

В.Н. Суриков, Г.П. Буйлов

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

**Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию**

**Санкт-Петербург
2017**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

В.Н. СУРИКОВ, Г.П. БУЙЛОВ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию

Санкт-Петербург
2017

УДК 676-5 (075)

ББК 35.77я7

С 90

Суриков В.Н., Буйлов Г.П.

Автоматизация технологических процессов и производств: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию/ ВШТЭ СПбГУПТД.- СПб., 2017.- 116 с.: ил.41, табл.4.

В учебно-методическом пособии изложены цели и содержание курсового проекта, некоторые материалы, необходимые для выполнения разделов проекта, приведены справочные материалы и примеры выполнения отдельных глав.

Учебно-методическое пособие предназначено студентам направления подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» профиля подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств ЦБП» для выполнения курсового проекта по дисциплине «Автоматизация технологических процессов и производств» (АТП и П).

Рецензенты:

зав. кафедрой автоматизации процессов химической промышленности СПбГТИ (ТУ), д-р техн. наук, профессор Русинов Л.А.;
технический директор ЗАО «Харрис Групп Интернейшнл» Криман Б.И.

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна в качестве учебно-методического пособия.

© Высшая школа технологии
и энергетики Санкт-Петербургского
государственного университета
промышленных технологий
и дизайна, 2017

© Суриков В.Н., Буйлов Г.П., 2017

ВВЕДЕНИЕ

Курсовой проект является заключительным этапом в изучении дисциплины «Автоматизация технологических процессов и производств» (АТПиП).

Его целью является закрепление знаний по проектированию и технико-экономическому обоснованию современных систем автоматизации технологических процессов и производств, по выбору средств автоматического измерения, исполнительных устройств и программно-технических комплексов (ПТК), моделированию систем автоматического управления (САУ).

В настоящем учебно-методическом пособии рассматриваются структура курсового проекта и его содержание, приводятся справочные материалы и примеры выполнения отдельных глав курсового проекта.

1. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Тематика курсовых проектов ориентируется на разработку систем автоматического управления на объектах теплоэнергетики и целлюлозно-бумажного производства.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части. Графическая часть может быть выполнена на формате А3 или А4 и вложена в пояснительную записку в качестве приложения.

Курсовой проект содержит следующие разделы.

Введение

Здесь необходимо дать общую характеристику разрабатываемой САУ и достигаемой в результате её реализации эффективности.

Анализ технологического оборудования как объекта управления (ОУ)

В этом разделе следует кратко представить:

- техническое название объекта и назначение его для рассматриваемого предприятия;
- основные технологические параметры, удельные расходы сырья, топлива, электрической энергии, воды, химикатов и др.;
- производительность и КПД объекта;
- характеристику сырья, топлива, химикатов;
- сертификат на готовый продукт;
- производства, в которых используется данный продукт;
- оборудование и технологический процесс с регламентом и режимной картой.

Для каждого параметра следует указать наименование, единицу измерения, диапазон изменения, рабочее значение параметра, способ измерения, периодичность контроля и точность измерения.

Необходимо также выделить управляемые параметры, управляющие и возмущающие воздействия и представить алгоритмическую схему объекта управления.

Анализ существующей системы автоматического управления

В этом разделе нужно охарактеризовать существующую САУ и реализуемые функции:

- назначение САУ и решаемые задачи;
- сбор технологической информации;
- первичное преобразование;
- технологическое регулирование;
- управление пневмо-, гидро- и электроприводами;
- защита и блокировка;
- диагностика, аварийная и предупредительная сигнализация;

- связь оператора с процессом посредством пультов, постов, панелей управления;
- представление оператору текущей и архивной информации о процессе;
- воздействие на процесс посредством операторской станции.

Следует также указать аппаратную базу САУ: локальные регуляторы и релейно-контактную аппаратуру или программируемые контроллеры и операторские панели, представить алгоритмическую и функциональную схемы САУ, а также спецификацию на технические средства автоматизации (ТСА) и измерительные преобразователи (ИП), перечислить достоинства и недостатки САУ.

Для оценки качества управления существующей САУ необходимо проанализировать тренд управляемого параметра за 8 часов и сделать заключение о соответствии САУ требованиям технологического регламента (Приложение 4).

Математическая модель объекта управления

Здесь необходимо представить динамическую математическую модель ОУ, полученную аналитическим или экспериментальным методом.

Аналитическая динамическая математическая модель может быть получена из уравнений материального, теплового, энергетического или химического баланса ОУ в отклонениях (приращениях) от равновесного состояния.

В случае получения математической модели экспериментальным методом необходимо представить временные разгонные или импульсные характеристики управляемого параметра по каналам управляющего и возмущающего воздействий и их обработку.

Кроме того, в этом подразделе необходимо представить передаточные функции ОУ по каналам управляющего и возмущающего воздействий.

Требования к разрабатываемой САУ

В этом подразделе следует сформулировать основные требования к САУ по точности, запасу устойчивости и быстродействию при детерминированных и случайных воздействиях.

Точность характеризуется статической ошибкой в конце переходного процесса и средней квадратической ошибкой за заданное время переходного процесса.

Запас устойчивости характеризуется максимальным динамическим выбросом, перерегулированием и затуханием за период (при колебательном переходном процессе).

Быстродействие характеризуется временем переходного процесса и временем регулирования при заданной точности [16].

Кроме того, можно сформулировать требования к разрабатываемой САУ как минимум интегрального критерия качества, который объединяет все вышеуказанные показатели.

Выбор способа управления

Здесь необходимо проанализировать все существующие способы управления конкретным параметром по литературным источникам, проектным материалам, изобретениям, указать их достоинства и недостатки.

Кроме того, следует представить предлагаемый способ управления, описать его идеологию и преимущества по сравнению с анализируемыми.

Алгоритмические схемы существующей и предлагаемой САУ

Изображаются алгоритмические схемы существующей и предлагаемой САУ. Дается сравнительный анализ.

Технико-экономическое обоснование предлагаемой САУ

Здесь дается обоснование предлагаемой САУ по нижеследующим критериям:

- экономия тепловой и электрической энергии;
- экономия сырья, воды, воздуха и химикатов;
- повышение производительности и качества вырабатываемого или перерабатываемого продукта;
- повышение надежности работы оборудования и технических средств автоматизации.

Необходимо подробно рассмотреть предполагаемую эффективность в численном виде по указанным критериям.

Разработка функциональной схемы и технической структуры предлагаемой САУ

В этом подразделе изображается функциональная схема предлагаемой САУ на базе локальной автоматики или ПТК по ГОСТ 21.208-2013 [19].

Разработка САУ осуществляется в соответствии с требованиями, предъявляемыми к качеству процесса управления и техническим средствам автоматизации, основными из которых являются:

- Требования к точности поддержания регулируемого параметра согласно технологическому регламенту или режимной карте.
- Требования к точности измерения регулируемого параметра.
- Требования к протоколам передачи информации.
- Требования к режимам функционирования.
- Требования к ПТК.
- Требования к исполнительному устройству.
- Требования к отображению и регистрации информации.
- Требования к надежности.

Выбираются измерительные преобразователи и технические средства автоматизации и записываются в таблицу «Спецификация на технические средства автоматизации» с указанием типа, модификации, технической характеристики и изготовителя.

При использовании локальной автоматики изображается техническая структура САУ в виде блочно-коммутационной схемы связи всех устройств, входящих в САУ.

При применении программируемого контроллера (ПК) изображается архитектура связи ПК с измерительными преобразователями и исполнительным механизмом. Указываются назначение и функции основных модулей и блоков ПК.

Моделирование предлагаемой САУ

В соответствии с разработанной алгоритмической схемой САУ и выбранными техническими средствами записываются передаточные функции элементов САУ, разомкнутой САУ и замкнутой САУ по управляющему и возмущающему воздействиям.

В соответствии с выбранными требованиями к САУ определяются параметры настройки управляющего устройства и рассчитываются переходные процессы по управляющему и возмущающему воздействиям по программам имитационного моделирования на ПЭВМ.

Затем проводится анализ переходных процессов на детерминированные и случайные воздействия по всем требованиям к САУ и делается соответствующий вывод [16].

Заключение

Основные результаты курсового проекта и характеристика проектной и расчетной частей проекта.

Библиографический список

Монографии, учебники, учебные пособия, методические указания, периодические издания, сборники трудов, патенты, рекламная, проектная и производственная документация.

На все позиции библиографического списка должна быть ссылка в тексте пояснительной записки к курсовому проекту.

Перечень графического материала

1. Динамические характеристики и передаточные функции ОУ.
2. Алгоритмическая схема ОУ.
3. Алгоритмические схемы существующей и предлагаемой САУ.
4. Функциональная схема САУ.
5. Техническая структура САУ.
6. Результаты моделирования САУ.

2. АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ И ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Деаэратор атмосферного типа

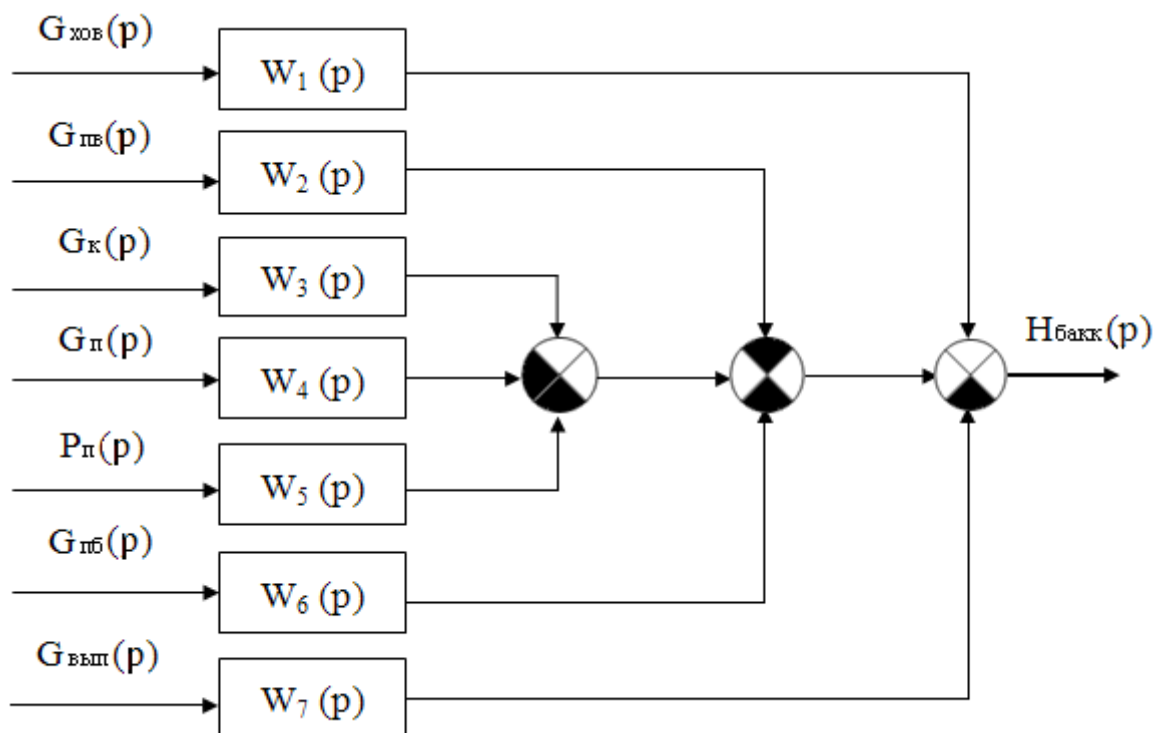


Рис.1. Алгоритмическая схема деаэратора:

$G_{хов}(p)$ – расход химически очищенной воды с температурой 80-85 °С, поступающей на деаэрацию; $G_{пв}(p)$ – расход уходящей питательной воды; $G_{к}(p)$ – расход конденсата, поступающего на деаэратор; $G_{п}(p)$ – расход пара, поступающего в деаэратор; $P_{п}(p)$ – давление пара 0,12 МПа; $G_{пб}(p)$ – расход пара, поступающего в барботажное устройство; $G_{вып}(p)$ – расход выпара с удаленным кислородом из химически очищенной воды, уходящего в атмосферу; $H_{бакк}(p)$ – уровень в баке – аккумуляторе (0,5÷1,5 м)

Температура воды в баке – аккумуляторе 104 °С, концентрация кислорода в питательной воде 0,01 – 0,05 мг/кг.

Барабанный паровой котел

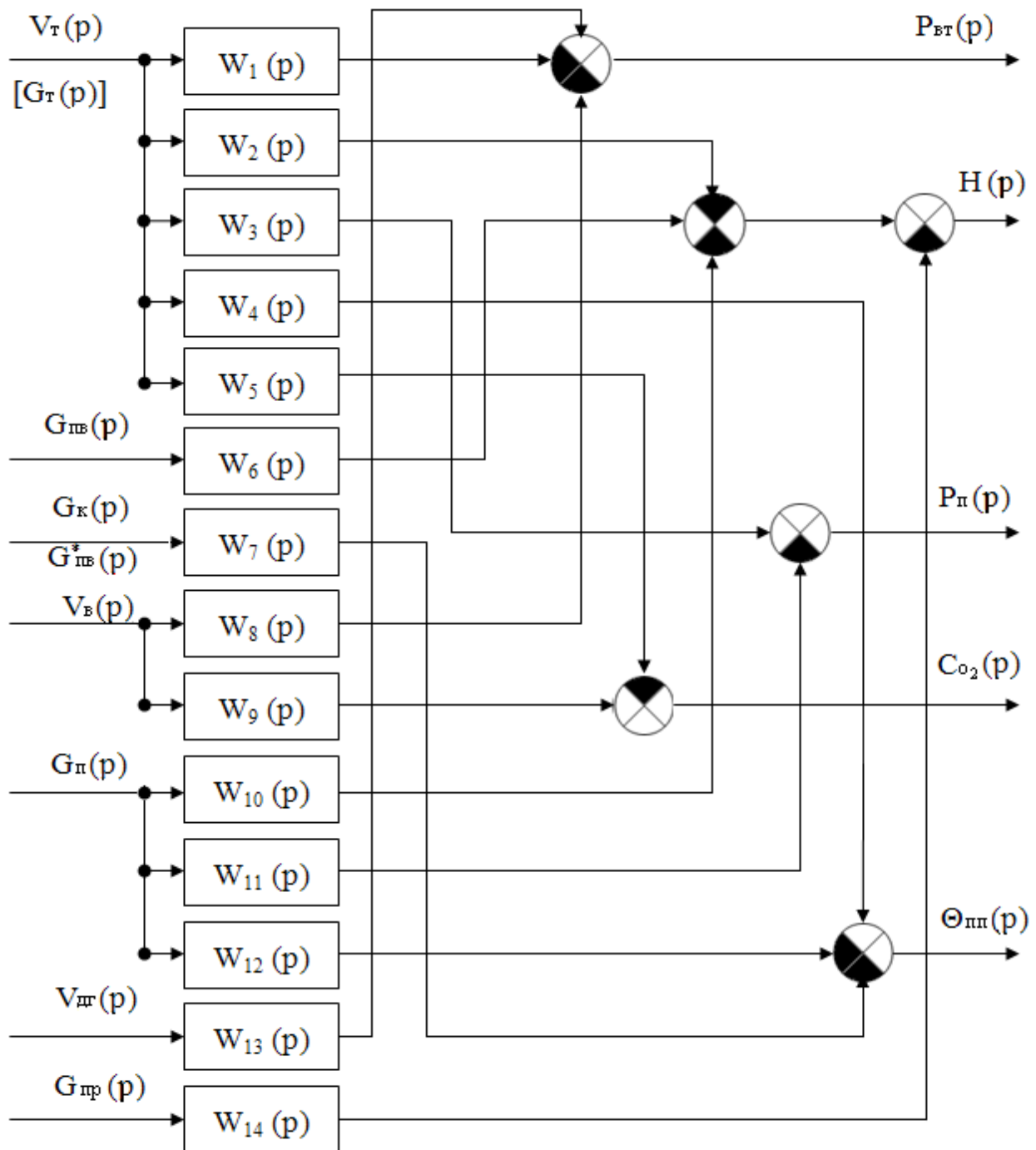


Рис.2. Алгоритмическая схема барабанного парового котла

На рисунке 2 введены следующие обозначения:

$P_{вт}(p)$ – разрежение в верхней части топки ($20 \div 30$ Па);

$H(p)$ – уровень в барабане котла ($0,5 \div 0,6$ м);

$P_{\text{п}}(p)$ – давление пара на выходе котла;
 $\Theta_{\text{пп}}(p)$ – температура перегретого пара (440 °С);
 $\text{CO}_2(p)$ – концентрация кислорода в уходящих дымовых газах (3÷4 % перед пароперегревателем);
 $V_{\text{т}}(p), G_{\text{т}}(p)$ – расход топлива (природный газ или жидкое топливо – мазут);
 $G_{\text{пв}}(p)$ – расход питательной воды в барабан котла;
 $G_{\text{к}}(p), G_{\text{пв}}^*(p)$ – расход собственного конденсата или питательной воды, поступающих в пароохладитель после первой ступени пароперегревателя;
 $V_{\text{в}}(p)$ – расход воздуха на форсунки в топку котла;
 $G_{\text{п}}(p)$ – расход пара, уходящего из котла;
 $V_{\text{дг}}(p)$ – расход дымовых газов;
 $G_{\text{пр}}(p)$ – расход воды на непрерывную продувку (0,5÷2 %) $G_{\text{п}}$;

Непрерывная продувка котловой воды

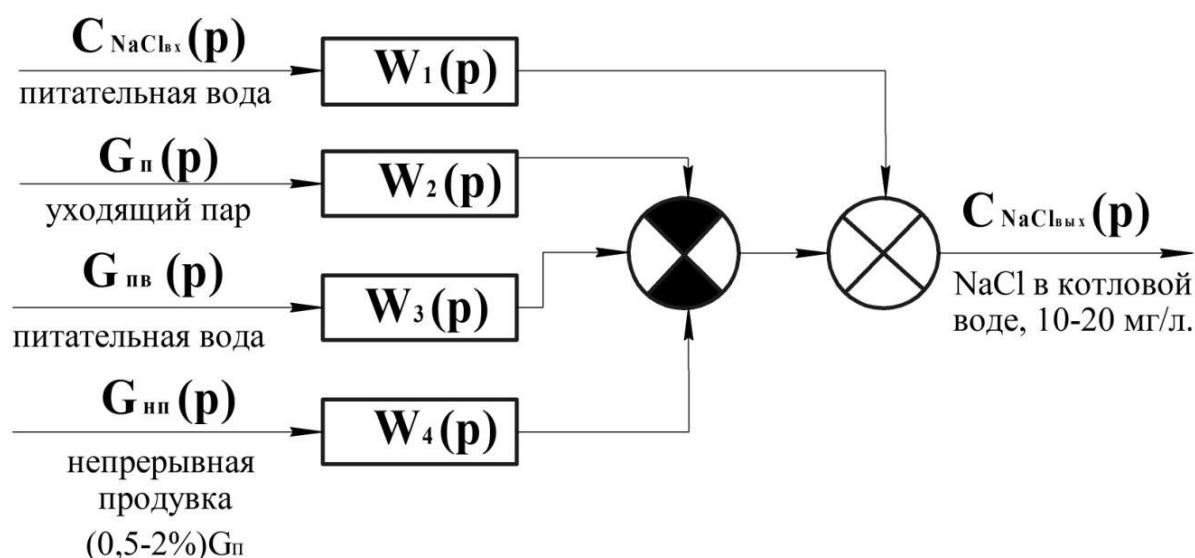


Рис.3. Алгоритмическая схема непрерывной продувки котловой воды:
 $G_{\text{пв}}(p), C_{\text{NaCl вх}}(p)$ – расход питательной воды и концентрация солей в ней; $G_{\text{пп}}(p), G_{\text{п}}(p)$ – расходы пара на непрерывную продувку и уходящего из котла на турбину или РОУ;
 $C_{\text{NaCl вых}}(p)$ – концентрация соли в котловой воде

Редукционно-охлаждающая установка (РОУ)

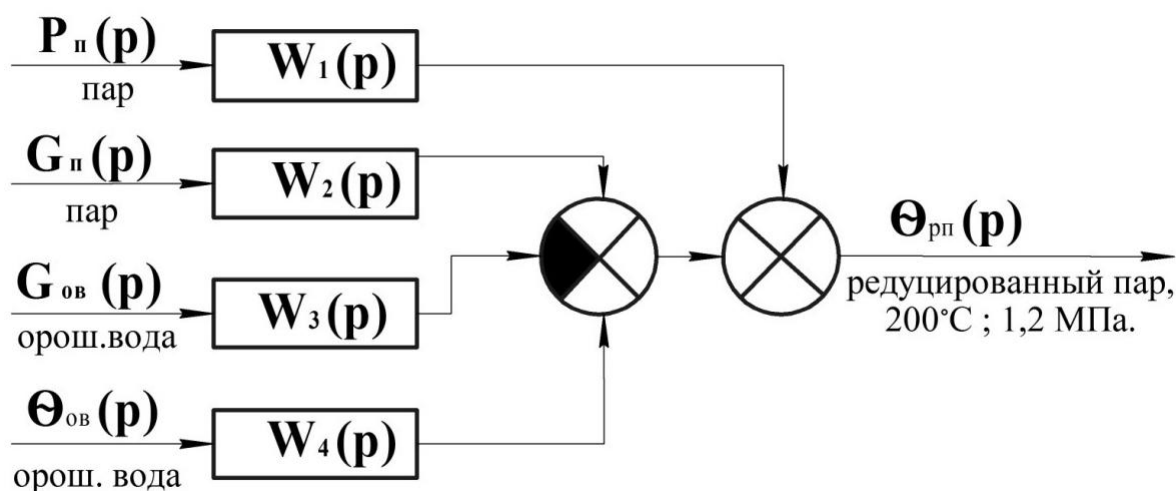


Рис.4. Алгоритмическая схема редукционно-охлаждающей установки(РОУ): $G_{\pi}(p)$, $P_{\pi}(p)$ – расход и давление пара, поступающего на РОУ; $G_{ов}(p)$, $\Theta_{ов}(p)$ – расход и температура орошающей воды; $\Theta_{рп}(p)$ – температура редуцированного пара

Подогреватель черного сульфатного щелока смешивающего типа перед подачей в топку содорегенерационного котлоагрегата (СРКА)

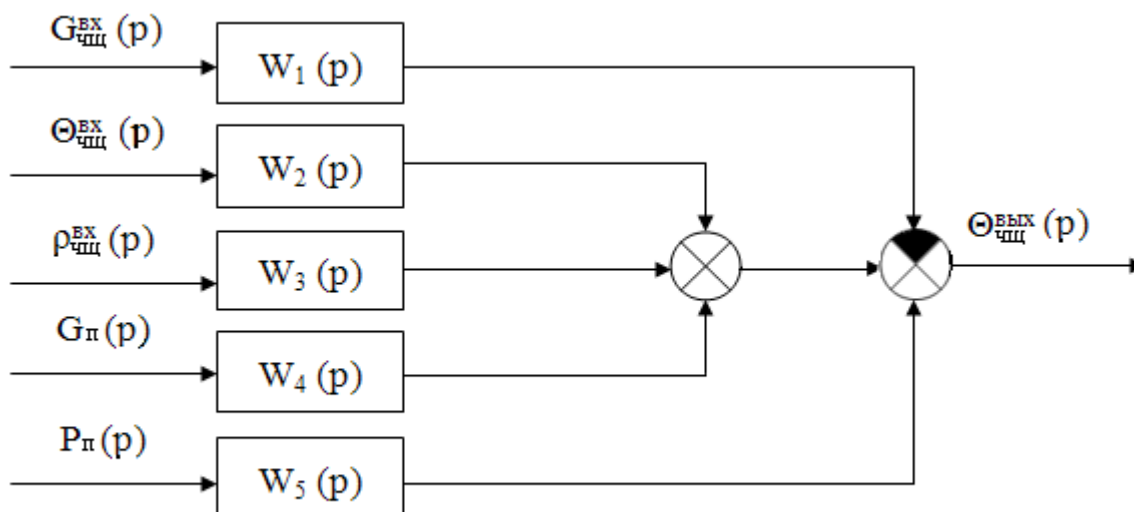


Рис.5. Алгоритмическая схема подогревателя черного сульфатного щелока: $G_{щл}^{вх}(p)$ – расход черного сульфатного щелока; $\Theta_{щл}^{вх}(p)$, $\Theta_{щл}^{вых}(p)$ – температура черного сульфатного щелока на входе (100 °С) и на выходе (110÷115 °С); $\rho_{щл}^{вх}(p)$ – плотность черного сульфатного щелока на входе (1260 кг/м³); $G_{\pi}(p)$, $P_{\pi}(p)$ – расход и давление пара (0,8 МПа) на входе в подогреватель

На выходе плотность черного сульфатного щелока составляет 1245 кг/м³.

Выпарной однокорпусный аппарат для выпарки черного сульфатного щелока

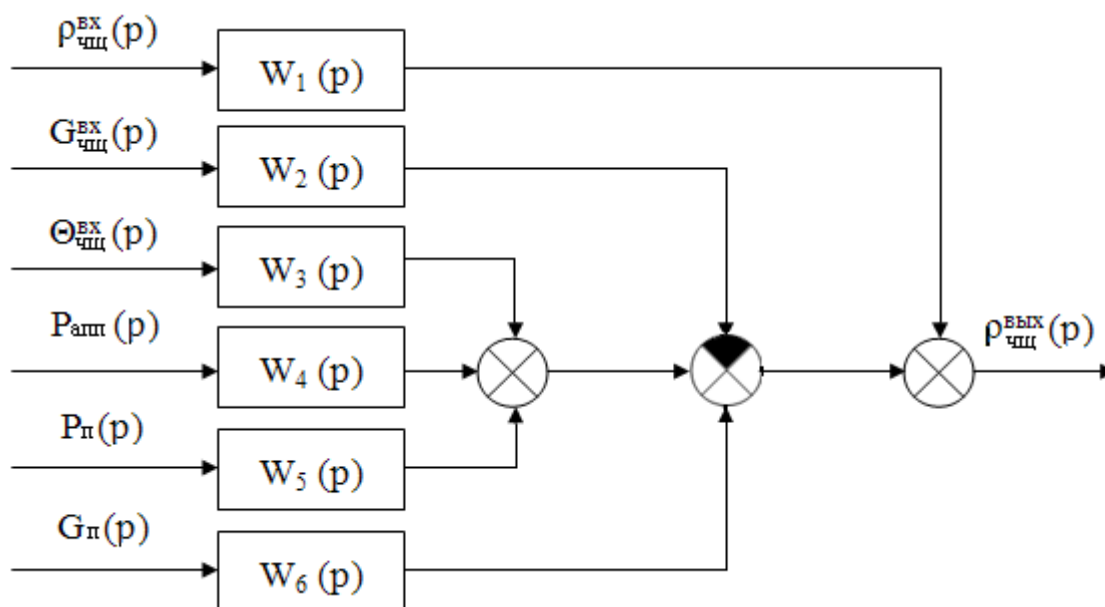
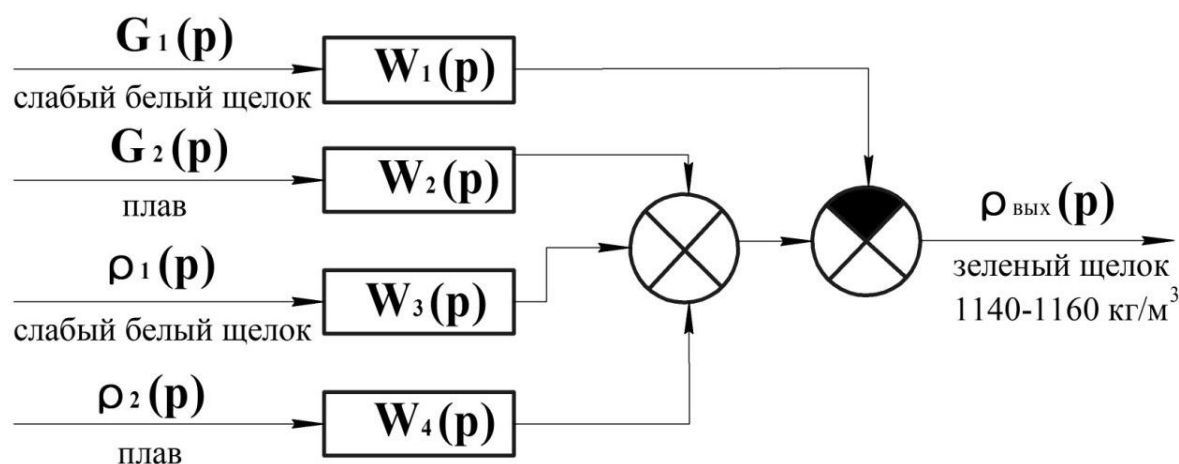


Рис.6. Алгоритмическая схема выпарного однокорпусного аппарата:
 $\rho_{щ}^{вх}(p)$, $\rho_{щ}^{вых}(p)$ – плотность черного сульфатного щелока на входе и выходе аппарата;
 $G_{щ}^{вх}(p)$, $\Theta_{щ}^{вх}(p)$ – расход и температура черного сульфатного щелока на входе в аппарат;
 $P_{апп}(p)$ – разрежение в выпарном аппарате; $P_{п}(p)$, $G_{п}(p)$ – давление и расход пара на входе в аппарат

Плотность черного сульфатного щелока на выходе аппарата, равная 1260 кг/м³, определяется по температурной депрессии (разности температур кипения щелока и сокового пара, выделяющегося из него).

