложняют задачу стабилизации качества смеси. Причиной возмущений является наличие потока рециркуляции – использование отработанной смеси (рис. 70-см. дополнительно пос. Новикова В.П. из библиографического списка).

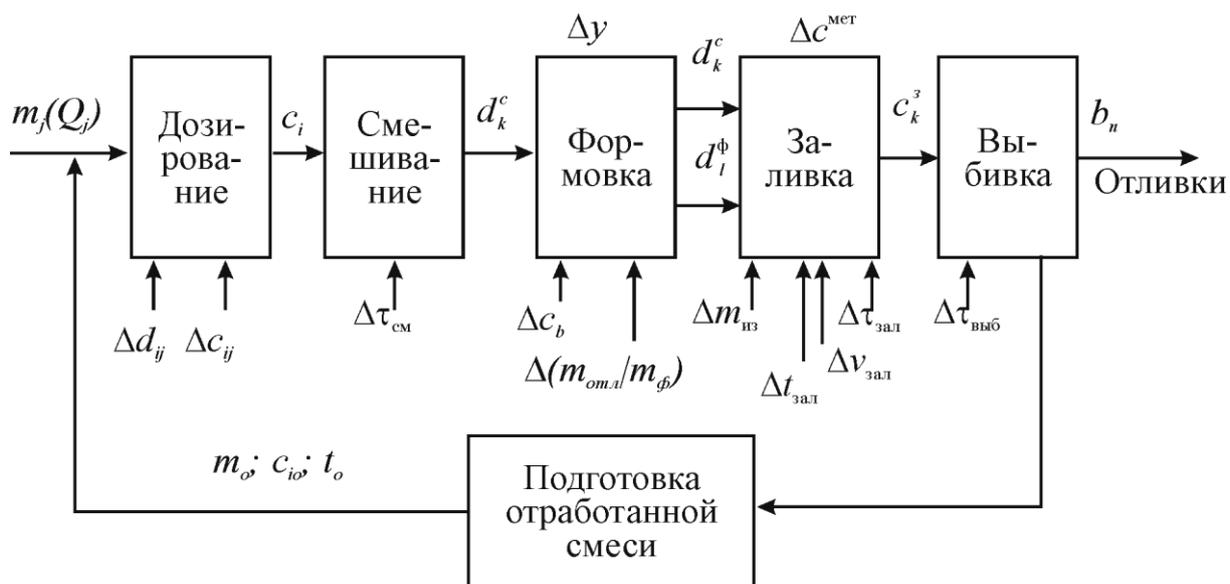


Рис. 70. Комплексная структурная схема процесса производства отливок с рециклингом отработанной смеси

Схема для упрощения не отражает некоторых технологических переделов (плавки, изготовления стержней, вспомогательных процессов), но показывает место дозирования и смешивания в цепочке процессов производства отливки.

Существует два подхода к управлению смесеприготовлением:

– разделительный подход, когда выделяются локальные подсистемы: регулирование влажности добавкой воды; регулирова-

ние прочности добавкой бентонита, а также угля пропорционально бентониту и др.;

– комплексное управление процессом на основе математической модели ГОУ.

Ниже рассмотрены последовательно оба подхода.

Локальные подсистемы управления. Большое внимание уделяется сглаживанию возмущающих воздействий, регулированию по возмущению. Источники возмущений:

– многократное использование формовочной смеси (до 50 циклов),

– потоки смеси из незалитых форм в оборотной смеси,

– потоки просыпей и технологических излишков смеси в оборотной смеси,

– изменения отношения массы отливок к массе смеси в форме при изменении номенклатуры отливок,

– изменения свойств смеси после её увлажнения под действием набухания бентонита.

Методы стабилизации состава, влажности и температуры смеси:

– специальные выбивные барабаны и гомогенизаторы для выравнивания состава смеси,

– специальная транспортная система для смеси – выделение потоков просыпи и от незалитых форм, их сбор в отдельном бункере и раздельное использование при дозировании с учётом состава (рис.71,а),

– специальная транспортная система, включающая уравнивательный бункер: треть смеси снимается в точке *A* и после прохождения через уравнивательный бункер возвращается в точке *B* (рис.71,б),

– управление по возмущению (рис.72).

Основное возмущение на систему смесеприготовления оказывают процессы заливки. Под воздействием жидкого металла у части смеси, прилегающей к отливке и прогреваемой до высоких температур, происходят глубокие изменения состава активного связующего угля и крахмалита и переход их в неактивный компонент. В результате доля активных компонентов уменьшается, а неактивных (шамотизированных – пыли, мелочи) увеличивается. При этом равновесное состояние наступает через 20–24 цикла оборота смеси и выражается в стабилизации её физико-

химических свойств и требуемых добавок свежих материалов (для компенсации возмущений). Если возмущения не компенсировать своевременно, то это приведёт к изменениям состава – к потере или накоплению определённых компонентов и ухудшению качества смеси. Повышение массы отливки и, соответственно, времени её охлаждения в форме увеличивает количество смеси, прогреваемой металлом и претерпевающей изменения. Аналогичные возмущения вносят остановки формовочной линии и изменения цикла изготовления форм. В указанных случаях необходимо подать увеличенное количество свежих добавок для компенсации повышенных потерь в составе смеси. Одним из признаков глубины возмущения в составе может быть температура смеси, которая по мере работы повышается до некоторого значения с одновременным снижением влажности. Значительные возмущения вносит наличие потоков смеси, не прошедшей заливку (бракованные формы, просыпи с формовочных машин, излишки смеси).

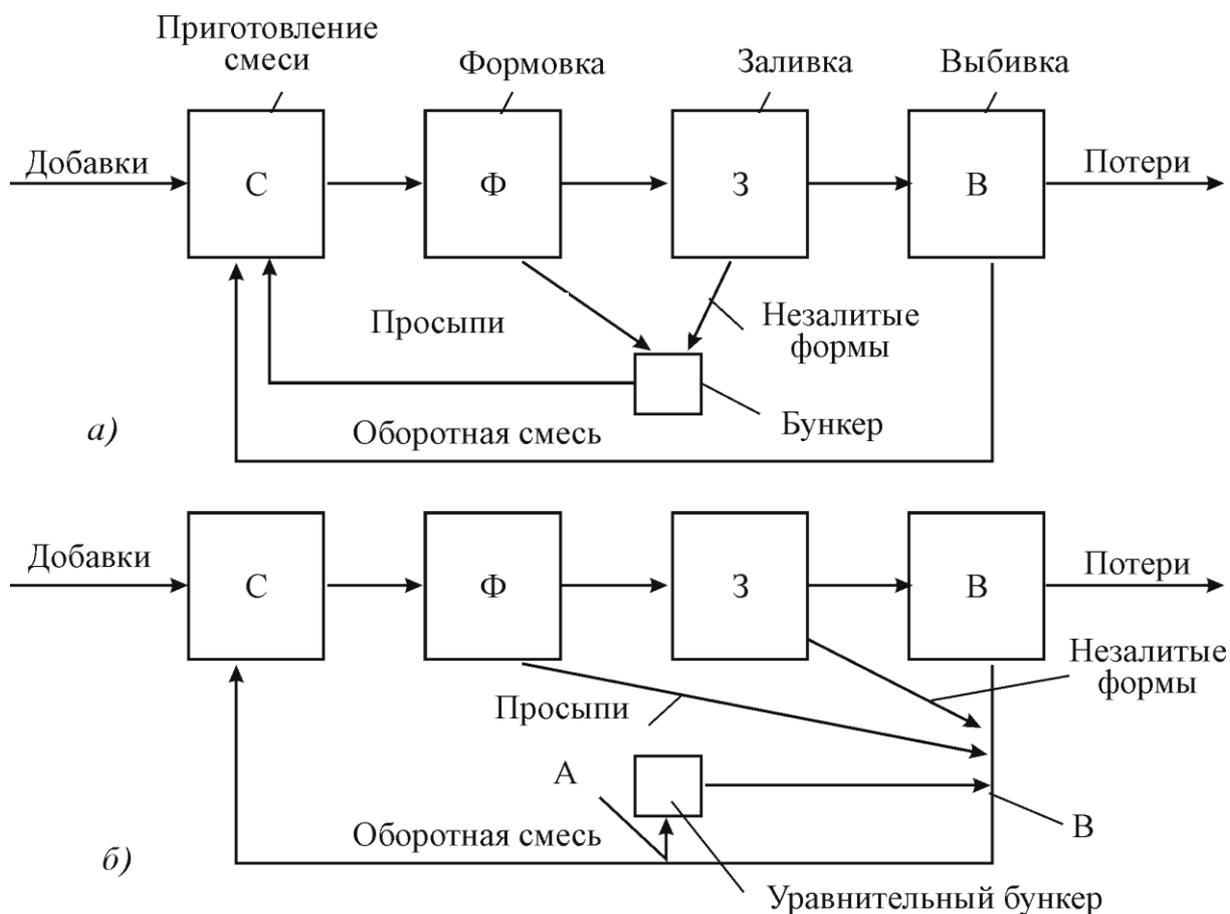


Рис. 71. Методы стабилизации показателей качества смеси:
а и б – пояснения в тексте

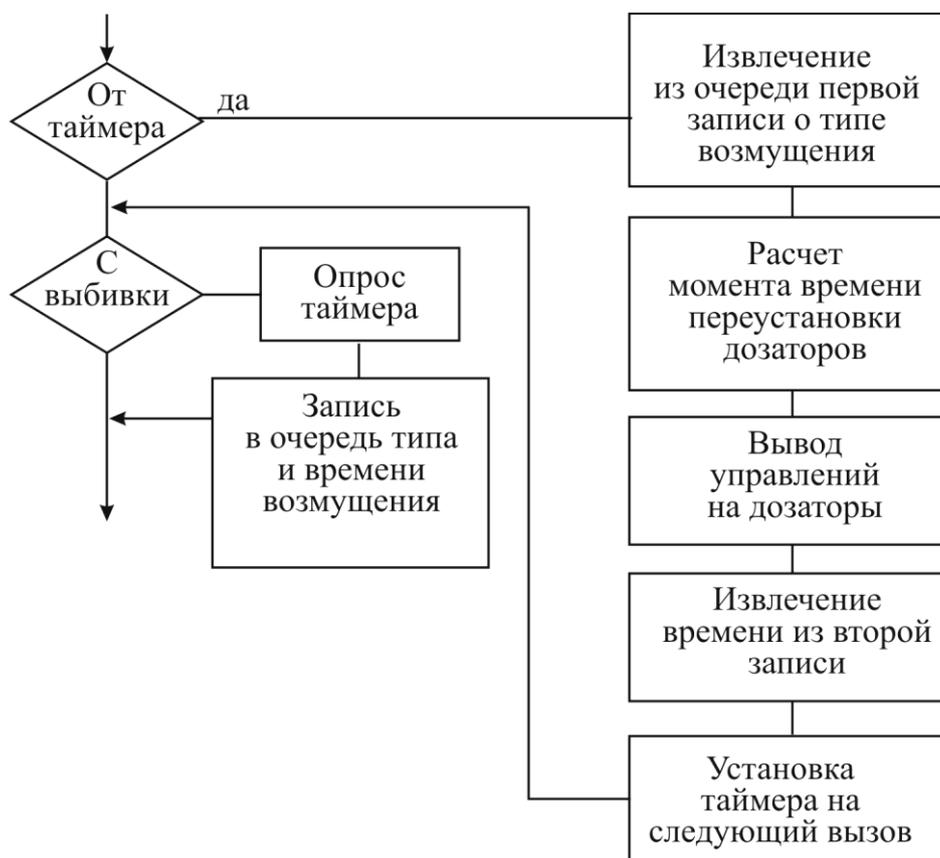


Рис. 72. Алгоритм управления дозатором смесителей по возмущению

Обычно смесь для формовочной линии DISA включает: оборотную смесь 93–98%; кварцевый песок 2,5–6,0%; бентонит 0,2–1,0%; молотый уголь 0,1–1,0%; добавки крахмала 0,02–0,06%. Смесь имеет $\sigma_{сж} = 0,17–0,31 \text{ Н/мм}^2$, содержание влаги 3,2–4,0%, газопроницаемость 100 ед. и др. В результате случайного характера возмущающих факторов возникают случайные колебания содержания компонентов в составе отработанной смеси: влажность 0,5–6,0%, содержание связующего 4–8%, содержание мелочи 11–16% и более, температура 40–120°C.

При управлении по возмущению последнее измеряется датчиком возмущения на входе в ТОУ. Сигнал от него поступает в систему управления и используется для изменения управляющего воздействия на объект. При этом в случае поступления на переработку смеси с изменённым составом следует изменить соотношение компонентов смеси. На рис. 72 показано действие прерываний, поступающих в управляющую программу от таймера и с датчика выбивки, фиксирующее очередное возмущение-выбивку незалитой формы или формы с большим количеством стержней.

Когда обратная смесь с первым зафиксированным возмущением достигает смесителя, заранее установленный на это время таймер вызывает прерывание в основной программе. По этому сигналу программа извлекает из первой записи очереди данные о типе возмущения, рассчитывает необходимые переустановки дозаторов смесителя и время работы при этих установках, выдаёт команды на регулирующие органы дозаторов. Затем из второй записи она получает время следующего возмущения и устанавливает таймер для следующего прерывания. В дальнейшем программа контролирует время работы дозаторов с изменёнными установками и по истечении необходимого времени восстанавливает первоначальные установки.

На рис. 73 отражена функциональная схема автоматизации локальной системы автоматического регулирования (САР-регулируется один параметр) влажности формовочной смеси в бегунах по возмущению (система предварительной калькуляции). Она корректирует количество подаваемой воды в зависимости от влажности и температуры отработанной смеси, поступающей в смеситель 1. Он загружается обратной смесью из весового дозирующего бункера 2, в который подаётся смесь из расходного бункера 3 дисковым питателем 4.

В программируемый контроллер 5 поступают сигналы с датчиков влажности ME и температуры смеси TE , установленных в весовом бункере, а также с датчика веса смеси в этом бункере WE . Контроллер рассчитывает необходимое количество воды в соответствии с требуемой влажностью, указываемой задатчиком H , и управляет запорным клапаном 6, подающим воду в смеситель, определяя её количество по показаниям расходомера FE .

Системы управления широко применяют:

- в процессах дозирования сыпучих и кусковых материалов (дозирование по весу с промежуточной ёмкостью; дозирование по весу без промежуточной ёмкости; дозирование с выбором ведущего компонента – связанное управление дозированием; компенсационный способ – с учётом предыдущей доли);
- в процессах дозирования жидкостей (по весу, объёму и по времени).

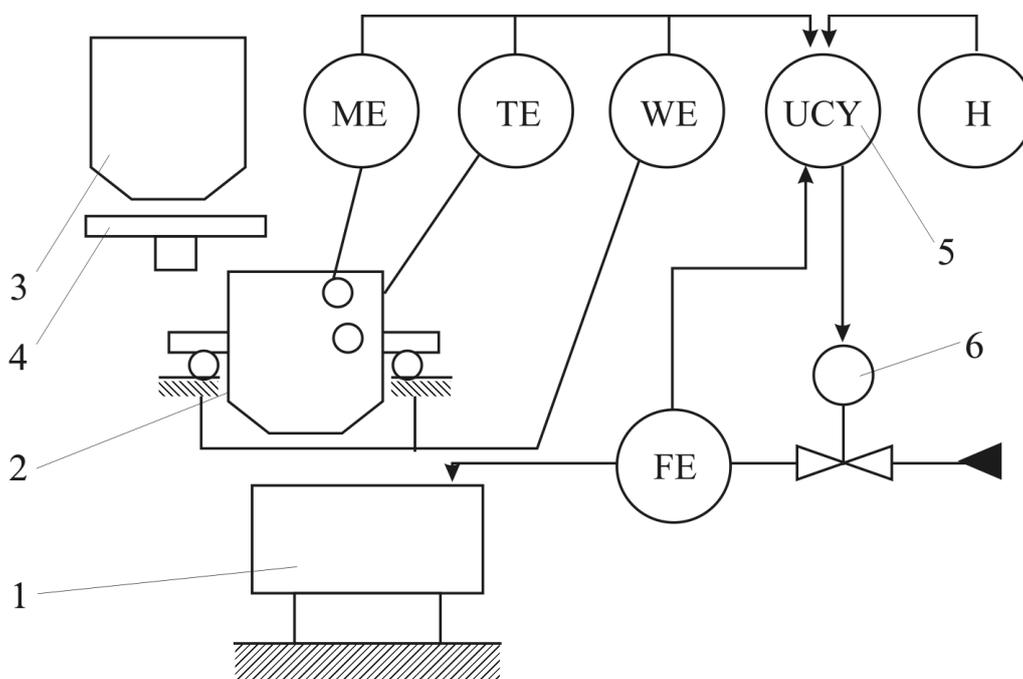


Рис. 73. Функциональная схема автоматизации для управления влажностью формовочной смеси в бегунах

Комплексная система управления основана на построении и использовании математической модели процесса смесеприготовления и является наиболее перспективной.

Математическая модель процесса смесеприготовления описывается уравнениями материального баланса, включающими расходы и концентрации компонентов. Так как основной составляющей формовочной смеси является отработанная смесь (90–95%), то данный поток считается ведущим, а управление дозированием осуществляют обычно регулированием расходов остальных (ведомых) потоков. Для стабилизации качества смеси в первую очередь стабилизируют её состав, т.е. содержание активного и эффективного связующего, активной углеродсодержащей добавки, общего содержания мелочи, степени увлажнения связующих v/c , а также зернового состава или модуля мелочи, общего количества свежих добавок смеси в системе. Задаваясь требуемыми технологическими свойствами, оптимальный состав формовочной смеси для любого типа уплотнения обычно определяют методом математического планирования эксперимента. Часто регулируют формуемость путём стабилизации соотношения v/c ; при этом углеродсодержащую добавку обычно дозируют пропорционально связующему. При изменении состава входных по-

токов или их расходов производят расчёт управляющих воздействий (расходов ведомых потоков) по уравнениям материального баланса (с учётом ограничений на содержания компонентов, количество свежих добавок и мелочи).

Для современного технологического процесса характерно применение непрерывного дозирования смеси (дозаторами непрерывного действия) с обеспечением неразрывного потока постоянным количеством материала или отдельных его компонентов с отклонениями расхода от заданного не более допустимого уровня. Работа смесителей как непрерывного, так и периодического действия сопровождается транспортным запаздыванием (10–20с); при этом величина запаздывания определяется временем транспортировки материала от питателя до рабочих органов смесителя.

Характерными особенностями автоматизации и управления смесеприготовлением являются:

1) рациональное построение смесеприготовительных систем, позволяющих исключить или уменьшить влияние возмущений на состав смеси;

2) использование весовых методов дозирования;

3) создание связанных систем управления многокомпонентным дозированием с учётом динамики процесса (инерционности смесителя и запаздывания), причём ведущим компонентом должна быть отработанная смесь, имеющая значительные колебания расхода и состава;

4) автоматический контроль и регулирование качества смеси в процессе её приготовления;

5) создание автоматических приборов для комплексного контроля состава и свойств смеси с обработкой результатов контроля на ЭВМ;

6) своевременное изменение рецептуры смеси при изменении соотношения «смесь/металл в форме» и времени охлаждения отливки до выбивки.

Для управления процессом смесеприготовления по критерию качества смеси важен выбор либо одного приоритетного критерия либо интегрального критерия. К настоящему времени приоритетным критерием качества смеси считают формуемость, а определяющими факторами этого критерия – влажность B , проч-

ность Π и газопроницаемость Γ . По принятым нормам величина добавки свежего песка c_{Π} составляет 0–5%, время перемешивания $\tau=20–100$ с, количество глинистой суспензии $c_{\Gamma}=2–6\%$, плотность глинистой суспензии $\delta=1050–1250$ кгс/м³.

Математическая модель формуемости $\Phi=F(V, \Pi, \Gamma)$, где $V=f_1(c_{\Pi}, \tau, c_{\Gamma}, \delta)$, $\Pi=f_2(c_{\Pi}, \tau, c_{\Gamma}, \delta)$, $\Gamma=f_3(c_{\Pi}, \tau, c_{\Gamma}, \delta)$, может быть построена с помощью пассивного либо (что предпочтительно) активного эксперимента. В результате сначала получают с использованием программы Excel уравнения регрессии для параметров V, Π, Γ в зависимости от факторов $c_{\Pi}, \tau, c_{\Gamma}, \delta$. Затем проводится построение модели $\Phi=F(V, \Pi, \Gamma)$ одним из отмеченных методов планирования экспериментов. Соответствующая математическая модель может стать основанием разработки программы для ЭВМ, предназначенной для управления процессом смесеприготовления с целью обеспечения приемлемого состава и свойств смеси по критерию формуемости.

Ключевые процессы смесеприготовления – дозирование и смешивание, поэтому управление этими процессами является важнейшей составной частью управления смесеприготовлением.

Дозирование формовочных и стержневых смесей подразделяют на дискретное и непрерывное, при этом существует тенденция перехода от дискретного дозирования к непрерывному, что обеспечивает повышение производительности труда и возможность использования автоматических линий.

Классификация применяемых дозаторов представлена на рис.74.

К объёмным дозаторам относятся коробчатые, с звёздчатым питателем, с резиновыми мембранами. Дозирование жидкостей производят по уровню либо по времени свободного или напорного истечения, а также на основе электромагнитного (индукционного) расходомера. Наиболее перспективны весовые дозаторы сыпучих материалов (рис.75). Такой дозатор содержит воронку *1*, опирающуюся на тензометрические (или магнитоупругие) датчики массы *1а*. Суммарный сигнал последних сообщается вторичному прибору *1б* и регулятору дозы *1г*. Заданная масса дозы устанавливается на задатчике *1в*. При значении массы материала в воронке ниже заданной регулятор с помощью исполнительного механизма *1д* открывает затвор *2* и сыпучий материал из бункера

3 поступает в воронку. С достижением заданной массы регулятор закрывает затвор 2, после чего воздействием исполнительного механизма 1г открывает затвор 4 для разгрузки материала в смеситель. Аналогичный принцип положен в основу действия весовых дозаторов жидких компонентов.



Рис.74. Классификация дозаторов для процессов смесеприготовления

Смесители подразделяются на две разновидности: дискретного и непрерывного действия. Современная технология смесеприготовления развивается в направлении использования смесителей непрерывного действия. В этом случае в смеситель вместо дискретных доз компонентов формовочных и стержневых смесей эти материалы непрерывно подаются при автоматическом поддержании значений их расходов на заданном уровне.

В составе типовой системы автоматического непрерывного несвязанного регулирования расхода (рис.76) используются: датчик расхода (а) – индукционный расходомер, вторичный измерительный прибор (б), регулятор расхода (в), задатчик (г), исполнительный механизм (д), регулирующий орган (е). В качестве датчика расхода сыпучего материала предпочтение отдается специальной измерительной системе с весовым ленточным питателем и измерителем скорости движения ленты. При отклонении расхода от заданного значения регулирующее воздействие оказывается

при переменной скорости электродвигателя привода питателя на скорость этого привода; при практически постоянной скорости – на толщину слоя материала на ленте питателя.