Бак - растворитель сплава за СРК



ϕ бака=7,2 м; $V_{\text{бака}}=100-110 \text{ м}^3$; $H_{\text{бака}}=2-2,2 \text{ м}$.

Рис.7. Алгоритмическая схема бака-растворителя плава:

$G_1(p)$, $\rho_1(p)$ – расход и плотность слабого белого щелока; $G_2(p)$, $\rho_2(p)$ – расход и плотность плава; $\rho_{\text{вых}}(p)$ – плотность зеленого щелока на выходе бака-растворителя плава

Известерегенерационная печь (ИРП)

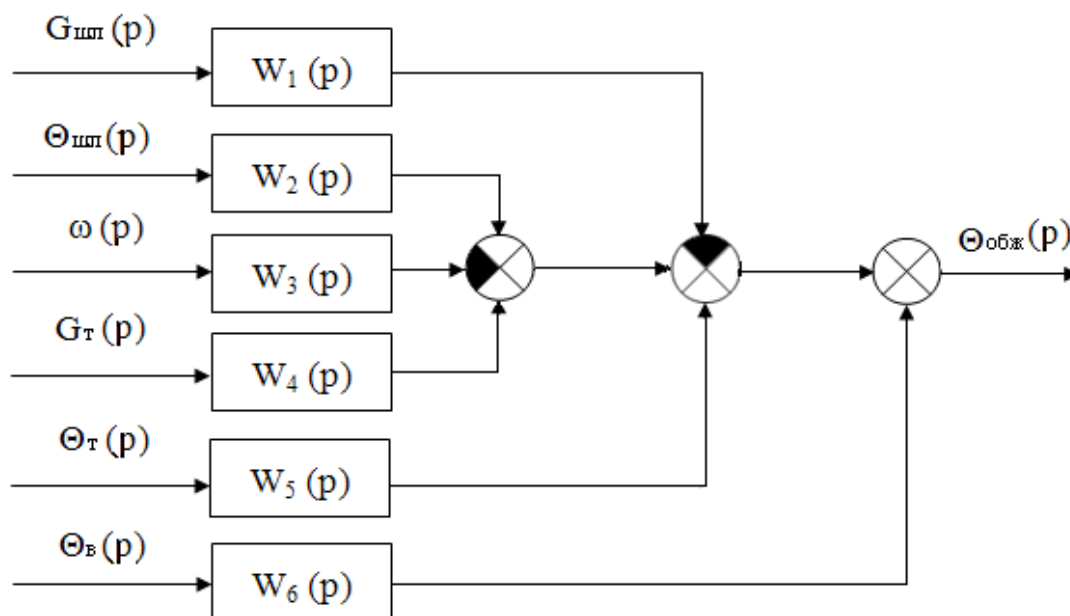


Рис.8. Алгоритмическая схема известерегенерационной печи:

$G_{\text{шл}}(p)$, $\Theta_{\text{шл}}(p)$ – расход и температура каустизационного шлама; $\omega(p)$ – угловая скорость вращения ИРП; $G_{\text{т}}(p)$, $\Theta_{\text{т}}(p)$ – расход (250 кг/т CaO) и температура топлива (мазута); $\Theta_{\text{в}}(p)$ – температура воздуха, поступающего в топку ИРП; $\Theta_{\text{обж}}(p)$ – температура обжига в средней части печи (800 °C)

Скруббер Вентури (СВ) для мокрой очистки дымовых газов

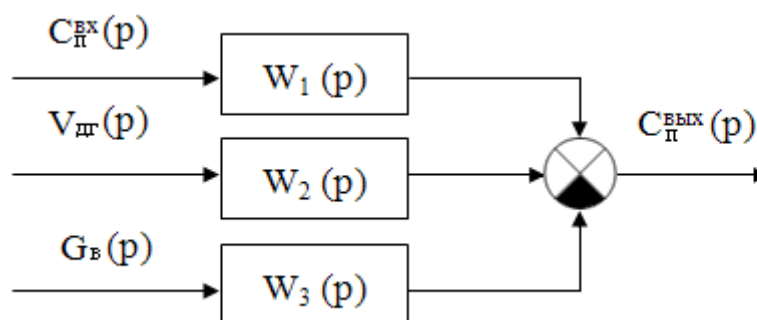


Рис.9. Алгоритмическая схема скруббера Вентури для мокрой очистки дымовых газов:

$C_{п}^{вх}(p)$, $C_{п}^{вых}(p)$ – концентрация пылевидных частиц в дымовых газах на входе и выходе аппарата (4-6 г/м³); $V_{дг}(p)$ – расход дымовых газов, поступающих на мокрую очистку в СВ; $G_{в}(p)$ – расход орошающей воды (900÷1000 м³/ч при давлении 0,2÷0,3 МПа)

Сушильная часть БДМ или КДМ для контактной сушки бумажного или картонного полотна

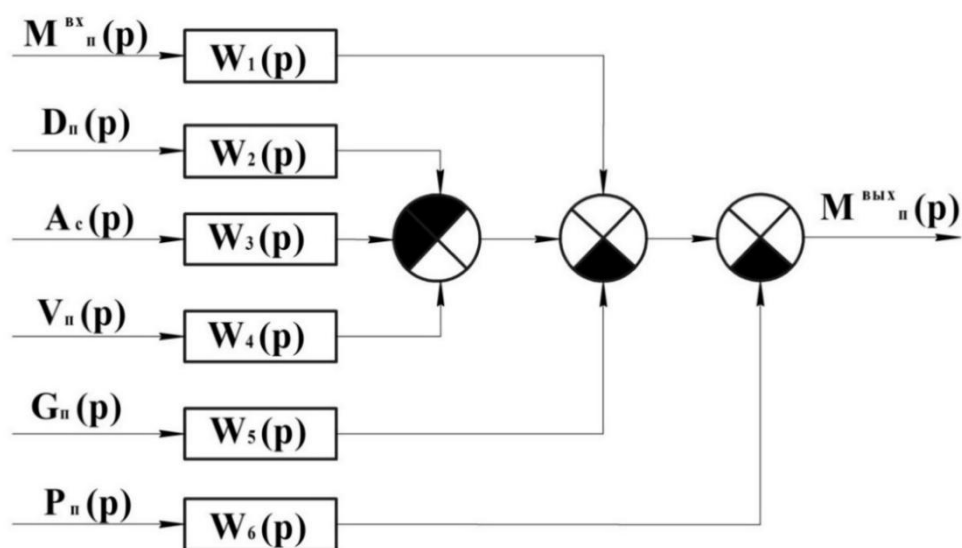


Рис.10. Алгоритмическая схема сушильной части БДМ или КДМ:

$M_{п}^{вх}(p)$, $M_{п}^{вых}(p)$ – влажность полотна бумаги или картона на входе и выходе сушильной части; $D_{п}(p)$ – поверхностная плотность бумажного или картонного полотна; $V_{п}(p)$ – скорость БДМ или КДМ; $A_c(p)$ – натяжение сушильной сетки; $G_{п}(p)$, $P_{п}(p)$ – расход и давление пара, поступающего в ведущую сушильную группу БДМ или КДМ

Конвективная сушка

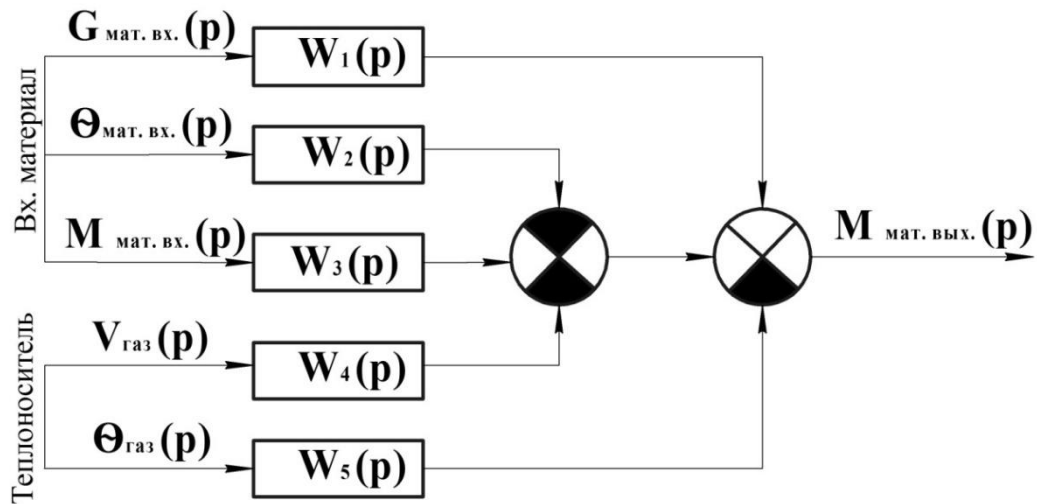


Рис.11. Алгоритмическая схема конвективной сушки:

$G_{\text{мат.вх.}}(p)$, $\Theta_{\text{мат.вх.}}(p)$, $M_{\text{мат.вх.}}(p)$, - расход, температура и влажность материала, поступающего на сушку; $M_{\text{мат.вых.}}(p)$, - влажность высушенного материала;
 $V_{\text{газ}}(p)$, $\Theta_{\text{газ.}}(p)$ –расход и температура газообразного теплоносителя

Бункер пропарки древесной щепы в производстве ХТММ или ТММ

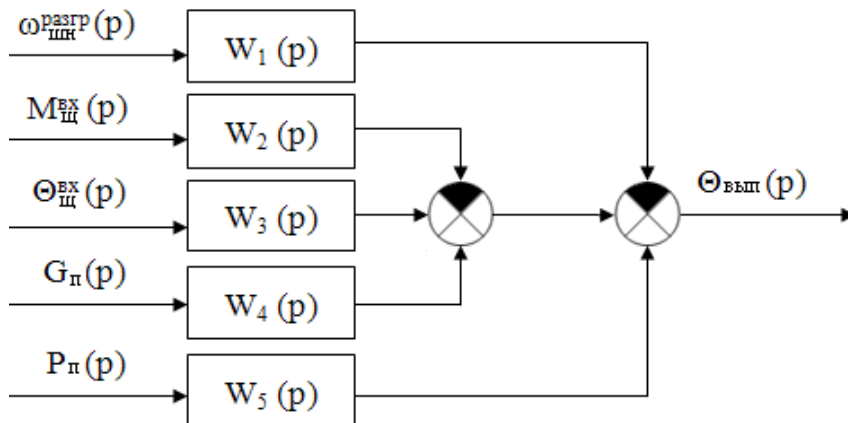


Рис.12. Алгоритмическая схема бункера пропарки щепы:

$\omega_{\text{шн}}^{\text{разгр}}(p)$ – угловая скорость разгружающего шнека; $M_{\text{щ}}^{\text{вх}}(p)$, $\Theta_{\text{щ}}^{\text{вх}}(p)$ – влажность и температура поступающей щепы на пропарку; $G_{\text{п}}(p)$, $P_{\text{п}}(p)$ – расход и давление пара, поступающего в бункер пропарки; $\Theta_{\text{вып}}(p)$ – температура выпара в вентиляционной трубе бункера пропарки

Пропиточная колонна для пропитки химикатами древесной щепы в производстве ХТММ

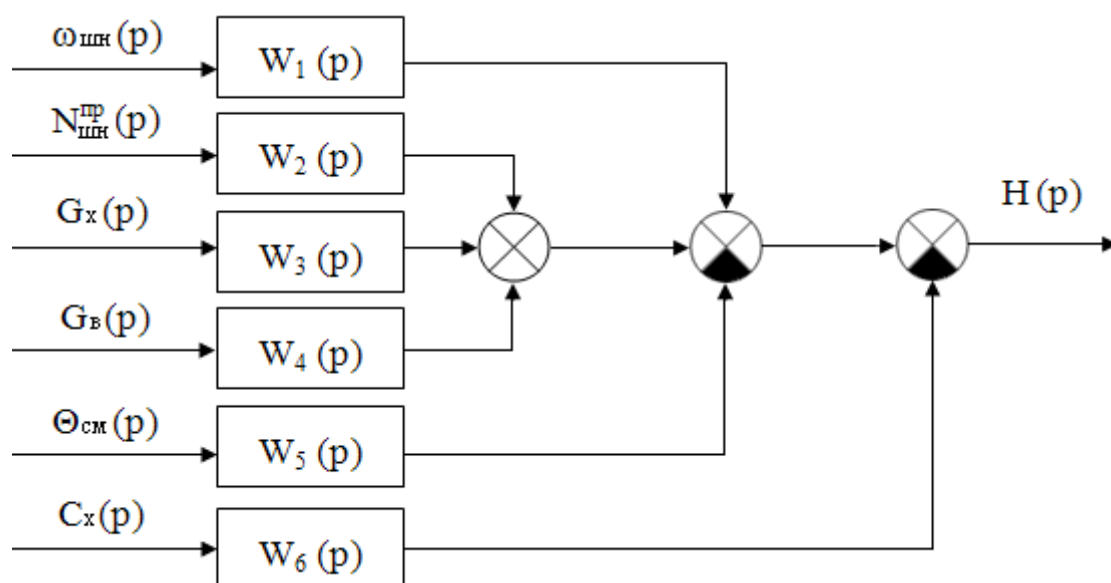


Рис.13. Алгоритмическая схема пропиточной колонны:

$\omega_{\text{шн}}(p)$ – угловая скорость шнеков, перемещающих щепу по высоте колонны; $N_{\text{шн}}^{\text{пр}}(p)$ – электрическая мощность пробкообразующего шнека перед пропиточной колонной; $G_x(p)$, $C_x(p)$ – расход и концентрация смеси химикатов, поступающей в колонну; $G_v(p)$ – расход горячей воды, поступающей в пропиточную колонну; $\Theta_{\text{см}}(p)$ – температура смеси химикатов и воды, поступающих в пропиточную колонну

Дисковая мельница для размола волокнистой суспензии

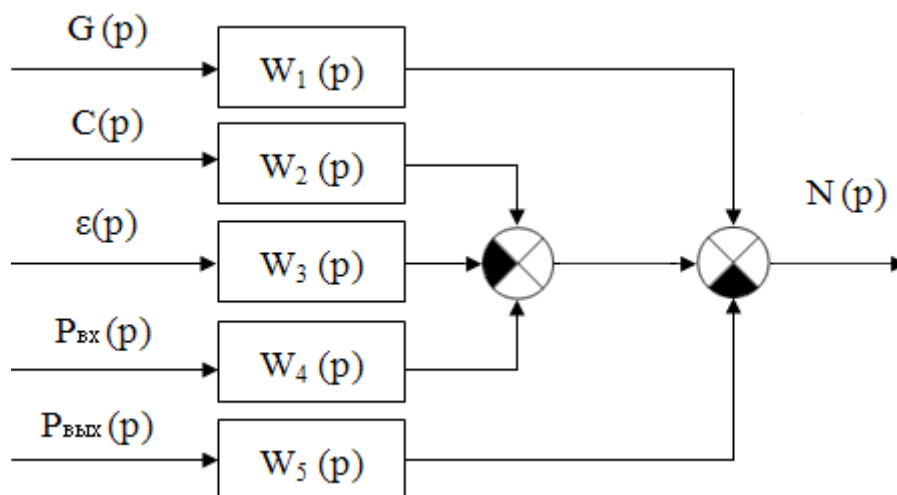


Рис.14. Алгоритмическая схема дисковой мельницы для размола
волокнистой суспензии:

$G(p)$, $C(p)$ – расход массы, поступающей на размол, и ее концентрация; $\varepsilon(p)$ – зазор между размалывающими дисками; $P_{\text{вх}}(p)$, $P_{\text{вых}}(p)$ – давление волокнистой суспензии на входе и выходе мельницы; $N(p)$ – активная электрическая мощность приводного электродвигателя (привода ротора) мельницы

3. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ И ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Автоматизация подогревателя поверхностного типа

Передача тепловой энергии является неотъемлемой частью большинства технологических процессов. Теплообменные аппараты (подогреватели) как объекты автоматизации могут быть подразделены на следующие группы:

- теплообменники смешения;
- кожухотрубные (поверхностные) теплообменники с неизменяемым агрегатным состоянием веществ (теплообменники типа «газ-газ», «жидкость-жидкость», «газ-жидкость»);
- кожухотрубные теплообменники, в которых хотя бы у одного вещества изменяется агрегатное состояние (парогазовые, парожидкостные, испарители, конденсаторы).

Поверхностные теплообменники для нагрева продуктов в жидком виде (бумажная масса, вода, химикаты) широко применяются в целлюлозно-бумажном производстве.

В качестве теплоносителей применяются газы, в том числе дымовые, воздух и пар. Пар после теплообменника превращается в конденсат.

На рис.15 представлена функциональная схема автоматизации кожухотрубного теплообменника (подогревателя поверхностного типа) с неизменяемым агрегатным состоянием веществ.

Основная САУ – это САУ температурой продукта на выходе аппарата (поз.1). Вариант САУ, представленный на рис.15, при использовании ПИ – и ПИД – алгоритма управления гарантирует управление температурой без статической ошибки, но при больших возмущениях по расходу и входной температуре продукта может оказаться неудовлетворительным.

Возможно также управление температурой с помощью каскадной САУ, в которой стабилизирующим контуром является САУ соотношением расходов теплоносителя и продукта, а задающим является САУ температурой продукта на выходе аппарата. Такой вариант САУ обеспечивает статическую компенсацию возмущений по расходам продукта и теплоносителя.

Для кожухотрубного теплообменника с изменяемым агрегатным состоянием веществ, например, парожидкостного, целесообразна САУ температурой в межтрубном пространстве с коррекцией задания по выходной температуре нагреваемого продукта (внутренний стабилизирующий контур – САУ температурой межтрубного пространства, внешний задающий контур – САУ температурой продукта на выходе аппарата) [3].

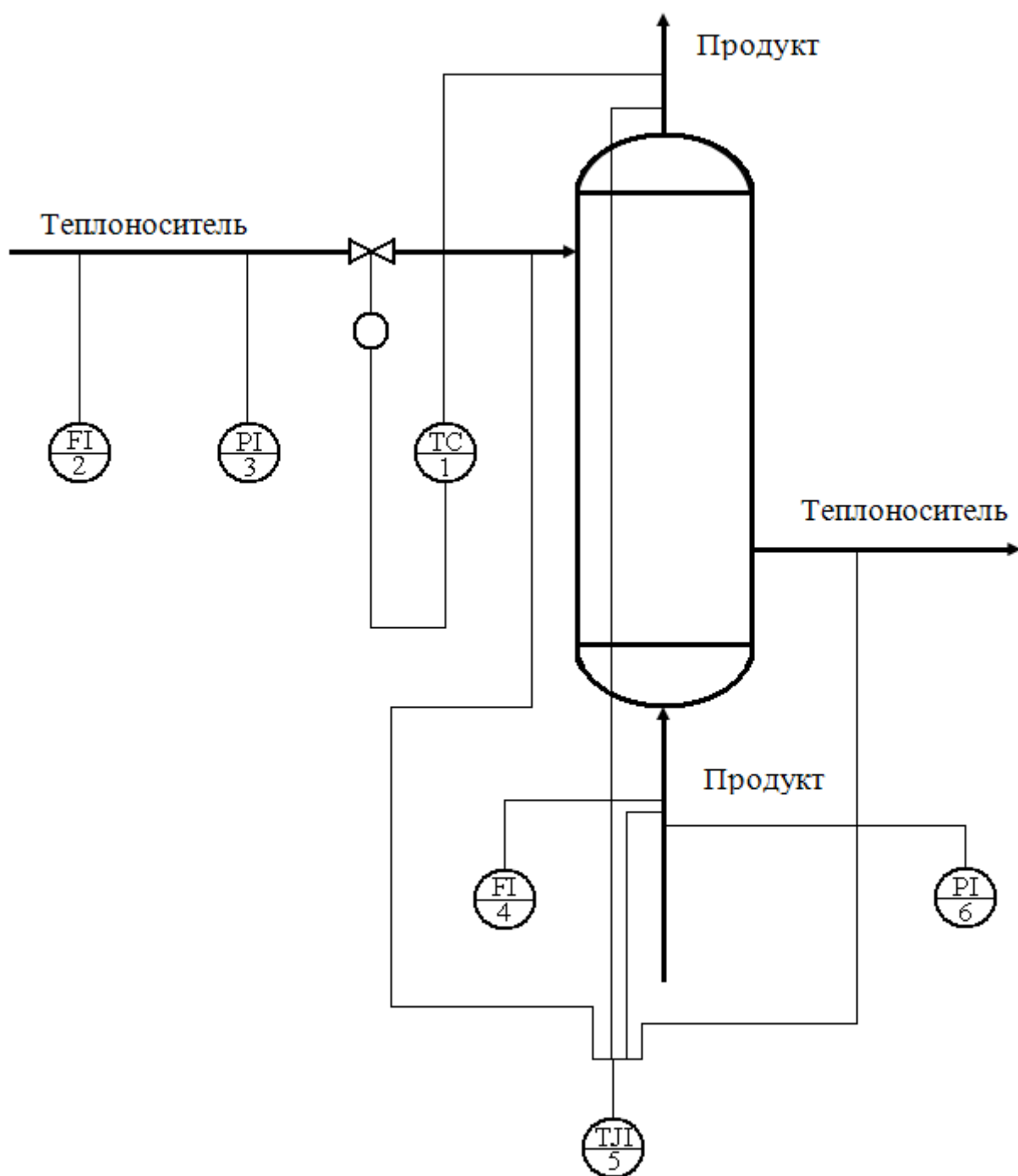


Рис.15. Функциональная схема автоматизации подогревателя
поверхностного типа

Для обеспечения нормального функционирования аппарата необходимы также следующие автоматические системы контроля (АСК):

- расходов теплоносителя и продукта (поз. 2, 4);
- давлений теплоносителя и продукта (поз. 3, 6);
- температур продукта и теплоносителя на входе и выходе аппарата (поз. 5).

Автоматизация деаэратора атмосферного типа

Деаэратор предназначен для удаления растворенного в питательной воде (ПВ) кислорода. В нижнюю часть деаэраторной колонки (головки), установленной над баком-аккумулятором питательной воды, подводится греющий пар. Пар также барботирует через питательную воду в баке. Пар поднимается к выходу в верхней части головки и нагревает до температуры кипения движущуюся навстречу ему химически очищенную воду (ХОВ) и конденсат с турбин. Выделяющийся из воды в процессе кипения кислород (O_2) вместе с излишками пара (выпар) сбрасывается в атмосферу или расширитель.

Для обеспечения непрерывного нагрева и деаэрирования воды необходимы следующие САУ и АСК (рис.16):

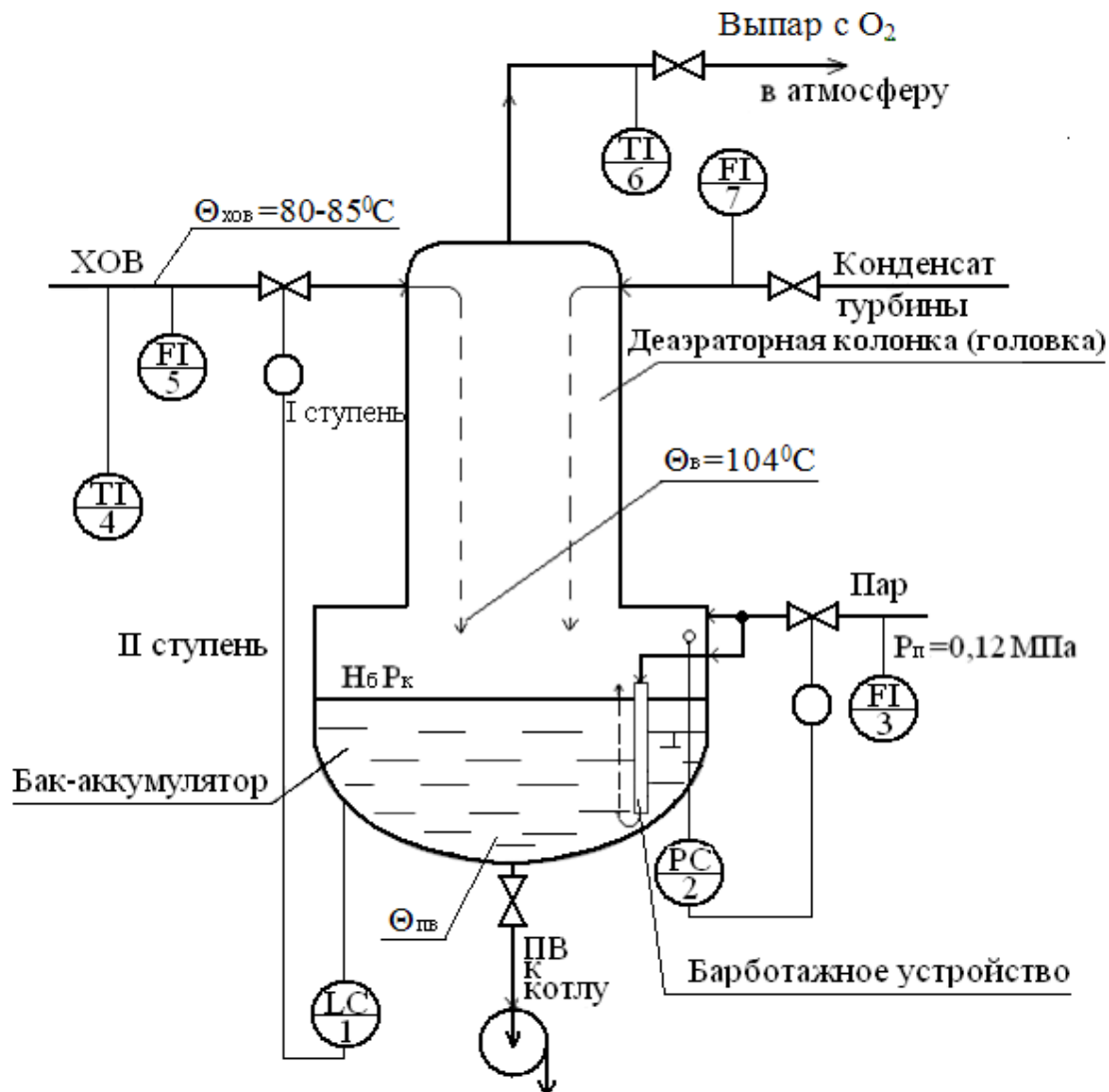


Рис.16. Функциональная схема автоматизации деаэратора атмосферного типа

САУ уровня в баке-аккумуляторе (поз.1);

САУ избыточного давления пара в деаэрационной головке (поз.2). При давлении пара (P_p) 0,12 МПа в головке температура насыщения (Θ_v) и воды будет 104 °С;

АСК расходов пара (поз.3), химически очищенной воды (поз.5) и конденсата с турбины (поз.7);

АСК температур химически очищенной воды (поз.4) и выпара (поз.6) [14].

Автоматизация РОУ

В РОУ (рис.17а) осуществляют понижение давления перегретого пара (ПП), пропускаемого через редуционный клапан, и понижение температуры за счет впрыска охлаждающей воды (ОВ) в коллектор редуцированного пара (РП). С помощью РОУ резервируют промышленные и теплофикационные отборы паровых турбин, обеспечивают связь между общими паропроводами ТЭС высокого и среднего давления. Для перепуска первичного пара в обвод турбин в случае их внезапного останова предусматривают быстродействующие РОУ (БРОУ). В этом случае пар от котлов сбрасывают через БРОУ в конденсатор турбины.

При наличии производственных потребителей, не допускающих прерыва в снабжении паром, промышленные отборы турбин резервируют также с помощью БРОУ, находящихся в горячем резерве.

Точность управления давлением и температурой редуцированного пара определяется потребителем или в случае сброса редуцированного пара в конденсатор условиями его безопасной работы.

Как объект управления РОУ или БРОУ представляют собой динамическую систему с двумя управляющими воздействиями: расходы перегретого пара и охлаждающей воды и двумя управляемыми параметрами: давление и температура редуцированного пара.

На рис.17б: 1 - САУ давлением редуцированного пара, 2 - САУ температурой редуцированного пара. Для повышения быстродействия и качества управления САУ температурой на ее вход поступает опережающий сигнал по давлению через устройство динамической связи 3 [14].

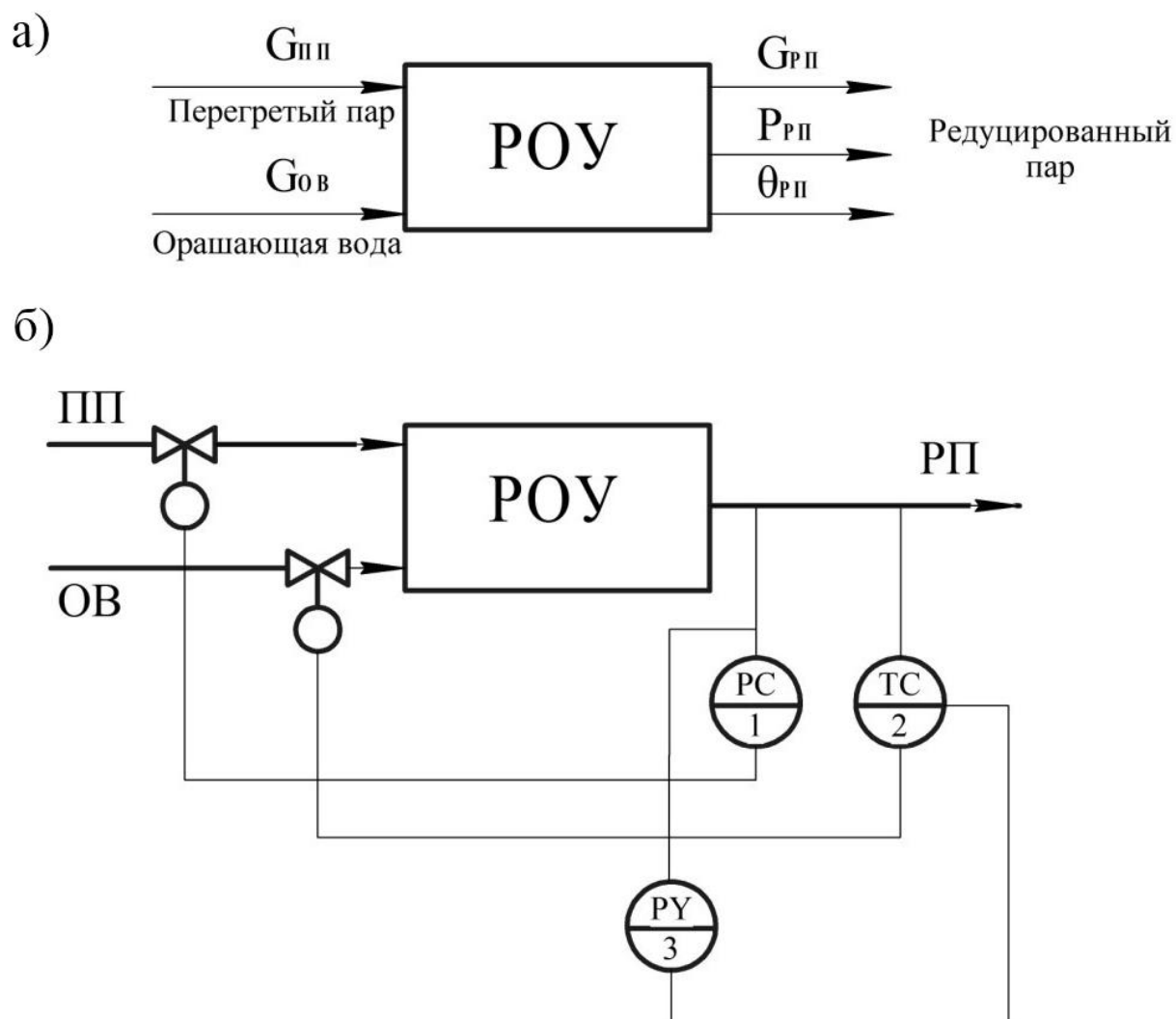


Рис.17. Редукционно-охладительная установка (РОУ):
а) - блок-схема;
б) – функциональная схема автоматизации

Автоматизация однокорпусной выпарной установки

Выпарная установка состоит из подогревателя упариваемого свежего раствора и выпарного аппарата (теплообменного выпарного корпуса).

Теплоноситель (свежий греющий пар) поступает в межтрубное пространство подогревателя. В выпарной аппарат поступают и нагретый и свежий растворы.

Входными переменными являются температура, плотность (концентрация сухих веществ) и расход поступающего раствора. Выходные пере-

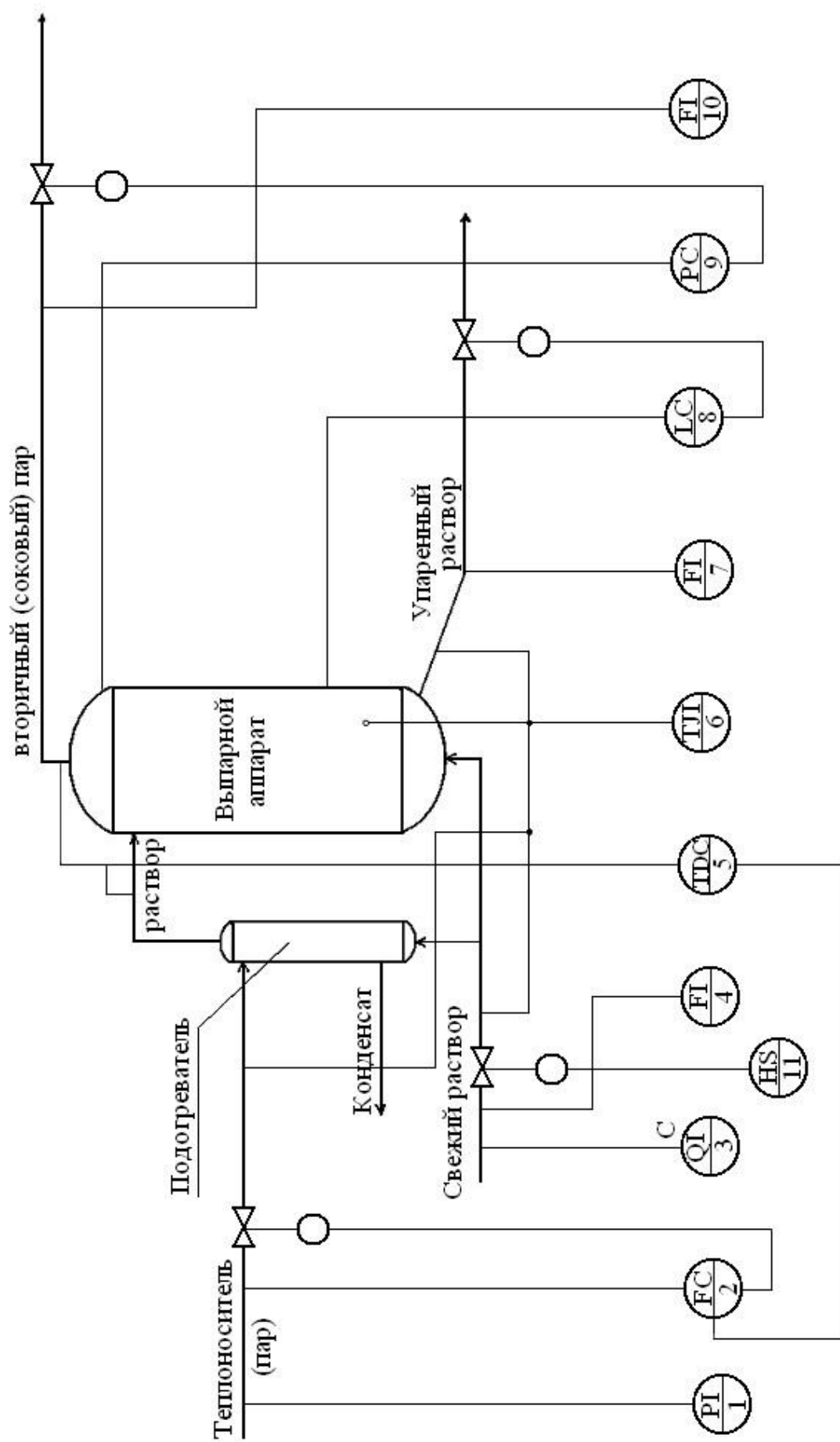


Рис.18. Функциональная схема автоматизации однокорпусной выпарной установки

менные: плотность упаренного щелока, производительность установки по испаряемой воде, разрежение в аппарате.

Для обеспечения работы выпарной установки по регламенту необходимы следующие САУ и АСК (рис.18):

АСК давления теплоносителя (поз.1), АСК концентрации свежего раствора (поз.2), АСК расходов свежего раствора, упаренного раствора и вторичного (сокового) пара (поз.4, 7, 10), АСК температур свежего раствора, теплоносителя, упаренного раствора и внутри выпарного аппарата (поз.6), САУ расходом теплоносителя (поз.2), САУ плотностью упаренного щелока (по температурной депрессии) (поз.5), САУ уровнем в аппарате (поз.8) и САУ разрежением (поз.9).

Плотность упаренного щелока управляется косвенно – по температурной депрессии. Температурная депрессия – это превышение температуры кипения выпариваемого щелока над температурой выделяющегося из него вторичного (сокового) пара. САУ плотностью (поз.5) выдает задание САУ расходом теплоносителя (поз.2) [7].

Автоматизация аппарата с кипящим слоем

Аппарат с кипящим слоем (КС) предназначен для сушки различных материалов (например, для сушки соли).

Аппарат для сушки соли имеет прямоугольное сечение и состоит из топки, газораспределительной решетки, загрузочного устройства со встроенным разбрасывателем и приспособления для разгрузки аппарата. Площадь газораспределительной решетки $3,25 \text{ м}^2$.

В топку под давлением подается природный газ, продукты сгорания которого используются в качестве теплоносителя для сушки соли - хлористого натрия. В топке поддерживается температура 1400°C .

В камере смешения топочные газы перемешиваются с подаваемым холодным атмосферным воздухом. В результате образуется теплоноситель с температурой $300\text{-}400^\circ\text{C}$. Воздух, предварительно очищенный в ячейковых фильтрах, подается турбовоздуходувкой в топку и камеру смешения.

В аппарате с кипящим слоем зоной взаимодействия твердых частиц и газов является псевдоожиженный слой, образующийся на газораспределительной решетке при подаче на нее сверху влажного продукта, а снизу – теплоносителя, создающего эффект псевдоожижения.

Аппарат работает с избыточным давлением в топке и нижней части корпуса, расположенной под газораспределительной решеткой. Величина давления соответствует сумме аэродинамического сопротивления слоя, которое примерно равно массе материала на 1 м^2 его поверхности, и сопротивления решетки, зависящего от ее живого сечения и скорости теплоносителя.

На вход аппарата для сушки соли поступает вакуум – выварочная соль с температурой 35°C и влажностью 4 %. На выходе аппарата образуется пищевая поваренная соль с содержанием хлористого натрия по сухому веществу не менее 99,7 %, с температурой 80°C и влажностью 0,1 %.

Наиболее важным показателем процесса сушки в аппарате с КС является температура слоя. Необходимость стабилизации температуры обусловлена требованием получения продукта с заданным конечным влагосодержанием. Понижение температуры слоя вызывает повышение конечной влажности материала, что в некоторых случаях может ухудшать условия псевдоожижения и приводить аппарат к предаварийному состоянию. Кроме того, при снижении температуры слоя понижается температура отходящих газов, что связано с опасностью конденсации паров в узле пылеулавливания.

Увеличение температуры слоя приводит к снижению КПД аппарата и снижению производительности дымососа. Это может явиться причиной снижения расхода теплоносителя и уменьшения производительности аппарата.

Для обеспечения нормального функционирования аппарата с КС необходимы следующие системы автоматического контроля и управления (рис.19):

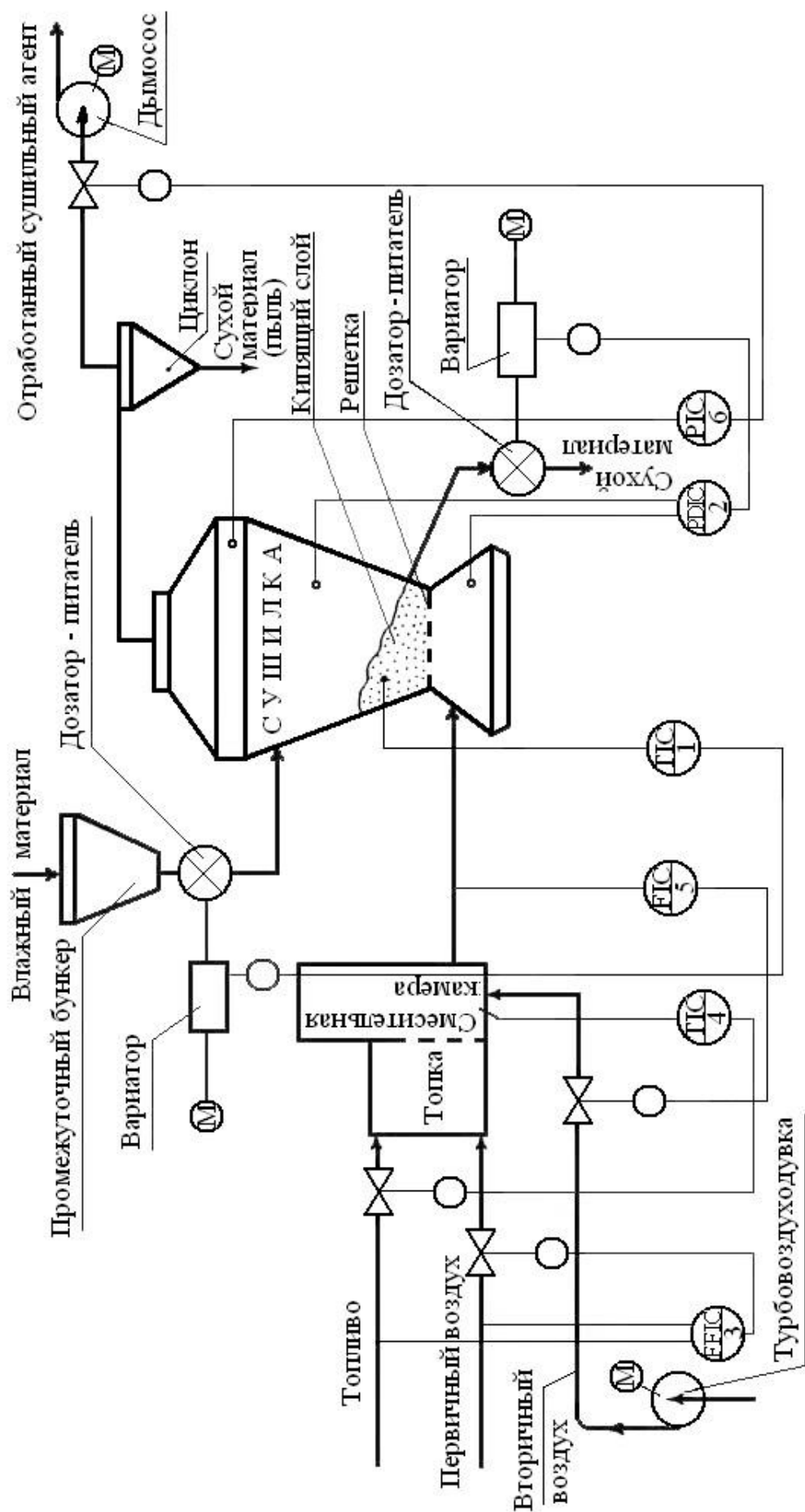


Рис.19. Функциональная схема автоматизации сушильного аппарата с кипящим слоем

- температурой в кипящем (псевдосжиженном) слое (поз.1); управлять температурой в слое изменением расхода поступающего влажного материала возможно только при наличии буферной емкости (бункера);
- уровнем слоя материала на решетке (по перепаду давлений) (поз.2);
- соотношением расходов первичного воздуха и топлива (природного газа), поступающих в топку (поз.3);
- температурой сушильного агента в смесительной камере (поз.4);
- расходом сушильного агента после смесительной камеры (поз.5);
- разрежением в верхней части аппарата (поз.6) [9].

Автоматизация барабанной конвективной сушильной установки

Барабанные конвективные сушильные установки широко применяются для сушки различных мелкокусковых и зернистых материалов в химической, горнодобывающей, металлургической промышленности, а также для сушки топлива на электростанциях. В целлюлозно-бумажном производстве они могут быть использованы для сушки лигнина, древесных отходов и других влажных материалов.

Барабанная сушилка представляет собой установленный наклонно вращающийся барабан, на который надеты два бандаж и зубчатый венец привода. Бандажами барабан опирается на четыре ролика, установленные на рамах. Два опорных ролика ограничивают осевое смещение корпуса барабана. На обоих концах барабана имеются камеры, в одной из которых предусмотрен ввод газов и загрузка влажного материала, в другой вывод сухого продукта и отработавшего сушильного агента. Вследствие установки барабана под небольшим углом (до 6^0) высушиваемый материал постепенно перемещается к разгрузочной камере. Влажный материал из бункеров с помощью питателей подается во вращающийся сушильный барабан. Параллельно материалу в сушилку подается сушильный агент, образующийся от сгорания топлива в топке и смешения топочных газов с воздухом в смесительной камере. Воздух в топку и смесительную камеру подается вентиляторами высокого давления. Внутри барабана, в зависимости от свойств высушиваемого материала, устанавливаются различные насадки. При вращении барабана лопасти насадки подхватывают материал, поднимают его и сбрасывают, при этом поверхность его соприкосновения с газами увеличивается. Падая, материал омывается сушильным агентом и высушивается. Высушенный материал с противоположного конца сушильного барабана поступает в промежуточный бункер, а из него на транспортирующее устройство. Отработанный сушильный агент перед выбросом в атмосферу очищается от пыли в батарей-

ном циклоне. Установка находится под небольшим разрежением, что исключает утечку сушильного агента через неплотности установки.

Система автоматизации установки включает следующие САУ и АСК (рис.20):

САУ соотношением топливо - воздух (поз.1), САУ температурой газов в смесительной камере (поз.3), САУ разрежением в верхней части топки (поз.4), САУ температурой в средней зоне барабанной сушилки (поз.5), САУ влажностью высушенного материала (поз.6), САУ давлением топлива (мазута) перед подачей в топку (поз.8), АСК расхода вторичного воздуха и температуры отработанного сушильного агента (отходящих газов) (поз.2 и 7).

САУ влажностью выдает задание САУ температурой в средней зоне сушилки [13].

Автоматизация известерегенерационной печи

После сжигания упаренного щелока в СРКА образуется карбонат натрия (Na_2CO_3) в виде минерального остатка – плава.

Раствор плава (зеленый щелок) каустизируется известью и превращается в едкий натр (NaOH). При этом образуются отходы – каустизационный шлам, содержащий известь.

Из шлама с концентрацией 45-50 % в известерегенерационной вращающейся печи (ИРП) регенерируется известь (CaO). Шлам – это малодисперсный карбонат кальция (CaCO_3).

Входными переменными процесса регенерации (обжига) являются: расход и влажность (или концентрация) шлама, продолжительность обжига, давление и расход мазута перед форсунками.

Выходные переменные процесса: расход и качество получаемой CaO , разрежение и температура в печи.

Для обеспечения нормального функционирования ИРП устанавливаются следующие САУ и АСК (рис.21):

САУ уровнем мазута в приемном баке (поз.1);

САУ температурой мазута после подогревателя перед форсунками топки (поз.2);

САУ расходом мазута, поступающего в топку (поз.3);

САУ температурой в средней зоне вращающейся ИРП (поз.4);

САУ соотношением расходов топлива (мазута) и воздуха, поступающих в топку (поз.5);

САУ разрежением в печи (поз.6);

АСК давления мазута в топку (поз.8) и расхода пара в подогреватель мазута (поз.7).

САУ расходом мазута в топку (поз.3) получает задание с выхода САУ температурой в печи (поз.4) [7].

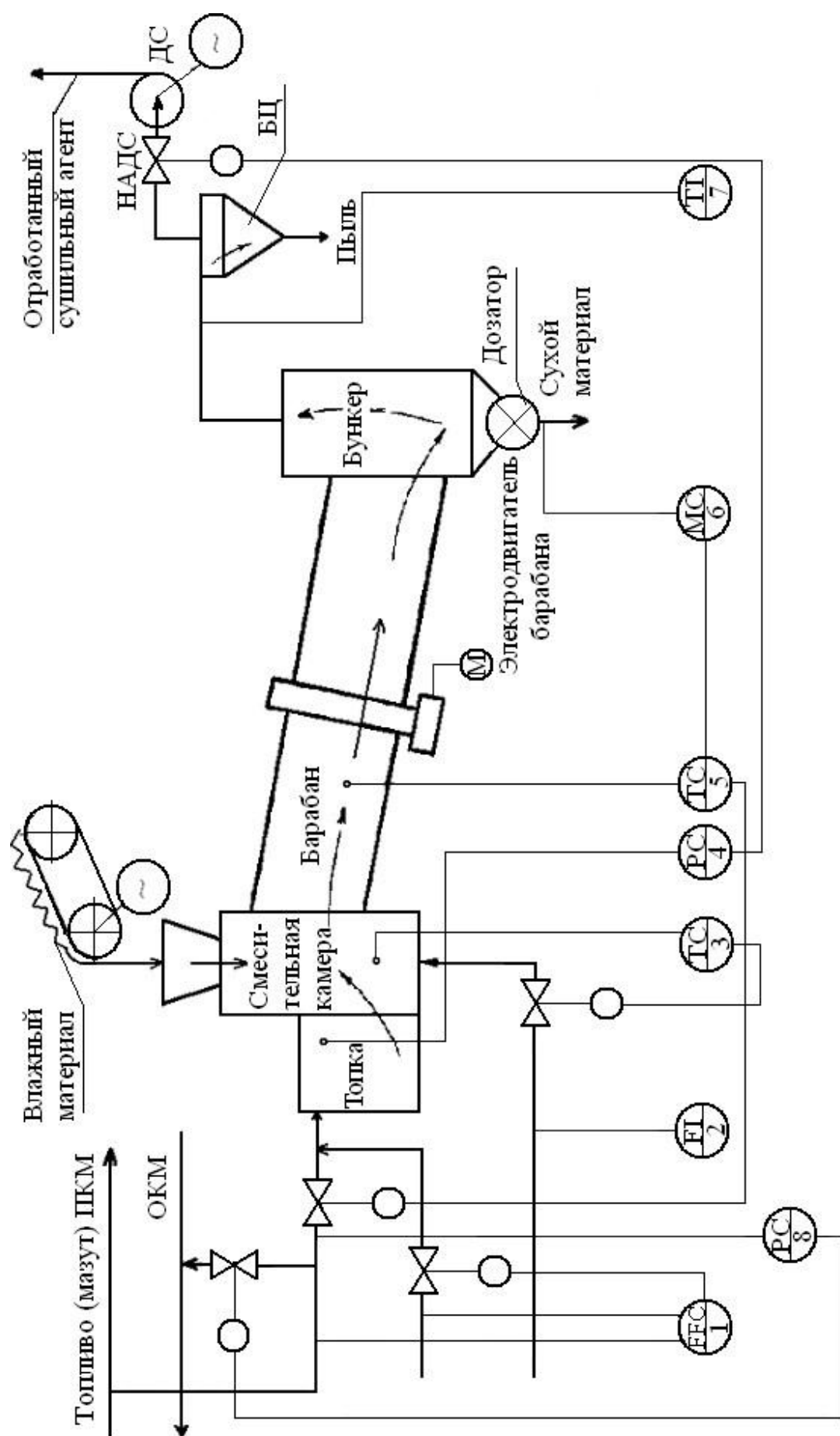


Рис. 20. Функциональная схема автоматизации барабанной конвективной сушильной установки: ПКМ - прямой и обратной коллекторы мазута; БЦ - батарейный циклон; НАДС - направляющий аппарат дымососа; ДС - дымосос

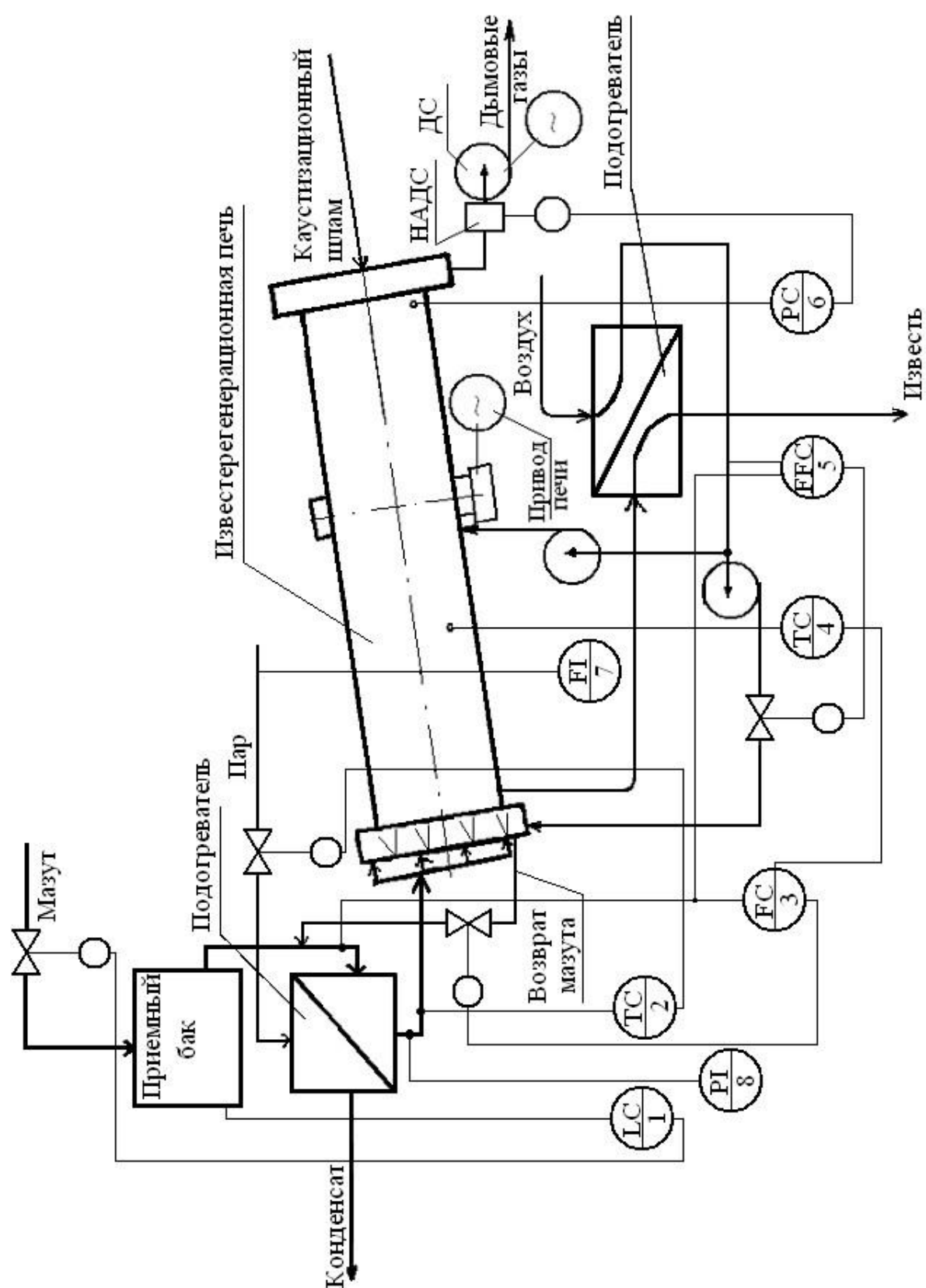


Рис.21. Функциональная схема автоматизации ИРП: ДС - дымосос; НАДС - направляющий аппарат дымососа

Автоматизация бункера пропарки щепы перед пропиткой химикатами в производстве ХТММ

Промытая и обезвоженная щепа после обезвоживающего шнека через желоб поступает в бункер пропарки щепы, в котором происходит удаление воздуха из щепы и нагрев до температуры, оптимальной для осуществления её пропитки химикатами.