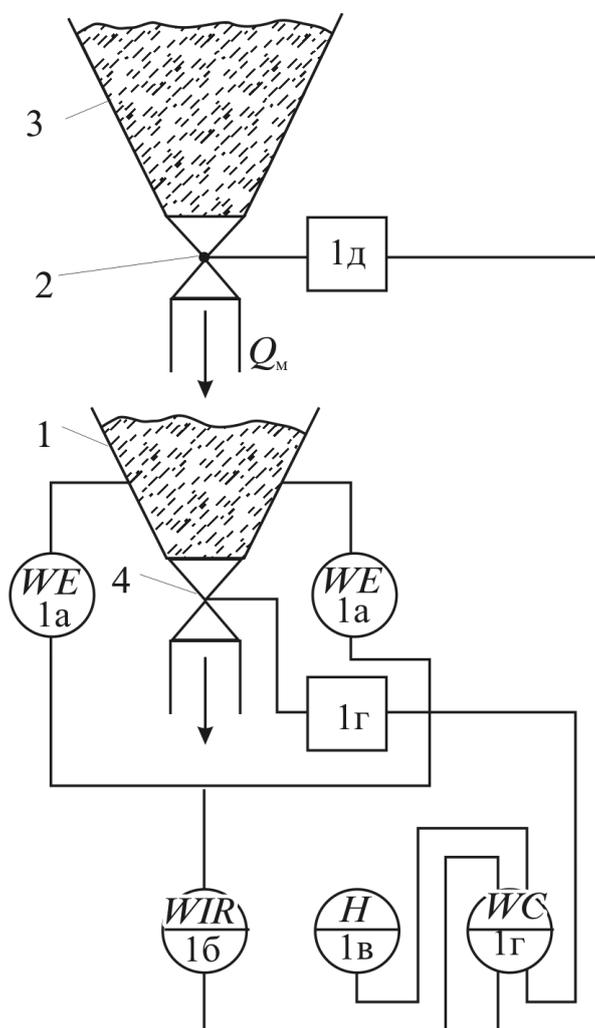


Рис. 75. Функциональная схема автоматизации весового дозатора сыпучих материалов

Система автоматического управления (САУ) комбинированным агрегатом (дозатор+смеситель) дискретного действия работает по схеме жёсткого цикла (рис.77). В этом случае сыпучий материал из склада формовочных материалов подаётся по транспортёру *I*, оборудованному плужковым сбрасывателем *II* над бункером *III*. Из бункера материал питателем *IV* загружается в воронку *V* весового дозатора, откуда после набора заданной дозы выдаётся в смеситель *VI*. Жидкая композиция по трубопроводу *X* из расходного бака, не показанного на схеме, подаётся в тот же смеситель с помощью шестерённого насоса *IX*, снабжённого бай-

пасным клапаном *VIII* для установления требуемого диапазона производительности насоса и компенсации гидравлических ударов. На сливном конце трубопровода над смесителем установлен пружинный клапан *VII* отсечки прямого действия. Последний закрывает канал трубопровода после остановки насоса (падения давления жидкости) и предотвращает её утечку в смеситель. В бункере установлены радиоизотопные датчики *1a*, *1б* соответственно верхнего и нижнего уровня, подключённые к сигнализатору *1в*. При достижении нижнего допустимого уровня сигнализатор через магнитный пускатель *1* включает электропневматический клапан *1г* пневмоцилиндра *1д* плужкового сбрасывателя и происходит наполнение бункера сыпучим материалом. С достижением верхнего допустимого уровня сигнализатор *1в* выдаёт команду на прекращение питания бункера материалом. Предусмотрен автоматический контроль влажности материала в бункере. Для этого в нём установлен нейтронный датчик *2a*, подключённый к влагомеру *2б*.

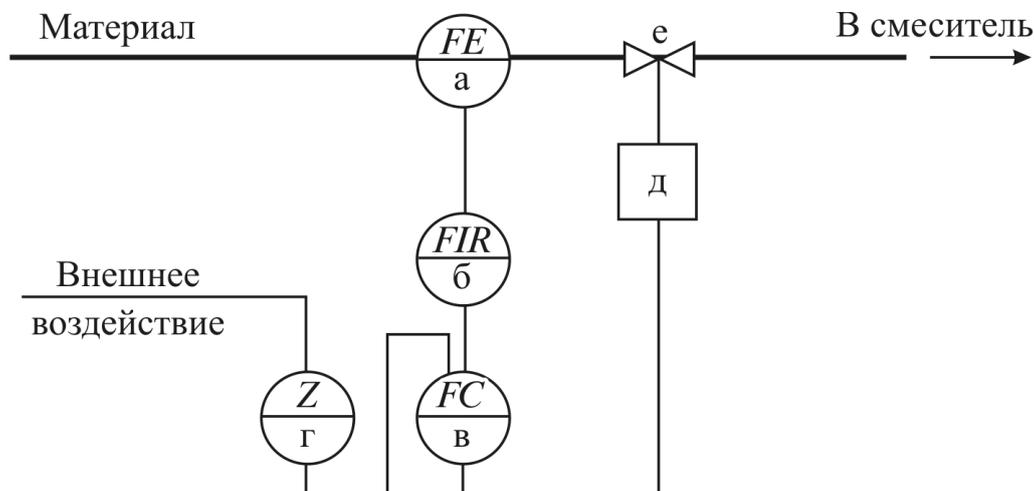


Рис. 76. Функциональная схема автоматизации дозаторов непрерывного действия системы смесеприготовления

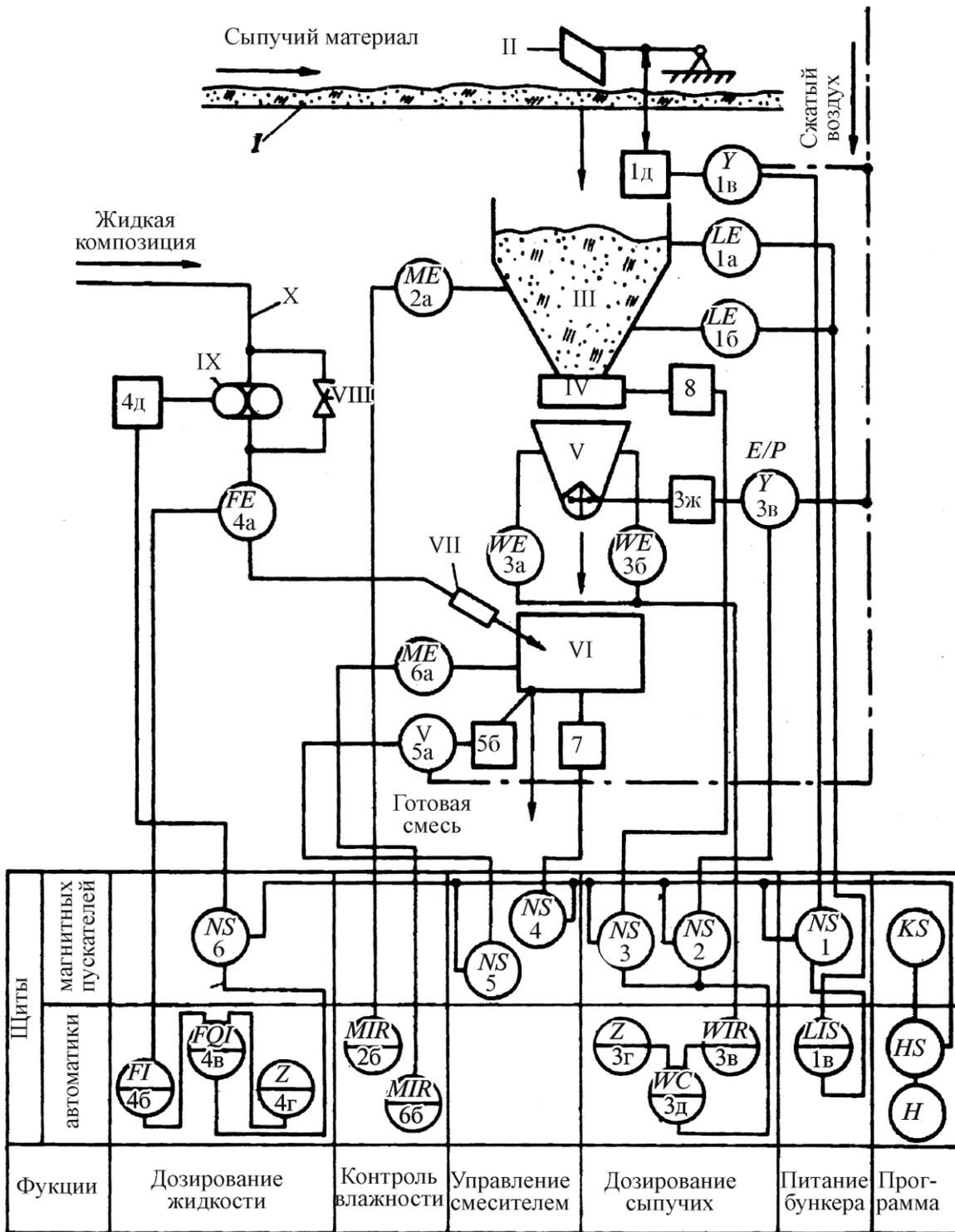


Рис. 77. Функциональная схема автоматизации смесителя дискретного типа

Система автоматического управления собственно процессом смешеприготовления работает следующим образом. В начале технологического цикла с помощью универсального переключателя *HS* устанавливается требуемый режим работы: ручной дистанци-

онный (нажатием соответствующих кнопок кнопочной станции *H*) от командного прибора *KS* или по команде АСУ ТП. Тогда в соответствии с принятой программой осуществляется цикл операций во времени. Включением магнитного пускателя *4* приводят в движение рабочий орган (катки) смесителя, вращаемый двигателем *7*; через магнитный пускатель *3* включается привод *8* питателя звёздчатого типа.

Масса материала, поступающего из бункера в весовую воронку дозатора, измеряется с помощью тензодатчиков *3а*, *3б* с передачей электрического сигнала на вторичный прибор *3в*. Заданная масса дозы сыпучего материала устанавливается на задатчике *3г*. При достижении заданной массы дозы регулятор *3д* останавливает питатель, после чего магнитным пускателем *2* с помощью электропневматического клапана *3е* и пневмоцилиндра *3ж* открывается затвор дозатора и сыпучий материал поступает в смеситель. Начинается операция «сухого» перемешивания до достижения заданной выдержки времени. Затем производится дозирование жидкой композиции. Магнитный пускатель *6* включает электропривод *4д* шестерённого насоса подачи жидкости, расход которой измеряется с помощью датчика *4а* индукционного расходомера. Сигнал датчика передаётся на измерительный блок *4б* и интегрируется по времени интегратором *4в*. Заданное значение дозы жидкости устанавливается на задатчике *4г*. С отсчётом заданной дозы интегратор отключает привод насоса. В течение заданного интервала времени производится «мокрое» перемешивание. После завершения программы цикла смесеприготовления включается магнитный пускатель *5*, срабатывает электропневматический клапан *5а* и пневмоцилиндр *5б* открывает разгрузочный люк смесителя для выдачи приготовленной порции смеси на участок формообразования. Система управления готова к повторению технологических циклов смесеприготовления любое требуемое количество раз.

Представляется, что описанная САУ может быть трансформирована в АСУ ТП, обеспечивающую гибкое управление приоритетным показателем качества смеси (формуемости) на основе программы, реализующей математическую модель формуемости в зависимости от группы определяющих факторов (см. выше). При этом следует ввести сигнал обратной связи по критерию

«формуемость». ЭВМ переработает информацию по фактическому показателю формуемости, полученную от датчика, и при отклонении фактической формуемости от заданной выработает управляющий сигнал регуляторам и исполнительным механизмам на корректировку входных воздействий (определяющих факторов) для приведения формуемости в соответствие с заданным показателем. В этом случае АСУ ТП может рационально функционировать в режимах советчика оператора или, что предпочтительно, в супервизорном режиме.

В смесителях непрерывного действия возможны два варианта регулирования расходов компонентов:

– *несвязанное регулирование* (локальные САР не связаны между собой);

– *связанное регулирование* по принципу соотношения двух параметров (с наличием связей между локальными САР) – для этого применяют многокомпонентные дозаторы.

Несвязанное регулирование расходов компонентов (при отсутствии связей между локальными САР) осуществляется с помощью индивидуальных регуляторов, на задатчиках которых устанавливают задания соответственно требуемой рецептуре смеси (рис.78,а). Расходы каждого компонента измеряют с помощью датчиков с передачей сигнала расхода на вторичные приборы *б* и интеграторы расхода (счётчики) *е*. При отклонении фактического расхода от заданного в каждой локальной САР регулятор с помощью исполнительного механизма *д* и регулирующего органа *ж* приводит расход к его заданному значению с некоторой минимальной погрешностью.

Связанное регулирование расходов компонентов (рис.78б) характеризуется наличием связей между отдельными локальными САР (за счёт этих связей обеспечивается повышение точности поддержания заданного состава смеси). При этом управление производится по принципу регулирования соотношения двух параметров, один из которых является ведущим (расход компонента *1*), а другие (расходы компонентов 2-б)-ведомыми. В качестве ведущего параметра обычно принимают расход регенерата, поскольку содержание этого компонента в смеси составляет 90% и более. Изменение значения ведущего параметра автоматически сопровождается коррекцией заданий ведомым компонентам с тем, чтобы соотношение расходов (ведомого к ведущему) и, со-

ответственно, фактическая рецептура смеси сохранялись относительно постоянными. Заметим, что в данном случае критерием управления является не формуемость, а рецептура смеси. При этом по существу имеется ввиду, что поддержание заданной рецептуры смеси автоматически обеспечит её соответствие приоритетному показателю качества смеси. Однако это гарантировать невозможно ввиду возможного действия возмущений и компонентов, не учитываемых в рецептуре смеси. Поэтому и при связанном регулировании смесителей непрерывного действия целесообразно управление по критерию показателя качества готовой смеси на основе математической модели (аналогично смесителям дискретного действия). В этом случае поддержание необходимой рецептуры смеси по принципу связанного регулирования облегчит решение конечной задачи обеспечения требуемой формуемости.

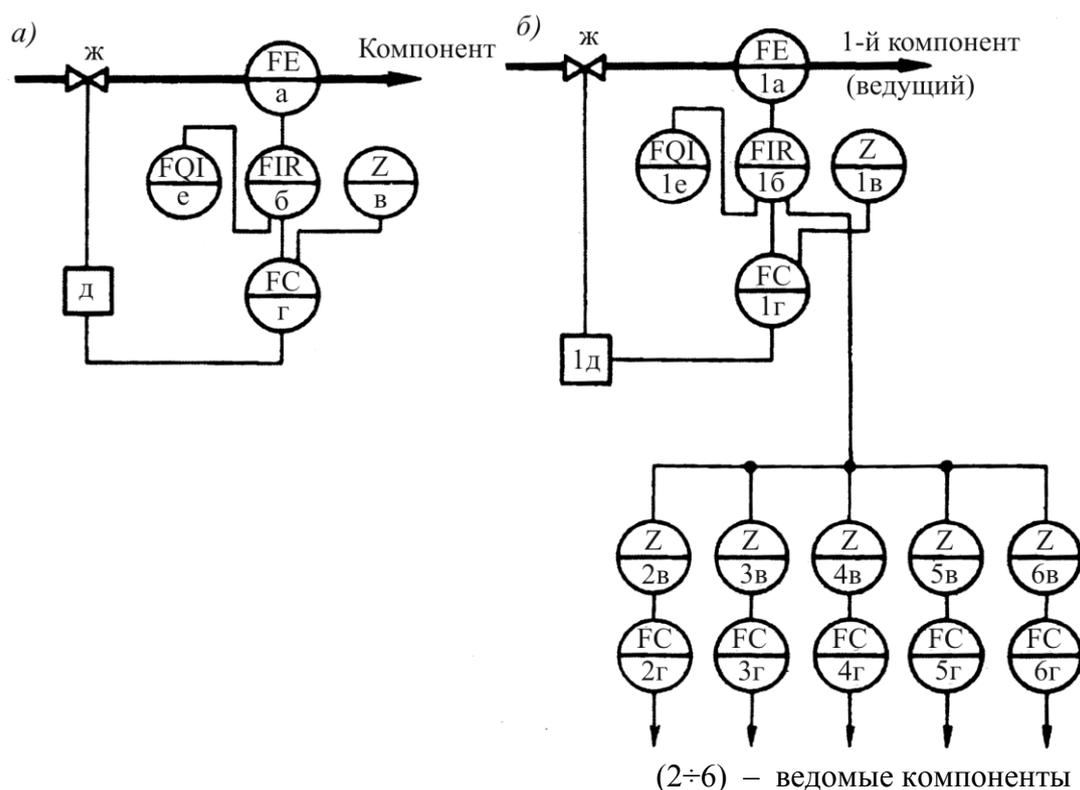


Рис. 78. Схема регулирования непрерывного процесса смесеприготовления:
а — несвязанное, б — связанное регулирование

Схема управления смесителем с автоматическим регулированием состава смеси по её свойствам показана на рис.79. Компоненты смеси загружаются в смеситель 1 из весовых бункерных дозаторов 2. В чаше смесителя установлен зонд для измерения

влажности (ME) и температуры (TE). Прибор 3 для контроля свойств формовочной смеси (уплотняемости, прочности на срез, прочности на сжатие) установлен над транспортёром готовой смеси. Через заданные промежутки времени прибор отбирает из потока готовой смеси пробы и проводит их испытания. Результаты измерений поступают в программируемый контроллер 4 для накопления, обработки и выработки управляющих воздействий. Измеренные значения уплотняемости используются для оперативного регулирования количества вводимой в смесь воды. При этом учитывается также температура смеси. Результаты испытаний прочности образцов на сжатие и срез служат для определения содержания активного бентонита и используются для его регулирования. Регулирование подачи бентонита проводится с меньшей частотой – только после накопления некоторого объёма статистических данных и выявления устойчивой тенденции к изменению его содержания. Количество углеродсодержащих добавок регулируется пропорционально бентониту. Результаты испытаний прочности могут храниться в памяти контроллера в виде очереди, содержащей некоторое количество результатов, полученных в последнее время. Интервал времени, на котором следует принимать решение о корректировке содержания бентонита и углеродсодержащих добавок, зависит от степени однородности оборотной смеси. При сравнительно однородной смеси этот интервал может быть небольшим и свойства смеси будут регулироваться достаточно точно. Если же наблюдаются частые и резкие колебания, требуется больше времени, чтобы определить действительную тенденцию изменения прочности. Поэтому считается необходимым знать действительные статистические характеристики свойств смеси.

Обобщая вышеизложенное, отмечаем, что системы смесеприготовления подразделяются на дискретные и непрерывные. Системы *дискретного* смесеприготовления подразделяются в свою очередь на системы с *параллельным и последовательным* дозированием.

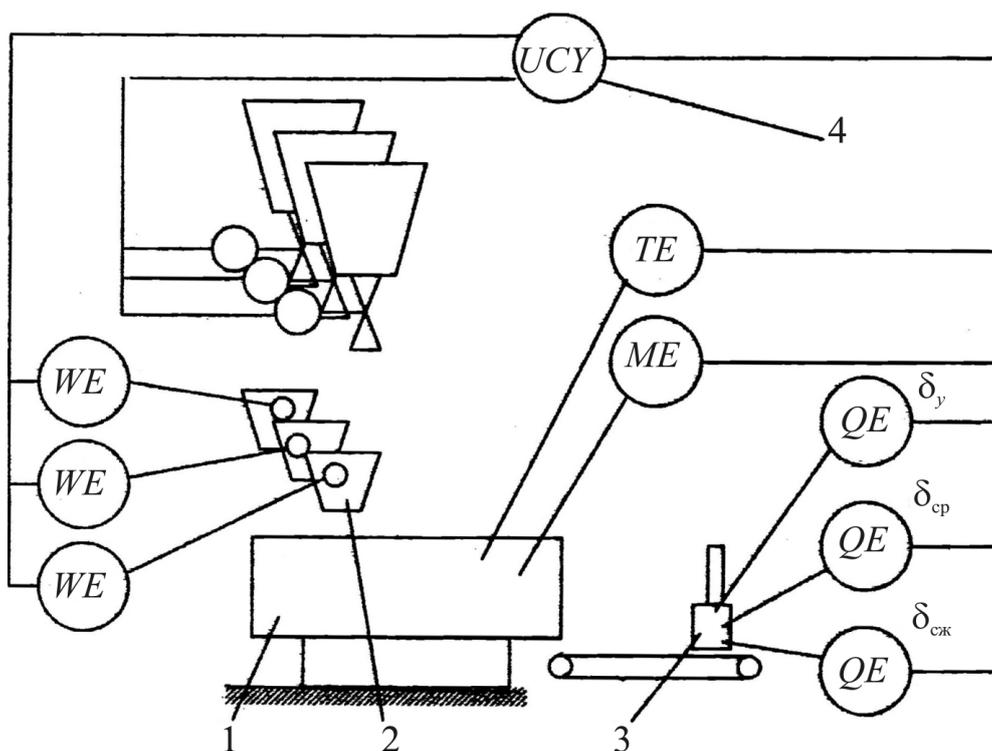


Рис. 79. Функциональная схема автоматизации смесителя

При дискретном смесеприготовлении параллельным дозированием дозаторы включаются одновременно, а выключаются при наборе заданной дозы. Отдозированные компоненты подаются либо одновременно, либо по заданной временной программе. Преимущества систем с параллельным дозированием – высокие производительность, надёжность, но они дороги. *Целесообразно связанное дискретное параллельное дозирование* для повышения точности соотношения компонентов.

При последовательном дозировании используются многокомпонентные дозаторы. При этом сравнительно с параллельным дозированием надёжность системы ниже и производительность меньше, а также ниже точность соотношения компонентов.

Системы *непрерывного* дозирования подразделяются на варианты:

- несвязанная система, работающая по разомкнутой схеме – каждый компонент стабилизируется собственной системой регулирования;

- связанные системы управления с параллельным или последовательным соединением дозаторов. При параллельном соединении ведущим компонентом является отработанная смесь, а остальные компоненты – ведомые. При последовательном соеди-

нении точно отслеживается соотношение между каждым предыдущим и последующим дозаторами. Однако такая система отличается большими запаздываниями, что снижает точность поддержания соотношения при больших возмущениях и в переходных режимах;

– оптимальный вариант – комбинированная система (рис.80).

При включении системы с блока 1 задания на блок 2 сравнения поступает сигнал, пропорциональный заданной общей производительности. Сигнал на выходе сумматора 12 в это время равен нулю. Через умножитель 5 ведущего дозатора 6 на его блок 2 поступает сигнал, равный заданной производительности, который через регулятор 8 воздействует на питатель 9. Одновременно по цепи последовательного соединения дозаторов 6,7 через контакты 13 (формирователь 3 и коммутатор 4 отключены вследствие большого сигнала рассогласования) и умножители 5 задание поступает на все ведомые дозаторы 7, которые в параллельном режиме выходят на заданную производительность. Сигналы с измерительных преобразователей 10 датчиков расхода 11, а также с сумматора 12 увеличиваются, а сигнал рассогласования (сравнения общей производительности) с коммутатора 4 уменьшается. При достижении порогового значения (5–10% от заданной производительности) срабатывает формирователь 3 уровня, который включает коммутатор 4. При этом включается цепь последовательного соединения дозаторов 6,7 через контакты 14, а цепь параллельного соединения контактами 13 размыкается и ведомые дозаторы 7 работают в связанном режиме слежения за производительностью ведущего дозатора 6, точно выдерживая соотношение. Обратная связь от датчика расхода 11 последнего дозатора 7 осуществлена через умножитель 5 и контакт 14 коммутатора 4.