Обработка щепы паром обеспечивает вытеснение воздуха из капиллярной системы древесной щепы, набухание древесины, приводит к переходу части лигнина и гемицеллюлоз в легкорастворимую форму. Таким образом, происходит подготовка древесины к воздействию химических реагентов.

Подготовленная таким образом щепа влажностью 65 % из бункера пропарки с помощью разгрузочного устройства разгрузочным шнеком подается в желоб подачи уплотняющего шнека пропиточной колонны (ПК).

Уровень щепы в бункере управляется САУ (поз.4) в пределах 75-85 % от общего объёма бункера (рис. 22).

На САУ скоростью разгружающего шнека бункера предварительной пропарки перед промывкой поступает коррекция задания с выходов САУ скоростью разгружающего шнека (поз.3) и САУ уровня рассматриваемого бункера пропарки.

Пропарка щепы осуществляется в бункере пропарки щепы вторичным паром давлением 0,15 МПа. Управление расходом пара осуществляется соответствующей САУ (поз.1). В случае недостатка пара предусмотрена подпитка от магистрали вторичного пара давлением 0,2 МПа, в период пуска – от основной магистрали пара низкого давления 0,5 МПа. Нижний кольцевой трубопровод обеспечивает пропарку щепы от периферии к центру, а центральная труба – от центра к периферии. Такая схема позволяет равномерно пропаривать щепу в донной части бункера.

Температура щепы в нижней части бункера управляется САУ (поз.2) на уровне 90 °С. Пропаренная щепа выгружается из бункера разгрузочным устройством и разгрузочным шнеком. Скорость вращения шнека соответствует производительности производственного потока. Время пропарки щепы составляет 20-30 минут.

На САУ расходом пара поступает задание с выхода САУ температурой.

Паровоздушная смесь (выпар) из бункера пропарки через вентиляционную трубу выводится в атмосферу. Температура паровоздушной смеси (выпара) контролируется АСК (поз.5) [20].

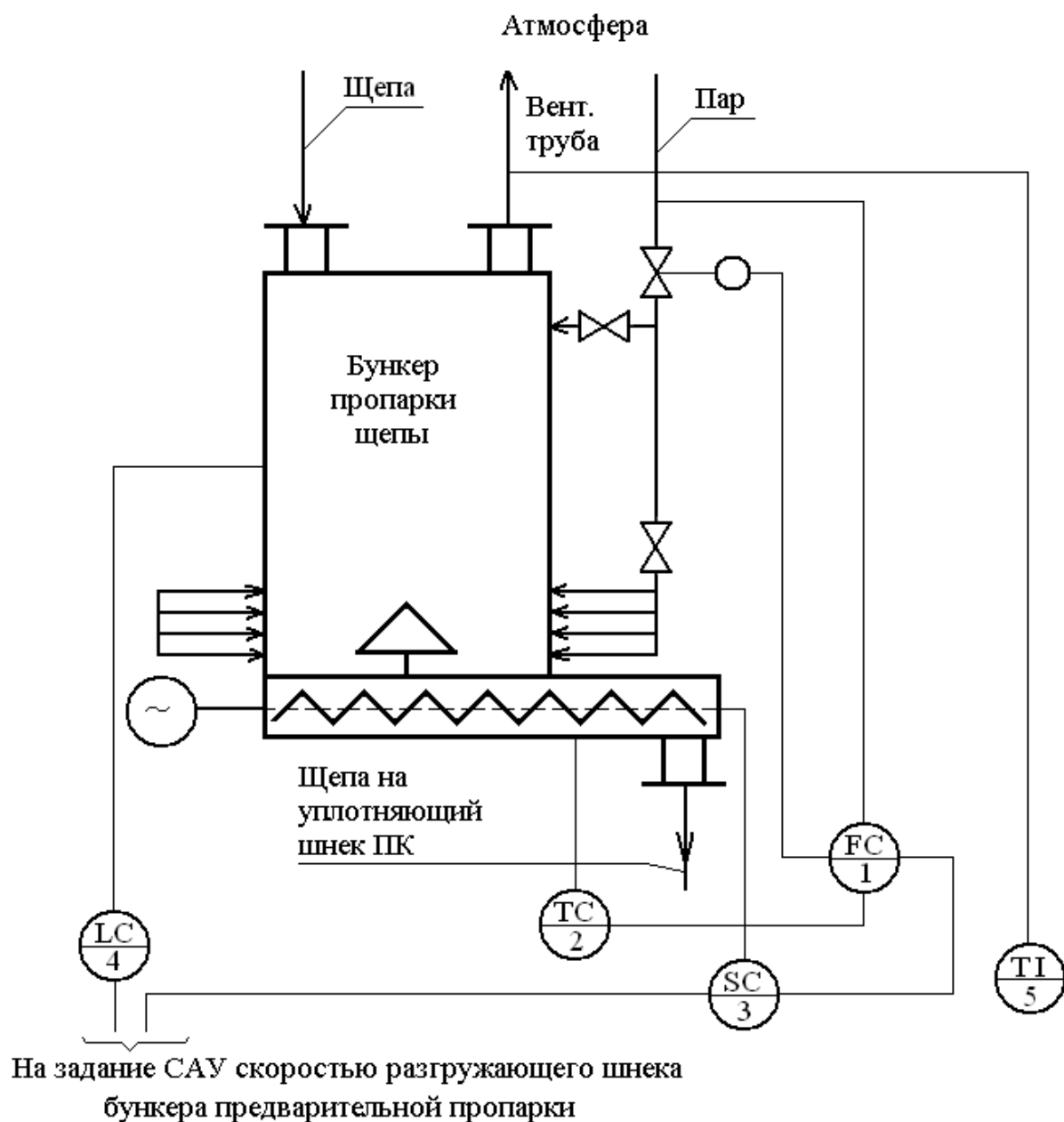


Рис.22. Функциональная схема автоматизации бункера пропарки щепы

Автоматизация пропиточной колонны с уплотняющим шнеком в производстве XTMM

Щепа из бункера пропарки промытой щепы поступает в уплотняющий (пробкообразующий) шнек.

Уплотняющий шнек предназначен для уплотнения щепы в пробку на входе в пропиточную колонну. Для формирования плотной пробки щепы в

расщепляющей трубе и предотвращения потери жидкости в пропиточной колонне уплотняющий шнек оснащен пневматическим устройством для создания противодавления.

Пневматическое устройство состоит из пневматического цилиндра с поршнем, на конце которого закреплен конус. При действии пневматического устройства происходит отжим и удаление из щепы через перфорацию уплотняющей горловины воды, в которой содержатся растворенные вещества, опилки.

Для смыва опилок в дренажный кожух уплотняющего шнека насосом из бака оборотной воды подается светлый фильтрат. Далее вода отводится к сепаратору отходов.

Если плотная масса не сформирована, то есть остановилась подача щепы, устройство для создания противодавления автоматически давит конусом вперед и занимает то место в уплотняющей горловине шнека, которое не позволяет уходить воде и химикатам из колонны через шнек.

В уплотняющем шнеке щепка сжимается, при этом из неё удаляются влага, воздух и значительная часть экстрактивных веществ. Далее щепка влажностью 50 % поступает в нижнюю часть пропиточной колонны, где она расширяется и впитывает химические реагенты подобно губке. Затем щепка двумя вертикальными шнеками с двусторонним вращением перемещается по всей высоте колонны, а затем горизонтальным шнеком подается в очередной бункер пропарки – устройство термогидролитической обработки. Здесь продолжается пропитка щепы химическими реагентами при нагреве паром.

Пропиточная колонна (ПК) предназначена для пропитки щепы химическими реагентами для получения размягчения, сульфирования лигнина при действии сульфита натрия, набуханию волокон при воздействии едкого натра. Пропитка способствует легкому разделению и расслаиванию волокон в процессе размола щепы на рафинерах. Равномерная обработка раствором химикатов обеспечивает минимальное содержание костры в массе.

Щепка пропитывается смесью растворов химикатов (сульфит натрия Na_2SO_3 , едкий натр (каустическая сода) – NaOH , хелатный реагент «Диссолювин Д-40-К») и воды.

Температура пропиточного раствора 30-35 °С. Скорость вращения вертикальных шнеков 25 об/мин. Заданное значение уровня в ПК составляет 30% от максимального уровня. Расход воды на пропитку ≈ 350 л/мин. Длительность пропитки при атмосферном давлении 1-2 мин.

Схема автоматизации (рис.23) включает следующие САУ и АСК: САУ уровнем в ПК (поз.7), САУ расходом химикатов (поз.10), САУ скоростью уплотняющего шнека (поз.2), АСК скорости вертикальных шнеков (поз.3,4), АСК активной мощности приводов вертикальных шнеков (поз.5,6), АСК расхода воды и температуры смеси, поступающих в ПК (поз.8,9), АСК активной мощности привода уплотняющего шнека (поз.1).

Уровень в ПК характеризует впитываемость щепы. При ухудшении впитываемости уровень увеличивается, что вызывает уменьшение расхода воды в ПК. В результате увеличивается концентрация поступающих химикатов, что способствует лучшему проникновению химикатов в щепу, т.е. повышению степени пропитки.

На САУ расходом химикатов и САУ скоростью уплотняющего шнека поступают корректирующие сигналы задания с выхода САУ скоростью разгружающего шнека бункера пропарки щепы [20].

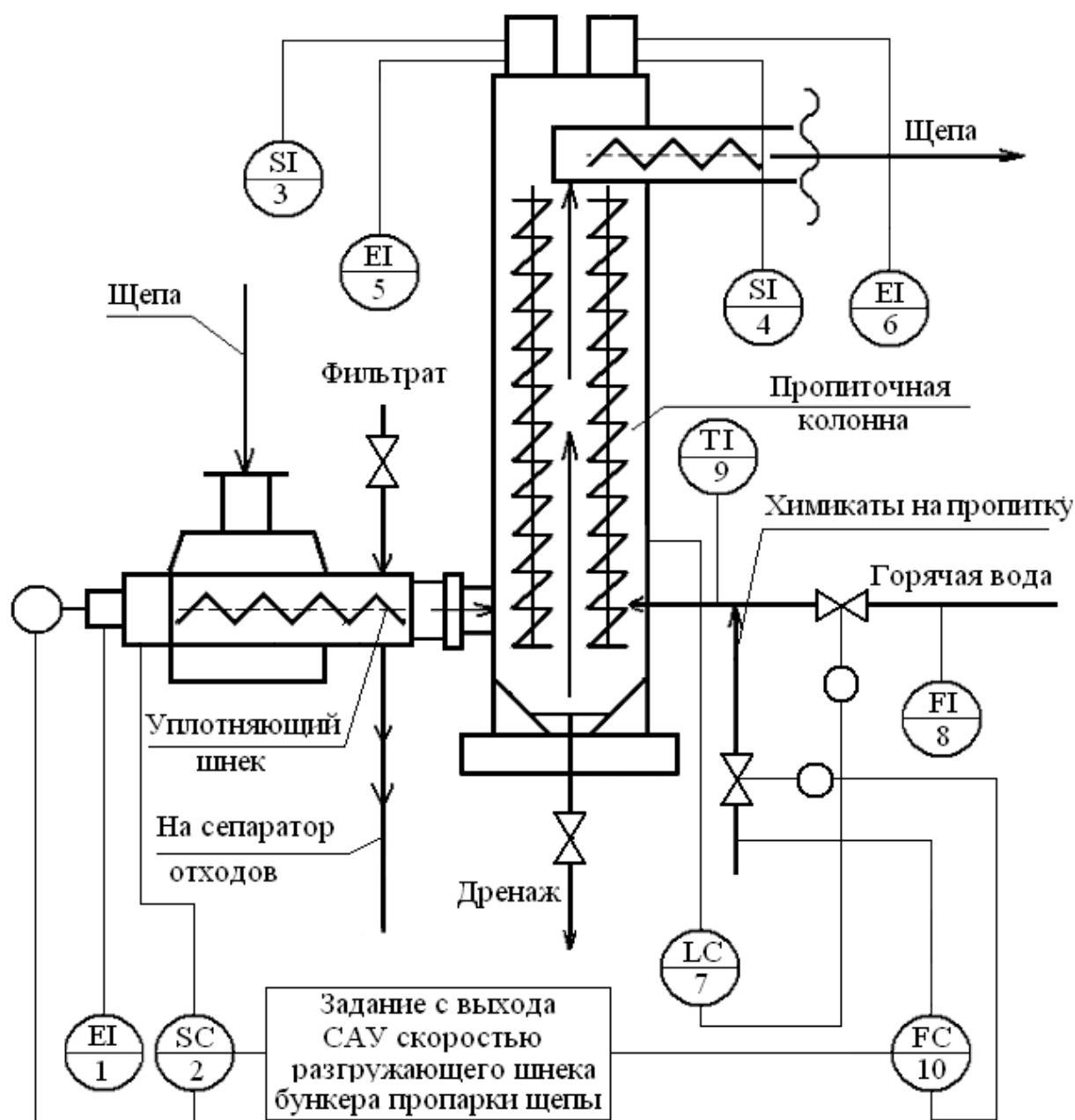


Рис.23.Функциональная схема автоматизации пропиточной колонны с уплотняющим шнеком

Автоматизация парогенератора теплорекуперационной установки в производстве ХТММ

Теплорекуперационная установка (ТРУ) предназначена для утилизации тепла пара, образующегося в процессе производства химикотермомеханической массы (ХТММ). При пропарке и первоначальном запуске рафинеров образуется низкопотенциальный пар давлением 0,1 МПа, в процессе рафинирования образуется пар давлением 0,4 МПа. После рафинирования паромассовая смесь попадает в гидроциклон, где происходит сепарация пара. Однако, пар содержит химические примеси и взвешенные волокна и не может в прямом виде использоваться в дальнейшем производстве. Поэтому он подвергается терморекуперации. ТРУ включает парогенератор, подогреватель питательной воды (ПВ), оросительный конденсатор и насосы.

На ТРУ в результате рекуперации пара ХТММ образуется чистый пар давлением 0,34 МПа и подогревается обратная вода с температуры 35 °С до температуры 70 °С.

Парогенератор предназначен для конденсации основной части пара ХТММ, образующегося в рафинерах, и приготовления соответствующего количества чистого пара из питательной воды.

Парогенератор типа 3R фирмы “Rintekno” (Финляндия) представляет собой вертикальный теплообменник с подвижной головкой, оборудованной прямотрубным пучком. Нижняя часть корпуса теплообменника служит емкостью для питательной котловой воды. Свободное межтрубное пространство теплообменника заполнено чистым паром. Отбор чистого пара из теплообменника осуществляется через канальный сепаратор.

Пар ХТММ из напорных циклонов рафинеров поступает в нижнюю часть парогенератора. Циклонный эффект, создаваемый тангенциальным входом пара и низкая скорость входящего пара, позволяют эффективно очищать пар от остаточных волокон массы.

Из нижней части парогенератора пар поступает через центральную трубу в трубный пучок испарителя. В трубах пар конденсируется, отдавая тепло питательной воде, а конденсат стекает вниз в бак. Несконденсировавшиеся газы и пролетный пар ХТММ проходят через трубный пучок в верхнюю часть испарителя и далее в подогреватель питательной воды.

Испарение чистого пара происходит из падающей пленки питательной воды, стекающей по наружной поверхности труб. Стекающая пленка создается циркулирующей питательной водой из нижнего бассейна теплообменника к верхнему сопловому бассейну. Сопловой лист распределяет воду так, что образуется однородная стекающая пленка на наружной поверхности труб. Сопловые бассейны расположены через два метра на трубном пучке для обеспечения равномерного распределения циркулирующей воды и предотвращения вибрации труб. Количество циркулирующей питательной воды

в 15 раз больше количества генерируемого чистого пара. Чистый пар перед подачей в паропровод проходит сепарацию (каплеотделение). Питательная вода поступает в испаритель парогенератора через подогреватель.

Подогреватель питательной воды предназначен для окончательной конденсации пролетного пара и пара вторичного вскипания ХТММ и подогрева питательной воды до температуры испарения.

Для обеспечения нормального режима функционирования парогенератора с подогревателем ПВ предусмотрены следующие САУ и АСК (рис. 24):

САУ уровнем циркулирующей котловой воды в парогенераторе (поз.1). Сигнал низкого значения уровня останавливает циркуляционный насос I, а сигнал высокого значения уровня останавливает насос II питательной воды.

САУ уровнем конденсата в парогенераторе (поз.7). Высокое значение уровня блокирует выпуск пара ХТММ в парогенератор и открывает выпуск этого же пара в оросительный конденсатор.

АСК перепада давлений между паром ХТММ и чистым паром (поз.3). При превышении перепада давлений допустимого значения включается промывка испарителя для восстановления его рабочих характеристик.

АСК концентрации соли циркулирующей котловой воды (поз.4). При превышении концентрации соли верхнего допустимого значения часть ПВ сливается в сток.

АСК давления чистого пара и пара ХТММ (поз.5,6).

АСК расхода и температуры питательной воды, поступающей в подогреватель ПВ (поз.8,9) [6].

Автоматизация термодисперсионной установки

Термодисперсионная установка (ТДУ) предназначена для термомеханической обработки макулатурной массы, содержащей не более 10 % легкоплавких или размягчаемых при температуре не более 95 °С включений, таких как типографская краска, битум, латекс.

Эти включения распыляются до предела видимости в такой степени, что их неблагоприятное влияние на качество готового изделия полностью исключается. Установка встраивается в потоки приготовления различных видов макулатурной массы (поток подслоя и поток нижнего слоя для картона). Применение установки позволяет сократить простои картоноделательных машин, связанные с очисткой оборудования, увеличить срок службы одежды машин, сократить количество брака. Производительность – 150 т а.с.в./сут. Давление пара в магистральном трубопроводе не более 0,4 МПа, температура

массы в нагревательном (паровом) шнеке не более 95°C , общая мощность установленных электродвигателей – 850 кВт.

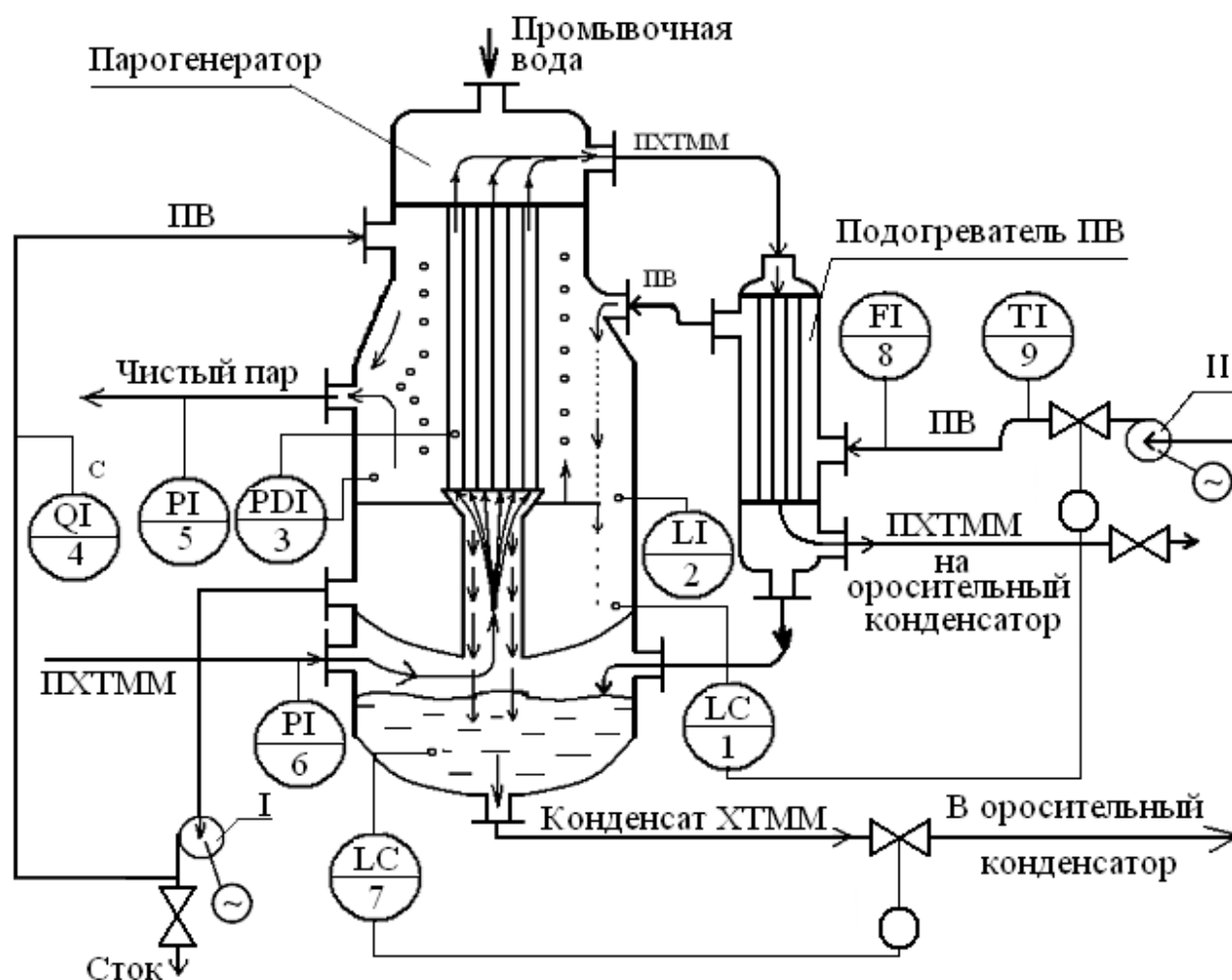


Рис.24. Функциональная схема автоматизации ТРУ производства XTMM:
ПВ – питательная вода; ПХТММ – пар XTMM

ТДУ для получения макулатурной массы оптически гомогенного состава при холодном способе термомеханической обработки (до 95°C) включает следующее оборудование: сеточный пресс с напорным ящиком, разрывной шнек, подъемный шнек, нагревательный (паровой) шнек, подающий шнек и диспергатор. Скорость сеточного пресса должна быть в диапазоне 12-48 м/мин в зависимости от производительности ТДУ.

Для получения концентрации макулатурной массы после сеточного пресса в диапазоне 25-30 %, согласно технологическому регламенту, необходимо автоматически управлять уровнем в напорном ящике и скоростью сеточного пресса.

Автоматическое управление температурой макулатурной массы на уровне $95 \pm 1^{\circ}\text{C}$ в нагревательном (паровом) шнеке обеспечивает снижение

удельных расходов электрической энергии, тепловой энергии (пара), повышает качество обработанной в ТДУ макулатурной массы и в конечном счете качество картона на КДМ и надежность оборудования [12].

В результате обработки макулатурной массы в ТДУ при температуре 95 °С загрязнения, содержащиеся в волокнистой массе, подвергаются следующим изменениям:

- типографская краска, битумы, латекс, а также остатки проклеивающих веществ измельчаются до такой степени, что их неблагоприятное влияние на работу КДМ и на качество картона исключается;
- пучки волокон распускаются почти полностью;
- гидрофобные включения диспергируются.

Для обеспечения нормального функционирования ТДУ необходимы следующие САУ, АСК и СДУ (системы дистанционного управления) (рис.25).

САУ концентрацией макулатурной массы, поступающей в напорный ящик сеточного пресса (поз.1), уровнем макулатурной массы в напорном ящике сеточного пресса (поз.2), скоростью сеточного пресса (поз.4), температурой макулатурной массы на выходе нагревательного (парового) шнека (поз.6).

АСК температуры макулатурной массы в конце подъемного шнека (поз.5) и расхода макулатурной массы (поз.7). Эти сигналы используются для коррекции задания САУ температурой на выходе парового шнека.

СДУ положением регулирующего органа на трубопроводе подачи макулатурной массы в сеточный пресс (поз.3), положением запорных клапанов на трубопроводах оборотной воды, поступающей на разбавление и промывку в диспергатор (поз.8,9).

Использование сигналов расхода макулатурной массы и её температуры в конце подъемного шнека для коррекции задания САУ температурой в нагревательном (паровом) шнеке повышает её точность и быстродействие [15],[17].

Автоматизация объектов подготовки волокнистой массы и производства бумаги и картона на БДМ или КДМ

Автоматизация гидроразбивателя

Процесс роспуска может быть как периодическим, так и непрерывно-дискретным.

Роспуск в гидроразбивателе периодического действия характеризуют следующие параметры: масса сырья, его сухость, масса и концентрация оборотной воды, время роспуска сырья, скорость вращения ротора, мощность электропривода ротора, концентрация в ванне гидроразбивателя, средний уровень в ванне, количество пучков нераспущенных волокон в единице объема распущенной волокнистой массы. Эти же параметры характеризуют и непрерывный роспуск за исключением времени роспуска. Кроме того, при непрерывном роспуске вместо массы сырья и воды учитываются массовые расходы. Одним из важнейших параметров, характеризующих процесс роспуска, является концентрация в ванне гидроразбивателя.

Существует система автоматического управления роспуском, которую можно применять для роспуска полуфабрикатов и брака с БДМ и КДМ. Суть этого способа управления заключается в измерении уровня в центре ванны (или по вертикали над краем роторного диска) и на периферии и в зависимости от их разности изменения расхода сырья и корректировки расхода оборотной воды.

При работе гидроразбивателя в результате вращения массы в ванне образуется «воронка». Перепад уровней в ванне в центре и на периферии характеризует форму свободной поверхности «воронки». Форма свободной поверхности «воронки» или перепад уровней является более точным показателем концентрации. Известно, что качество роспуска сырья при постоянной скорости вращения ротора зависит от степени загрузки гидроразбивателя или концентрации в ванне. С увеличением загрузки гидроразбивателя перепад уровней уменьшается, а концентрация увеличивается.

Перепад уровней управляется изменением расхода разбавляющей оборотной воды по пропорционально-интегральному алгоритму, уровень в ванне — изменением расходов отводимой и рециркуляционной массы по пропорциональному алгоритму. Одновременно сигнал перепада уровней через позиционное управляющее устройство и пускатель управляет включением и выключением электродвигателя привода транспортера подачи сырья. Таким образом, также обеспечивается отключение подачи сырья на роспуск при достижении минимально допускаемого перепада уровней (максимально допускаемой концентрации в ванне). В случае забивания сита и превышения уровня на периферии максимального значения другое позиционное управ-

ляющее устройство отключает автоматику управления уровнем и сигнализирует оператору об аварийном положении на объекте.

Управление процессом роспуска макулатуры, поступающей в кипах или россыпью, производится следующим образом (рис.26). Измеряют массовые расходы сырья и оборотной воды 3, определяют их соотношение и расход воды изменяют в зависимости от их соотношения и уровня в демпфере (переливном ящике) 4.

Массовый расход сырья – макулатуры определяют по усилию, действующему на ленту транспортера 1-1, и скорости ленты транспортера (угловой скорости барабана) 2-1.

Такая система управления позволяет повысить качество роспуска сырья, так как обеспечивает заданную концентрацию при роспуске, косвенно определяемую по соотношению массовых расходов сырья и воды [7],[17]. Система автоматизации также включает системы дистанционного управления расходом рециркуляционной массы 5 и распушенной выходящей массы 6.

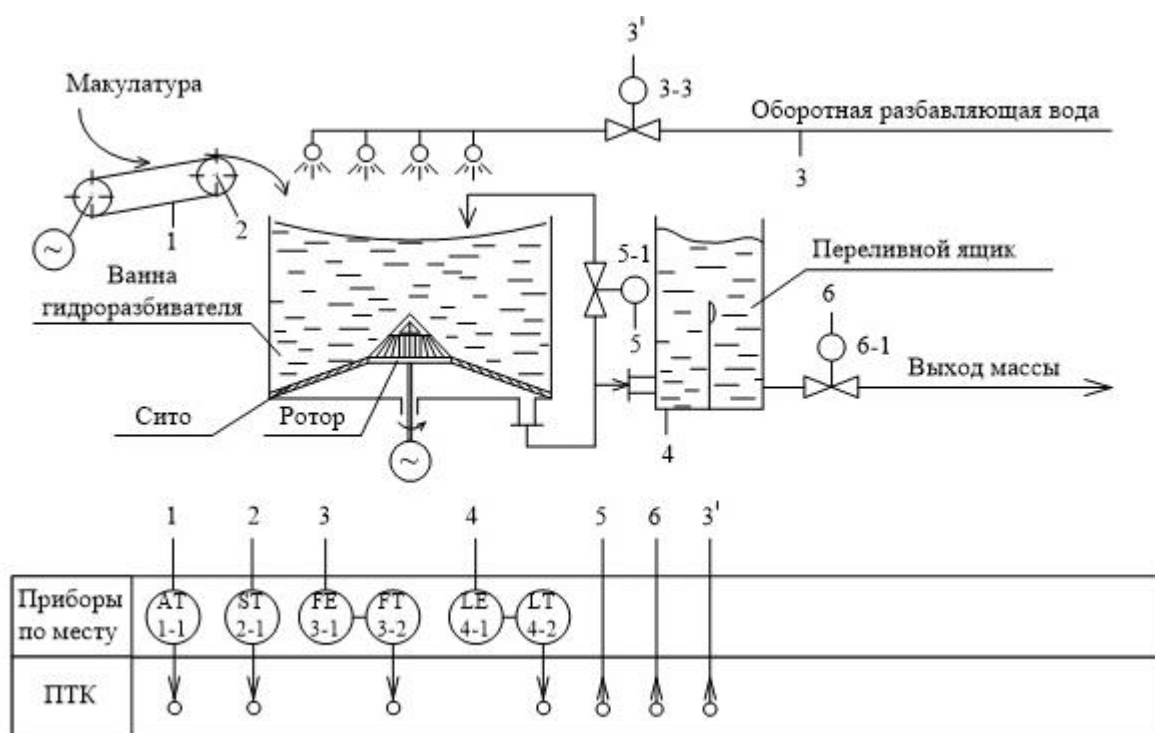


Рис.26. Функциональная схема автоматизации гидроразбивателя для роспуска макулатуры

Автоматизация сортирующего гидроразбивателя

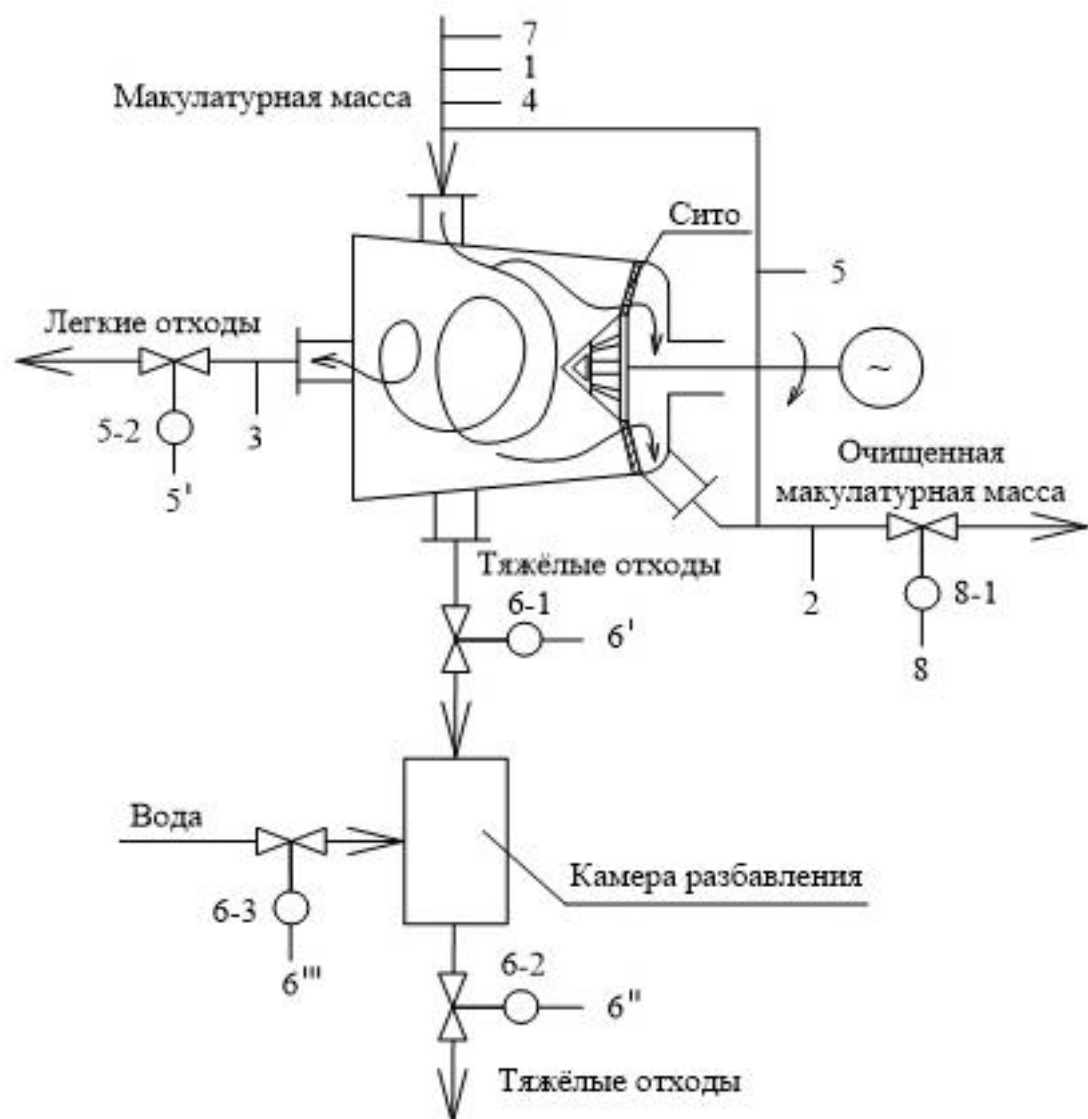
Сортирующие гидроразбиватели применяются для дороспуска, очистки и сортирования макулатурной массы на второй ступени в технологических схемах с двухступенчатым роспуском. Сортирующий гидроразбиватель имеет емкость закрытого типа, к которой тангенциально присоединен патрубок подачи массы. В центре торцевой крышки емкости, расположенной против ротора, находится патрубок отвода легких загрязнений. Внутри емкости над ситом установлен ротор. Сито является сортирующей перегородкой между емкостью и камерой приема готовой массы, к которой присоединен патрубок отвода готовой массы. Для отвода тяжелых загрязнений служит выходной патрубок.

Масса под давлением подается тангенциально в емкость через патрубок. Тангенциальная подача и вращение ротора обеспечивают закрутку потока в емкости. В результате действия центробежных сил происходит сепарация загрязнений. При этом частицы с плотностью, большей плотности воды, собираются у стенок емкости и удаляются через патрубок отвода тяжелых загрязнений в грязевик. В центре емкости вдоль оси вращения потока возникает зона разрежения и образуется центральный воздушный вихрь, вдоль которого скапливаются легкие загрязнения. Эти загрязнения периодически или непрерывно отводятся через патрубок. Легкие загрязнения, плотность которых близка к плотности воды, собираются и в центре емкости и циркулируют по всему объему. Удаление этих загрязнений происходит следующим образом. При закрытом патрубке в емкости возрастает концентрация загрязнений, так как они не пропускаются через сито. При открытии патрубка масса удаляется с повышенной концентрацией легких загрязнений, поэтому при относительно небольшом расходе достигается очистка от этих загрязнений.

Ротор гидроразбивателя распускает пучки волокнистого материала и способствует прохождению массы через сито. Сортирование на сите происходит под действием перепада давлений до и после сита. Готовая масса собирается в камере и отводится через патрубок. Таким образом, сортирующий гидроразбиватель выполняет функции гидроразбивателя (дороспуск массы), очистителя (отделение тяжелых и легких включений) и сортировки (отделение от массы нераспущенных пучков волокнистого материала).

В сортирующем гидроразбивателе происходят следующие основные процессы.

1. Роспуск волокнистого материала с целью уменьшения содержания нераспущенных пучков.
2. Сортирование волокнистой (макулатурной) массы с целью задержания на сите крупных пучков волокон, пропуска массы, содержащей хорошее волокно, и отделение легких и тяжелых включений.



	1	2	3	4	5	5'	7	6'	6''	6'''	8
Приборы по месту	PI 1-1	PI 2-1	PI 3-1	FE 4-1	FT 4-2	PDT 5-1	QT 7-1 ^C				
ПТК	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○

Рис.27. Функциональная схема автоматизации сортирующего гидроразбивателя

Следовательно, автоматизация необходима для повышения степени очистки макулатурной массы от загрязнений и уменьшения потерь хорошего волокна с отходами.

Система автоматизации (рис.27) включает в себя следующие системы автоматики:

- АСК давления на входе 1-1;
- АСК давления хорошей массы на выходе 2-1;
- АСК давления на выходе легких отходов 3-1;
- АСК концентрации входящей макулатурной массы 7-1;
- АСК расхода макулатурной массы 4-1,4-2;
- системы дистанционного управления (СДУ) запорными клапанами на выходе тяжелых отходов 6-1, 6-2 и на подаче воды 6-3;
- системы дистанционного управления (СДУ) клапаном на выпуске легких отходов 5-2 и на выходе хорошей массы 8-1;
- САУ перепадом давлений между входом и выходом суспензии с коррекцией по концентрации массы на входе 5-1.

Система автоматического управления перепадом давлений работает следующим образом. Измеряется разность давлений ΔP между входом суспензии и выходом очищенной суспензии за ситом, определяется концентрация волокнистой суспензии на входе и выпуск легких отходов регулируется (изменяется) в зависимости от отклонений этих параметров от заданных значений. При достижении определенного значения $\Delta P_{\max}$ система срабатывает и открывает клапан на трубопроводе легких отходов. При снижении ΔP до $\Delta P_{\min}$ клапан закрывается. При нахождении ΔP в диапазоне $\Delta P_{\min}$ - $\Delta P_{\max}$ САУ управляет положением клапана в зависимости от заданного значения ΔP .

Коррекция по концентрации вводится в систему для того, чтобы скомпенсировать изменение разности давлений при изменении концентрации на входе при неизменном количестве легких отходов. Так, например, при увеличении концентрации суспензии на входе увеличивается гидравлическое сопротивление при прохождении через сито и разность давлений ΔP . Тяжелые отходы удаляются по временной программе открытием и закрытием отсечных клапанов на камере разбавления [17].

Автоматизация дисковой мельницы для размола волокнистой массы (суспензии)

Размол, являющийся важнейшим этапом подготовки волокнистой массы для БДМ или КДМ, производится на дисковых или конических мельницах. Для обеспечения стабильности качества волокнистой массы (суспензии) после размола существуют следующие САУ размалывающими аппаратами по:

- мощности приводного электродвигателя;
- мощности приводного электродвигателя с коррекцией по расходу волокнистой массы;
- удельному расходу энергии с коррекцией по степени помола после размола;
- мощности приводного электродвигателя с коррекцией по перепаду температур волокнистой массы на входе и выходе;
- перепаду рН на входе и выходе;
- зазору между ножами размалывающей гарнитуры;
- степени помола волокнистой массы на выходе;
- удельному давлению, действующему на размалывающую гарнитуру.

Наиболее распространенная функциональная схема автоматизации представлена на рис. 28. Здесь: 1, 3, 4, 5, 6, 7 – соответственно АСК мощности электропривода мельницы; зазора между размалывающими дисками; степени помола волокнистой суспензии на выходе мельницы; расхода волокнистой суспензии, перепада давлений на мельнице; концентрации волокнистой суспензии на входе мельницы; 2 – САУ удельным расходом электроэнергии $\left(\frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{т}_{\text{всв}}}\right)$; 8, 9 – СДУ дросселированием потока волокнистой суспензии соответственно на входе и выходе мельницы [7,17].

Удельный расход электроэнергии вычисляется по информации от измерительных преобразователей АСК 1, 5 и 7. САУ удельным расходом электроэнергии выдает управляющий сигнал с коррекцией по степени помола от измерительного преобразователя АСК 4 на реверсивный пускатель. Реверсивный пускатель соответственно управляет механизмом присадки (МП), состоящим из реверсивного двигателя постоянной скорости, редуктора и механизма переключения редуктора.

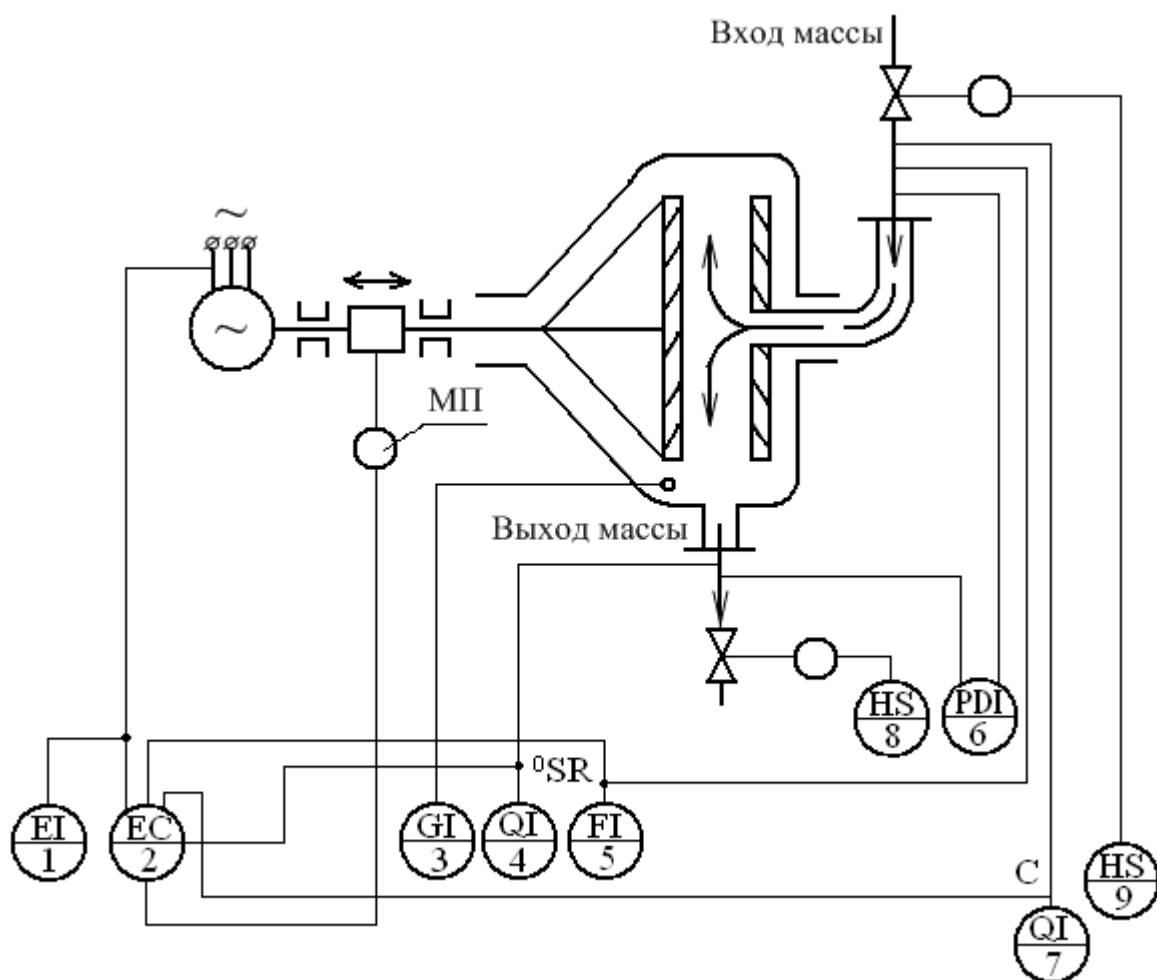


Рис.28. Функциональная схема автоматизации дисковой мельницы для размола волокнистой массы

Автоматизация составителя композиции бумажной массы

Одним из важнейших процессов при подготовке бумажной массы к отливу на БДМ является составление композиции.

Приготовление композиции бумажной массы осуществляется в машинном (композиционном) бассейне. Назначение машинного бассейна – это обеспечение постоянства композиции, концентрации массы и создание буферного запаса для компенсации нарушений равномерности подачи и характеристик массы, поступающей из размольно-подготовительного отдела (РПО).

Суспензия целлюлозы после размола поступает на составление композиций различных видов бумаги путем добавления древесной массы, клея (для придания водоотталкивающих свойств, для повышения сил связи между

волокнами, придания бумаге жесткости и звонкости), глинозема (для закрепления клея на волокне, повышения удерживаемости мелкого волокна и наполнителя), наполнителей, таких как каолин, мел и др. (для улучшения печатных свойств бумаги, повышения гладкости и лоска после каландрирования, повышения непрозрачности и снижения себестоимости) и красящих веществ (для устранения нежелательных серых, желтых тонов в бумаге, для окраски и подцветки).

Управление расходами компонентов осуществляется таким образом, чтобы обеспечить их заданное массовое соотношение в композиции бумажной массы. По конструкции бассейны бывают горизонтальные и вертикальные, а по типу перемешивающих устройств – лопастные, циркуляционные и пропеллерные. В настоящее время применяются почти исключительно вертикальные бассейны.

Для перекачки волокнистой массы от одного участка производства к другому применяются массовые насосы. Выбор насоса производится исходя из полного напора массы, который должен создавать насос, и его производительности. Обычно для перемещения волокнистых суспензий в пределах массоподготовительного отдела насос должен обеспечить напор 15–25 м.

Бумажная масса составленной композиции аккумулируется в машинном бассейне, откуда поступает на БДМ. Объем бассейна выбирается из условия обеспечения бесперебойной работы БДМ в течение определенного времени. Система автоматизации составителя композиции, например, для газетной бумаги (рис. 29) включает в себя следующие системы автоматизации:

- 1 – САУ расходом главного компонента (древесная масса);
- 2 – САУ уровнем массы в машинном бассейне;
- 3 – САУ соотношением расходов целлюлозы и древесной массы;
- 4 – САУ соотношением расходов брака и древесной массы;
- 5 – САУ соотношением расходов наполнителя (каолина) и древесной массы;
- 6 – САУ соотношением расходов краски и древесной массы;
- 7 – АСК концентрации композиционной массы на выходе из машинного бассейна.

Система управления композицией построена по каскадному принципу. САУ расходом главного компонента 1 и соотношением расходов компонентов 3,4,5,6 при постоянных концентрациях являются стабилизирующими. САУ уровнем массы 2 в машинном бассейне воздействует на задание САУ расходом главного компонента и является задающей [7].

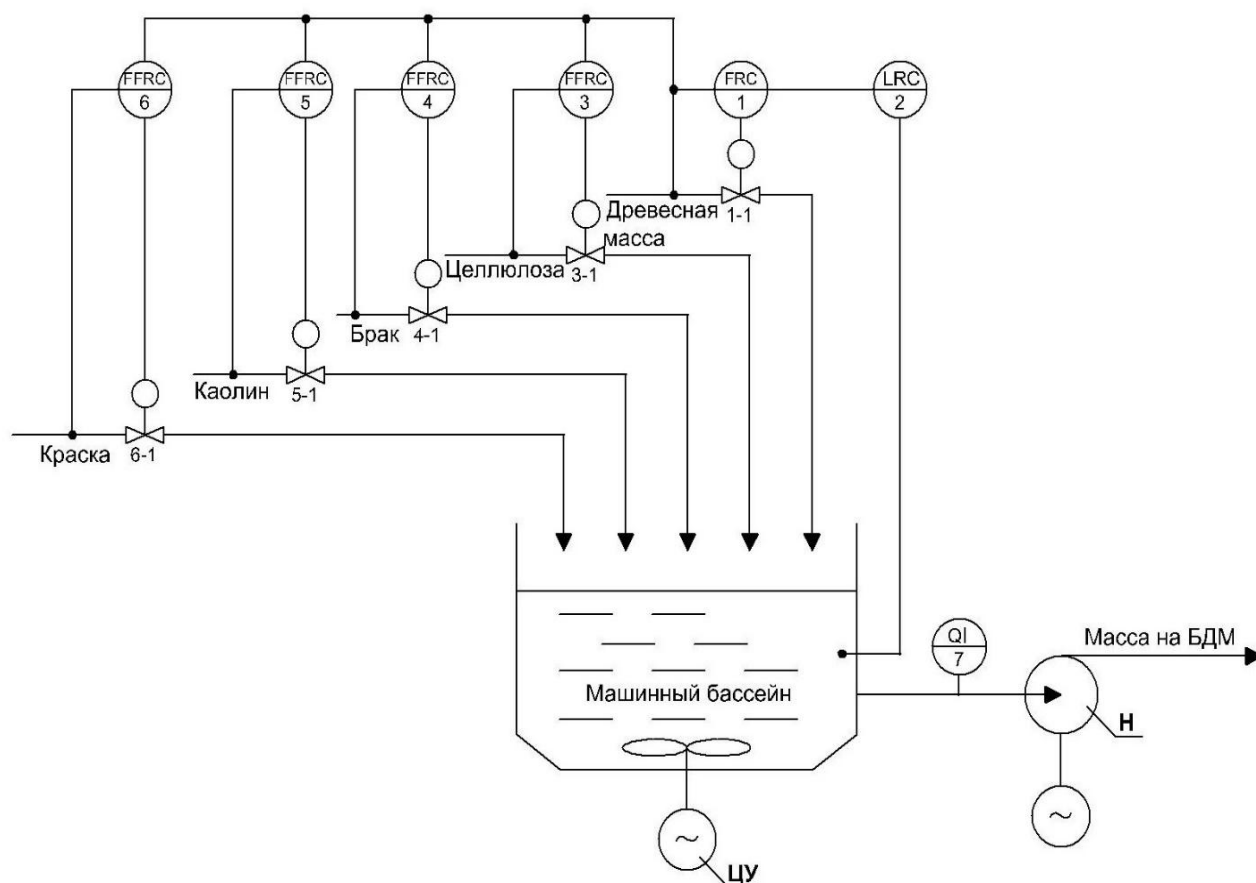


Рис.29. Функциональная схема автоматизации машинного бассейна:
Н – массный насос; ЦУ – циркуляционное устройство

Автоматизация напускного устройства БДМ

Напускные устройства применяются для напуска волокнистой массы (суспензии) на сетку БДМ или КДМ. Они обеспечивают заданную скорость истечения суспензии и равномерное её распределение на сетке машины. Это необходимо для стабилизации поверхностной плотности и толщины полотна бумаги или картона.

В напускных устройствах открытого типа напор определяется уровнем массы над выпускной щелью.

Они применяются на машинах, у которых скорость сетки не превышает 300 м/мин.

На высокоскоростных машинах используются напускные устройства закрытого типа (гидродинамические), в которых требуемый статический напор создается насосом и избыточным давлением воздуха [7],[17].

Функциональная схема автоматизации гидродинамического напускного устройства БДМ на базе ПТК представлена на рис. 30.

Для стабилизации поверхностной плотности бумажного полотна на заданном значении с точностью $\pm 0,5\%$ давление массы в напускном устройстве при истечении на сетку должно управляться с точностью $\pm 1\%$.

САУ давлением – каскадная. Внутренний (стабилизирующий) контур – САУ частотой вращения насоса 1, внешний (задающий) контур управления – САУ давлением волокнистой суспензии в напускном устройстве 2. Управляющий сигнал САУ давлением массы для повышения точности управления воздействует также на подачу воздуха в напускное устройство и на отвод суспензии в линию рециркуляции.

3, 4 – САУ уровнем суспензии в переливной трубе и правом переливном отсеке напускного устройства.