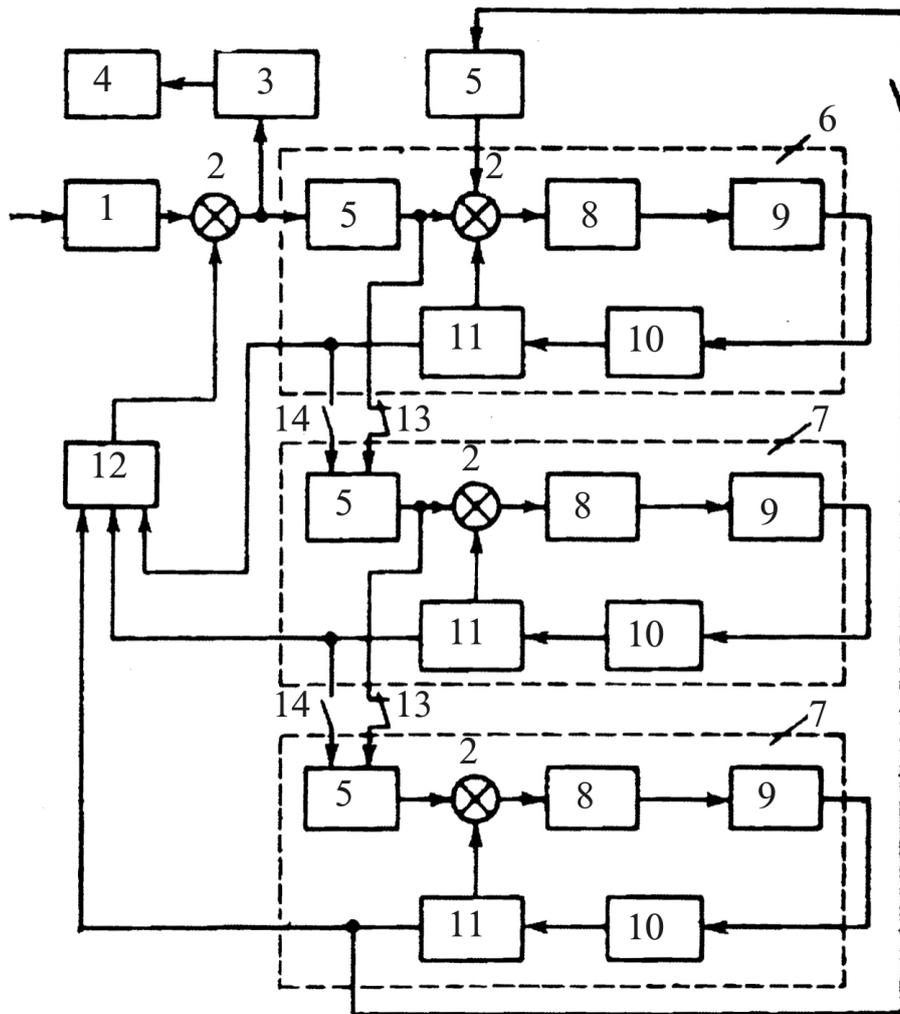


Рис. 80. Структурная схема комбинированной системы управления многокомпонентным непрерывным дозированием

Перспективна самонастраивающаяся система управления связанным многокомпонентным дозированием с критерием оптимизации по минимуму среднеарифметической ошибки соотношения компонентов. Эта система пригодна как для дискретного, так и для непрерывного дозирования.

Важное значение в управлении смесеприготовлением имеет информационное обеспечение, схема которого представлена на рис. 81.

Традиционными методами оперативного экспресс-контроля качества формовочной смеси являются испытания влажности смеси ёмкостным, высокочастотным, инфракрасным, кондуктометрическим, нейтронным методами (тенденция: переход от высушивания навески смеси к контролю насыпного веса и, особенно, к контролю технологических свойств смеси – *формуемости*

или уплотняемости), прочности влажного образца смеси на сжатие и сдвиг (основные показатели) и его газопроницаемости (производный показатель, зависящий от основных). На выходе из смесителя над ленточным транспортёром обычно устанавливают прибор для контроля технологических свойств смеси.

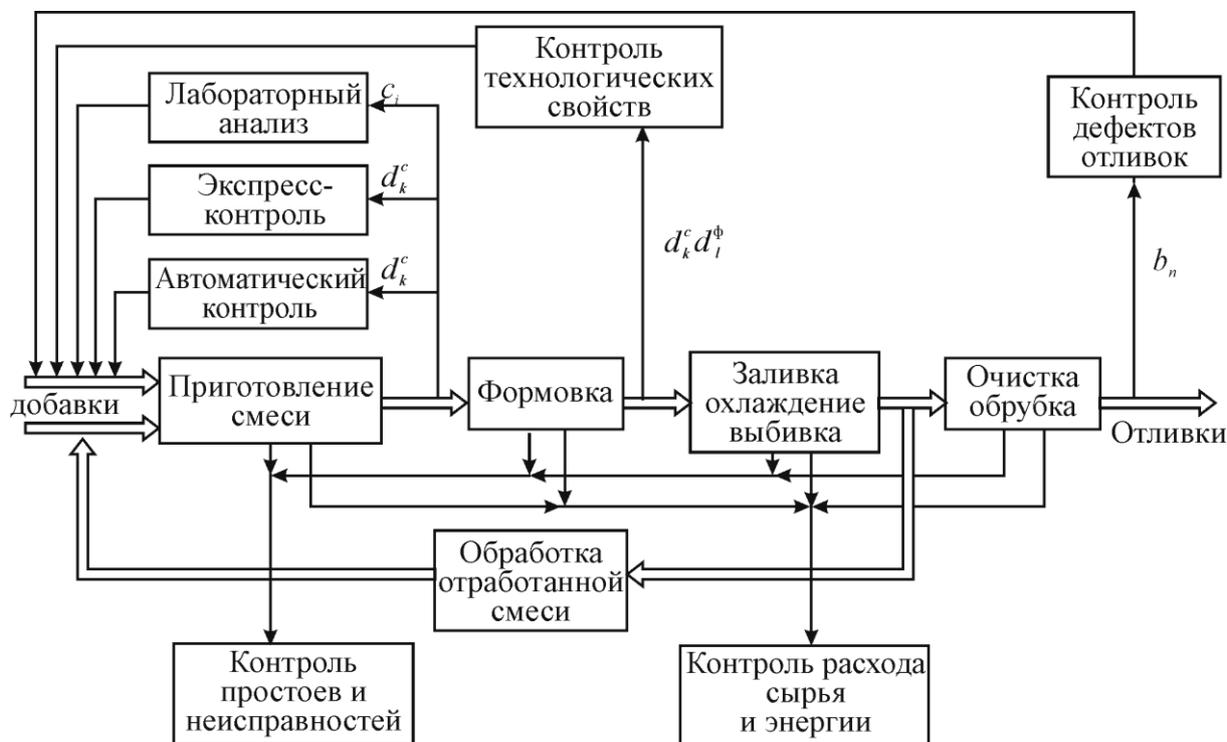


Рис. 81. Схема информационного обеспечения управления смесеприготовлением

Схема системы контроля и управления качеством смеси на основе информационного обеспечения представлена на рис. 82. Система включает серию информационных потоков:

1) поток 1 – данные лабораторного контроля свойств и состава смеси. Проблема – результаты контроля получаются с большим запаздыванием, когда смесь уже вышла из смесителя и исправить дефекты на формовке невозможно (поэтому контур управления 1 малоэффективен);

2) поток 2 – технологические свойства смеси в процессе формовки (формуемость, уплотняемость, текучесть, плотность, твёрдость) важнее характеристик смеси в смесителе;

3) поток 3 – информация от оператора автоматической формовочной линии; визуальный контроль точности отпечатка и чистоты его поверхности и т.д. Контур II обратной связи воздействует на процесс дискретно и с большим запаздыванием – по

явному браку смеси, выявленному на формовке, корректируется состав свежих добавок. Данный контур может компенсировать только влияние медленно изменяющихся возмущений;

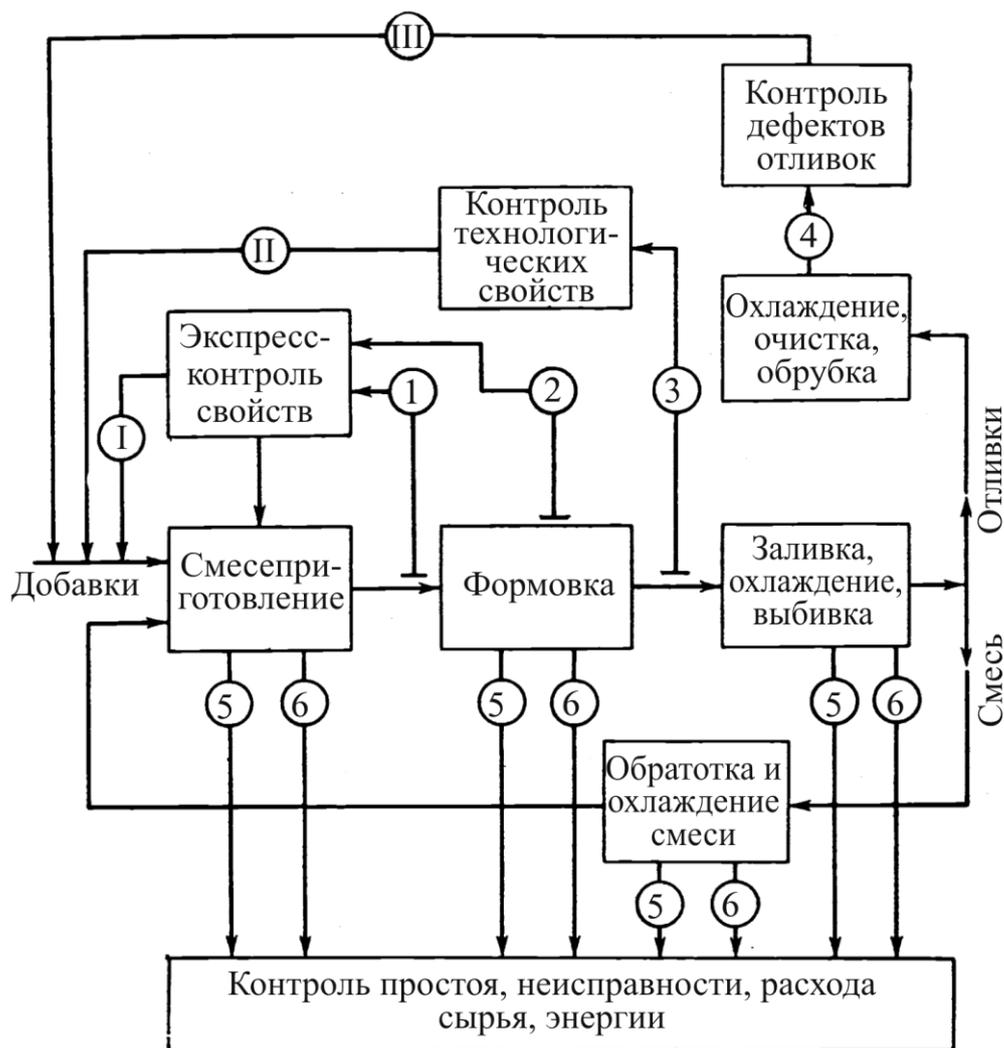


Рис. 82. Структурная схема системы управления качеством смеси

4) поток 4 – контроль дефектов отливок по вине смеси – важнейший информационный поток, является результирующим в оценке эффективности работы всей смесеприготовительной системы. Поток отличается очень большим запаздыванием, т.к. отливка после охлаждения, обрубки и очистки поступает на позицию ОТК только спустя 1–1,5 суток. Статистическая обработка данных разбраковки отливок и параметров смеси в форме позволяет построить модель «свойства смеси – дефект отливок» и повысить эффективность контура III обратной связи;

– поток 5 – информация о простоях и их причинах;

– поток *б* – информация о расходе сырья формовочных материалов и энергии в процессе смесеприготовления.

Эффективность обратных связей основных контуров управления *I – III* недостаточна ввиду запаздываний и др. причин.

С учётом вышеизложенного для повышения эффективности системы управления смесеприготовлением особое внимание уделяют автоматическому контролю состава исходных формовочных материалов и свойств смесей в процессе их приготовления с использованием САР трёх типов:

1) *по возмущению* (система предварительной калькуляции) – измеряются влажность и температура отработанной смеси на входе в смесителе, а управляющие воздействия – количество воды или суспензии, подаваемой в смеситель;

2) *по отклонению*. Это более перспективные системы управления по формуемости, т.е. способности смеси просеиваться через щель определённого размера. Формуемость характеризуется сцеплением частиц между собой, зависит от соотношения вода – связующее и уменьшается с его увеличением.

Система регулирования формуемости (рис. 83) состоит из пробоотборника 8, датчика формуемости 10, дозатора воды 7 с каналами грубого 3 и точного 4 дозирования. Дозатор снабжён регулирующим вентилем 6 и резервным клапаном 5. Расход воды, подаваемой в смеситель 2, регулируется по сигналам от фотодатчиков 11, контролирующих просыпание смеси через щели на поверхности лотка. Система снабжена блоком самонастройки и блоком регулирования амплитуды вибрации, вход которого подключён к выходу датчика 1 температуры, а выход – к приводу вибратора 12. При повышении температуры смеси сигнал с датчика температуры после усиления и сравнения с заданием уменьшает амплитуду вибрации вибротка датчика формуемости, смесь в сборном лотке движется медленнее, её уровень повышается, что приводит к увеличению количества поданной в смеситель воды и переувлажнению смеси;

3) *комбинированные* системы, сочетающие варианты 1 и 2 (рис. 84).

Наибольший интерес представляет *оптимальное управление* смесеприготовлением (с использованием различных критериев) на основе новейших средств автоматического контроля и регулирования свойств формовочных смесей и обработки данных на ЭВМ.

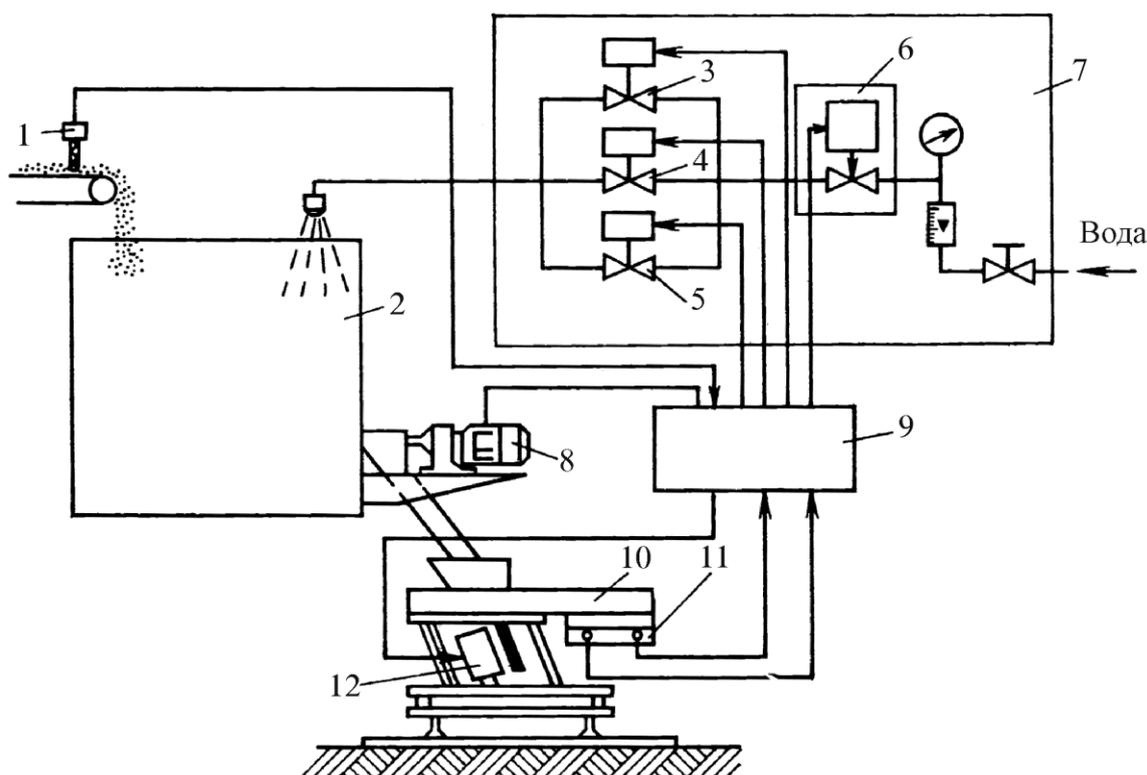


Рис. 83. Структурная схема САР формуемости с термокомпенсацией и самонастройкой

Для повышения надёжности и эффективности управления смесеприготовлением используется несколько направлений:

- приготовление смеси в количестве, превышающем необходимое для формовки (с использованием излишка смеси примерно 50% от потребления на формовке), непрерывная подачи смеси к выбивке и смешивание с горячей отработанной смесью;

- предварительное смешивание освежающих добавок с отработанной смесью. При этом все компоненты предварительной смеси подаются в бегуны одновременно и в процессе смешивания вода не добавляется, затем производится контроль формуемости с подачей сигнала обратной связи системе управления;

- исключение возмущений, вызываемых наличием в потоке рециркуляции термообработанной и необработанной смеси, просыпи, излишков смеси из незалитых форм;

- компенсация возмущений, возникающих в составе смеси при изменении массы отливки в форме, выбором свежих добавок (система самокомпенсации возмущений).

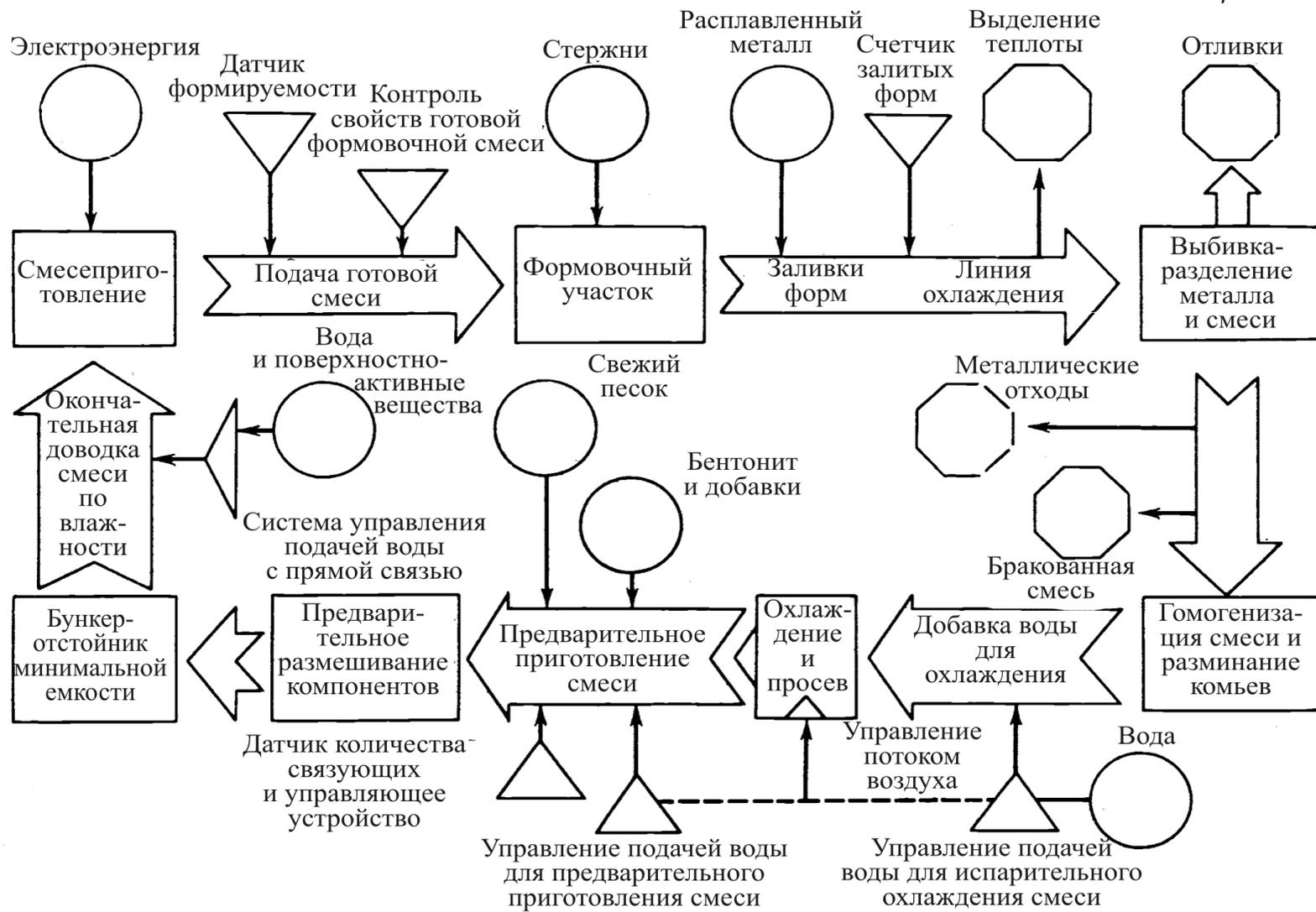


Рис. 84. Структурная схема комбинированной системы управления смесеприготовлением

Комплексная система смесеприготовления с автоматическим контролем качества смеси (рис. 85) состоит из подсистем управления охлаждением, формуемостью, дозированием, вводом свежих добавок на участке выбивки по температуре смеси, подачей просыпей и излишков на выбитую смесь, а также включает систему управления формовочной линией КТС «Калиф» и всем оборудованием смесеприготовления КТС «Гера». Кроме того, в систему входят подсистемы автоматического контроля состава и свойств САКСС, а также система верхнего уровня. Последняя включает подсистемы диагностики и диспетчеризации, две подсистемы идентификации по свойствам смеси и дефектам отливок и систему оптимального управления. В указанной системе реализована рациональная структура смесеприготовления с самокомпенсацией основных возмущений благодаря постоянному потоку излишков смеси, подаваемых вместе с просыпями на поток обработанной смеси, и вводу свежих добавок сразу после выбивки с обеспечением предварительного смешивания смеси с добавками. Одновременно функции связанного управления дозированием сыпучих компонентов в этом случае выполняются соответствующей подсистемой. Дозирование и смешивание проводят в *режиме супервизорного управления*. Обеспечиваются автоматическое изменение рецептуры смеси по программе дозирования с учётом запаздываний, обмен информацией с системой верхнего уровня, подсистемой «формуемость» и смежными системами управления.