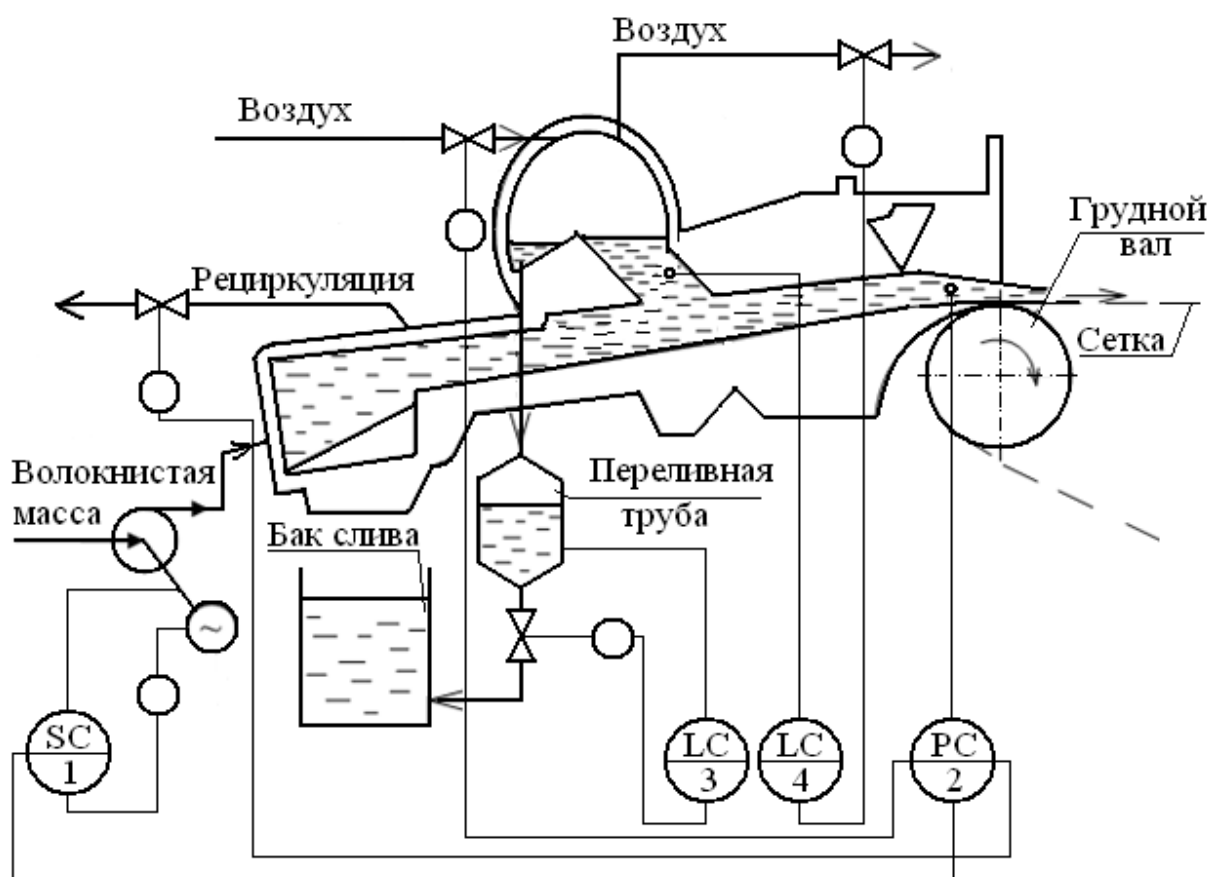


Рис.30. Функциональная схема автоматизации гидродинамического напускного устройства

Автоматизация верхнего сеточного стола БДМ фирмы «Voith» для производства двухслойной бумаги

Сеточная часть БДМ фирмы «Voith» для выработки двухслойной бумаги состоит из двух плоскосеточных столов: верхнего и нижнего.

Нижний (основной) сеточный стол предназначен для отлива и формирования нижнего слоя бумаги. Длина нижнего сеточного стола от оси грудного вала до оси гауч-вала 15950 мм. Общая длина нижней сетки 39200 мм. Верхний сеточный стол расположен над нижним сеточным столом и предназначен для отлива и формирования верхнего (покровного) слоя бумаги. Длина верхнего сеточного стола от оси грудного вала до оси поворотного вала 6200 мм. Общая длина верхней сетки 17750 мм. Ширина сеток 5000 мм.

Функциональная схема автоматизации верхнего сеточного стола представлена на рис. 31.

Технологическая часть схемы имеет следующие обозначения:

- I- грудной вал $\varnothing 694$;
- II- формующая (грудная) доска;
- III- ящик из четырех гидропланок;
- IV- ящик из пяти гидропланок;
- V- мокрый отсасывающий ящик;
- VI- плоские сухие отсасывающие ящики;
- VII- сеткоповоротный вал $\varnothing 1000$;
- VIII- сеточный цилиндр $\varnothing 1000$;
- IX- сетконатяжные валы $\varnothing 514$;
- X- сеткоправильный вал $\varnothing 514$;
- XI- синтетическая сетка;
- XII- барометрические трубы (водоотделители);
- XIII- напорный ящик.

Одним из важнейших факторов процесса обезвоживания на отсасывающих ящиках является обеспечение в них заданного вакуума. В этом случае основным управляемым параметром является вакуум в отсасывающих ящиках и коллекторе. Управлением вакуумом производится изменением расхода воздуха, поступающего из атмосферы.

Система автоматизации включает следующие системы автоматического и дистанционного управления и контроля на базе ПТК и локальной автоматики:

- 1- САУ положением сетки на локальной автоматике;
- 2- САУ натяжением сетки на локальной автоматике;
- 3,4,5- САУ разрежением в мокром и сухих отсасывающих ящиках;
- 6,7,8- системы дистанционного управления (СДУ) положением клапанов на отсосе воздуха вакуум-насосом;
- 9- САУ уровнем в сборнике оборотной подсеточной воды;
- 10- АСК (автоматическую систему контроля) pH оборотной воды, уходящей в массоподготовительный отдел БДМ.

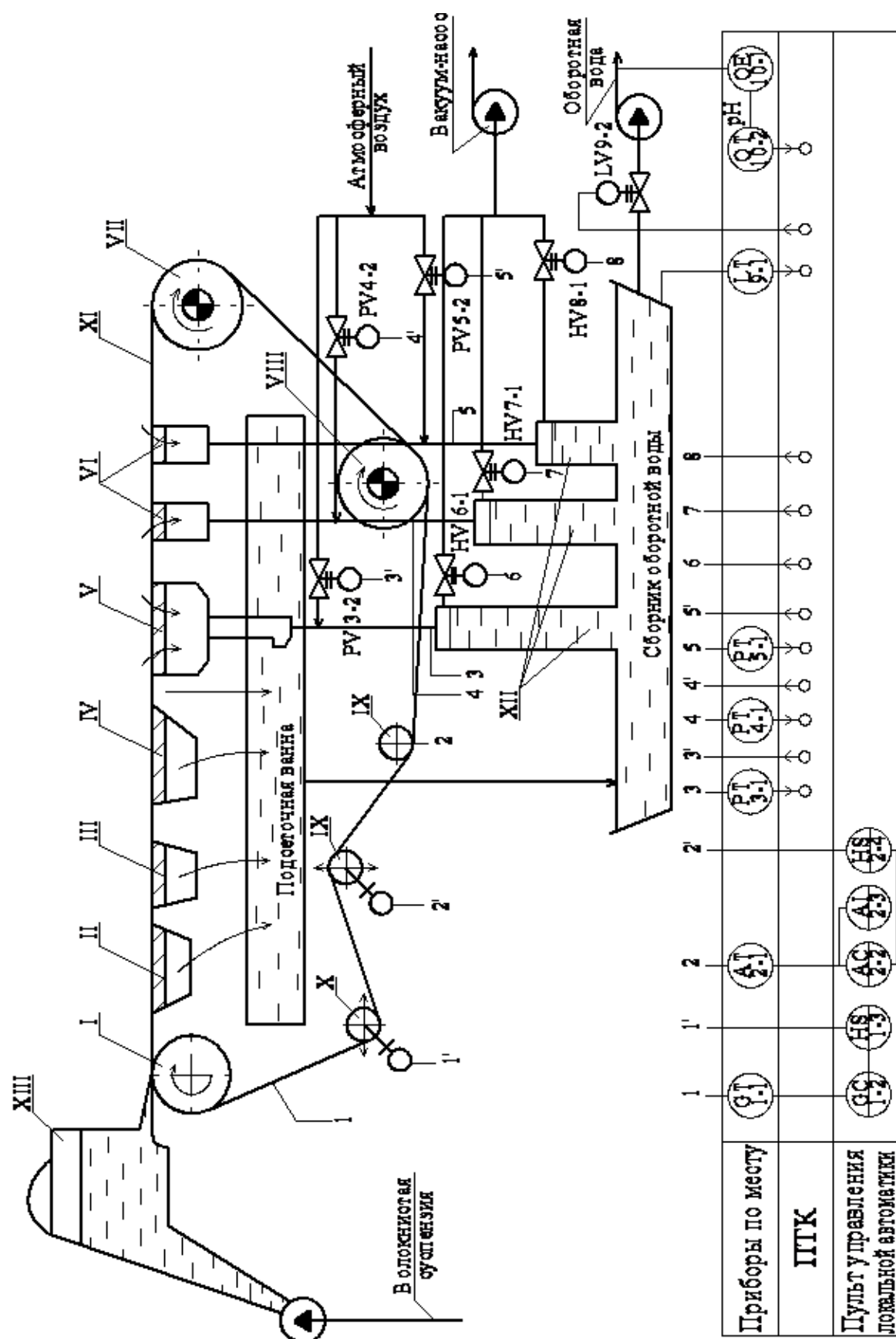


Рис.31. Функциональная схема автоматизации верхнего сеточного стола

При увеличении разрежения возрастает количество мелкого волокна, уходящего через сетку вместе с водой и воздухом. При увеличении разрежения также увеличивается износ сетки. Управление натяжением и положением сетки также необходимо для повышения её срока службы и для снижения брака при формировании полотна бумаги. Автоматический контроль рН оборотной воды необходим, так как при его отклонении от нормы возникает процесс пенообразования в волокнистой суспензии, отрицательно влияющей на формирование полотна на сетке [7],[17].

Автоматизация гауч-вала

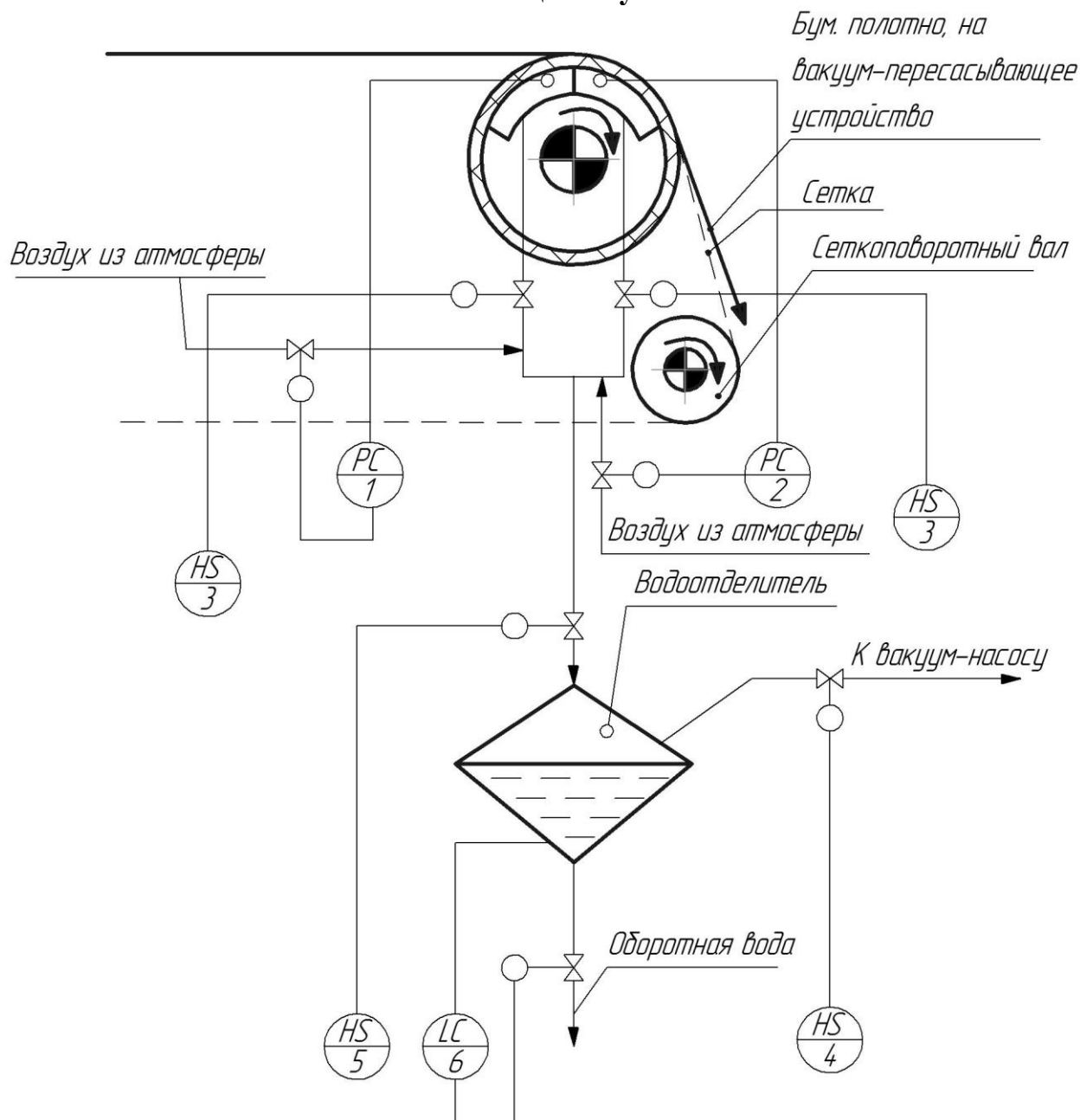


Рис.32. Функциональная схема автоматизации гауч-вала: 1,2- САУ разрежением в камерах гауч-вала; 3,4,5- СДУ положением клапанов на воздуховодах из атмосферы и к вакуум-насосу; 6-САУ уровнем оборотной воды в водоотделителе

Гауч - вал двухкамерный диаметром 1000 мм. После гауч - вала бумажное полотно сухостью 18-22 % снимается с сетки вакуум-пересасывающим валом и передается на 4- вальный пресс.

Величина разрежения в гауч-вале на нижнем сеточном столе и отсасывающих ящиках влияет не только на процесс формования полотна, но и на расход электроэнергии на привод БДМ, так как при увеличении разрежения возрастает трение сетки о крышки ящиков и других обезвоживающих элементов. Схема автоматизации гауч-вала представлена на рис.32.

Автоматизация сушильной части БДМ

Основная цель автоматизации сушки бумажного полотна в сушильной части БДМ состоит в обеспечении заданного температурного режима сушки и получении бумаги заданной влажности в продольном и поперечном направлениях. Функциональная схема автоматизации контактной сушки бумажного полотна при параллельном парораспределении на базе ПТК приведена на рис.33.

Работа систем управления контактной сушкой должна быть согласована с решением основной задачи, которая заключается в обеспечении наиболее низкого соотношения расходов пара и удаленной воды из полотна бумаги. Все сушильные цилиндры разбиваются на несколько групп, чтобы между паровым коллектором и коллектором конденсата каждой сушильной группы был соответствующий перепад давления. Основными управляемыми параметрами являются давление пара, перепад давления, уровни в водоотделителях, влажность и поверхностная плотность бумажного полотна.

Давление пара в коллекторе каждой сушильной группы и в главном коллекторе управляется САУ 1, 6, 7, 8. Перепад давления между паровым коллектором и коллектором конденсата каждой сушильной группы управляется изменением расхода вторичного пара, перепускаемого из водоотделителей (САУ 3, 4, 5). В водоотделителях уровень управляется выходом конденсата (САУ 9, 10, 11) [7],[17].

Системы автоматического управления давлением пара в каждой сушильной группе обеспечивают температурный график сушки. В случае трех сушильных групп температурный график должен быть следующим:

1-я группа – подъем температуры с 60-65 °С до 110 °С;

2-я группа – температура 110-120 °С;

3-я группа – снижение температуры до 90-95 °С.

Следовательно, давление пара снижается от первой к последующим группам, например, от 300 кПа до 70 кПа.

Соблюдение таких перепадов давления необходимо для более полного использования тепла греющего пара и для удаления воздуха из сушильных

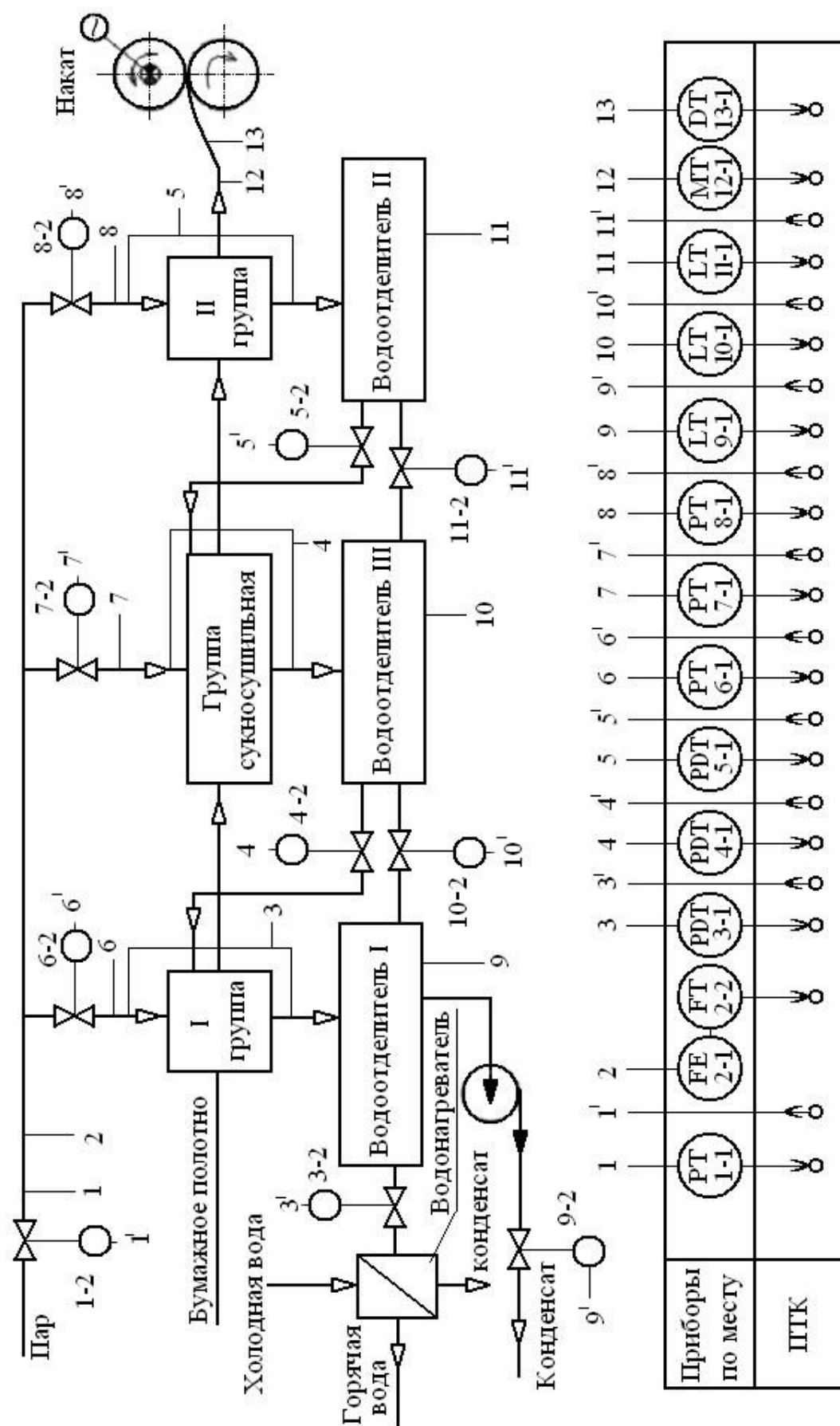


Рис.3.3. Функциональная схема автоматизации сушительной части БДМ на базе ПТК

цилиндров, что в свою очередь повышает коэффициент теплопередачи от пара к бумажному полотну.

Управление влажностью бумажного полотна реализуется по каскадной схеме: выходной сигнал САУ влажностью 12 является заданием САУ давлением пара 8 в ведущей сушильной группе II. Поверхностная плотность бумажного полотна 13 управляется изменением расхода волокнистой массы, поступающей в напускное устройство БДМ. 2 – АСК расхода пара на сушильную часть БДМ.

Автоматизация периодической варки сульфитной целлюлозы

Сульфитную целлюлозу варят в специальных варочных котлах, куда помещают подготовленную щепу и заливают ее варочной кислотой. Обычный варочный котел — периодически действующий аппарат, обогреваемый острым, иногда глухим паром. Объем варочных котлов, наиболее распространенных в настоящее время, составляет 200, 280, 320 м³.

Параметры процесса периодической варки сульфитной целлюлозы:

1. Температура в котле — 115 °С (на этапе заваривания).
2. Температура в котле — 170 °С (на этапе варки).
3. Давление в котле — 0,6 МПа.
4. Расход пара — 300 кг/2 т щепы.
5. Температура пара — 180 °С.
6. Влажность щепы — 25 %.
7. Емкость котла — 320 м³.
8. Расход щепы — 128 м³ щепы.

После загрузки котла щепой и пропарки, а чаще, совмещая с этими операциями, в котел насосом закачивают варочную кислоту. Закачка кислоты длится 20...30 мин. В зависимости от метода обогрева котел заливают кислотой полностью «под крышку» (непрямой обогрев) либо оставляют свободное пространство в 5... 10 м³, учитывая возможность размещения в котле конденсата пара (прямой обогрев).

Объем кислоты, заливаемой в котел, зависит от степени наполнения котла щепой. Кислота, следовательно, заполняет оставшееся свободное пространство. Если степень заполнения котла, например, 0,35 пл. м³/ м³, то объем кислоты, очевидно, составит 0,65 м³ на 1 м³ объема котла. Фактически объем кислоты в 1 м³ объема котла будет несколько больше, так как некоторая ее часть уже во время закачки успевает впитаться в древесину. Варка условно делится на два периода: заварку — подъем температуры от начальной 50...70 °С до 105...115 °С и пребывание на этой температуре — и собственно варку, охватывающую остальной период от подъема температуры до конечной (128...155 °С) до завершения варочного процесса.

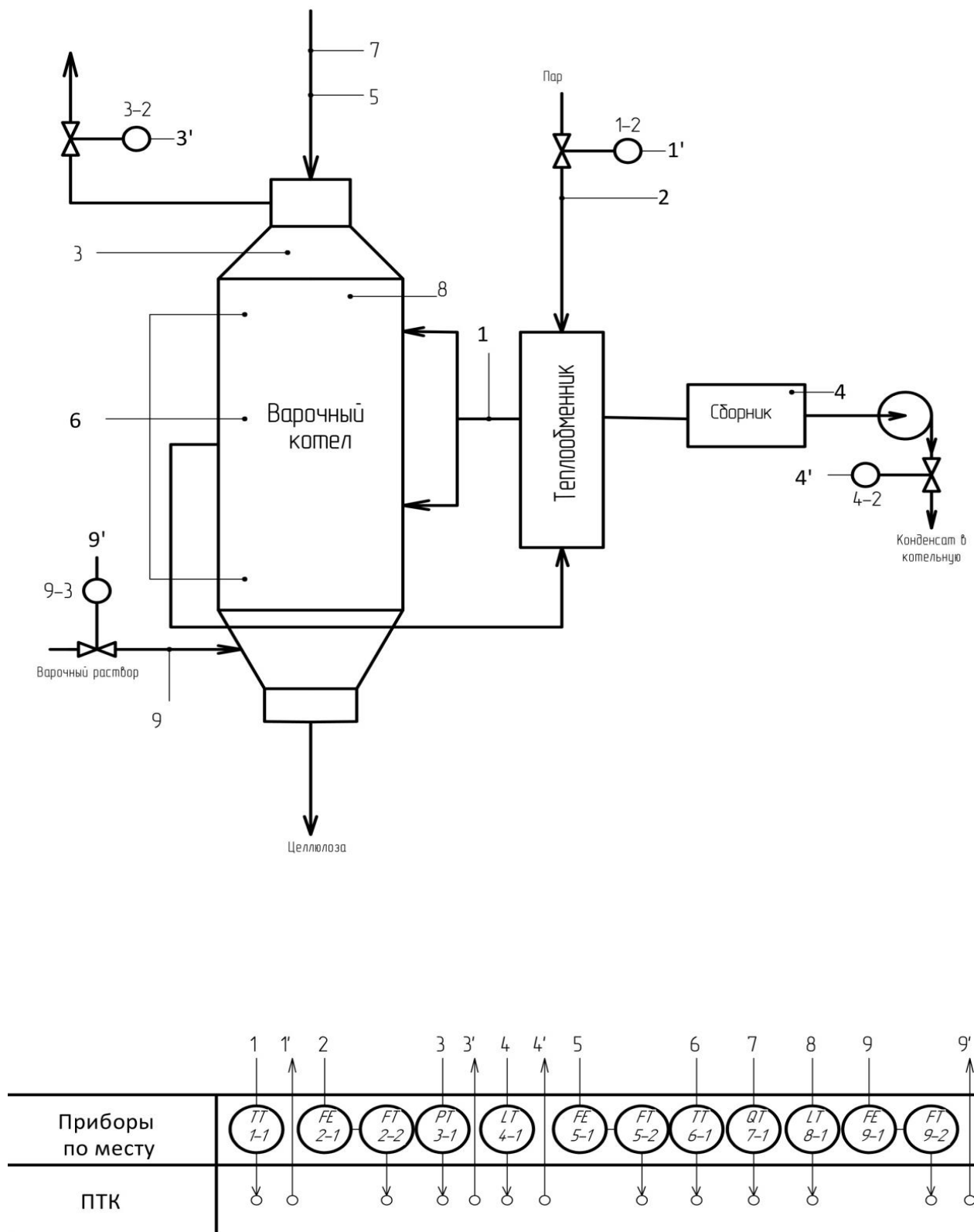


Рис.34. Функциональная схема автоматизации котла периодической варки сульфитной целлюлозы

Продолжительность заварки составляет от 2 до 6 ч и зависит главным образом от крепости кислоты, ее температуры и влажности щепы. В период заварки происходит пропитка щепы варочной кислотой и сульфонирование лигнина в твердой фазе. Более полному завершению этих процессов служит пребывание при температуре 105... 115 °С. Одновременно с ростом температуры в котле увеличивается и давление. Уже при достижении температуры 80...100 °С давление в котле за счет выделения из кислоты свободного SO₂ и воздуха из древесины достигает предельно допустимого значения —0,6...0,65 МПа. Для дальнейшего подъема температуры необходимо проводить сдувку парогазовой смеси. С целью поддержания давления в котле на постоянном уровне наиболее целесообразно производить непрерывную сдувку. Сдуваемую парогазовую смесь направляют в систему регенерации SO₂ и тепла сдувок.

Для опоражнивания котла давление в нем снижают до 0,15...0,3 МПа. Содержимое выпускают в закрытую ссезу или выдувной резервуар. Выдувка длится 10... 15 мин.

Функциональная схема автоматизации котла представлена на рис.34.

Система автоматизации включает следующие системы автоматического и управления, и контроля на базе ПТК:

1 – программная САУ температурой варочного раствора за теплообменником перед котлом; 2, 5 – соответственно АСК расходов пара и щепы, 3 - программная САУ давлением в котле, 4, 9 – соответственно САУ уровнем конденсата в сборнике и расходом варочного раствора, заливаемого в котел, 6, 7, 8 – соответственно АСК температуры в котле, влажности загружаемой щепы и уровня в котле.

4. ВЫБОР ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Измерительные преобразователи (ИП) для систем автоматизации выбираются по следующим показателям.

1. Требуемая точность измерения параметра.
2. Характеристики измеряемой среды.
3. Допускаемые инерционность измерения для ИП температуры и временная дискретность выдачи результатов измерения для экспресс - анализаторов.
4. Область применения и рекомендации производителя.
5. Стоимость ИП.

Основной принцип выбора ИП заключается в следующем: точность измерительного средства должна быть достаточно высокой по сравнению с требуемой точностью измерения параметра, а трудоемкость измерения и стоимость ИП должны быть возможно более низкими.

Необходимо все измеряемые параметры внести в следующую таблицу 1:

Таблица 1. Параметры контроля и управления

Наименование параметра	Единица измерения параметра	Диапазон изменения значения параметра $x_{\min}-x_{\max}$	Место измерения	Характеристика среды	Требования к абсолютной погрешности Δ	Требования к относительной погрешности δ , %
------------------------	-----------------------------	--	-----------------	----------------------	--	---

Выбираем ИП по диапазону измерения. Рабочее значение параметра или возможный диапазон изменения параметра ($x_{\max}-x_{\min}$) должны находиться в третьей четверти или во второй трети диапазона измерения ИП, поскольку в этих диапазонах измерения характеристика ИП близка к линейной [10].

Итак, диапазон измерения ИП – x_N .