В заключение раздела в табл. 20 приводим описание функций АСУ ТП смесеприготовления

Таблица 20

Функции АСУ ТП смесеприготовления и их характеристики

Операция	Источник информации	Адресат информационных сообщений и управляющих команд
Расчет оперативной и перспективной потребности в материалах для смесеприготовления	Ручной ввод директив вышестоящих уровней АСУ в соответствии с оперативными и перспективными планами производства	Службы материально-технического снабжения предприятия; механизированные (автоматизированные) склады сырых материалов; средства внутризаводского транспорта
Учет наличия сырьевых ресурсов на складах и в расходных бункерах (емкостях)	Уровнемеры сыпучих материалов и жидкостей; датчики массы материалов	Дисплей, устройство печати для обслуживающего персонала
Контроль и управление процессом регенерации отработанных смесей	Датчики технологической информации	Исполнительные устройства участка регенерации
Автоматизированная раздача компонентов формовочных и стержневых смесей по расходным бункерам (емкостям) смесителям	Датчики сигнализаторов уровня сыпучих материалов и жидкостей при использовании принятой программы независимого или принудительного снабжения	Устройства конвейерного и пневмотранспорта сыпучих материалов. Насосы подачи жидких компонентов по трубопроводам
Расчет ввода освежающих добавок песка и активной глины	Данные учета баланса материалов	Дисплей, устройство печати
Учет расходования сырьевых ресурсов по отдельным агрегатам и по участку смесеприготовления в целом	Расходомеры сыпучих материалов и жидкостей	Дисплей, устройство печати – по запросу обслуживающего персонала
Учет производительности отдельных агрегатов и участка смесеприготовления в целом по готовым смесям; контроль за выполнением плана	Расходы готовых смесей	То же

Операция	Источник информации	Адресат информационных сообщений и управляющих команд
Управление дозаторами компонентов формовочных и стержневых смесей	Датчики обратной связи	Привод дозаторов
Связанное управление многокомпонентным дозированием (для смесителей непрерывного действия)	Расходомеры отдельных компонентов смеси	Исполнительные механизмы привода регулирующих органов
Управление смесителями с использованием информации об исходном состоянии компонентов и конечном состоянии смеси	Датчики состава и свойств компонентов; заданная или оптимизируемая циклограмма (для смесителей периодического действия)	То же; привод смесителя
Компенсация накапливающейся погрешности дозаторов	Датчики расхода компонентов формовочных (стержневых) смесей с последующим интегрирование их сигналов по времени	Исполнительные механизмы корректоров задатчиков регуляторов расхода компонентов (или их соотношения) либо устройства ввода корректирующей программы в ЭВМ
Контроль за состоянием оборудования смесеприготовления и учет простоев с привязкой к реальному времени	Датчики состояния оборудования (потребления электроэнергии, сжатого воздуха, температуры подшипников транспортных средств, обрыва, пробуксовывания или смещения конвейерных лент и пр.)	Дисплей, устройство печати, аварийная световая и звуковая сигнализация
Расчет и хранение статистических массивов информации о затратах на смесеприготовление рецептуры по различным видам смесей	Датчики технологической информации и ручной ввод удельных экономических оценок	Дисплей, устройство печати, формирование наборов данных для программы оптимального управления

Операция	Источник информации	Адресат информационных сообщений и управляющих команд
Сбор данных о качестве отливок и затратах на исправление их дефектов	Участок финишной обработки отливок	То же
Расчет рекомендаций по изменению состава смесей	Данные учета технико-экономической информации	-«-
Оптимизация состава смеси и режима смесе-приготовления по заданным показателям ее качества при использовании математических моделей типа «состав смеси – качество смеси» (с учетом режима смесе-приготовления и свойств компонентов смеси)	Датчики испытателей смеси, датчики свойств компонентов (гранулометрического состава, влажности, температуры, плотности, химического состава); датчики расходов компонентов; параметры процесса смесе-приготовления (например, продолжительность перемешивания)	Дисплей, устройство печати, задатчики дозаторов компонентов формовочной (стержневой) смеси
Оптимизация состава смеси и режима смесе-приготовления по заданным показателям качества отливок при использовании математических моделей типа «состав смеси – качество отливки» (с учетом режима смесе-приготовления и свойств компонентов смеси)	То же в сочетании с датчиками или ручным вводом показателей качества отливки	То же
Регистрация отклонений от заданных технологических режимов	Датчики технологической информации	Дисплей, устройство печати
Обеспечение обслуживающего персонала оперативной информацией	То же и ручной ее ввод с технологических объектов управления	То же в сочетании со звуковой и световой сигнализацией
Обмен информацией с вышестоящими уровнями АСУ	–	–

9.3. Управление изготовлением песчано-глинистых форм и стержней

Автоматизация процесса изготовления песчано-глинистых форм и стержней за последние 15–20 лет интенсивно развивалась. Первоначально применялись формовочные машины – автоматы, выполнявшие циклическую подачу дозы смеси в рабочую зону формовки, уплотнение смеси с образованием форм (полуформ), снятие их, уборку и удаление отходов. При этом использовали прямые и косвенные (более распространённые) методы контроля степени уплотнения. Применявшиеся ранее технологии, компоновки и схемы управления формовочными машинами различных типов были приведены в ранних пособиях В.В. Дембовского и др. В связи с бурным развитием техники и технологии формовочные машины-автоматы первого поколения устарели и в настоящем пособии не рассматриваются.

Развитие автоматизации оборудования в литейном производстве протекало в направлении создания и освоения автоматических комплексов и гибких производственных систем. Автоматический комплекс в отличие от машины-автомата – это *система машин*, основного и вспомогательного оборудования, автоматически выполняющих в определённой технологической последовательности и с заданным циклом весь процесс изготовления и переработки продукта производства или его части под наблюдением оператора. Под данное определение подходят все автоматические линии, которые применяются в литейном производстве, включая формовочные линии. Поскольку автоматические комплексы литейного производства являются предметом изучения в отдельном курсе и рассмотрены в специальном пособии В.С. Шуляка (см. библиографический список), мы не приводим в настоящем пособии подробную информацию по этим комплексам и ограничиваемся оценками некоторых тенденций их развития и особенностей системы управления.

Наиболее простые автоматические формовочные комплексы первой группы выполняют *одну* технологическую операцию – изготовление литейной формы в автоматическом цикле. Соответственно формовочный модуль состоит из формовочной машины,

основных и вспомогательных механизмов, объединённых единой транспортной системой.

Более сложные автоматические комплексы выполняют *две и более операций* технологического процесса производства конечного продукта (например, изготовление формы, заливка формы металлом, выбивка форм). Автоматические комплексы этой, второй группы наиболее распространены в современном литейном производстве.

Третья группа автоматических комплексов является интегральной и объединяет единой системой управления комплексы первой и второй групп.

Из вышеизложенного следует, что в настоящее время процесс изготовления песчано-глинистых форм не может рассматриваться изолированно от смежных технологических операций (заливки, выбивки и пр.). Отмеченное правомерно не только для наиболее распространённого процесса литья в песчано-глинистые формы, но и для специальных способов литья в разовые формы (литьё по выплавляемым моделям и др.), автоматизация которых также развивается в направлении создания автоматических комплексов.

В пособиях по автоматическим комплексам литейного производства вопросы систем управления детально не рассматриваются. Поэтому не приводится и чёткая идентификация применяемых систем управления. Рассмотрение соответствующей информации показывает, что применительно к автоматическим комплексам, в т.ч. автоматическим формовочным линиям, системы управления в зависимости от группы сложности комплекса можно идентифицировать как САУ либо АСУ ТП. К примеру, для комплекса первой группы более характерна САУ жёстким циклом изготовления формы с использованием в качестве автоматического управляющего устройства программируемого логического контроллера, установленного на одном пульте управления.

Более сложные автоматические комплексы второй либо третьей групп включают несколько локальных пультов управления и один центральный пульт управления. Примером такого комплекса является автоматический формовочный комплекс мод. НЛ453С1, имеющий наряду с центральным пультом управления три локальных пульта управления – линией формовки и формо-

вочной установкой; линией транспортирования, сборки, заливки и охлаждения; линией выбивки. Соответственно в этом случае логично локальные пульта управления оснащать программируемыми логическими контроллерами (ПЛК), а центральный пульт управления – УВМ. В результате такая система управления может быть идентифицирована как прогрессивная децентрализованная АСУ ТП, включающая три локальные подсистемы и два уровня управления (верхний с УВМ и нижний – с ПЛК).

Аналогично развиваются и идентифицируются автоматические комплексы для производства стержней различными способами. Новиковым В.П.(см. прил.2) были подробно рассмотрены вопросы управления прогрессивным процессом получения стержней по холодным ящикам продувкой газообразным катализатором на пескодувной стержневой машине («Cold-box» процесс). При этом были построены схемные отображения: структурная схема технологического процесса с обозначением входных и выходных параметров, а также возмущений; циклограмма процесса; функциональная схема автоматизации; граф-схема алгоритма управления. Соответствующие материалы можно рассматривать в качестве подходящего примера процедуры предварительного синтеза системы управления в рамках подготовки специалистом-литейщиком технических требований к будущей САУ или АСУ ТП.

9.4. Управление изготовлением оболочковых форм и стержней

Наряду с наиболее распространённым традиционным процессом литья фасонных отливок в песчано-глинистые формы применяются специальные процессы литья в оболочковые формы, по выплавляемым моделям, по газифицируемым моделям и др., которые позволяют резко сократить расход формовочной смеси и повысить геометрическую точность и чистоту поверхности отливок. В настоящем пособии мы рассматриваем особенности процесса управления изготовлением оболочковых форм и стержней.

Толщина оболочки при получении оболочковых форм и стержней методом свободной засыпки зависит от температуры модели, времени выдержки смеси на модели (времени формирования оболочки) и свойств связующего. В задачу управления процессом входит стабилизация толщины оболочки на рациональном уровне. В основу решения этой задачи положены количественные закономерности отверждения песчано-соляной смеси, а именно поликонденсации связующего – смолы. Для момента окончания формирования оболочки принимают

$$C_p = (0,05-0,15)C_{0p},$$

где C_{0p} – начальная концентрация реакционно-способных групп частично полимеризованного вещества; C_p – концентрация указанных групп в текущий момент времени τ .

Оперируют коэффициентом полноты реакции полимеризации

$$\beta = (C_{0p} - C_p) / C_{0p}$$

В начале процесса $\beta=0$, в конце $\beta=0,85-0,95$. В результате задача управления процессом формирования оболочки сводится к отысканию зависимости

$$\beta = f(t_m, \tau, a),$$

где t_m – температура модели, τ – время формирования оболочки, a – свойства связующего.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями было установлено, что

$$\beta = A(T, \tau) / [1 + A(T, \tau)],$$

где T – температура изотермического отверждения фенолоформальдегидной смолы.

Пусть δ – требуемая толщина оболочковой формы. Управление процессом предусматривает получение на расстоянии δ от поверхности модели заданного значения коэффициента полноты полимеризации β . После его достижения процесс заканчивается и сбрасывается с модели оставшаяся смесь.

Численным методом на ЭВМ решается одномерное дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье для определения температуры смеси в зависимости от времени и затем рассчитываются значения коэффициента β . Пошаговый расчёт температуры и коэффициента β повторяется до получения заданной величины $\beta = \beta_3$. Полученное при этом время является расчётным

временем формирования оболочки $\tau = \tau_{\phi}$. При достижении рассчитанного времени выдаётся команда на окончание процесса.

Более подробно вопросы управления процессом формирования оболочковой формы на основе математической модели процесса (аналитические основы поликонденсации связующего и нагрева песчано-смоляной смеси, блок-схема алгоритма управления формированием оболочки) рассмотрены в источнике, указанном в п.2 приложения.

9.5. Управление заливкой расплава в формы

Здесь и далее рассмотрены вопросы управления технологическими операциями, следующими после изготовления форм и стержней (заливка, выбивка, очистка). Эти вопросы рассмотрены отдельно для каждой операции, однако при этом следует иметь в виду, что в современных автоматических комплексах они выполняются последовательно в единой технологической линии.

Для управления заливкой расплава в формы используются различные способы:

1) *регулирование расхода металла* (регулирование по положению металла в стояке или в литниковой чаше повышенной ёмкости). САР для регулирования расхода металла по уровню включают различные датчики уровня – оптические, лазерные, радиоактивные и пр. В качестве исполнительного устройства используют стопоры с приводом. Эти САР работают в тяжёлых условиях и должны отличаться высоким быстродействием;

2) *дозирование* (по весу, объёму или времени) реализуется проще, чем способ по п.1, поэтому оно получило большее распространение.

Применяемые способы подачи расплава приведены в табл.21 и на рис. 86 (*а* – ковш со стопорным устройством 1 и разливочным стаканом 2; *б* – ковш наклоняемый со сливным каналом 3 для задержания шлака, *в* – устройство для подачи расплава по сливному каналу 6 из подогреваемой ёмкости 4 под низким давлением воздуха или инертного газа, вводимых через трёхходовой кран 5; *г* – магнитодинамический дозатор).

Системы управления используются в основном для специальных дозирующих заливочных установок, к которым относятся:

– пневматические заливочные дозаторы для алюминиевых сплавов,

– магнитодинамические дозаторы (насосы) для чугуна и стали,

– дозаторы литья под низким давлением.

Пневматические заливочные дозаторы для алюминиевых сплавов обеспечивают постоянный расход во времени путём поддержания постоянного напора над уровнем слива a в раздаточной печи (рис. 87). Печь 1 герметично закрывается крышкой 2 . Слева расположена заливочная горловина, закрываемая крышкой 3 . Уровень металла контролируется одним или двумя датчиками уровня (не показаны). Один датчик контролирует максимально допустимый уровень и по его сигналу заливка дозатора для его пополнения должна быть прекращена. Другой датчик контролирует минимально-допустимый уровень и по его сигналу должно быть прекращено дозирование расплава из установки, а дозатор следует пополнить. В ванну жидкого металла опущен металлопровод 4 . В печи может быть создано повышенное давление воздуха при подаче в неё сжатого воздуха при открытии запорного клапана $K1$. При повышении давления над поверхностью ванны жидкого металла уровень металла в трубопроводе поднимается, а в печи понижается. Дроссель D служит для регулирования скорости подъёма давления в печи и соответственно скорости подъёма металла в металлопроводе при заливке. Для сброса давления из печи открывается клапан $K2$. Особенностью подобных установок является изменение начального уровня металла в печи в ходе разливки металла из неё. На рис.92 показаны графики давления в печи при заливке первой и последней дозы. В начале заливки клапан $K1$ открывается, а клапан $K2$ закрывается. Металл поднимается по трубопроводу. Момент появления металла в выходном отверстии металлопровода фиксируется датчиком уровня LE , который представляет собой электрический контакт, замыкаемый струёй металла, чувствительную термопару, фотоэлемент или индукционный датчик. По сигналу этого датчика устройство PY суммирует показание датчика давления PE , измеряющего давление p_0 над поверхностью жидкого металла в дозаторе, с давлением p_3 , задаваемым задатчиком H . Он задаёт необходимую величину

ну давления над линией слива p_3 , т.е. ту величину, под действием которой будет происходить истечение металла из металлопровода. Отсчёт действующего при заливке давления от линии слива a устраняет влияние переменного уровня металла в печи на дозу металла и работу системы дозирования. Результат суммирования является заданием для прибора с позиционным регулирующим устройством PC и при достижении этого давления он выключает клапан $K1$ и прекращает подачу воздуха в печь.

Таблица 21

Классификация способов подачи расплава в литейные формы

Способ подачи	Принцип действия	Достоинства способа	Недостатки способа
Механический	Управление струей металла, истекающего под действием собственного гидростатического напора, с помощью стопора в ковше или изменением угла наклона поворотного ковша с носком особой формы	Наибольшая простота осуществления	Газонасыщение и окисляемость расплава на воздухе и значительные потери теплоты в процессе заливки формы
Пневматический	Вытеснение расплава из герметичного тигля раздаточной печи или из специальной емкости за счет давления сжатого воздуха или инертного газа	Превращение окисления расплава, возможность стабилизации его температуры индукционным подогревом	Необходимость герметизации дозатора и металлопровода, невысокая точность вследствие инерционности системы
Магнитодинамический	Приведение в движение потока расплава под действием возбуждаемых в нем электромагнитных сил	Стабилизация химического состава и температуры расплава, его чистота (малое содержание неметаллических включений), простота управления дозированием	Сложность устройства для реализации способа

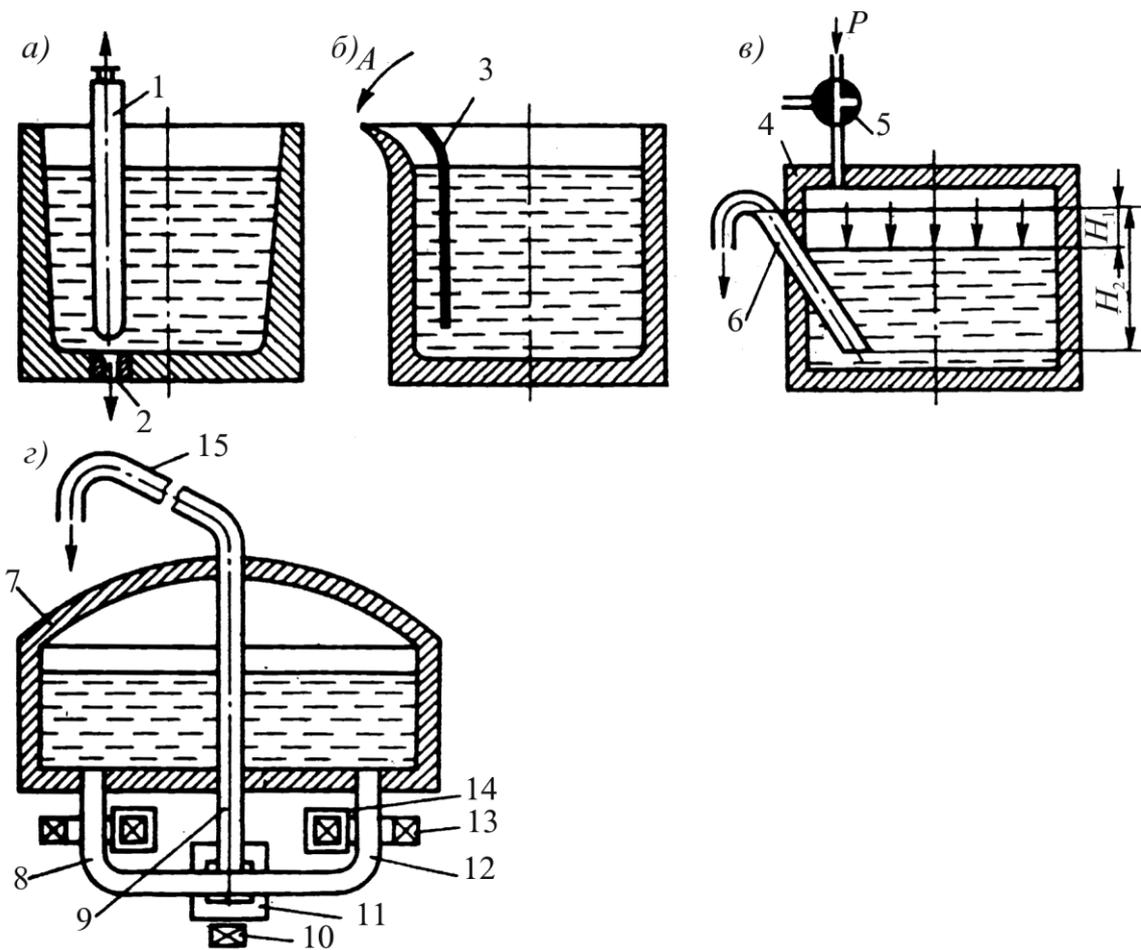


Рис. 86. Способы подачи расплавов в литейные формы

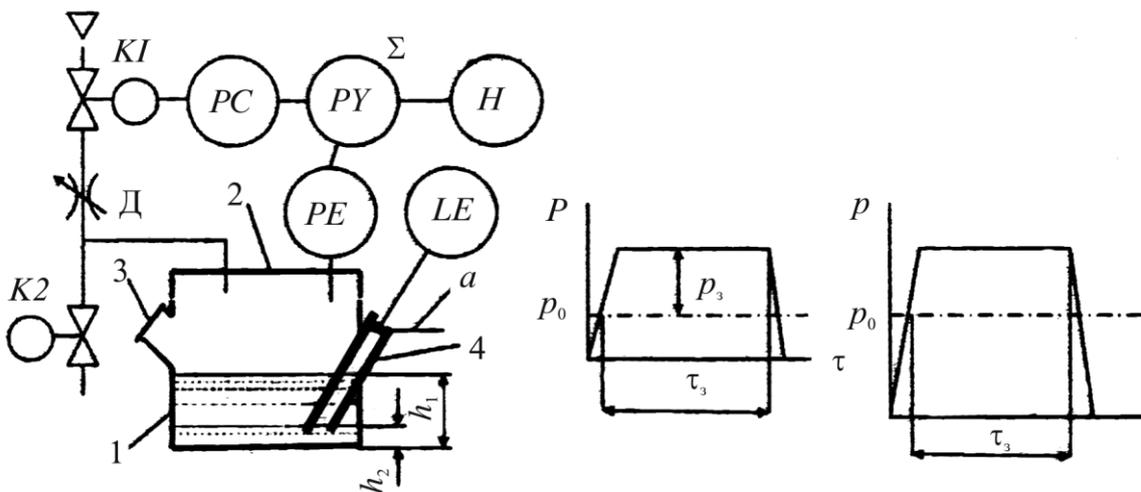


Рис. 87. Функциональная схема автоматизации пневматического заливочного дозатора

На рис. 88 приведен алгоритм программы цикла заливки.

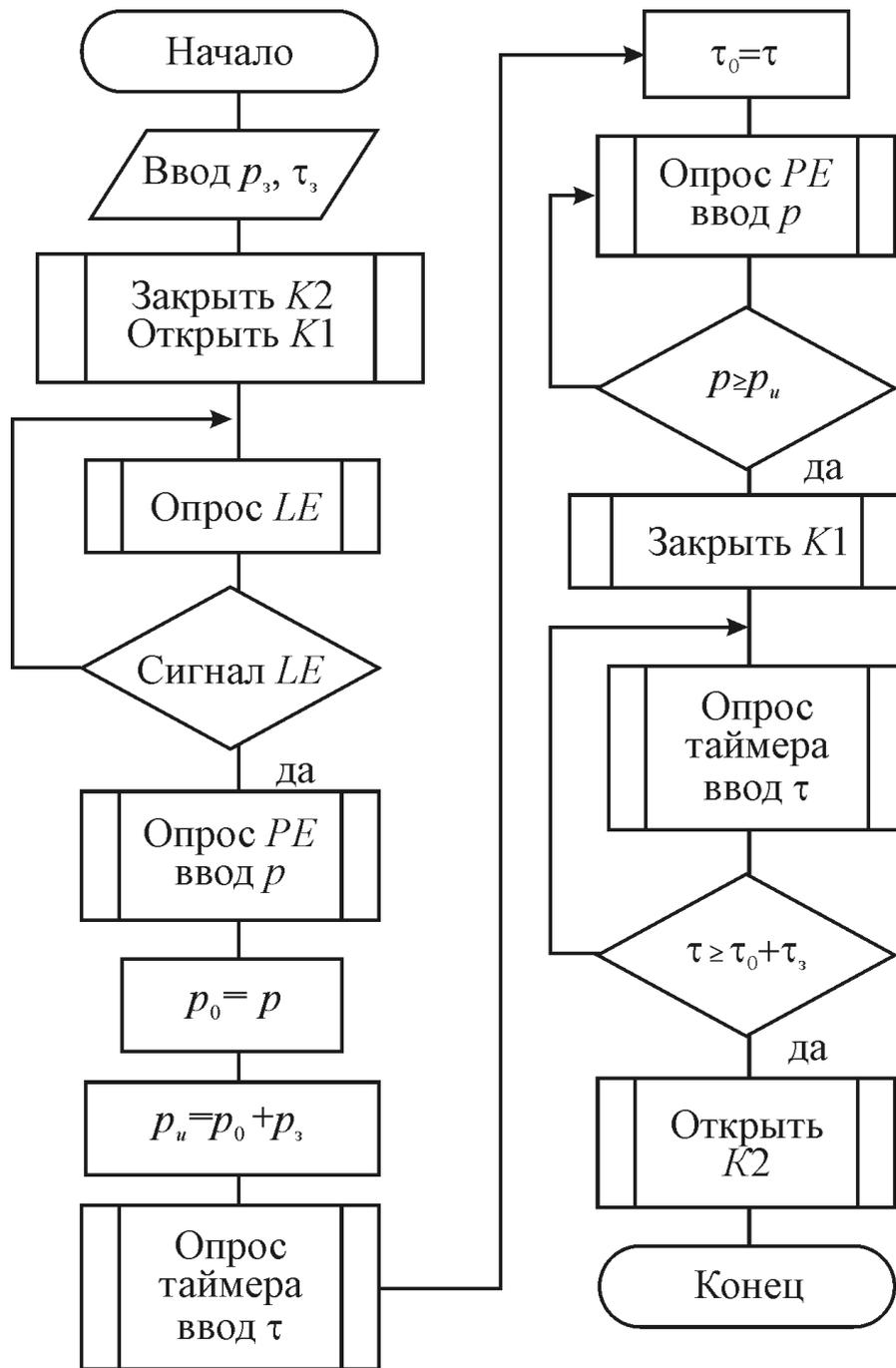


Рис. 88. Блок-схема алгоритма программы управления пневматическим заливочным дозатором

Пневматические заливочные дозаторы для чугуна. Печь 1 с индукционным подогревом (рис. 89) имеет футерованный огнеупорным материалом заливочный сифон 2 достаточно большого диаметра с зумпфом (расширением) 3 в верхней части, открытым сверху.

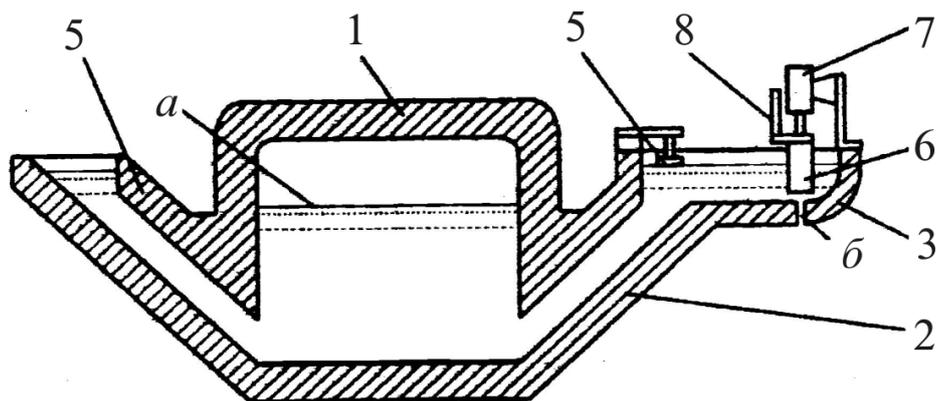


Рис. 89. Пневматический заливочный дозатор для чугуна

Для заливки металла в дозатор он не закрывается крышкой, поэтому при подаче давления на поверхность ванны жидкого металла *a* в дозаторе уровень металла поднимается как в заливочном, так и приёмном сифонах. Такая конструкция дозатора обеспечивает удобное обслуживание и хороший доступ ко всем футерованным поверхностям, облегчая их осмотр и удаление шлака. При разливке подряд нескольких порций металла уровень в зумпфе не опускается, а поддерживается постоянным. Он контролируется датчиком уровня 5 и регулируется аналогично САР регулирования давления. Используются поплавковые или ультразвуковые уровнемеры. Заливка форм производится через отверстие *б*, находящееся в днище зумпфа и закрываемое стопором *б*. Стопор перемещается цилиндром 7 с пневмогидравлическим приводом, а положение стопора контролируется датчиком положения 8. Расход металла через стопорное отверстие определяется его диаметром, а также величиной зазора между этим отверстием и стопором. Расход металла можно уменьшить, приближая стопор к стопорному отверстию. Использование стопорного механизма позволяет при разливке всего содержимого дозатора поддерживать постоянный уровень металла в заливочном сифоне, а не опускать его после каждой заливки.

Магнитодинамические дозаторы для чугуна и стали. Обеспечивают более высокую точность и широкий диапазон доз, не требуют герметизации тигля и имеют меньшие габаритные размеры. Магнитодинамический насос (МДН-дозатор) показан выше

на рис.86г. С тиглем 7 сообщаются каналы 8, 9, 12, причём каналы 8,12 охвачены индукторами. Каждый из них представляет собой замкнутый магнитопровод 13 с обмоткой питания 14. Активная зона дозатора расположена в зазоре электромагнита, имеющего С-образный магнитопровод 10 и обмотки питания 11. При пропускании тока промышленной частоты через обмотки индукторов в каналах 8,12 (аналогично вторичным обмоткам трансформатора) индуцируется электрический ток. Под действием возникающих электромагнитных сил расплав перемещается через выходной металлопровод 15 к приёмнику. Можно дозировать расплав по расходу электроэнергии либо по времени действия дозатора.

Для обеспечения рациональной скорости заполнения формы расплавом используют программное регулирование скорости заливки.

Автоматизация заливки форм на конвейерах. Применяют стационарные дозаторы для пульсирующих конвейеров и передвижные дозаторы для непрерывных конвейеров. На рис. 90 показана функциональная схема автоматизации заливки на конвейере из стационарного дозатора.

На формах закрепляются металлические флажки. При входе флажка в активную зону бесконтактного путевого переключателя формируется команда на начало процесса заливки формы. Для этой же цели могут быть использованы фотореле. Команды на прекращение подачи расплава формируются в зависимости от принятого способа дозирования. С помощью пульсирующей конвейерной линии I к дозатору пневматического типа II циклически поступают формы III. На участке заливки секция рельсового пути IV конвейера установлена на силоизмерительных датчиках Ia, соединённых с вторичным массораспределительным прибором Ib. Подача к дозатору очередной тележки с пустой формой сопровождается автоматической установкой прибора на нуль и последующей генерацией команды исполнительному механизму Iv на открытие доступа сжатого воздуха в дозатор через трёхходовой клапан Ig. Начинается процесс заливки расплава в форму. С достижением заданной массы расплава в форме прибор Ib от-

ключает подачу сжатого воздуха в дозатор. Фотореле *2a* по сигналу появления расплава в выпоре через блок управления *2б* включает исполнительный механизм *2в* привода конвейера на очередной шаг. После этого привод отключается сигналом конечного выключателя *2г*. Датчик сигнализатора уровня расплава *3a* посылает сигнал во внешнюю систему о наличии запаса расплава в дозаторе.

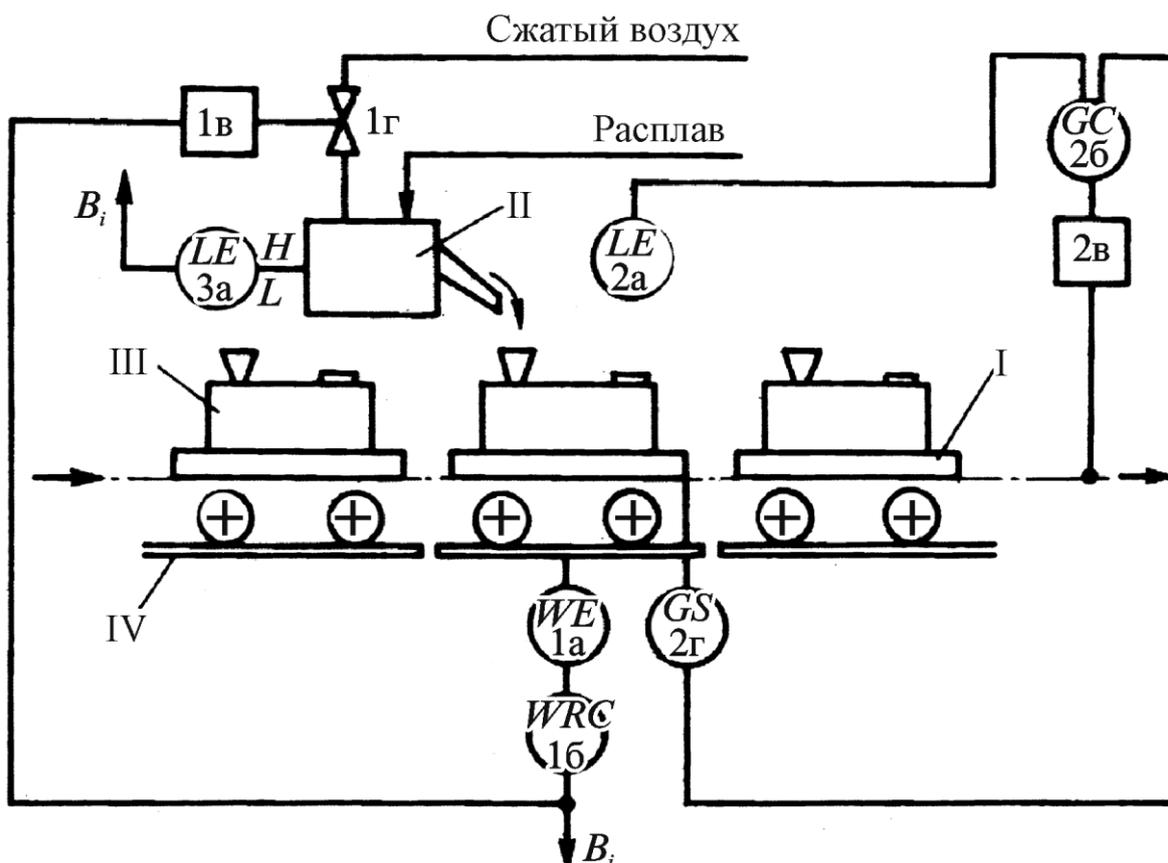


Рис. 90. Функциональная схема автоматизации заливки расплава из стационарного дозатора на конвейере

В заключение раздела в табл. 22 дано описание функций АСУ ТП заливки расплава в форму.

Функции АСУ ТП заливки расплавов в литейные формы

Операция	Источник информации	Адреса информационных сообщений и управляющих команд
Анализ текущего производственного задания участку	Ручной ввод цеховой документации	Дисплей и устройство печати обслуживающего персонала участка
Выполнение расчетов потребности в жидком металле (сплаве)	Производственное задание	То же с выдачей директивы участкам шихтовки и плавки
Управление загрузкой дозаторов и раздаточных печей расплавами при первоочередной заправке металлоприемников меньшей вместимости	Производственное задание с учетом сигналов датчиков наличия жидкого металла (сплава)	Устройства транспортирования расплавов
Централизованный учет работы оборудования участка с регистрацией простоев	Датчики литейных машин и ручной ввод	Дисплей и устройство печати
Учет остатка жидкого металла (сплава) в емкостях автоматических дозаторов перед заливкой следующей формы	Датчики дозаторов	Резервный дозатор (при нехватке расплава в емкости основного дозатора для полной заливки формы)
Централизованный учет количества израсходованных расплавов	Датчики дозаторов и счетчики числа залитых форм	Дисплей и устройство печати
Централизованный учет количества залитых форм и полученных отливок	Гамма-реле или фото-реле	То же
Обеспечение обслуживающего персонала оперативной информацией	Датчики технологической информации	Дисплей и устройство печати в сочетании с сигнализацией
Связь с вышестоящими уровнями АСУ ТП с передачей им текущей информации о производственной деятельности участка заливки литейных форм	То же и данные ручного ввода	АСУ ТП цеха и АСУП

9.6. Управление выбивкой и очисткой отливок

Управление выбивкой. Автоматизация процесса управления выбивными решётками позволяет вывести оператора из запылённой и шумной рабочей зоны и оздоравливает условия труда рабочих. Используется порядково-временной принцип управления. Технологический выбивной комплекс (рис. 91) включает: *I* – конвейер с залитым расплавом безопочными формами; *II*, *III* – пневмотолкатели; *IV* – выбивная решётка; *V* – конвейер уборки отработанной формовочной смеси; *VI* – конвейер транспортировки отливок; *VII* – система управления.

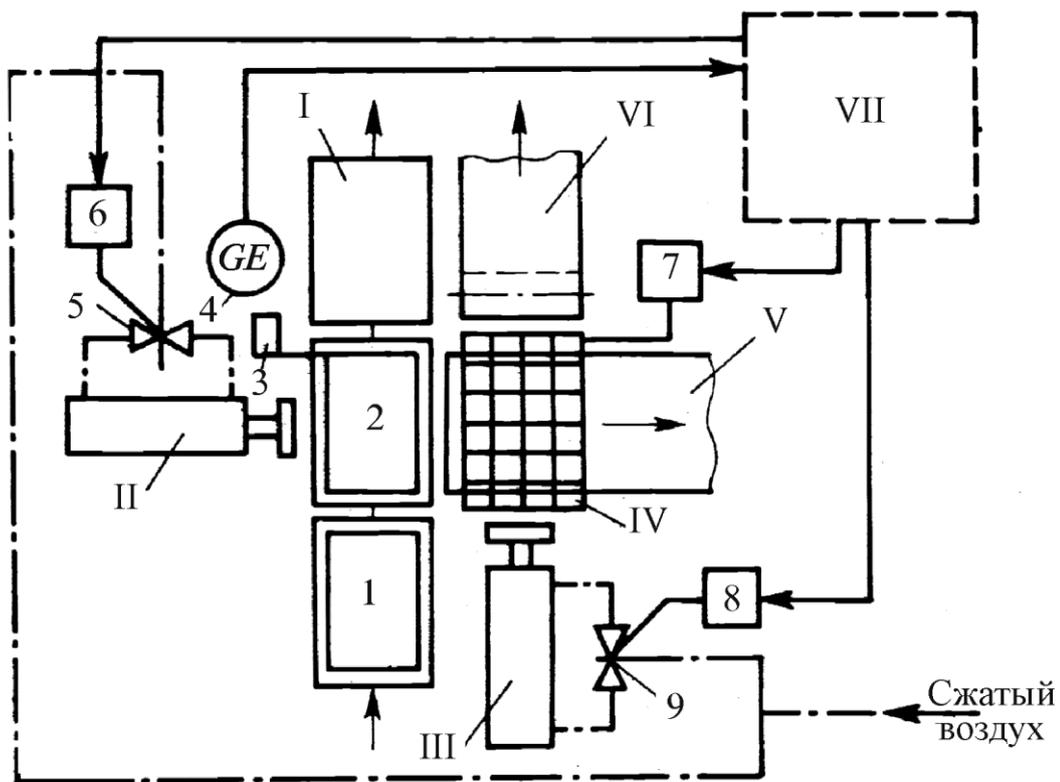


Рис. 91. Функциональная схема автоматизации выбивного комплекса

При входе металлического флажка 3 в активную зону бесконтактного путевого переключателя 4 генерируется электрический сигнал, посылаемый в систему управления. Система реагирует на это включением исполнительных механизмов в следующей последовательности:

– исполнительный механизм 6 с помощью пневмоклапана 5 открывает доступ сжатого воздуха в цилиндр пневмотолкателя II, перемещающего форму 2 с конвейера I на полотно выбивной решётки, после чего шток пневмотолкателя возвращается в исходное положение;

– включается на заданное время привод 7 решётки, вызывающий вибрацию последней;

– после истечения заданной выдержки времени привод 7 отключается, затем исполнительный механизм 8 с помощью пневмоклапана 9 направляет поток сжатого воздуха в цилиндр пневмотолкателя III для передачи выбитой отливки на конвейер VI. Отработанная смесь, проваливающаяся через зазоры выбивной решётки в результате разрушения форм и стержней, удаляется на участок регенерации с помощью конвейера V.

Управление очисткой отливок. Используется САУ следующим оборудованием (рис. 92): I – ленточный конвейер, подающий отливки от выбивной решётки; II – галтовочный барабан; III – ленточный конвейер уборки отходов; IV – передаточный конвейер; V – дробемётный барабан; VI – конвейер отправки очищенных отливок; VII, VIII – вентиляторы отсоса воздуха соответственно из галтовочного и дробемётного барабанов. Для обеспечения равномерной загрузки галтовочного барабана тензометрический преобразователь 1а воспринимает действие массы отливок на конвейере I и передаёт сигнал на вторичный измерительный прибор 1б. При отклонении сигнала от заданного значения данный прибор изменяет скорость привода 1в конвейера. Температура воздуха, отсасываемого из галтовочного барабана II вентилятором VII, измеряется термопарой 2а и электронным потенциометром 2б. При отклонении температуры от заданного значения выходное регулирующее устройство электронного потенциометра с помощью исполнительного механизма 2в и клапана 2е изменяет подачу воды в галтовочный барабан. Фотоэлектрический измерительный прибор 3 предназначен для контроля шероховатости поверхности отливок по интенсивности отражения направленного на отливки светового потока. Сигнал прибора вводится в АСУ ТП качества продукции и используется для ав-

томатической сигнализации неполадок в работе оборудования. Схема содержит датчики 4 массы отливок на выходном транспортёре VI и датчики 5 скорости движения ленты для учёта общей массы очищенных отливок в АСУ ТП. Для абразивной зачистки отливок целесообразно применение промышленных роботов.

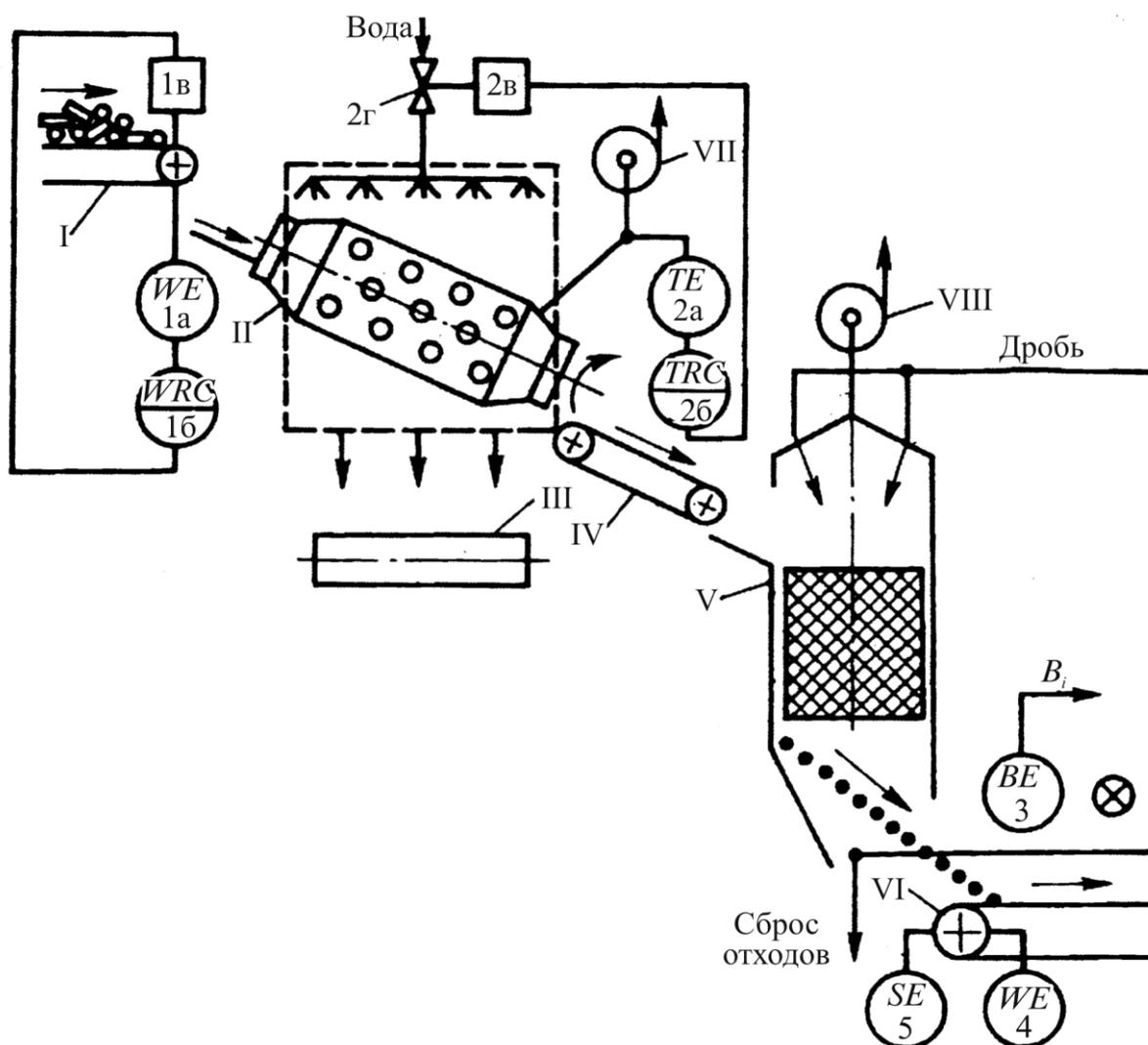


Рис. 92. Пример функциональной схемы автоматизации процесса очистки отливок

В п.2 приложения дана ссылка на источники информации, рассматривающие управление с обучением при автоматизации зачистки отливок.

9.7. Управление специальными литейными процессами

Специальные виды литья занимают важное место в производстве отливок и слитков и их роль возрастает в условиях повышения требований к качеству литой металлопродукции и по причине актуальности обеспечения эффективного производства отливок различной и оперативно меняющейся номенклатуры в умеренных объёмах, для которых традиционные процессы литья в песчано-глинистых формах оказываются слишком капиталоемкими и недостаточно эффективными. Наряду с совершенствованием технологии специальных видов литья интенсивно развивается оборудование соответствующих цехов в направлении создания и освоения автоматических комплексов и гибких производственных систем. В частности, указывалось на применение гибких производственных систем, построенных на модульном принципе, для производства отливок способом литья по выплавляемым моделям. В данном пособии мы ограничились рассмотрением вопросов управления такими распространёнными способами литья, как литьё под давлением и непрерывное литьё. Информацию по автоматизации и управлению для других специальных способов литья можно найти в литературных источниках, приведенных в п. 2 приложения.