Если дана требуемая абсолютная погрешность измерения Δ , то определяем относительную приведенную погрешность для выбранного диапазона измерения ИП.

$$\gamma = \frac{\Delta \cdot 100}{x_N} \% \quad (1)$$

Выбираем такой ИП, у которого максимальная относительная приведенная погрешность (класс точности) не превышает рассчитанную по выражению (1).

Если дана требуемая относительная погрешность измерения δ , то ИП выбираем следующим образом.

Известно, что

$$\delta = \frac{\Delta \cdot 100}{X} \% , \quad (2)$$

где X – измеренное значение параметра.

Согласно таблице 1, параметр может изменяться от $x_{\min}$ до $x_{\max}$. Поэтому для обеспечения более высокой точности измерения по сравнению с требуемой определяем из выражения (2) абсолютную погрешность Δ , полагая $X = x_{\min}$

$$\Delta = \frac{\delta \cdot X_{\min}}{100} . \quad (3)$$

Подставив выражение (3) в выражение (1), получаем значение относительной приведенной погрешности для выбранного диапазона измерения ИП

$$\gamma = \frac{\delta \cdot X_{\min}}{X_N} \% . \quad (4)$$

В этом случае также выбираем ИП с диапазоном измерения X_N и с максимальной относительной приведенной погрешностью (классом точности), не превышающей γ (4) [10].

Наиболее распространенные классы точности ИП – 0,5; 0,25.

Выбор измерительных преобразователей по другим показателям для различных параметров охарактеризуем ниже.

Измерение температуры

Для температуры от 0-180 °С рекомендуются термопреобразователи сопротивления медные с выходным аналоговым сигналом 4-20 мА и цифровым выходом RS-485. Тепловая инерционность 8-30 с.

Для температуры от 0-500 °С рекомендуются термопреобразователи сопротивления платиновые с выходами 4-20 мА и RS-485. Тепловая инерционность 40 с.

Для температуры в диапазоне 600-1000 °С рекомендуются термоэлектрические преобразователи хромель-алюмелевые с аналоговыми выходными сигналами. Тепловая инерционность 8, 20, 30, 40 с.

Для температуры в диапазоне 500-2000 °С рекомендуются оптические и одноцветные пирометры, а температуры в диапазоне 500-3000 °С - одноцветные оптоволоконные пирометры.

Измерение давления

Для избыточного давления от 0,04 кПа до 100 МПа разрежения от 0,04 до 630 кПа применяются интеллектуальные пьезорезистивные ИП с выходными сигналами 4-20 мА и интерфейсом RS-485.

Измерение уровня

Для измерения уровня (в пересчете на гидростатическое давление от 4 до 250 кПа) рекомендуются ИП гидростатического давления на пьезорезистивном эффекте.

Для измерения уровня с учетом характеристики среды применяют следующие ИП:

- ультразвуковые для диапазона 0,25-8 м, температура среды $-40 \div +120$ °С, среда – вязкие, неоднородные, выпадающие в осадок, взрывоопасные, агрессивные жидкости, сыпучий и кусковой материал;
- радарные для диапазона 0,6-30 м, температура среды $-40 \div +250$ °С, среда – пенообразные, аэрированные, вязкие взвеси, клеи, смолы, пасты, полимеры, сыпучие материалы;
- емкостные для диапазона 0,3-25 м, температура среды $-40 \div +200$ °С, среда – жидкости, пульпы, сыпучие и вязкие вещества в условиях образования конденсата и высокой запыленности.

Измерение белизны бумаги и целлюлозы

Рекомендуются оптические ИП для диапазона 5-96 % по ISO.

Измерение расхода жидких сред

Рекомендуются следующие ИП:

- электромагнитные для электролитов, давление среды до 2,5 МПа, температура среды $5 \div 150$ °С, скорость движения среды в трубопроводе 0,15-12 м/с, условный диаметр трубопровода $D_y=32-200$ мм, среда - невзрывоопасная, в том числе пульпы с мелкодисперсными твердыми частицами (волокнистые суспензии);
- ультразвуковые в трубопроводе, $D_y=10-4200$ мм, температура среды $-10 \div +180$ °С, давление среды до 2,5 МПа, среда – нефть, нефтепродукты, масла;
- пьезорезистивные ИП перепада давлений в комплекте с диафрагмами, $D_y=50-1200$ мм, давление среды 0,6-4 МПа, среда – насыщенный и перегретый пар.

Измерение концентрации волокнистой суспензии в трубопроводе

Рекомендуются следующие ИП:

- микроволновые бесконтактные для диапазона 0-50 %, температура среды $5-50$ °С, $D_y=20-300$ мм, давление среды ≤ 1 МПа, точность $\pm 0,01 - \pm 0,02$ % концентрации;
- работающие на принципе «обтекания» для диапазона $0,7 \div 16$ %, температура среды ≤ 60 °С, скорость среды $0,5 \div 8$ м/с, $D_y = 80 \div 125$ мм, среда – несортированная и сортированная бумажная масса, термомеханическая и дефибрерная древесная масса, макулатурная масса;
- роторные для диапазона 1-16 %, скорость среды 0-5 м/с, точность $0,005 \div 0,003$ % концентрации;
- инфракрасные для диапазонов 0,01-3,5; 0,01-7; 0,01-12 %;
- оптические для диапазона 0,01-16 %.

Измерение степени помола волокнистой суспензии

Рекомендуются экспресс-анализаторы с пробоотборниками суспензии из трубопровода, основанные на фильтрационных свойствах волокнистой суспензии и скорости её обезвоживания для диапазона 15-98 °ШР с дискретностью выдачи результата измерения 4 и 2 мин.

Измерение концентрации остаточных химикатов

Рекомендуются ИП, основанные на измерении электропроводности химических растворов в процессах отбелки целлюлозы, древесной массы и пропитки химикатами древесной щепы.

Измерение влажности бумажного, целлюлозного полотна и других материалов

Рекомендуются следующие ИП:

- микроволновые для диапазона 4-12 % с коррекцией по температуре окружающего воздуха и массе 1 м², среда – бумажное и картонное полотно;
- инфракрасные для диапазона 0-50 %, среда – бумажное, картонное, целлюлозное полотно, непрозрачные пленки, сыпучий материал, стружка, щепа, ДВП, ДСП.

Измерение массы 1м² (поверхностной плотности), зольности и толщины бумажного и картонного полотна

Рекомендуются следующие ИП.

Для измерения массы 1м²: радиоактивные в диапазоне 40-1200 г/м²; инфракрасные в диапазоне 10-250 г/м².

Для измерения зольности: радиоактивные в диапазоне 0-30 %; инфракрасные в диапазоне 0,5-25 %.

Для измерения толщины: индуктивные в диапазоне 10-1000 мк [15].

5. ВЫБОР ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Регулирующий орган (клапан) и привод исполнительного устройства (ИУ) выбираются на основе сформулированных требований, учитывающих особенности технологического процесса.

При выборе клапана требуется учитывать его коэффициент пропускной способности с учетом особенностей среды, вида расходной характеристики, уровня кавитации, конструктивных особенностей клапана и вида движения его затвора.

Для расчета коэффициента пропускной способности клапана могут быть использованы различные методы как традиционные, так и специальные на основе разработок компаний, производящих клапаны. Например, компания Metso (Финляндия) при выборе клапанов применяет программный пакет NelProf.

Необходимо ясно представлять, что правильный выбор клапана в значительной степени будет определять качество процесса регулирования в разрабатываемой САУ. Кроме того, важно правильно выбрать рабочий диапазон клапана и оценить влияние возмущений на расходную характеристику клапана, которые могут привести к изменению коэффициента передачи клапана в процессе работы САУ. Это в свою очередь вызовет ухудшение качества процесса регулирования технологического параметра.

При выборе исполнительного механизма (ИМ) исполнительного устройства необходимо учитывать следующие факторы:

- вид «ветви» ГСП (электрическая, пневматическая или гидравлическая);
- вид движения затвора регулирующего органа;
- величину движущего момента или усилия на перемещение затвора регулирующего органа;
- конструктивные особенности регулирующего органа;
- закон регулирования в САУ.

Основные рекомендации при выборе ИМ:

- учитывать особенности технологического процесса или производства (наличие вибраций, запыленности воздуха, высокой температуры и пр.);
- учитывать наличие на производстве воздуха для устройств пневмоавтоматики;
- использовать непосредственные связи для соединения выходного элемента ИМ (штока или вала) с затвором регулирующего клапана;
- величина движущего момента или усилия привода ИМ должна обеспечивать необходимую скорость, ускорение и величину перемещения затвора регулирующего клапана;
- при выборе преобразователя в САУ учитывать вид выходного сигнала с контроллера и закон регулирования в системе управления.

В качестве примера рассмотрим вариант САУ с однооборотным электрическим ИМ типа МЭО. Отечественная промышленность выпускает МЭО двух видов: рычажные и фланцевые. В первом случае в САУ необходимо использовать специальные тяги (кинематические соединения) для сочленения МЭО с регулирующим органом. Такие САУ не могут обеспечить, как правило, высокой точности регулирования из-за возможных люфтов в тягах. Во втором случае в САУ используется непосредственное соединение МЭО с регулирующим органом. Эти системы обеспечивают лучшую точность, а также удобнее в эксплуатации. Электрические исполнительные механизмы МЭО применяются с тиристорными усилителями трехпозиционного типа ФЦ или пускателями бесконтактными реверсивными типа ПБР.

В качестве другого примера рассмотрим САУ с электрическим прямоходным ИМ типа МЭП. В этом случае в системе необходимо использовать регулирующий орган с прямоходным движением, например, односедельчатый или двухседельчатый. Электрические исполнительные механизмы типа МЭП также применяются с тиристорными усилителями трехпозиционного типа ФЦ или пускателями бесконтактными реверсивными типа ПБР.

Рассмотрим пример САУ с пневматическим ИМ. В зависимости от вида регулирующего органа (поворотный или прямоходный) могут использоваться различные пневмоприводы, обеспечивающие непосредственное соединение с регулирующим органом. В качестве преобразователей могут применяться электропневматические преобразователи или электропневматические позиционеры. Если к САУ предъявляются повышенные требования к точности регулирования, тогда рекомендуется использовать электропневматические позиционеры. В последнее время в САУ находят все большее применение цифровые (SMART) позиционеры фирмы Metso.

6. ВЫБОР КОНТРОЛЛЕРА ПТК

Требования к ПТК

При разработке требований к ПТК необходимо учитывать концепцию создания АСУ ТП, связанную с особенностями разработки новой или модернизации существующей АСУТП. В курсовом проекте по АТПиП при разработке САУ требуется учитывать существующие на практике два основных подхода при создании АСУ ТП: ПЛК (PLC- Programmable Logic Controller) SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) - система или РСУ (DCS – Distributed Control System) - распределенная система управления.

Выбор промышленного контроллера

В связи с тем, что курсовой проект по АТПиП посвящен автоматизации технологического процесса с разработкой конкретной САУ, то в этом разделе требуется выбрать только промышленный контроллер, входящий в состав ПТК. Промышленные контроллеры подразделяются на: специализированные, моноблочные (компактные), программируемые модульные (проектно-компонованные), а также PC-base или PC-совместимые контроллеры.

Среди специализированных контроллеров можно выделить контроллеры СПЕКОН СК, предназначенные для автоматизированного управления в теплоэнергетике, имеющие объектно-ориентированное программное обеспечение, табло и функциональную клавиатуру. На основе этих контроллеров можно создавать децентрализованные АСУ производством, распределением и потреблением тепловой энергии.

Имеется большое разнообразие моноблочных контроллеров для автоматизации небольших объектов в различных отраслях промышленности, среди которых можно выделить Simatic S7-200 («Siemens»), Simatic S7-300C («Siemens»), ТКМ М410 («ТЕКОН»), МС8 комплекса КОНТАР(«МЗТА»).

ПТК КОНТАР («МЗТА») применяется для автоматизированного управления процессами вентиляции и кондиционирования воздуха, небольшими котельными и другими объектами в различных отраслях промышленности и строительства. В состав ПТК КОНТАР входит одноплатный контроллер типа МС или MR, модули расширения и модули для связи с сетями Lon и BacNet. В ПТК КОНТАР имеется большое количество «готовых» запрограммированных контроллеров.

При создании АСУТП технологическими процессами и производствами широко используются программируемые модульные контроллеры вместе с SCADA- системами.

Большое применение находят контроллеры фирмы Siemens. *Программируемый контроллер SIMATIC S7-300*. Это модульный программируемый контроллер, предназначенный для построения АСУ низкой и средней сложности. Контроллер SIMATIC S7-300 широко применяется в различных отраслях промышленности благодаря наличию в своем составе: нескольких типов центрального процессора (CPU) различной производительности, различных модулей ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов, функциональных модулей, способных самостоятельно решать задачи автоматического регулирования, и коммуникационных процессоров.

Программируемый контроллер SIMATIC S7-400. Это модульный программируемый контроллер, предназначенный для построения АСУ средней и высокой сложности. Контроллер SIMATIC S7-400 находит широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря наличию в своем составе: нескольких модулей центрального процессора (CPU) различной производительности, оснащенных встроенным интерфейсом PROFIBUS-DP, различных модулей ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов, функциональных модулей (FM), способных самостоятельно решать задачи автоматического регулирования, интерфейсных модулей (FM) и коммуникационных процессоров (CP) для организации последовательной передачи данных по PtP интерфейсу, а также сетевого обмена данными.

Модульная конструкция контроллера Siemens SIMATIC S7-400 (гибкие возможности расширения, мощные коммуникационные возможности, простота создания РСУ) позволяет решать задачи автоматизации практически любой сложности.

В промышленности также находят применение контроллеры CJ1 и CS1 фирмы Omron (Япония), например, в САУ котлоагрегатами и другими технологическими объектами.

Одним из перспективных направлений является создание АСУ на основе PC-base или PC- совместимых контроллеров, которые характеризуются следующим:

- имеют классическую открытую структуру IBM PC;
- работают под управлением тех же операционных систем, которые используются в PC, например, Windows, Unix, Linux, QNX;
- программирование выполняется на тех же языках, которые используются для разработки ПО для PC.

PC-base или PC-совместимые контроллеры по сравнению с остальными обладают большей производительностью, легче стыкуются с различными SCADA, MES, ERP системами, системами управления базами данных, открыты для большинства стандартов в области коммуникации и программирования, они в среднем дешевле и проще в обслуживании.

PC-base или PC-совместимые контроллеры могут использовать программное обеспечение различных производителей, имеют больший объем памяти, чем традиционные ПЛК, возможности расширения модернизации, а также лучшего диагностирования. Однако эти контроллеры в целом обладают избыточностью вычислительных ресурсов и функций ввиду их универсальности, возможностью зависания с длительным временем рестарта, пониженной надежностью за счет множества компонентов (приложений) на платформе PC.

В промышленности находят применения наряду с зарубежными контроллерами, например, ADAM 4500, ADAM 5510/5511, ADAM -6500 компании «Advantech» (Тайвань), Direct Logic 470 компании «Koyo Electronics» (Япония) и отечественные: контроллеры «ТЕКОН», контроллер КРОСС-500 (ОАО «АВС ЗЭ и М Автоматизация»).

Линейка контроллеров «ТЕКОН» (многофункциональные контроллеры МФК, МФК 3000, МФК 1500, ТКМ 52, ТКМ 410) охватывает практически все возможные задачи от автоматизации отдельных агрегатов и установок до создания АСУ ТЭС и ТЭЦ.

Контроллер КРОСС-500. Основное назначение контроллера - построение недорогих и надежных АСУ технологическими процессами различных классов (простые и сложные, медленные и быстрые) в различных отраслях промышленности. Контроллер КРОСС-500 является проектно-компонуемым изделием, состав которого определяет пользователь в зависимости от решаемых задач.

При выборе контроллера для АСУ необходимо учитывать, что PC- несовместимые контроллеры (специализированные, моноблочные и модульные) лучше учитывают требования, предъявляемые к промышленным системам управления. Они в целом более надежны. В них шире используются возможности связи с различными полевыми шинами. В этой связи они находят более широкое применение в АСУ технологическими процессами и производствами [18].

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Пример бланка задания на курсовой проект

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Институт энергетики и автоматизации
Кафедра АТП и П

ЗАДАНИЕ

на курсовое проектирование по дисциплине
«Автоматизация технологических процессов и производств»

Студенту _____ группы _____

Тема проекта Разработка системы автоматического управления температурой в разгружающем шнеке бункера пропарки древесной щепы в производстве ХТММ

Содержание расчетно-пояснительной записки

Введение

1. Анализ объекта управления (ОУ) и существующей системы автоматического управления (САУ) температурой в разгружающем шнеке бункера пропарки древесной щепы в производстве ХТММ
2. Математическая модель ОУ – бункера пропарки
3. Выбор и технико-экономическое обоснование предлагаемого способа управления и САУ температурой в разгружающем шнеке бункера пропарки
4. Разработка функциональной схемы и технической структуры САУ температурой в разгружающем шнеке бункера пропарки
5. Расчет предлагаемой САУ температурой
6. Анализ качества САУ температурой

Выводы

Библиографический список

Перечень графического материала

1. Динамические характеристики ОУ
2. Алгоритмическая схема ОУ
3. Алгоритмические схемы существующей и предлагаемой САУ температурой в разгружающем шнеке бункера пропарки
4. Иллюстрации к расчету САУ температурой
5. Функциональная схема САУ температурой
6. Техническая структура САУ температурой

Дата выдачи задания
« _____ » _____ 20 ____ г.

Дата представления проекта
« _____ » _____ 20 ____ г.

Руководитель _____

Исполнитель _____

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Математическая модель емкости открытого типа

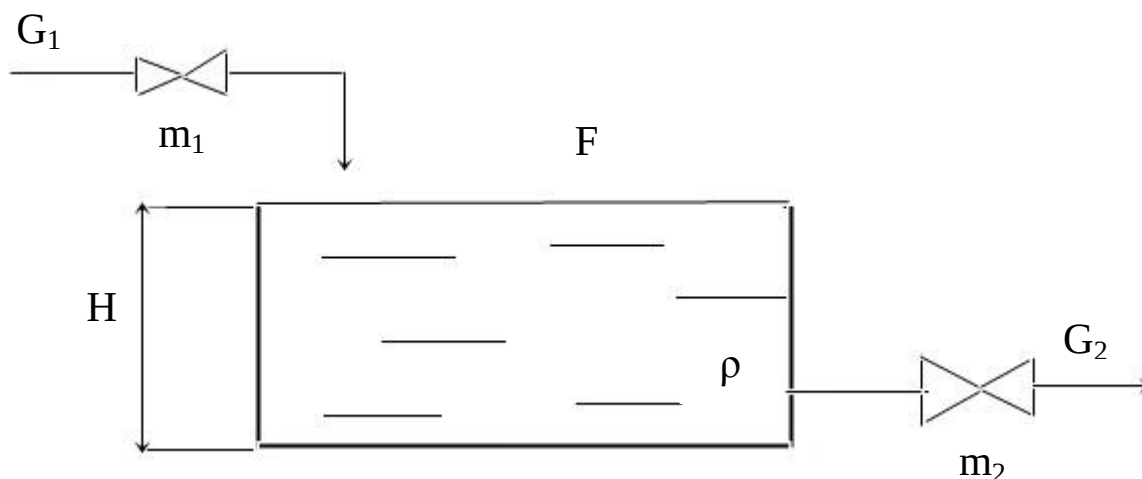


Рис. П2.1. Расчетная схема емкости открытого типа

Полагаем, что $G_1 = f(m_1); \quad G_2 = f(m_2, H)$

Уравнение материального баланса емкости (рис.П2.1) в динамике (в отклонениях от состояния равновесия) будет следующим

$$\frac{d\Delta G}{dt} = \Delta G_1 - \Delta G_2, \quad (\text{П2.1})$$

где

G – количество жидкости в емкости, кг;

G_1, G_2 – расходы жидкости на входе и выходе емкости, кг/с.

Известно, что

$$G = F \cdot H \cdot \rho, \quad (\text{П2.2})$$

где

F – площадь живого сечения емкости, м^2 ;

H – уровень в емкости, м ;

ρ – плотность жидкости, кг/м^3 .

Полагая F и ρ постоянными, можно записать, что

$$\Delta G = F_{\infty} \cdot \rho_{\infty} \cdot \Delta H, \quad (\text{П2.3})$$

$$\Delta G_1 = \left(\frac{\partial G_1}{\partial m_1} \right)_{\infty} \cdot \Delta m_1, \quad (\text{П2.4})$$

где

m_1 – степень открытия регулирующего органа на входе жидкости в емкость, %.

$$\Delta G_2 = \left(\frac{\partial G_2}{\partial m_2} \right)_{\infty} \cdot \Delta m_2 + \left(\frac{\partial G_2}{\partial H} \right)_{\infty} \cdot \Delta H, \quad (\text{П2.5})$$

где

m_2 – степень открытия регулирующего органа на выходе жидкости из емкости, %.

Известно, что, полагая давление за клапаном постоянным

$$G_2 = \alpha \cdot f_2 \cdot \sqrt{2g \cdot \rho \cdot P}, \quad (\text{П2.6})$$

где

α – коэффициент расхода, зависящий от среды и вида регулирующего клапана;

f_2 – сечение (проходное) регулирующего клапана (органа), м^2 ;

g – ускорение свободного падения ($9,8 \text{ м/с}^2$);

P – давление жидкости перед выходным регулирующим органом (клапаном), кг/м^2 .

Полагая, что $P = H \cdot \rho$, можно получить:

$$G_2 = \alpha \cdot f_2 \cdot \sqrt{2g \cdot \rho \cdot \rho \cdot H} = \alpha \cdot f_2 \cdot \rho \sqrt{2g \cdot H}, \quad (\text{П2.7})$$

$$\left(\frac{\partial G_2}{\partial H}\right)_\infty = \alpha \cdot f_{2\infty} \cdot \rho_\infty \cdot \sqrt{2g} \cdot \frac{1}{2} \cdot H^{-\frac{1}{2}}, \quad (\text{П2.8})$$

После преобразований получим:

$$\left(\frac{\partial G_2}{\partial m_2}\right)_\infty = \frac{\alpha \cdot f_{2\infty} \cdot \rho_\infty \cdot \sqrt{2g \cdot H_\infty}}{2H_\infty} = \frac{G_{2\infty}}{2H_\infty}, \quad (\text{П2.9})$$

Подставим выражение (П2.9) в уравнение (П2.5) и получим:

$$\Delta G_2 = \left(\frac{\partial G_2}{\partial m_2}\right)_\infty \cdot \Delta m_2 + \frac{G_{2\infty}}{2H_\infty} \cdot \Delta H, \quad (\text{П2.10})$$

Подставим выражения (П2.3), (П2.4) и (П2.10) в уравнение (П2.1):

$$F_\infty \cdot \rho_\infty \cdot \frac{d\Delta H}{dt} = \left(\frac{\partial G_1}{\partial m_1}\right)_\infty \cdot \Delta m_1 - \left(\frac{\partial G_2}{\partial m_2}\right)_\infty \cdot \Delta m_2 - \frac{G_{2\infty}}{2H_\infty} \cdot \Delta H, \quad (\text{П2.11})$$

Делим все члены уравнения (П2.11) на $\frac{G_{2\infty}}{2H_\infty}$ и получаем:

$$\frac{F_\infty \cdot \rho_\infty \cdot 2H_\infty}{G_{2\infty}} \cdot \frac{d\Delta H}{dt} + \Delta H = \frac{\left(\frac{\partial G_1}{\partial m_1}\right)_\infty \cdot 2H_\infty}{G_{2\infty}} \cdot \Delta m_1 - \frac{\left(\frac{\partial G_2}{\partial m_2}\right)_\infty \cdot 2H_\infty}{G_{2\infty}} \cdot \Delta m_2, \quad (\text{П2.12})$$

или

$$T_E \cdot \frac{d\Delta H}{dt} + \Delta H = k_{m1} \cdot \Delta m_1 - k_{m2} \cdot \Delta m_2, \quad (\text{П2.13})$$

где

$$T_E = \frac{F_\infty \cdot \rho_\infty \cdot 2H_\infty}{G_{2\infty}}, \text{ с — постоянная времени емкости,}$$

(время истечения жидкости из емкости при переменном уровне в 2 раза больше времени истечения при постоянном уровне);

$$k_{m1} = \frac{\left(\frac{\partial G_1}{\partial m_1}\right)_{\infty} \cdot 2H_{\infty}}{G_{2\infty}}, \quad \frac{\text{м}}{\%};$$

$$k_{m2} = \frac{\left(\frac{\partial G_2}{\partial m_2}\right)_{\infty} \cdot 2H_{\infty}}{G_{2\infty}}, \quad \frac{\text{м}}{\%}.$$

Математическая модель емкости с центробежным насосом на выходе

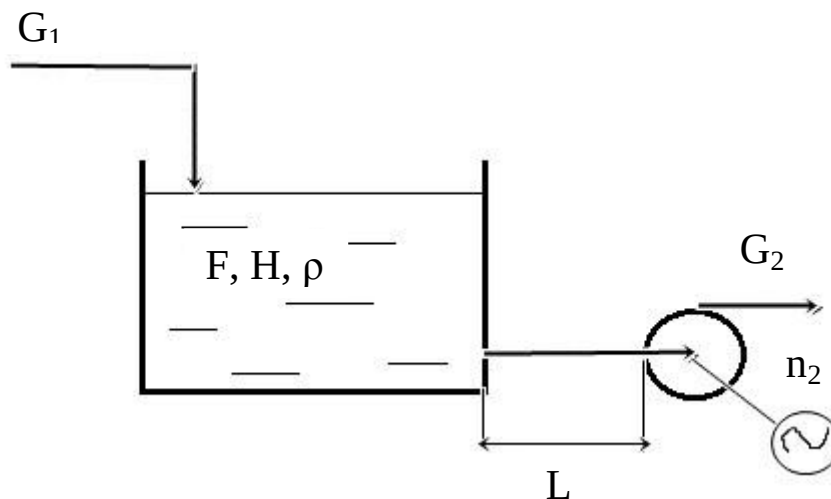


Рис.П2.2. Расчетная схема емкости с центробежным насосом на выходе

Известно, что (рис.П2.2)

$$\frac{d\Delta G^*}{dt} = \Delta G_1 - \Delta G_2, \quad (\text{П2.14})$$

где

G^* - массовое количество воды в емкости, кг;

G_1 - расход воды, поступающей в емкость, кг/с;

G_2 - расход воды, уходящей из емкости (производительность центробежного насоса), кг/с.

$$G^* = F \cdot \rho \cdot H, \quad (\text{П2.15})$$

где

F – площадь живого сечения емкости, м^2 ;

ρ – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$;

H – уровень в емкости, м.

$$\Delta G^* = F_{\infty} \cdot \rho_{\infty} \cdot \Delta H, \quad (\text{П2.16})$$

Известно, что производительность насоса равна

$$G_2 = \rho \cdot (\pi \cdot D_2 - \delta \cdot z) \cdot b \cdot C_{2r}, \quad (\text{П2.17})$$

где

D_2 – диаметр рабочего колеса по внешней окружности лопаток, м;

δ – толщина лопаток, м;

z – число лопаток;

b – ширина лопаток на выходе, м;

C_{2r} – скорость выхода жидкости из колеса в радиальном направлении, м/с [11].

Окружная скорость колеса

$$U_2 = \pi \cdot D \cdot \omega, \quad (\text{П2.18})$$

где

ω – частота вращения, 1/с

или

$$U_2 = \frac{\pi \cdot D \cdot \pi \cdot n}{30} = \frac{\pi^2 \cdot D \cdot n}{30}, \quad (\text{П2.19})$$

где

D – диаметр рабочего колеса, м;

n – частота вращения, об/мин.