9.7.1. Управление литьём под давлением

Для управления этим процессом используют различные системы:

- локальную САР температуры расплава в раздаточной печи (по двухпозиционному закону);
- САУ по жёсткой схеме циклическим процессом, включающим подачу расплава из раздаточной печи в машину (с применением объёмного дозирования магнитодинамическим насосом и манипулятором), снятие отливки манипулятором, обрубку облоя и литников, передачу облоя и литников на переплавку. В качестве

управляющего устройства может быть использован программируемый логический контроллер;

– АСУ ТП для обеспечения получения качественных отливок.

Задачей АСУ ТП является управление качеством отливки путём регулирования технологических параметров, влияющих на параметры качества. Необходимой технической предпосылкой создания такой АСУ ТП является построение математической модели, связывающей параметры качества отливки (массу, точность, герметичность, поверхностные дефекты, внутренние дефекты) с технологическими параметрами (температура заливки расплава, температура прессформы, скорость прессования, давление прессования и т.д.). Система управления должна включать комплекс датчиков и приборов для контроля технологических параметров и показателей качества отливок.

Возможны три варианта управления качеством отливок (рис. 93):

1) по варианту *I* – механизмы $M_1 - M_n$ машины для литья под давлением оснащаются системой преобразователей $D_1 - D_n$ контроля параметров технологического процесса, сигналы которых регистрируются на измерительном стенде ИС и поступают на регуляторы технологических параметров. Обычно это регуляторы скорости прессования и подпрессовки, продолжительности выдержки отливки в форме, температуры заливаемого сплава в пресс-формы и пресс-камеры. На основе заключения о показателях качества отливки оператор вырабатывает решение о необходимости изменения того или иного параметра технологического процесса и регулирует работу соответствующих механизмов $M_1 - M_n$ литейной машины или комплекса. Считается, что такой уровень управления качеством отливок наиболее приемлем для условий серийного многономенклатурного производства. Представляется, что такая система управления недостаточно эффективна, поскольку слишком велика нагрузка на оператора, который вынужден оперативно реагировать на изменения качества отливки на основе своего субъективного опыта;

2) по варианту *II* система управления включает ЭВМ, обрабатывающую сигналы контроля и выдающую управляющие команды на регуляторы механизмов машины для оптимизации параметров технологического процесса. На основе статистической обработки результатов контроля качества отливок разрабатываются математические модели связи показателей качества с параметрами технологического процесса. На основе таких моделей разрабатываются управляющие программы ЭВМ. Информация от датчиков $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$ в виде параметров технологического процесса через коммутатор и аналого-цифровой преобразователь АЦП₁ передаётся в ЭВМ и на основе введённой в неё программы вырабатываются команды на изменение того или иного параметра, а через коммутатор и цифро-аналоговый преобразователь АЦП₂ передаётся от ЭВМ управляющий сигнал на регуляторы $P_1 - P_n$ исполнительного механизма прессования машины (заметим, что здесь и ниже цифро-аналоговый преобразователь правильнее было бы обозначать ЦАП вместо АЦП);

3) вариант *III* включает систему контроля качества отливки (СККО), с помощью которой определяются численные значения целевых функций F_1, \dots, F_n показателей качества от параметров технологического процесса. ЭВМ на основе программы и математической модели технологического процесса, связывающей целевую функцию с постоянными и переменными (регулируемыми) параметрами, вырабатывает оптимальные значения регулируемых параметров и через систему обратной связи, включающую коммутатор K_2 и цифро-аналоговый преобразователь АЦП₂, передаёт команды на систему регуляторов P_1, \dots, P_n , управляющих исполнительными механизмами литейного комплекса. Отличием системы *III* от варианта *II* является непосредственное управление показателями качества отливки в режиме оптимального управления с использованием канала обратной связи. Это предопределяет повышенную сложность системы *III* при более высокой её эффективности.

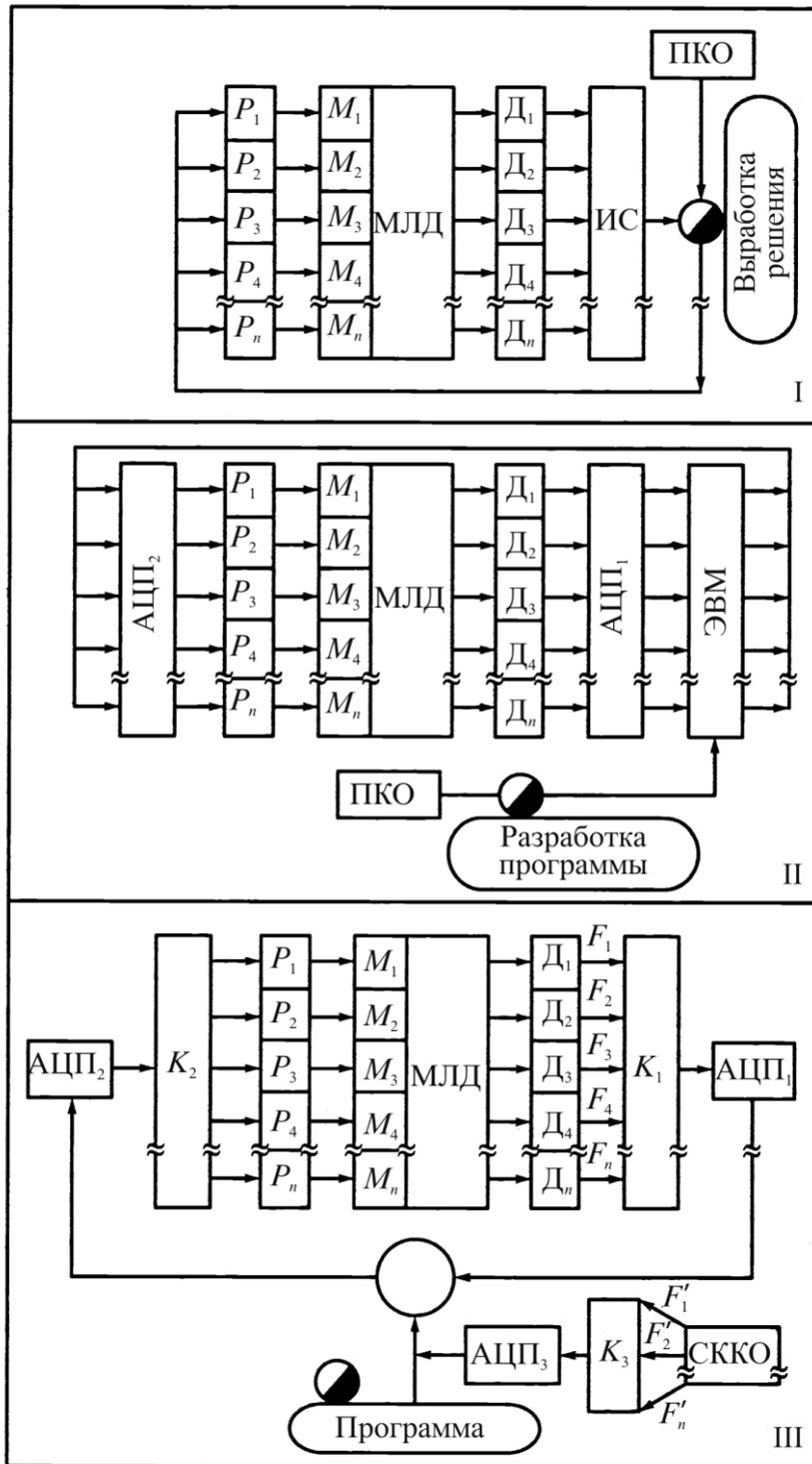


Рис. 93. Схемы автоматизации управления литьём под давлением:
 I, II, III – первый, второй и третий варианты схемы управления
 (по данным работы [25])

Считают системы управления II и III приемлемыми для условий крупносерийного и массового производства. Представляется, что следует стремиться к варианту III, в т.ч. и для многономенклатурного производства. При этом переход к эффективной си-

стеме управления требует предварительного создания ряда технических предпосылок: машина литья под давлением высокого технического уровня повышенной надёжности и с быстродействующими механизмами; надёжные и быстродействующие системы контроля технологических параметров и показателей качества отливок; математические модели, связывающие показатели качества отливок с параметрами технологического процесса. Создание таких предпосылок является комплексной задачей, решение которой зависит от совместной работы конструкторов и технологов.

Дополнительная информация по автоматизации и управлению литьём под давлением и другими специальными способами литья фасонных отливок содержится в источниках информации, приведенных в п.2 приложения.

9.7.2. Управление непрерывной разливкой стали

В процессе непрерывного литья стали (рис. 94) автоматически контролируется ряд параметров (табл. 23), часть которых подвергается автоматическому регулированию. Регулирование уровня расплава $H_{кр}$ в кристаллизаторе осуществляют управлением расходом расплава и скоростью вытягивания v .

Логика управления данным процессом основана на учёте и анализе отклонений скорости Δv и ускорения dv/dt (здесь t – время) в зависимости от предельно допустимых значений $\Delta v_{max} = \delta$ и $(dv/dt)_{max} = a$ (табл. 24).

При изменении скорости вытягивания слитка автоматически корректируется расход воды в кристаллизаторе. При отклонении уровня расплава в кристаллизаторе ускорению привода придаётся наибольшее значение.

При непрерывной разливке стали управлением охвачены:

– *гидравлический режим*, предусматривающий поддержание постоянного уровня металла в промежуточном ковше и в кристаллизаторе;

– *тепловой режим*, обеспечивающий получение достаточно толстой и прочной оболочки слитка на выходе из кристаллизатора;

– *управление вторичным охлаждением* с целью поддержания интенсивности теплоотвода на рациональном уровне, исключая появление трещин в слитке и его раздутие под действием внутреннего металлостатического давления;

– энергосиловой режим, предусматривающий стабилизацию усилия вытягивания на приемлемом уровне для исключения появления трещин на поверхности слитка.

В процессе управления автоматически контролируют температурные характеристики металла в сталеразливочном ковше, в проковше, воды в кристаллизаторе, поверхности слитка в зоне вторичного охлаждения, уровень металла в проковше и кристаллизаторе, расход охлаждающей воды в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения, усилие вытягивания слитка, скорость разливки, длину слитка.

Локальная САР для поддержания на заданном значении уровня металла в проковше путём управления стопором или шиберным затвором сталеразливочного ковша использует непрерывный или двухпозиционный регулятор и электрические или пневматические исполнительные механизмы. Поскольку изменение уровня основано на определении массы металла в проковше, в процессе разливки фактически поддерживается определённая масса металла в проковше.

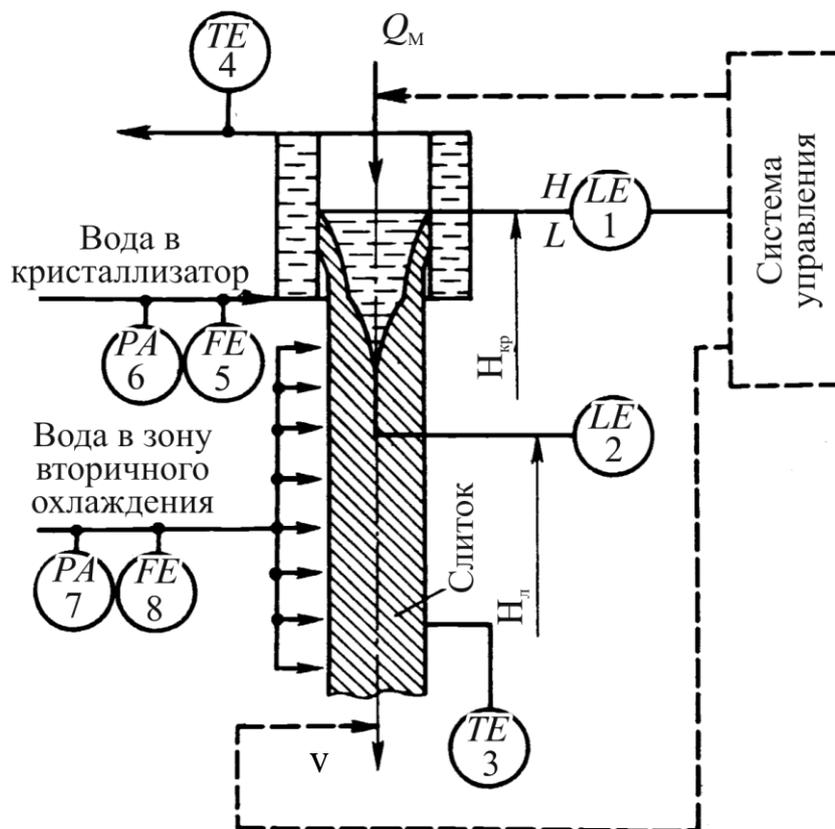


Рис. 94. Функциональная схема автоматизации процесса непрерывного литья (по В.В. Дембовскому)

**Регулируемые параметры процесса непрерывного литья
(см. рис. 94)**

Контролируемый параметр	Применяемые приборы
Уровень расплава в кристаллизаторе	Радиоизотопный уровнемер 1 или устройство, действующее по принципу изменения электропроводности шлака, находящегося над расплавом в кристаллизаторе
Глубина лунки	Ультразвуковой или радиационный уровнемер 2
Температура заливаемого в кристаллизатор расплава	Термопара в комплекте с электронным потенциометром или пирометр излучения
Скорость вытягивания слитка из кристаллизатора	Тахогенератор в системе привода
Давление воды, подаваемой в кристаллизатор	Пружинный манометр 6
Расход воды через кристаллизатор	Диафрагма, дифманометр 5, вторичный прибор
Расход воды в зоне вторичного охлаждения	Диафрагма, дифманометр 8, вторичный прибор
Давление воды в зоне вторичного охлаждения	Пружинный манометр 7
Температура поверхности слитка в зоне вторичного охлаждения	Яркостный пирометр 3
Положение конечной точки затвердевания	Ультразвуковое или радиоизотопное устройство
Длина заготовок	Специальное импульсное устройство
Температура воды на выходе из кристаллизатора	Термоэлектрический термометр 4

**Характеристика оптимальных управляющих воздействий
при непрерывном литье**

Возможные ситуации при регулировании уровня расплава в кристаллизаторе	Вероятное влияние на формирующийся непрерывный слиток	Рекомендуемое управляющее воздействие
$ \Delta v < \delta; \left \frac{dv}{dt} \right < a$ при $\delta < 0; a < 0$	–	Изменение скорости вытягивания слитка
$ \Delta v < \delta; \left \frac{dv}{dt} \right < a$	–	Медленное дополнительное воздействие на расход расплава в промежуточный ковш
$ \Delta v > \delta; \left \frac{dv}{dt} \right > a$ при $\delta > 0; a > 0$	Опасность обрыва слитка	Быстрое дополнительное воздействие на расход расплава в кристаллизатор
$ \Delta v > \delta; \left \frac{dv}{dt} \right > a$ при $\delta < 0; a < 0$	Опасность переохлаждения поверхности слитка	

В зависимости от изменения положения уровня металла в кристаллизаторе (рис. 95) меняется число импульсов, поступающих на галогенный счётчик от источника радиоактивного излучения, и измерительный преобразователь 1 формирует аналоговый сигнал, пропорциональный показателю уровня. Этот сигнал поступает в контроллер 2, управляющий с помощью исполнительного механизма стопором или шибберным затвором промковша и поддерживающий заданное значение уровня. Целесообразна комбинированная система управления уровнем по отклонению и возмущению.

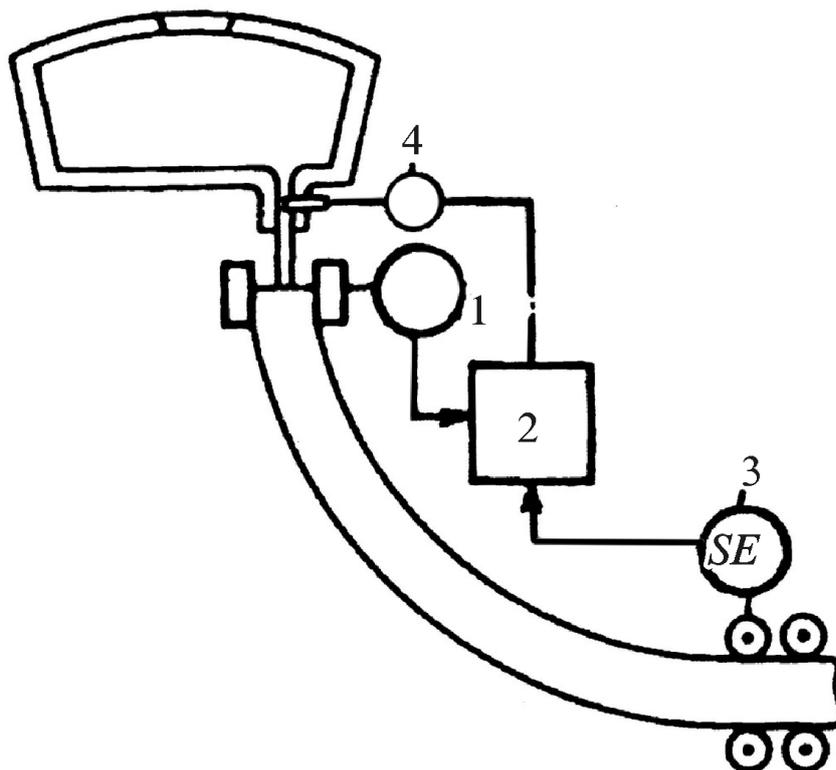


Рис. 95. Функциональная схема комбинированной системы управления уровнем металла в кристаллизаторе

Основные локальные системы контроля и управления показаны на функциональных схемах автоматизации (рис. 96 и 97). Они реализуются с использованием программируемых регулирующих контроллеров. Показанные варианты функциональных схем АСУ ТП МНЛЗ (машины непрерывного литья заготовок) наглядно отражают все основные системы контроля и управления, их связь с УВМ, пост оператора и его функции, схему передачи исходных данных по составу расплава и результатам анализа слитка в УВМ и оператору.

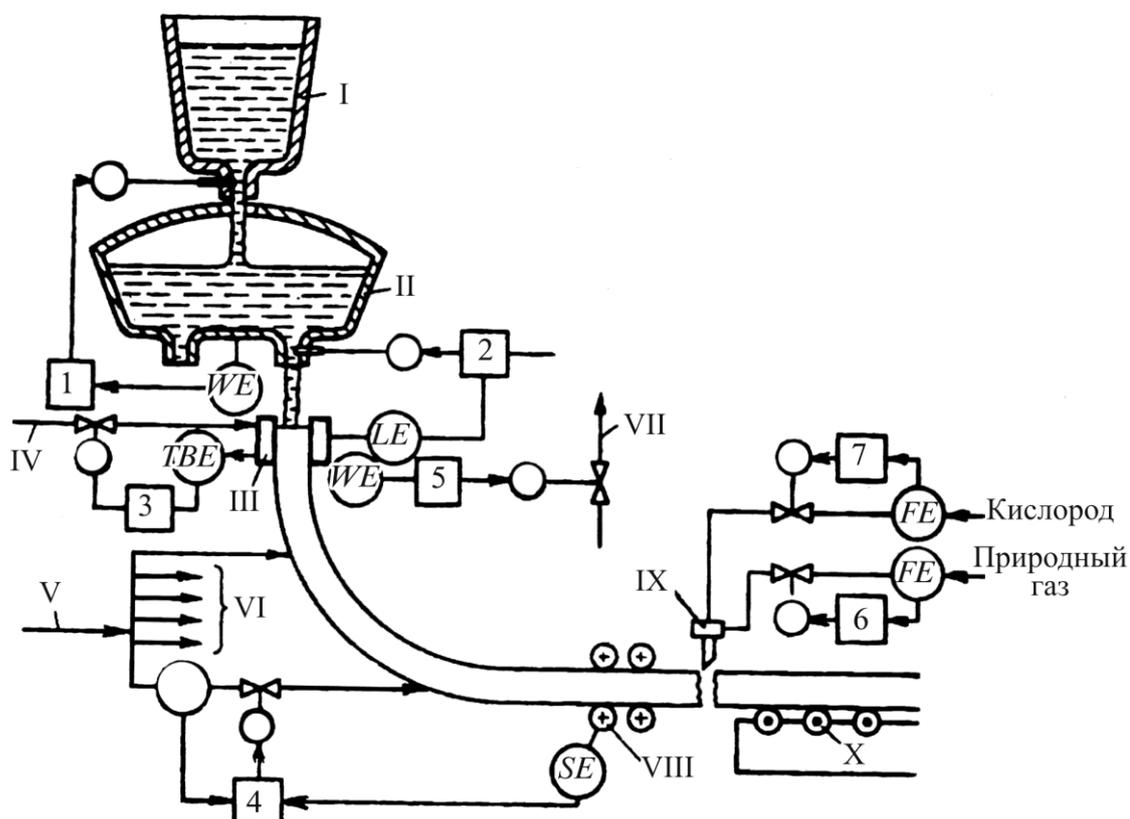


Рис. 96. Функциональная схема автоматизации МНЛЗ:
 I – сталеразливочный ковш; II – промежуточный ковш;
 III – кристаллизатор; IV – вода на охлаждение кристаллизатора;
 V – вода на вторичное охлаждение; VI – вода на секции вторичного
 охлаждения; VII – технологическая смазка в кристаллизатор;
 VIII – тянущие клетки; IX – газорезка; X – рольганг; 1 – регулирование
 уровня металла в промежуточном ковше; 2 – регулирование уровня
 металла в кристаллизаторе; 3 – регулирование теплового режима
 кристаллизатора; 4 – управление тепловым режимом секций вторичного
 охлаждения; 5 – регулирование подачи смазки в кристаллизатор;
 6 и 7 – стабилизация расхода природного газа и кислорода
 на газорезку (Глинков Г.М. и др., вариант №1)

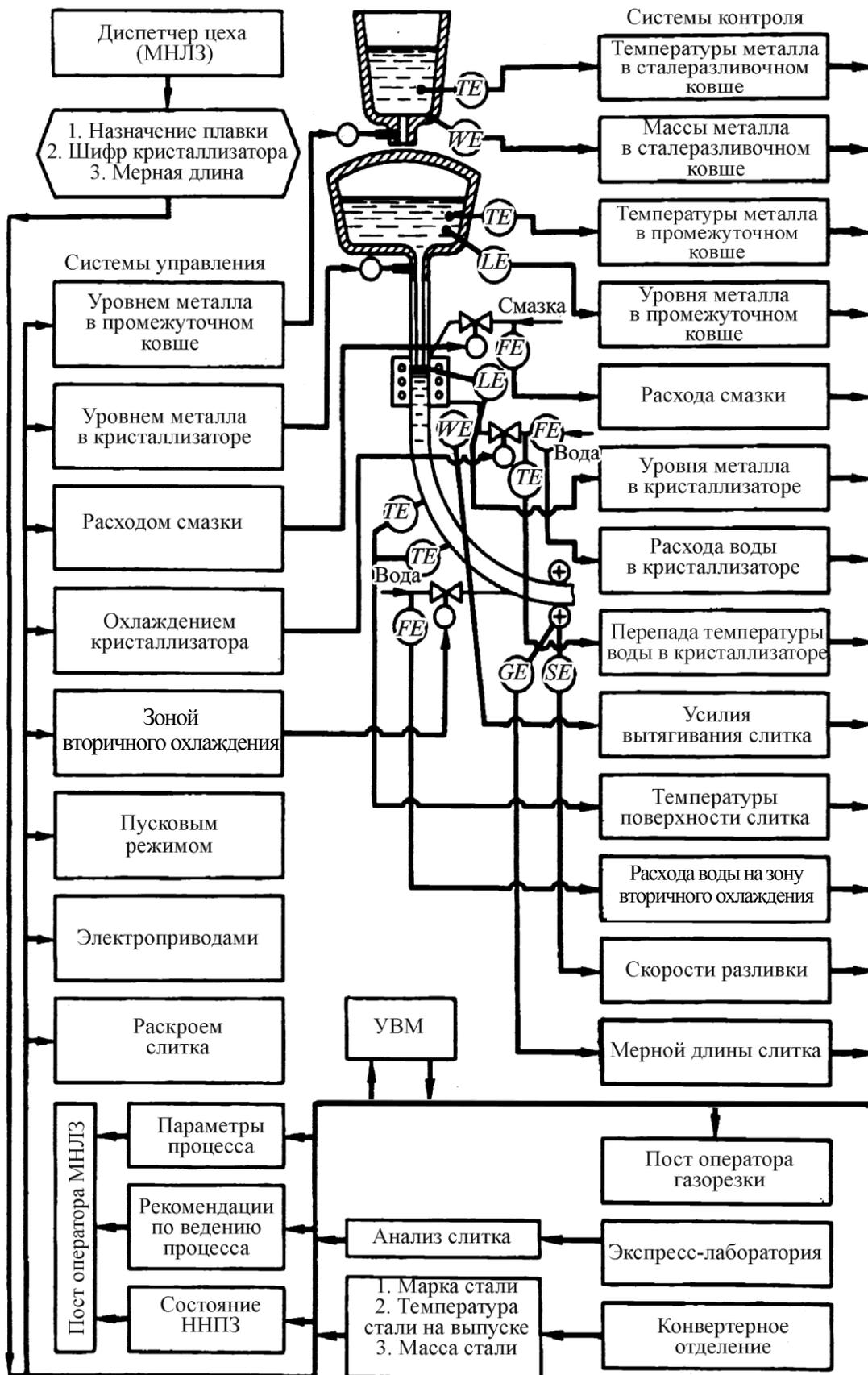


Рис. 97. Функциональная схема автоматизации процесса непрерывной разливки стали (Глишков Г.М. и др., вариант № 2)

Управление тепловым режимом кристаллизатора заключается в стабилизации перепада температур охлаждающей воды на выходе и входе в кристаллизатор (датчик 1) путём изменения расхода воды с помощью ПИ-регулятора (рис.98,99).

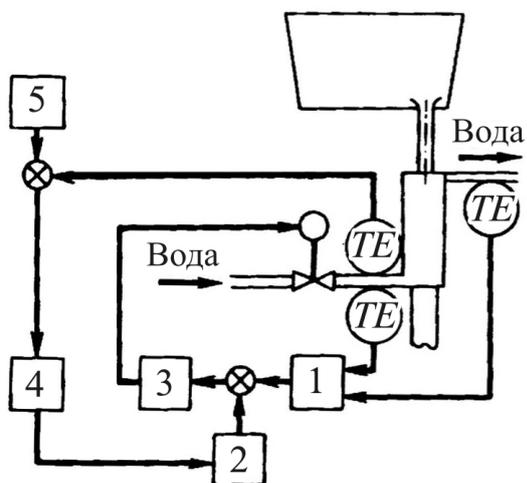


Рис. 98. Система управления тепловым режимом кристаллизатора с коррекцией по температуре охлаждающей воды

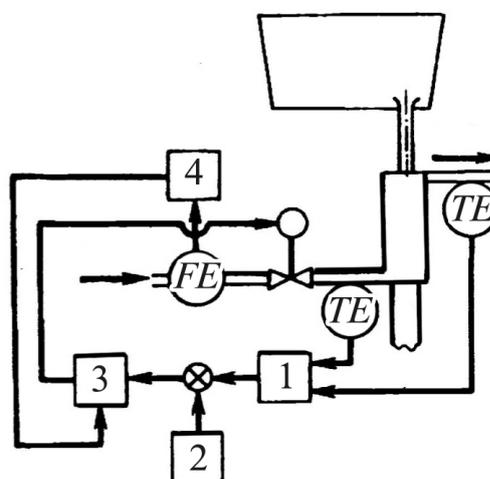


Рис. 99. Система управления тепловым режимом кристаллизатора по соотношению: перепад температуры – расход охлаждающей воды

Этот перепад задаётся максимально возможным по условиям отложения солей в кристаллизаторе с тем, чтобы обеспечить минимальный расход охлаждающей воды. Так как температура воды на входе в кристаллизатор может меняться существенно, то применяется автоматическая коррекция с помощью устройства 4 задания регулятору 3 в сторону уменьшения при повышении температуры воды (5 – задатчик расчётного значения температуры воды на входе).

Второй вариант управления тепловым режимом кристаллизатора связан с использованием соотношения перепад температуры–расход охлаждающей воды. Перепад температуры с датчика 1 и заданное значение этого перепада с задатчика 2 поступают в регулятор 3, куда поступает сигнал от датчика расхода охлаждающей воды 4. При отклонении температурного перепада от заданного значения регулятор соотношения 3 воздействует на клапан подачи охлаждающей воды в направлении ликвидации этого отклонения до некоторой величины, определяемой встречным сигналом от расходомера 4. Преимуществом такой системы управления является малая чувствительность к возмущениям по

расходу воды. В случае изменения подачи воды, связанного с изменением давления в трубопроводе, регулятор соотношения быстро восстанавливает нужный расход воды и при этом перепад температуры практически не меняется.

На МНЛЗ с относительно стабильной скоростью разливки можно стабилизировать расход охлаждающей воды, контролируя разность температур на входе и выходе из кристаллизатора. При отклонении перепада температур от заданного оператор вручную меняет задание регулятору расхода воды.

Для управления тепловым режимом зоны вторичного охлаждения (рис.100,101) используют варианты:

- 1) регулирование соотношения скорости разливки и расхода охлаждающей воды;
- 2) регулирование температуры поверхности слитка;
- 3) регулирование расхода охлаждающей воды с коррекцией по температуре поверхности слитка.

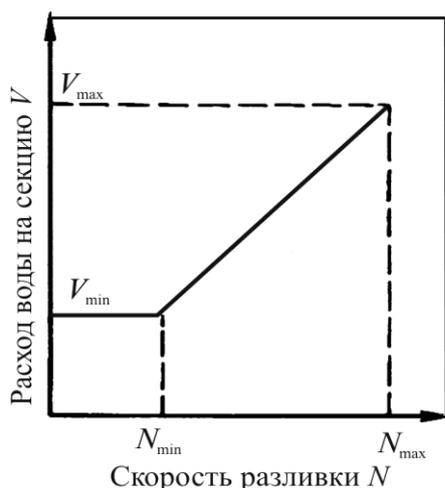


Рис. 100. Изменение расхода охлаждающей воды на секцию вторичного охлаждения в зависимости от скорости разливки

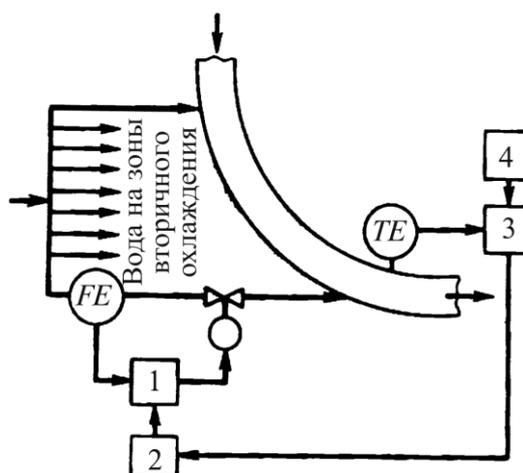


Рис. 101. Система управления тепловым режимом зоны вторичного охлаждения с коррекцией по температуре поверхности слитка

В первом варианте в каждой зоне вторичного охлаждения устанавливается свой диапазон расхода охлаждающей воды и коэффициент пропорциональности её скорости разливки. Система осуществляет для каждой секции вторичного охлаждения изменение расхода воды по жёсткой программе на основании общего сигнала, характеризующего скорость разливки (вытягивания

слитка). Программа для каждой секции разрабатывается на основании специальных исследований и имеет вид, показанный на рис.100. До определённой скорости разливки расход воды поддерживается на минимальном постоянном уровне, а в дальнейшем возрастает пропорционально скорости разливки. В последних секциях при скорости разливки менее определённого значения водяное охлаждение отсутствует.

Расчёт задания регулятору ЭВМ в соответствии с программой рис.100 осуществляется по одному из двух режимов: безинерционный и с расчётным запаздыванием. При безинерционном режиме изменение скорости разливки сопровождается немедленным изменением расхода воды по всем секциям зоны вторичного охлаждения. В режиме с расчётным запаздыванием изменение скорости разливки приводит к изменению расхода воды с некоторым запаздыванием, зависящим от установившегося значения скорости разливки.

Первый режим применяется при небольших, второй – при существенных изменениях скорости разливки.

Во втором варианте регулируется температура поверхности слитка, измеряемая цветовыми пирометрами после каждой секции зоны вторичного охлаждения. Управляющим воздействием служит расход охлаждающей воды, который изменяется регулятором при отклонении температуры поверхности слитка от заданного значения.

В третьем варианте предусмотрен режим автоматической стабилизации расхода воды на каждую секцию вторичного охлаждения и ручная установка заданий регуляторам расхода при изменении размеров заготовки, марки стали и пр. В этом случае целесообразно использовать автоматическую коррекцию задания по температуре поверхности слитка (рис.101), позволяющую учесть отклонение скорости разливки от номинального значения. Регулятор 1 стабилизирует расход воды на одну из зон вторичного охлаждения, регламентированный задающим устройством 2. Корректирующий прибор 3 в зависимости от отклонения температуры поверхности слитка, измеренной пирометром, от регламентированной задатчиком 4 корректирует задание регулятору 1. Корректирующее воздействие может вводиться в системы регулирования расхода воды на каждую зону вторичного охлаждения

на основании измерения температуры поверхности слитка в одной точке после всей зоны вторичного охлаждения.

Локальные САР построены на математических моделях, описывающих зависимости управляемых параметров от определяющих факторов.

АСУ ТП МНЛЗ является локальной системой интегрированной АСУ ТП сталеплавильного цеха. АСУ ТП МНЛЗ выполняет следующие функции:

- информационные и информационно-вычислительные;
- управляющие;
- вспомогательные (сигнализация отклонений от нормативных технологических параметров, накопление информации, регистрация предаварийных ситуаций, печать паспорта разливки и др.).

Важное место занимает *информационное обеспечение*.

Предусматривается комбинированный ввод информации в УВМ от датчиков и путём ручного ввода оператором. Входная информация подразделяется на исходную и текущую (динамическую).

Схема передачи информации в АСУ ТП непрерывной разливки стали показана на рис. 102.



Рис. 102. Схема информационных потоков в АСУ ТП непрерывной разливки стали

9.7.3. Управление непрерывным литьём цветных и драгоценных металлов и сплавов

Системы управления процессами непрерывного литья цветных и драгоценных металлов и сплавов до сих пор практически не описаны в учебной литературе. Применительно к вертикальному непрерывному литью слитков цветных металлов и сплавов в автономные кристаллизаторы возможно использование опыта построения соответствующих систем для непрерывной разливки стали. Отдельные примеры АСУ ТП полунепрерывного литья слитков алюминия (для предприятий ОАО «САЗ» и ОАО «КрАЗ») приведены в Интернете.

Установки вертикального и горизонтального непрерывного литья заготовок цветных и драгоценных металлов и сплавов, построенные на принципе вытягивания из расплава (миксера-металлоприёмника), обычно снабжаются системой контроля и управления, в т.ч. режимом периодического вытягивания заготовок. Эти системы могут быть идентифицированы как САУ, работающие по жёсткой программе. При этом в качестве управляющих устройств используются программируемые логические контроллеры. Для визуального отображения режимных параметров используют панели операторов. Конкретные сведения по этим системам в литературе практически отсутствуют и встречаются иногда в рекламных проспектах фирм–производителей установок.

Контрольные вопросы к главе 9

1. Опишите особенности и локальные системы управления ваграночной плавкой.
2. Перечислите задачи управления дуговой плавкой и локальные подсистемы управления.
3. Опишите особенности управления электрическим режимом дуговой плавки.
4. В чём заключается целевая функция управления смесеприготовлением?
5. Назовите приоритетный критерий управления качеством смеси.
6. Опишите входные и выходные параметры процесса смесеприготовления.

7. Какие факторы вызывают возмущения в системе смесеприготовления?

8. Какой тип управления используется для комбинированного агрегата (дозатор+смеситель), и какие функции выполняет система управления?

9. Перечислите варианты регулирования расходов компонентов в смесителях непрерывного действия.

10. Какие контрольные функции выполняются при управлении смесеприготовлением?

11. Опишите варианты САР смесеприготовления.

12. Опишите особенности процессов управления выбивкой и очисткой отливок.

13. Назовите варианты систем управления, применяемых для литья под давлением.

14. Опишите предпосылки использования АСУ ТП литья под давлением.

15. Перечислите регулируемые параметры процесса непрерывного литья стали в АСУ ТП МНЛЗ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пособии в систематизированной форме изложены вопросы автоматизации и управления литейным производством. Последовательно изложены базовые понятия автоматизации и управления, рассмотрены в порядке усложнения системы автоматического регулирования (САР), системы автоматического управления (САУ) и автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП). Рассмотрены вопросы элементной базы систем регулирования и управления. Изложены особенности построения и функционирования систем регулирования и управления для важнейших технологических переделов литейного производства как для традиционных, так и для специальных способов литья.

В отличие от ранее выпущенных пособий аналогичного назначения дополнительно рассмотрены: основы информационного обеспечения и разновидности сигналов, применяемых в системах управления; процедура разработки систем автоматизированного управления и роль специалиста-литейщика в подготовке исходных данных для разработки соответствующих систем; систематизация схемных отображений, применяемых в системах управления; новый подход к выбору целевой функции АСУ ТП на основе управления интегральным показателем – конкурентоспособностью продукции предприятия; новая информация по интегрированию АСУ ТП в современной автоматизированной системе управления производством (АСУП); новейшие сведения по применению информационных технологий в автоматизированной системе управления производством и технологическими процессами.

Показано, что современное состояние вычислительной техники и программирования создаёт технические предпосылки для перехода от систем более низкого уровня (САР, САУ) к АСУ ТП основных технологических переделов литейного производства. Для реализации этих предпосылок важнейшее значение имеет разработка эффективных математических моделей технологических процессов литейного производства, что является приоритет-

ной задачей специалистов по литейному производству. Перспективно усиление взаимодействия технологов-литейщиков и конструкторов литейного оборудования с разработчиками систем управления для успешного решения задач управления литейным производством. При этом важное значение имеет дальнейшее развитие автоматических комплексов и гибких производственных систем литейного производства.

Пособие позволяет студенту получить целостное и систематизированное представление об основах автоматизации и управления литейным производством, что создаёт предпосылки для последующей успешной практической работы, связанной с эксплуатацией и развитием систем управления при производстве отливок и слитков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пирожников В.Е., Каблуковский А.Ф. Автоматизация контроля и управления электросталеплавильными установками. – М.: Металлургия, 1974. – 208 с.
2. Краснов Б.И. Оптимальное управление режимами непрерывной разливки стали. – М.: Металлургия, 1975. – 312 с.
3. Средства и системы автоматизации литейного производства / К.С. Богдан, В. Н. Горбенко, В. М. Денисенко, Ю.П. Каширин. – М.: Машиностроение, 1981. – 272 с.
4. Стефани Е.П. Основы построения АСУ ТП: учебное пособие для вузов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 352 с.
5. Давиденко К.Я. Технология программирования АСУ ТП. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 184 с.
6. Дембовский В.В. Автоматизация литейных процессов: // Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1989. – 264 с.
7. Староверов А.Г. Основы автоматизации производства: учебник для сред. учеб. заведений. – М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.
8. Родионов В.Д. Терехов В.А. Яковлев В.Б. Технические средства АСУ ТП: учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1989. – 263 с.
9. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие / А.С. Ключев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Ключев; под ред. А.С. Ключева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
10. Глинков Г.М., Маковский В.А. АСУ ТП в чёрной металлургии: учебник для вузов. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Металлургия, 2001. – 310 с.
11. Дембовский В.В. Автоматизация управления производством: учебное пособие. – СПб.: СЗТУ, 2004. – 81 с.
12. Новиков В.П. Автоматизация литейного производства. Ч.1: Управление литейными процессами: учебное пособие. – М.: МГИУ, 2005. – 292 с.
13. Рачков М.Ю. Оптимальное управление детерминированными и стохастическими системами: учебное пособие. – М.: МГИУ, 2005. – 136 с.

14. Рачков М.Ю. Технические средства автоматизации: учебник. – М.: МГИУ, 2006. – 185 с.

15. Новиков В.П. Управление техническими системами литейного производства: учебное пособие. – М.: МАСИ (ВТУЗ-ЗИЛ), 1995. – 138 с.

16. Головин В.Ф., Резчиков Е.А. Применение промышленных роботов для автоматизации литейного производства: методическая разработка. – М.; ЗАВОД-ВТУЗ-ЗИЛ, 1978. – 17 с.

17. Новиков В.П. Разработка функциональной схемы системы автоматизации технологического процесса: методические указания к выполнению курсовой работы. – М.: ВТУЗ-ЗИЛ, 1989. – 36 с.

18. Технология литейного производства: Специальные виды литья: учебник для вузов / Э.Ч. Гини, А.М. Зарубин, В.А. Рыбкин; под ред. В.А. Рыбкина. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 352 с.

19. Каширцев Л.П. Литейные машины. Литьё в металлические формы. – М.: Машиностроение, 2005. – 368 с.

20. Лузгин В.И., Петров А.Ю., Фаерман Л.И. Индукционные печи средней частоты нового поколения.

21. Машиностроение. Энциклопедия. Том 4. Машины и оборудование кузнечно-штамповочного и литейного производства / Ю.А. Бочаров, И.В. Матвеев и др. – М.: Машиностроение, 2005. – 926 с.

22. Шуляк В.С. Автоматические комплексы в литейном производстве. – М.: МГИУ, 2008. – 132 с.

23. Рекламный проспект компании «Аусферр» «IT-решения для металлургической промышленности» // 4-я специализированная конф. IT для предприятий металлургии: сокращение затрат и антикризисные проекты. // Металлоснабжение и сбыт, ноябрь 2009 г.

24. Рекламный проспект компании «Аусферр» «Комплекс управления технологией и качеством металлопродукции». 5-я специализированная конф. «IT для предприятий металлургии: планирование инвестиций и восстановление экономики». // Металлоснабжение и сбыт, октябрь 2010 г.

25. Специальные технологии литья: учебник для вузов / Э.Ч. Гини, А.М. Зарубин, В.А. Рыбкин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 367 с.

1. Выдержки из ГОСТ 34.602-89 «Техническое задание на создание автоматизированной системы»

2.1. ТЗ на АС содержит следующие разделы, которые могут быть разделены на подразделы:

- 1) общие сведения;
- 2) назначение и цели создания (развития) системы;
- 3) характеристика объектов автоматизации;
- 4) требования к системе;
- 5) состав и содержание работ по созданию системы;
- 6) порядок контроля и приемки системы;
- 7) требования к составу и содержанию работ по подготовке объекта автоматизации к вводу системы в действие;
- 8) требования к документированию;
- 9) источники разработки.

В ТЗ на АС могут включаться приложения.

2.2. В зависимости от вида, назначения, специфических особенностей объекта автоматизации и условий функционирования системы допускается оформлять разделы ТЗ в виде приложений, вводить дополнительные, исключать или объединять подразделы ТЗ.

В ТЗ на части системы не включают разделы, дублирующие содержание разделов ТЗ на АС в целом.

2.3. В разделе «Общие сведения» указывают:

- 1) полное наименование системы и ее условное обозначение;
- 2) шифр темы или шифр (номер) договора;
- 3) наименование предприятий (объединений) разработчика и заказчика (пользователя) системы и их реквизиты;
- 4) перечень документов, на основании которых создается система, кем и когда утверждены эти документы;
- 5) плановые сроки начала и окончания работы по созданию системы;
- 6) сведения об источниках и порядке финансирования работ;
- 7) порядок оформления и предъявления заказчику результатов работ по созданию системы (ее частей), по изготовлению и

наладке отдельных средств (технических, программных, информационных) и программно-технических (программно-методических) комплексов системы.

2.4. Раздел «Назначение и цели создания (развития) системы» состоит из подразделов:

- 1) назначение системы;
- 2) цели создания системы.

2.4.1. В подразделе «Назначение системы» указывают вид автоматизируемой деятельности (управление, проектирование и т. п.) и перечень объектов автоматизации (объектов), на которых предполагается ее использовать.

Для АСУ дополнительно указывают перечень автоматизируемых органов (пунктов) управления и управляемых объектов.

2.4.2. В подразделе «Цели создания системы» приводят наименования и требуемые значения технических, технологических, производственно-экономических или других показателей объекта автоматизации, которые должны быть достигнуты в результате создания АС, и указывают критерии оценки достижения целей создания системы.

2.5. В разделе «Характеристики объекта автоматизации» приводят:

- 1) краткие сведения об объекте автоматизации или ссылки на документы, содержащие такую информацию;
- 2) сведения об условиях эксплуатации объекта автоматизации и характеристиках окружающей среды.

Примечание: для САПР в разделе дополнительно приводят основные параметры и характеристики объектов проектирования.

2.6. Раздел «Требования к системе» состоит из следующих подразделов:

- 1) требования к системе в целом;
- 2) требования к функциям (задачам), выполняемым системой;
- 3) требования к видам обеспечения.

Состав требований к системе, включаемых в данный раздел ТЗ на АС, устанавливают в зависимости от вида, назначения, специфических особенностей и условий функционирования конкретной системы. В каждом подразделе приводят ссылки на действующие НТД, определяющие требования к системам соответствующего вида.

- 2.6.1. В подразделе «Требования к системе в целом» указывают:
- требования к структуре и функционированию системы;
 - требования к численности и квалификации персонала системы и режиму его работы;
 - показатели назначения;
 - требования к надежности;
 - требования безопасности;
 - требования к эргономике и технической эстетике;
 - требования к транспортабельности для подвижных АС;
 - требования к эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту и хранению компонентов системы;
 - требования к защите информации от несанкционированного доступа;
 - требования по сохранности информации при авариях;
 - требования к защите от влияния внешних воздействий;
 - требования к патентной чистоте;
 - требования по стандартизации и унификации;
 - дополнительные требования.

2.6.1.1. В требованиях к структуре и функционированию системы приводят:

- 1) перечень подсистем, их назначение и основные характеристики, требования к числу уровней иерархии и степени централизации системы;
- 2) требования к способам и средствам связи для информационного обмена между компонентами системы;
- 3) требования к характеристикам взаимосвязей создаваемой системы со смежными системами, требования к ее совместимости, в том числе указания о способах обмена информацией (автоматически, пересылкой документов, по телефону и т. п.);
- 4) требования к режимам функционирования системы;
- 5) требования по диагностированию системы;
- 6) перспективы развития, модернизации системы.

2.6.1.2. В требованиях к численности и квалификации персонала на АС приводят:

- требования к численности персонала (пользователей) АС;
- требования к квалификации персонала, порядку его подготовки и контроля знаний и навыков;
- требуемый режим работы персонала АС.

2.6.1.3. В требованиях к показателям назначения АС приводят значения параметров, характеризующие степень соответствия системы ее назначению.

Для АСУ указывают:

- степень приспособляемости системы к изменению процессов и методов управления, к отклонениям параметров объекта управления;
- допустимые пределы модернизации и развития системы;
- вероятностно-временные характеристики, при которых сохраняется целевое назначение системы.

2.6.1.4. В требования к надежности включают:

- 1) состав и количественные значения показателей надежности для системы в целом или ее подсистем;
- 2) перечень аварийных ситуаций, по которым должны быть регламентированы требования к надежности, и значения соответствующих показателей;
- 3) требования к надежности технических средств и программного обеспечения;
- 4) требования к методам оценки и контроля показателей надежности на разных стадиях создания системы в соответствии с действующими нормативно-техническими документами.

2.6.1.5. В требования по безопасности включают требования по обеспечению безопасности при монтаже, наладке, эксплуатации, обслуживании и ремонте технических средств системы (защита от воздействий электрического тока, электромагнитных полей, акустических шумов и т. п.), по допустимым уровням освещенности, вибрационных и шумовых нагрузок.

2.6.1.6. В требования по эргономике и технической эстетике включают показатели АС, задающие необходимое качество взаимодействия человека с машиной и комфортность условий работы персонала.

2.6.1.7. Для подвижных АС в требования к транспортабельности включают конструктивные требования, обеспечивающие транспортабельность технических средств системы, а также требования к транспортным средствам.

2.6.1.8. В требования к эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту и хранению включают:

1) условия и регламент (режим) эксплуатации, которые должны обеспечивать использование технических средств (ТС) системы с заданными техническими показателями, в том числе виды и периодичность обслуживания ТС системы или допустимость работы без обслуживания;

2) предварительные требования к допустимым площадям для размещения персонала и ТС системы, к параметрам сетей энерго-снабжения и т. п.;

3) требования по количеству, квалификации обслуживающего персонала и режимам его работы;

4) требования к составу, размещению и условиям хранения комплекта запасных изделий и приборов;

5) требования к регламенту обслуживания.

2.6.9. В требования к защите информации от несанкционированного доступа включают требования, установленные в НТД, действующей в отрасли (ведомстве) заказчика.

2.6.1.10. В требованиях по сохранности информации приводят перечень событий: аварий, отказов технических средств (в том числе – потеря питания) и т. п., при которых должна быть обеспечена сохранность информации в системе.

2.6.1.11. В требованиях к средствам защиты от внешних воздействий приводят:

1) требования к радиоэлектронной защите средств АС;

2) требования по стойкости, устойчивости и прочности к внешним воздействиям (среде применения).

2.6.1.12. В требованиях по патентной чистоте указывают перечень стран, в отношении которых должна быть обеспечена патентная чистота системы и ее частей.

2.6.1.13. В требования к стандартизации и унификации включают: показатели, устанавливающие требуемую степень использования стандартных, унифицированных методов реализации функций (задач) системы, поставляемых программных средств, типовых математических методов и моделей, типовых проектных решений, унифицированных форм управленческих документов, установленных ГОСТ 6.10.1, общесоюзных классификаторов технико-экономической информации и классификаторов других категорий в соответствии с областью их применения, требования

к использованию типовых автоматизированных рабочих мест, компонентов и комплексов.

2.6.1.14. В дополнительные требования включают:

1) требования к оснащению системы устройствами для обучения персонала (тренажерами, другими устройствами аналогичного назначения) и документацией на них;

2) требования к сервисной аппаратуре, стендам для проверки элементов системы;

3) требования к системе, связанные с особыми условиями эксплуатации;

4) специальные требования по усмотрению разработчика или заказчика системы.

2.6.2. В подразделе «Требование к функциям (задачам)», выполняемым системой, приводят:

1) по каждой подсистеме перечень функций, задач или их комплексов (в том числе обеспечивающих взаимодействие частей системы), подлежащих автоматизации;

при создании системы в две или более очереди – перечень функциональных подсистем, отдельных функций или задач, вводимых в действие в 1-й и последующих очередях;

2) временной регламент реализации каждой функции, задачи (или комплекса задач);

3) требования к качеству реализации каждой функции (задачи или комплекса задач), к форме представления выходной информации, характеристики необходимой точности и времени выполнения, требования одновременности выполнения группы функций, достоверности выдачи результатов;

4) перечень и критерии отказов для каждой функции, по которой задаются требования по надежности.

2.6.3. В подразделе «Требования к видам обеспечения» в зависимости от вида системы приводят требования к математическому, информационному, лингвистическому, программному, техническому, метрологическому, организационному, методическому и другим видам обеспечения системы.

2.6.3.1. Для математического обеспечения системы приводят требования к составу, области применения (ограничения) и спо-

собам, использования в системе математических методов и моделей, типовых алгоритмов и алгоритмов, подлежащих разработке.

2.6.3.2. Для информационного обеспечения системы приводят требования:

1) к составу, структуре и способам организации данных в системе;

2) к информационному обмену между компонентами системы;

3) к информационной совместимости со смежными системами;

4) по использованию общесоюзных и зарегистрированных республиканских, отраслевых классификаторов, унифицированных документов и классификаторов, действующих на данном предприятии;

5) по применению систем управления базами данных;

6) к структуре процесса сбора, обработки, передачи данных в системе и представлению данных;

7) к защите данных от разрушений при авариях и сбоях в электропитании системы;

8) к контролю, хранению, обновлению и восстановлению данных;

9) к процедуре придания юридической силы документам, продуцируемым техническими средствами АС (в соответствии с ГОСТ 6.10.4).

2.6.3.3. Для лингвистического обеспечения системы приводят требования к применению в системе языков программирования высокого уровня, языков взаимодействия пользователей и технических средств системы, а также требования к кодированию и декодированию данных, к языкам ввода-вывода данных, языкам манипулирования данными, средствам описания предметной области (объекта автоматизации), к способам организации диалога.

2.6.3.4. Для программного обеспечения системы приводят перечень покупных программных средств, а также требования:

1) к независимости программных средств от используемых СВТ и операционной среды;

2) к качеству программных средств, а также к способам его обеспечения и контроля;

3) по необходимости согласования вновь разрабатываемых программных средств с фондом алгоритмов и программ.

2.6.3.5. Для технического обеспечения системы приводят требования:

1) к видам технических средств, в том числе к видам комплексов технических средств, программно-технических комплексов и других комплектующих изделий, допустимых к использованию в системе;

2) к функциональным, конструктивным и эксплуатационным характеристикам средств технического обеспечения системы.

2.6.3.6. В требованиях к метрологическому обеспечению приводят:

1) предварительный перечень измерительных каналов;

2) требования к точности измерений параметров и (или) к метрологическим характеристикам измерительных каналов;

3) требования к метрологической совместимости технических средств системы;

4) перечень управляющих и вычислительных каналов системы, для которых необходимо оценивать точностные характеристики;

5) требования к метрологическому обеспечению технических и программных средств, входящих в состав измерительных каналов системы, средств, встроенного контроля, метрологической пригодности измерительных каналов и средств измерений, используемых при наладке и испытаниях системы;

6) вид метрологической аттестации (государственная или ведомственная) с указанием порядка ее выполнения и организаций, проводящих аттестацию.

2.6.3.7. Для организационного обеспечения приводят требования:

1) к структуре и функциям подразделений, участвующих в функционировании системы или обеспечивающих эксплуатацию;

2) к организации функционирования системы и порядку взаимодействия персонала АС и персонала объекта автоматизации;

3) к защите от ошибочных действий персонала системы.

2.6.3.8. Для методического обеспечения САПР приводят требования к составу нормативно-технической документации системы (перечень применяемых при ее функционировании стандартов, нормативов, методик и т. п.).

2.7. Раздел «Состав и содержание работ по созданию (развитию) системы» должен содержать перечень стадий и этапов работ по созданию системы в соответствии с ГОСТ 24.601, сроки их выполнения, перечень организаций – исполнителей работ, ссылки на документы, подтверждающие согласие этих организаций на участие в создании системы, или запись, определяющую ответственного (заказчик или разработчик) за проведение этих работ.

В данном разделе также приводят:

1) перечень документов, по ГОСТ 34.201-89, предъявляемых по окончании соответствующих стадий и этапов работ;

2) вид и порядок проведения экспертизы технической документации (стадия, этап, объем проверяемой документации, организация-эксперт);

3) программу работ, направленных на обеспечение требуемого уровня надежности разрабатываемой системы (при необходимости);

4) перечень работ по метрологическому обеспечению на всех стадиях создания системы с указанием их сроков выполнения и организаций-исполнителей (при необходимости).

2.8. В разделе «Порядок контроля и приемки системы» указывают:

1) виды, состав, объем и методы испытаний системы и ее составных частей (виды испытаний в соответствии с действующими нормами, распространяющимися на разрабатываемую систему);

2) общие требования к приемке работ по стадиям (перечень участвующих предприятий и организаций, место и сроки проведения), порядок согласования и утверждения приемочной документации;

3) статус приемочной комиссии (государственная, межведомственная, ведомственная).

2.9. В разделе «Требования к составу и содержанию работ по подготовке объекта автоматизации к вводу системы в действие»

необходимо привести перечень основных мероприятий и их исполнителей, которые следует выполнить при подготовке объекта автоматизации к вводу АС в действие.

В перечень основных мероприятий включают:

1) приведение поступающей в систему информации (в соответствии с требованиями к информационному и лингвистическому обеспечению) к виду, пригодному для обработки с помощью ЭВМ;

2) изменения, которые необходимо осуществить в объекте автоматизации;

3) создание условий функционирования объекта автоматизации, при которых гарантируется соответствие создаваемой системы требованиям, содержащимся в ТЗ;

4) создание необходимых для функционирования системы подразделений и служб;

5) сроки и порядок комплектования штатов и обучения персонала.

Например, для АСУ приводят:

- изменения применяемых методов управления;
- создание условий для работы компонентов АСУ, при которых гарантируется соответствие системы требованиям, содержащимся в ТЗ.

2.10. В разделе «Требования к документированию» приводят:

1) согласованный разработчиком и Заказчиком системы перечень подлежащих разработке комплектов и видов документов, соответствующих требованиям ГОСТ 34.201-89 и НТД отрасли заказчика; перечень документов, выпускаемых на машинных носителях; требования к микрофильмированию документации;

2) требования по документированию комплектующих элементов межотраслевого применения в соответствии с требованиями ЕСКД и ЕСПД;

3) при отсутствии государственных стандартов, определяющих требования к документированию элементов системы, дополнительно включают требования к составу и содержанию таких документов.

2.11. В разделе «Источники разработки» должны быть перечислены документы и информационные материалы (технико-экономическое обоснование, отчеты о законченных научно-исследовательских работах, информационные материалы на отечественные, зарубежные системы-аналоги и др.), на основании которых разрабатывалось ТЗ и которые должны быть использованы при создании системы.

2.12. В состав ТЗ на АС при наличии утвержденных методик включают приложения, содержащие:

- 1) расчет ожидаемой эффективности системы;
- 2) оценку научно-технического уровня системы.

Приложения включают в состав ТЗ на АС по согласованию между разработчиком и заказчиком системы.

2. Справочные рекомендации по поиску дополнительных материалов в литературных источниках

В данном разделе приводятся ссылки (табл. 25) на дополнительные материалы, ознакомление с которыми в соответствующих литературных источниках позволит расширить представления по тем или иным вопросам, рассмотренным в настоящей работе.

Дополнительные материалы и литературные источники

№пп	Тема	Автор	Название книги	Стр.
1	2	3	4	5
1	Идентификация текущего режима плавки в дуговой печи и априорная вероятность	Новиков В.П.	Автоматизация литейного производства, ч.1. М., МГИУ, 2005.	237-241
2	Автоматизация зачистки отливок - управление с обучением	-«-	-«-	241-243
3	Управление формированием оболочковой формы на основе математической модели процесса	-«-	-«-	245-251
4	Управление получением стержней на пескострельной машине (с отверждением продувкой газообразным катализатором); структурная схема оборудования для производства стержней; структурная схема технологического процесса производства стержней	-«-	-«-	162-168; 174-182 163 164
5	Циклограммы и граф-схемы алгоритма управления циклическим процессом	-«-	-«-	27-39

1	2	3	4	5
6	Устойчивость САР	Новиков В.П. Дембовский В.В.	Управление техническими системами литейного производства. М.,МАСИ (ВТУЗ-ЗИЛ), 1995. Автоматизация управления производством. Учебное пособие.- СПб.:СЗТУ,2004. Интернет.	65-69 35-42
7	Алгоритмы управления	Новиков В.П.	Управление техническими системами литейного производства. М.,МАСИ (ВТУЗ-ЗИЛ), 1995.	115-135
8	Примеры функциональных схем автоматизации локальных САР	Новиков В.П.	Автоматизация литейного производства, ч.1. М.,МГИУ,2005.	148-154
9	Промышленные манипуляторы, роботы и роботизированные системы	Староверов А.Г. Дембовский В.В.	М.,Машиностроение,1989. Автоматизация управления производством. Учебное пособие.- СПб.:СЗТУ,2004. Интернет.	270-304 48-51
10	Автоматизация смесеприготовления	Ю.А. Бочаров, И.В. Матвеев и др.	Машиностроение. Энциклопедия. Том 1V-4. Машины и оборудование кузнечно-штамповочного и литейного производства. -М.: Машиностроение, 2005. -926 с.	885-888

1	2	3	4	5
11	Автоматизация специальных способов литья:	-«-	-«-	904-909
	литьё под давлением,	- «-	- «-	909-911
	литьё в кокиль	- «-	- «-	911-913
	литьё под регулируемым низким давлением,	- «-	- «-	913-914
	литьё выжиманием, центробежное	- «-	- «-	914-916
	литьё,	- «-	- «-	68-73
	литьё по выплавляемым моделям	Гини Э.Ч.	Специальные технологии литья.	
	литьё по газифицируемым моделям	и др.	- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.-367с.	
		- «-	- «-	110-111

3. Информация о разработчике АСУ ТП литейного производства ЗАО «Литаформ»

ЗАО «Литаформ» имеет многолетний опыт создания АСУ ТП для литейных комплексов: АСУ ТП АФЛ, АСУ ТП участка смесеприготовления, АСУ ТП участков литья по выплавляемым моделям, АСУ ТП литья под давлением, АСУ ТП литья алюминиевых сплавов под низким давлением, АСУ ТП для роботизированных комплексов и т.д. Системы управления реализовываются на базе программируемых контроллеров, панелей оператора, промышленных компьютеров, причем, как системных, так и сторонних производителей. Для каждой АСУ ТП заказчик может выбрать производителя контроллеров, панелей и промышленных ПК, исходя из своих возможностей по сервисному обслуживанию или по рекомендациям фирмы. В зависимости от потребностей Заказчика разрабатываются АСУ с дополнительными возможностями, которые отсутствуют в стандартных типовых решениях. ЗАО «Литаформ» придерживается принципа модульного построения АСУ ТП, в котором каждый модуль системы является автоном-

ной единицей и может функционировать в неавтоматических режимах отдельно от остальных модулей системы, полностью выполняя свои функции. Централизованные АСУ ТП так же проектируются и исполняются в зависимости от решаемых задач. При решении задач модернизации оборудования, в системах управления, для обеспечения максимальной эффективности учитывается специфика сложившихся информационных потоков на данном предприятии, а также необходимый для Заказчика уровень автоматизации. ЗАО «Литаформ» выполняет полный объем работ, необходимых при модернизации или внедрении нового АСУ ТП на действующем производстве:

- обследование действующего производства и разработка предложений и в дальнейшем ТЗ на внедрение нового оборудования, модернизации;
- исследование объекта, связанного с ним производства, в рамках внедрения продукции или модернизации;
- разработка ТЗ на внедрение оборудования или модернизации производства;
- проектирование, изготовление и поставка шкафов электроавтоматики, пультов, кабельных разводов и другого оборудования, заложенного в проекте;
- шеф-монтаж;
- пуско-наладочные работы;
- сдачу системы Заказчику с обучением персонала;
- гарантийное и постгарантийное обслуживание.

ЗАО «Литаформ» имеет многочисленные внедрения АСУ ТП для участков смесеприготовления в литейных производствах, на которых решаются задачи взвешивания, дозирования сыпучих и жидких материалов, синхронизации действий смесителей, систем дозирования, оператора и систем диагностики и сбора статистики работы системы в целом. Алгоритмы взвешивания отрабатываются весовыми терминалами или контроллером, обеспечивая высокую точность и скорость выполнения измерений и управления дозирующими устройствами. Реализуется дозирование нескольких компонент в один весовой бункер. Системы дозирования и управления смесителем являются автономными и могут функционировать как отдельно друг от друга в режиме наладки, так и совместно в автоматическом режиме. Дозиро-

вание всех компонент настраивается, также настраиваются параметры работы фильтров сигналов и т.п. Одной из современных разработок ЗАО «Литаформ» является серия смесителей-охлаждителей, в которых внедрены системы регулирования влажности и температуры смеси, что гарантирует соблюдение заданных свойств смеси при автоматической работе без вмешательства оператора. Настройки и визуализация процесса реализуются при помощи панели оператора, причем визуализация настраивается специально под производство и потребности Заказчика.

4. Информация о создании современной АСУП на предприятии «КАМАЗ-Металлургия»

По информации, заимствованной из Интернета, «КАМАЗ-Металлургия» начал двухлетний ERP-проект. Для информационной и аналитической поддержки принятия управленческих решений предприятие реализует сбор достоверной информации о деятельности предприятия, организует обмен данными о производственных планах и текущем состоянии ресурсов, а также автоматизирует бухгалтерский и налоговый учет. «КАМАЗ-Металлургия», один из крупнейших производителей литья и поковок в России, принял решение о создании интегрированной системы управления предприятием на платформе SAP ERP. Реализация проекта поручена компании IBS.

«КАМАЗ-Металлургия» – это объединение двух заводов: литейного и кузнечного. Предприятие выпускает детали для автомобилестроения и других отраслей промышленности. Коллектив предприятия насчитывает более 12 000 человек.

Стартовавший ERP-проект должен стать частью новой ИТ-стратегии, глобальной целью которой является повышение эффективности работы предприятия, ее управляемости и прозрачности для акционеров. Основной задачей, которую планируется решить в рамках проекта внедрения системы управления, является повышение операционных производственных показателей предприятия. Вероятно, проект тесно связан с начавшейся в феврале 2008 года автоматизацией автосборочного производства «КАМАЗа», также основанного на платформе SAP.

В ходе проекта в ОАО «КАМАЗ-Металлургия» на платформе SAP ERP будут реализованы финансовый учет и отчетность, учет основных средств и нематериальных активов, управление бюджетом, управленческий учет, логистика, сбыт, планирование производства. Кроме того, будет внедрен модуль системы отчетности на базе SAP Business Intelligence, а также в пилотном режиме – модуль управления качеством (Quality Management). Проект охватит все административные, производственные подразделения предприятия, коммерческую службу, дирекцию по качеству, кадровую службу. Всего на этом этапе планируется внедрить около 400 рабочих мест. Благодаря внедрению SAP предполагается ввести на предприятии полномасштабную информационную поддержку всех функций управления, в частности, сбора достоверной информации о производственно-хозяйственной деятельности, аналитического обеспечения принятия решений, своевременного информирования сотрудников о результатах производственного планирования и ресурсном обеспечении. Система должна поддерживать своевременный и достоверный учет операций и гарантировать соответствие бухгалтерского и налогового учета установленным правилам и регламентам. По предварительным прогнозам использование ERP-системы должно в конечном итоге способствовать увеличению объема продаж продукции на 5%, снижению складских запасов основных технологических материалов на 20%, сокращению средних остатков в незавершенном производстве на 10%, а также сокращению количества организационных простоев на 75%.

Компания SAP является ведущим в мире поставщиком программных решений для управления бизнесом. В настоящее время многие компании, расположенные в более чем 120 странах мира, используют в своей работе программное обеспечение SAP – начиная от решений, отвечающих потребностям предприятий среднего и малого бизнеса, и заканчивая комплексными решениями для глобальных корпораций. Решения SAP для управления бизнесом помогают предприятиям во всем мире совершенствовать взаимоотношения с клиентами, расширять совместную деятельность с партнерами и повышать эффективность деятельности компаний в рамках логистических цепочек и бизнес-операций.

Эти решения базируются на платформе SAP NetWeaver, поддерживающей инновации и обеспечивающей изменение бизнеса.

Отраслевые решения SAP эффективно поддерживают уникальные ключевые бизнес-процессы более 25 отраслей, включая сферу высоких технологий, здравоохранение, сферу розничной торговли, государственный и финансовый сектора и многие другие.

Компания SAP имеет представительства в более чем 50 странах мира, представлена на нескольких биржах, включая Франкфуртскую фондовую биржу и Нью-Йоркскую фондовую биржу, под символом “SAP”.

Компания IBS – лидер на рынке информационных технологий и консалтинга России. Создана путем объединения компании IBS и Консалтинговой Группы «Борлас». Входит в состав IBS Group Holding вместе с Luxoft и Depo Computers. Ключевые направления деятельности: управленческий консалтинг, внедрение бизнес-приложений, ИТ-аутсорсинг, ИТ-инфраструктура. Количество сотрудников – около 3000 человек, из них – более 1500 сертифицированных консультантов и специалистов. IBS – первая российская компания, получившая наивысший партнерский статус Local Alliance Partner компании SAP AG, обладатель «золотого» статуса в партнерской программе SAP PartnerEdge. Международная исследовательская компания IDC признала команду консультантов IBS по внедрению SAP одной из лучших в России. Компания является предпочтительным отраслевым партнером SAP для предприятий цветной и черной металлургии.

Учебное издание

Кац Аркадий Мордухович

**ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ
ЛИТЕЙНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ**

Учебное пособие

Редактор *К.В. Шмат*

Компьютерная верстка: *В.В. Кулик*

Оформление обложки *А.В. Ермакова*

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 77.99.60.953.Д.006314.05.07 от 31.05.2007

Подписано в печать 10.02.12

Формат 60x84/16. Изд. № 40/11-у

Усл. печ. л. 21,25. Уч.-изд. л. 22,75. Тираж 50 экз. Заказ № 14

Издательство МГИУ, 115280, Москва, Автозаводская, 16
www.izdat.msiu.ru; e-mail: izdat@msiu.ru; тел. (495) 620-39-90

**По вопросам приобретения продукции
издательства МГИУ обращаться по адресу:**

115280, Москва, Автозаводская, 16

www.izdat.msiu.ru; e-mail: izdat@msiu.ru; тел. (495) 620-39-92

Отпечатано в типографии издательства МГИУ

ISBN 978-5-2760-2092-1



9 785276 020921