Полагаем, что $D = D_2$ и $C_{2r} = U_2$,

тогда

$$G_2 = \rho \cdot (\pi \cdot D - \delta \cdot z) \cdot b \cdot \frac{\pi^2 \cdot D \cdot n}{30}, \quad (\text{П2.20})$$

После преобразования получим

$$G_2 = 0,033 \cdot \rho \cdot (3,14 \cdot D - \delta \cdot z) \cdot b \cdot 9,86 \cdot D \cdot n, \quad (\text{П2.21})$$

или

$$G_2 = 0,325 \cdot \rho \cdot (3,14 \cdot D - \delta \cdot z) \cdot b \cdot D \cdot n = \rho \cdot k \cdot n, \quad (\text{П2.22})$$

где

$$k = 0,325 \cdot (3,14 \cdot D - \delta \cdot z) \cdot b \cdot D, \frac{\text{м}^3}{\text{с} \cdot \text{об/мин}};$$

$$\Delta G_2 = \rho_{\infty} \cdot k \cdot \Delta n, \quad (\text{П2.23})$$

Подставляем выражения (П2.16) и (П2.23) в уравнение (П2.14) и делим на $F_{\infty} \cdot \rho_{\infty}$.

Получаем:

$$\frac{d\Delta H}{dt} = \frac{1}{F_{\infty} \cdot \rho_{\infty}} \cdot \Delta G_1 - \frac{\rho_{\infty} \cdot k}{F_{\infty} \cdot \rho_{\infty}} \cdot \Delta n, \quad (\text{П2.24})$$

или

$$\frac{d\Delta H}{dt} = k_{G_1} \cdot \Delta G_1 - k_n \cdot \Delta n, \quad (\text{П2.25})$$

где

$$k_{G_1} = \frac{1}{F_{\infty} \cdot \rho_{\infty}}, \frac{\text{м}}{\text{с} \cdot \text{кг/с}};$$

$$k_n = \frac{k}{F_{\infty}}, \frac{\text{м}}{\text{с} \cdot \text{об/мин}}.$$

В операторной форме уравнение (П2.25) будет

$$p \cdot \Delta H(p) = k_{G_1} \cdot \Delta G_1(p) - k_n \cdot \Delta n(p), \quad (\text{П2.26})$$

Передаточная функция ОУ по каналу управляющего воздействия без запаздывания

$$W_{\text{обу}}(p) = -\frac{k_n}{p}, \frac{\text{м}}{\text{с} \cdot \text{об/мин}}.$$

Передаточная функция ОУ по каналу возмущающего воздействия без запаздывания

$$W_{\text{обв}}(p) = \frac{k_{G_1}}{p}, \frac{\text{м}}{\text{с} \cdot \text{кг}}.$$

Запаздывание по каналу управляющего воздействия

$$\tau = \frac{L}{V}, \quad (\text{П2.27})$$

где

L – длина всасывающего патрубка от емкости до насоса, м;

V – скорость движения воды в патрубке, м/с.

$$V = \frac{G_{2\infty} \cdot 4}{\rho_{\infty} \cdot \pi \cdot D_y^2}, \quad (\text{П2.28})$$

где

D_y – внутренний диаметр всасывающего патрубка, м.

Окончательно

$$\tau = \frac{L \cdot \rho_{\infty} \cdot \pi \cdot D_y^2}{4 \cdot G_{2\infty}} = \frac{0,785 \cdot \rho_{\infty} \cdot L \cdot D_y^2}{G_{2\infty}}, \text{ с}$$

С учетом запаздывания передаточная функция по каналу управляющего воздействия будет

$$W_{\text{обу}}(p) = - \frac{k_n \cdot e^{-\tau_{\text{обу}} \cdot p}}{p} \quad \frac{\text{м}}{\text{с} \cdot \text{об/мин}}.$$

Математическая модель смесительного насоса

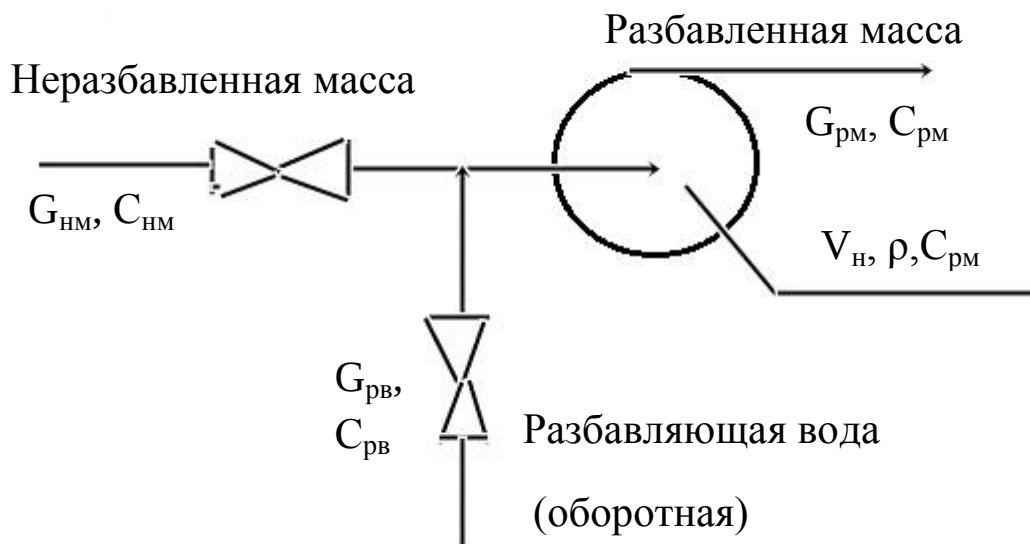


Рис. П2.3. Расчетная схема смесительного насоса

Уравнение материального баланса по абсолютному сухому волокну смесительного насоса (рис.П2.3) в отклонениях от состояния равновесия будет следующим

$$\frac{d\Delta G_H^{acB}}{dt} = \Delta G_{HM}^{acB} + \Delta G_{PB}^{acB} - \Delta G_{PM}^{acB}, \quad (П2.29)$$

где
 G_H^{acB} , G_{HM}^{acB} , G_{PB}^{acB} , G_{PM}^{acB} – соответственно количество абсолютно сухого волокна в объеме насоса, (кг), расходы абсолютно сухого волокна с неразбавленной массой, с разбавляющей водой и с разбавленной массой, (кг/с).

$$G_H^{acB} = G_H \cdot C_{PM} = V_H \cdot \rho \cdot C_{PM} \cdot 0,01, \quad (П2.30)$$

где
 V_H – рабочий объем насоса, м³;
 ρ – плотность волокнистой массы, приблизительно равная 1000 кг/м³;
 C_{PM} – концентрация разбавленной массы, %.
 Полагая V_H и ρ постоянными, получим выражение (П2.30) в отклонениях:

$$\Delta G_H^{acB} = V_{H\infty} \cdot \rho_{\infty} \cdot 0,01 \cdot \Delta C_{PM}, \quad (П2.31)$$

$$G_{HM}^{acB} = G_{HM} \cdot C_{HM} \cdot 0,01, \quad (П2.32)$$

где
 G_{HM} – расход неразбавленной массы, кг/с;
 C_{HM} – концентрация неразбавленной массы, %.
 В отклонениях выражение (П2.32) будет следующим:

$$\Delta G_{HM}^{acB} = G_{HM\infty} \cdot 0,01 \cdot \Delta C_{HM} + 0,01 \cdot C_{HM\infty} \cdot \Delta G_{HM}, \quad (П2.33)$$

$$G_{PB}^{acB} = G_{PB} \cdot C_{PB} \cdot 0,01, \quad (П2.34)$$

где
 G_{PB} – расход разбавляющей воды, кг/с;

$C_{pв}$ – концентрация разбавляющей (оборотной) воды, %.
В отклонениях выражение (П2.34) будет следующим:

$$\Delta G_{pв}^{асв} = G_{pв\infty} \cdot 0,01 \cdot \Delta C_{pв} + C_{pв\infty} \cdot 0,01 \cdot \Delta G_{pв}, \quad (\text{П2.35})$$

$$G_{pм}^{асв} = (G_{нм} + G_{pв}) \cdot C_{pм} \cdot 0,01, \quad (\text{П2.36})$$

В отклонениях выражение (П2.36) будет следующим:

$$\begin{aligned} \Delta G_{pм}^{асв} = & C_{pм\infty} \cdot 0,01 \cdot \Delta G_{нм} + C_{pм\infty} \cdot 0,01 \cdot \Delta G_{pв} + \\ & + G_{pм\infty} \cdot 0,01 \cdot \Delta C_{pм}, \end{aligned} \quad (\text{П2.37})$$

где

$$G_{pм\infty} = G_{нм\infty} + G_{pв\infty}.$$

Подставляем выражения (П2.31), (П2.33), (П2.35) и (П2.37) в уравнение (П2.29) и после преобразования получаем:

$$\begin{aligned} \frac{V_{н\infty} \cdot \rho_{\infty} \cdot 0,01}{G_{pм\infty} \cdot 0,01} \cdot \frac{d\Delta C_{pм}}{dt} + \Delta C_{pм} = & \frac{G_{нм\infty}}{G_{pм\infty}} \cdot \Delta C_{нм} + \frac{G_{pв\infty}}{G_{pм\infty}} \cdot \Delta C_{pв} + \\ & + \frac{C_{нм\infty} - C_{pм\infty}}{G_{pм\infty}} \cdot \Delta G_{нм} - \frac{C_{pм\infty} - C_{pв\infty}}{G_{pм\infty}} \cdot \Delta G_{pв}. \end{aligned} \quad (\text{П2.38})$$

Окончательно математическую модель смесительного насоса представим в следующем виде без учета запаздывания

$$\begin{aligned} T_{н} \cdot \frac{d\Delta C_{pм}}{dt} + \Delta C_{pм} = & k_{C_{нм}} \cdot \Delta C_{нм} + k_{C_{pв}} \cdot \Delta C_{pв} + k_{G_{нм}} \cdot \Delta G_{нм} - \\ & - k_{G_{pв}} \cdot \Delta G_{pв}, \end{aligned} \quad (\text{П2.39})$$

где

$$T_H = \frac{V_{H\infty} \cdot \rho_{\infty}}{G_{p\infty}} - \text{постоянная времени насоса, с;}$$

$k_{C_{HM}} = \frac{G_{HM\infty}}{G_{p\infty}}, \frac{\%}{\%}$ - коэффициент усиления (передачи) объекта управления по каналу концентрации неразбавленной массы;

$k_{C_{pB}} = \frac{G_{pB\infty}}{G_{p\infty}}, \frac{\%}{\%}$ - коэффициент усиления объекта управления по каналу концентрации разбавляющей воды;

$k_{G_{HM}} = \frac{C_{HM\infty} - C_{p\infty}}{G_{p\infty}}, \frac{\%}{\text{кг/с}}$ - коэффициент усиления объекта управления по каналу расхода неразбавленной массы;

$k_{G_{pB}} = \frac{C_{p\infty} - C_{pB\infty}}{G_{p\infty}}, \frac{\%}{\text{кг/с}}$ - коэффициент усиления объекта управления по каналу расхода разбавляющей воды.

Математическая модель подогревателя смешивающего типа

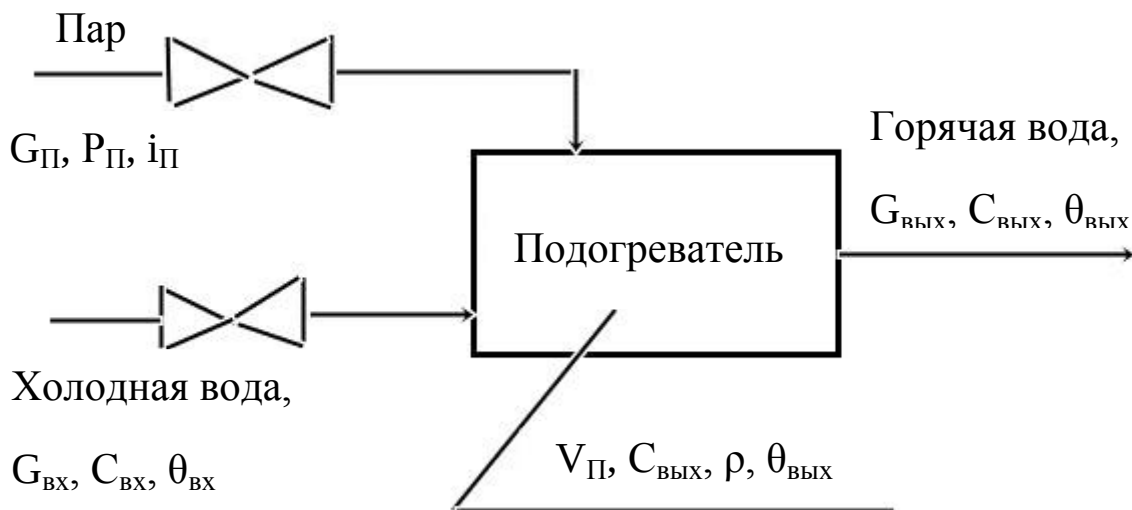


Рис. П2.4. Расчетная схема подогревателя смешивающего типа

Уравнение теплового баланса подогревателя смешивающего типа (рис.П2.4) в отклонениях от состояния равновесия будет следующим

$$\frac{d\Delta Q}{dt} = \Delta Q_{\text{BX}} + \Delta Q_{\text{П}} - \Delta Q^{\text{П}} - \Delta Q_{\text{ВЫХ}}, \quad (\text{П2.40})$$

где

Q^* – количество тепла в рабочем объеме подогревателя, кДж;
 $Q_{\text{BX}}, Q_{\text{П}}, Q^{\text{П}}, Q_{\text{ВЫХ}}$ – расходы тепла с холодной водой, паром, потерян-
 го тепла в окружающее пространство, с уходящей горячей водой к потреби-
 телю, $\frac{\text{кДж}}{\text{с}}$.

$$Q^* = V_{\text{П}} \cdot \rho \cdot C_{\text{ВЫХ}} \cdot \theta_{\text{ВЫХ}}, \quad (\text{П2.41})$$

где

$V_{\text{П}}$ – рабочий объем подогревателя, м^3 ;

ρ – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$C_{\text{ВЫХ}}$ – теплоемкость воды внутри и на выходе теплообменника (подог-
 ревателя), $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$;

$\theta_{\text{ВЫХ}}$ – температура горячей воды внутри и на выходе подогревателя,
 $^\circ\text{C}$.

Полагая $V_{\text{П}}, \rho$ и $C_{\text{ВЫХ}}$ постоянными, можно представить, что

$$\Delta Q^* = V_{\text{П}\infty} \cdot \rho_{\infty} \cdot C_{\text{ВЫХ}\infty} \cdot \Delta \theta_{\text{ВЫХ}}, \quad (\text{П2.42})$$

$$Q_{\text{BX}} = G_{\text{BX}} \cdot C_{\text{BX}} \cdot \theta_{\text{BX}}, \quad (\text{П2.43})$$

где

G_{BX} – расход холодной воды, $\text{кг}/\text{с}$;

C_{BX} – теплоемкость холодной воды, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$;

θ_{BX} – температура холодной воды, $^\circ\text{C}$.

$$\Delta Q_{\text{BX}} = G_{\text{BX}\infty} \cdot C_{\text{BX}\infty} \cdot \Delta \theta_{\text{BX}} + C_{\text{BX}\infty} \cdot \theta_{\text{BX}\infty} \cdot \Delta G_{\text{BX}}, \quad (\text{П2.44})$$

$$Q_{\text{П}} = G_{\text{П}} \cdot i_{\text{П}}, \quad (\text{П2.45})$$

где

G_{π} – расход пара, т/ч;

I_{π} – энтальпия пара, кДж/кг.

Полагая $i_{\pi} = f(P_{\pi})$, получаем

$$\Delta Q_{\pi} = G_{\pi\infty} \cdot \Delta i_{\pi} + i_{\pi\infty} \cdot \Delta G_{\pi},$$

или

$$\Delta Q_{\pi} = G_{\pi\infty} \cdot \left(\frac{\partial i_{\pi}}{\partial P_{\pi}}\right)_{\infty} \cdot \Delta P_{\pi} + i_{\pi\infty} \cdot \Delta G_{\pi}, \quad (\text{П2.46})$$

где

P_{π} – давление пара, МПа.

$\left(\frac{\partial i_{\pi}}{\partial P_{\pi}}\right)_{\infty}$ определяется из таблицы термодинамических свойств воды и водяного насыщенного пара по нижеследующему выражению

$$\left(\frac{\partial i_{\pi}}{\partial P_{\pi}}\right)_{\infty} = \frac{i_{\pi}^{P_2} - i_{\pi}^{P_1}}{P_2 - P_1}, \quad (\text{П2.47})$$

где $i_{\pi}^{P_2}$ – энтальпия пара при давлении пара P_2 , $i_{\pi}^{P_1}$ – энтальпия пара при давлении пара P_1 .

Полагая потери тепла в окружающее пространство постоянными, получим, что

$$\Delta Q^{\pi} = 0, \quad (\text{П2.48})$$

$$Q_{\text{вых}} = (G_n + G_{\text{вх}}) \cdot C_{\text{вых}} \cdot \theta_{\text{вых}}, \quad (\text{П2.49})$$

В отклонениях выражение (П2.49) будет следующим

$$\begin{aligned}\Delta Q_{\text{ВЫХ}} &= (G_{\text{П}\infty} + G_{\text{ВХ}\infty}) \cdot C_{\text{ВЫХ}\infty} \cdot \Delta\theta_{\text{ВЫХ}} + C_{\text{ВЫХ}\infty} \cdot \theta_{\text{ВЫХ}\infty} \cdot \Delta G_{\text{П}} + \\ &+ C_{\text{ВЫХ}\infty} \cdot \theta_{\text{ВЫХ}\infty} \cdot \Delta G_{\text{ВХ}},\end{aligned}\quad (\text{П2.50})$$

Подставим выражения (П.2.42), (П.2.44), (П.2.46), (П.2.48), и (П.2.50) в уравнение (П.2.40) и преобразуем в следующее уравнение, полагая также, что $C_{\text{ВХ}}=C_{\text{ВЫХ}}=C$.

$$\begin{aligned}\frac{V_{\text{П}\infty} \cdot \rho_{\infty} \cdot C_{\infty}}{(G_{\text{П}\infty} + G_{\text{ВХ}\infty}) \cdot C_{\infty}} \cdot \frac{d\Delta\theta_{\text{ВЫХ}}}{dt} + \Delta\theta_{\text{ВЫХ}} &= \frac{(\theta_{\text{ВХ}\infty} - \theta_{\text{ВЫХ}\infty}) \cdot C_{\infty}}{(G_{\text{П}\infty} + G_{\text{ВХ}\infty}) \cdot C_{\infty}} \cdot \Delta G_{\text{ВХ}} + \\ &+ \frac{G_{\text{ВХ}\infty} \cdot C_{\infty}}{(G_{\text{П}\infty} + G_{\text{ВХ}\infty}) \cdot C_{\infty}} \cdot \Delta\theta_{\text{ВХ}} + \Delta G_{\text{П}} \cdot \frac{i_{\text{П}\infty} - C_{\infty} \cdot \theta_{\text{ВЫХ}\infty}}{C_{\infty} \cdot (G_{\text{П}\infty} + G_{\text{ВХ}\infty})} + \\ &+ \frac{G_{\text{П}\infty} \cdot (\frac{\partial i_{\text{П}}}{\partial P_{\text{П}}})_{\infty}}{(G_{\text{П}\infty} + G_{\text{ВХ}\infty}) \cdot C_{\infty}} \cdot \Delta P_{\text{П}},\end{aligned}\quad (\text{П2.51})$$

После дополнительных преобразований окончательно получим

$$\begin{aligned}T_{\text{П}} \cdot \frac{d\Delta\theta_{\text{ВЫХ}}}{dt} + \Delta\theta_{\text{ВЫХ}} &= k_{G_{\text{ВХ}}} \cdot \Delta G_{\text{ВХ}} + k_{\theta_{\text{ВХ}}} \cdot \Delta\theta_{\text{ВХ}} + k_{\text{П}} \cdot \Delta G_{\text{П}} + \\ &+ k_{P_{\text{П}}} \cdot \Delta P_{\text{П}},\end{aligned}\quad (\text{П2.52})$$

где

$$T_{\text{П}} = \frac{V_{\text{П}\infty} \cdot \rho_{\infty}}{G_{\text{П}\infty} + G_{\text{ВХ}\infty}}, \text{ с};$$

$$k_{G_{\text{ВХ}}} = \frac{\theta_{\text{ВХ}\infty} - \theta_{\text{ВЫХ}\infty}}{G_{\text{П}\infty} + G_{\text{ВХ}\infty}}, \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{кг/с}};$$

$$k_{\theta_{\text{ВХ}}} = \frac{G_{\text{ВХ}\infty}}{G_{\text{П}\infty} + G_{\text{ВХ}\infty}}, \frac{^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}};$$

$$k_{G_{\text{П}}} = \frac{i_{\text{П}\infty} - C_{\infty} \cdot \theta_{\text{ВЫХ}\infty}}{C_{\infty} \cdot (G_{\text{П}\infty} + G_{\text{ВХ}\infty})}, \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{кг/с}};$$

$$k_{P_{\Pi}} = \frac{G_{\Pi\infty} \cdot \left(\frac{\partial i_{\Pi}}{\partial P_{\Pi}}\right)_{\infty}}{C_{\infty} \cdot (G_{\Pi\infty} + G_{\text{ВХ}\infty})}, \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{МПа}}.$$

Для примера расчета предположим $V_{\Pi\infty}=0,3 \text{ м}^3$, $G_{\text{ВХ}}=20 \text{ т/ч}$ ($5,6 \text{ кг/с}$), $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$,

$C=4,19 \text{ кДж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$, $i_{\Pi}=2860 \text{ кДж/кг}$ (при давлении пара $P_{\Pi}=0,4 \text{ МПа}$ и температуре пара 200°C), $\theta_{\text{ВХ}}=40^{\circ}\text{C}$, $\theta_{\text{ВЫХ}}=90^{\circ}\text{C}$.

Полагаем, что $P_{\Pi}=\text{const}$. Следовательно, $\Delta P_{\Pi}=0$ и коэффициент $k_{P_{\Pi}}$ не определяем.

Уравнение теплового баланса в статике будет

$$G_{\text{ВХ}\infty} \cdot C_{\infty} \cdot \theta_{\text{ВХ}\infty} + G_{\Pi\infty} \cdot i_{\Pi\infty} = (G_{\Pi\infty} + G_{\text{ВХ}\infty}) \cdot C_{\infty} \cdot \theta_{\text{ВЫХ}\infty}. \quad (\text{П2.53})$$

Отсюда находим $G_{\Pi\infty}$.

$$G_{\Pi\infty} = \frac{G_{\text{ВХ}\infty} \cdot C_{\infty} \cdot (\theta_{\text{ВЫХ}\infty} - \theta_{\text{ВХ}\infty})}{i_{\Pi\infty} - C_{\infty} \cdot \theta_{\text{ВЫХ}\infty}} = \frac{5,6 \cdot 4,19 \cdot (90 - 40)}{2860 - 4,19 \cdot 90} = 0,47 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Определяем коэффициенты уравнения (П2.52).

$$T_{\Pi} = \frac{0,3 \cdot 1000}{0,47 + 5,6} = 49 \text{ с};$$

$$k_{G_{\text{ВХ}}} = \frac{40 - 90}{0,47 + 5,6} = -8,23, \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{кг/с}};$$

$$k_{\theta_{\text{ВХ}}} = \frac{5,6}{0,47 + 5,6} = 0,92, \frac{^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}};$$

$$k_{G_{\Pi}} = \frac{2860 - 4,19 \cdot 90}{4,19 \cdot (0,47 + 5,6)} = 97,6, \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{кг/с}};$$

Запаздывание по каналу управления и каналу возмущения принимаем равными $\approx 0,2 T_{\pi}$, то есть 10 с.

Основное возмущающее воздействие – расход холодной воды.

Управляющее воздействие – расход пара.

Окончательно получаем уравнение математической модели подогревателя смешивающего типа для рассматриваемого примера.

$$49 \cdot \frac{d\Delta\theta_{\text{ВЫХ}}}{dt} + \Delta\theta_{\text{ВЫХ}} = -8,23 \cdot \Delta G_{\text{ВХ}}(t - 10) + 0,92 \cdot \Delta\theta_{\text{ВХ}}(t - 10) + 97,6 \cdot \Delta G_{\pi}(t - 10).$$

После преобразования Лапласа получаем следующие передаточные функции:

$$W_{\text{п.у}}(p) = \frac{976 \cdot e^{-10p}}{49p + 1};$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{кг/с}}$.

$$W_{\text{В}_1}(p) = -\frac{8,23 \cdot e^{-10p}}{49p + 1};$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{кг/с}}$.

$$W_{\text{В}_2}(p) = \frac{0,92 \cdot e^{-10p}}{49p + 1};$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Нижеприведенные передаточные функции объектов управления (ОУ) получены экспериментальным методом. Передаточные функции датчиков включены в передаточные функции ОУ. При наличии в знаменателе размерности коэффициента передачи ОУ символа % или ° наклона в передаточную функцию ОУ включена также передаточная функция регулирующего органа (РО).

ПАРОВЫЕ БАРАБАННЫЕ КОТЛЫ

Паровой котел К-50-4,0

Топливо – природный газ. Давление пара в барабане – 4,3 МПа, за пароперегревателем – 3,9 МПа. Температура перегретого пара – 440 °С. Производительность по пару – 50т/ч.

Канал: расход питательной воды в барабан котла – уровень в барабане

$$W(p) = \frac{0,0155 \cdot e^{-60p}}{p} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{мм/с}}{\text{м}^3/\text{ч}}$.

Паровой котел БКЗ 75-3,9

Топливо – мазут.

Канал: расход топлива – давление пара за барабаном

$$W(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-13p}}{24p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{МПа}}{\text{т/ч}}$.

Канал: расход пара – давление пара за барабаном

$$W(p) = -\frac{0,09 \cdot e^{-3p}}{80p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{МПа}}{\text{Т/ч}}$.

Канал: давление топлива в топку – разрежение в верхней части топки

$$W(p) = -\frac{8 \cdot e^{-10p}}{25p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{Па}}{\text{МПа}}$.

Номинальное давление топлива – 1 МПа.

Канал: расход воздуха в топку – разрежение в верхней части топки

$$W(p) = -\frac{0,4 \cdot e^{-10p}}{25p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{Па}}{\%}$.

Номинальный расход воздуха – 55000 м³/ч (100 %).

Канал: угол наклона лопаток направляющего аппарата дымососа – разрежение в верхней части топки

$$W(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-10p}}{25p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{Па}}{\alpha_{\text{наклона}}}$.

Топливо – природный газ.

Канал: степень открытия клапана топлива – давление пара за бараба-

ном

$$W(p) = \frac{0,023 \cdot e^{-7p}}{27p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{МПа}}{\%}$.

Канал: степень открытия клапана на паропроводе – давление пара за барабаном

$$W(p) = -\frac{0,033 \cdot e^{-4p}}{21p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{МПа}}{\%}$.

Канал: расход топлива – уровень в барабане [8].
При уменьшении расхода топлива

$$W(p) = -\frac{0,000277}{p} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{мм/с}}{\text{м}^3/\text{ч}}$.

При увеличении расхода топлива

$$W(p) = -\frac{0,000214}{p} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{мм/с}}{\text{м}^3/\text{ч}}$.

Канал: расход питательной воды в барабан – уровень в барабане [8].

$$W(p) = \frac{0,0368 \cdot e^{-104p}}{p} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{мм/с}}{\text{Т/ч}}$.

Канал: степень открытия дроссельной поворотной заслонки на трубопроводе питательной воды в парохладитель – температура перегретого пара за пароперегревателем [8].

При увеличении степени открытия заслонки

$$W(p) = - \frac{2 \cdot e^{-60p}}{95p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\%}$.

При уменьшении степени открытия заслонки

$$W(p) = - \frac{1,33 \cdot e^{-60p}}{61p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\%}$.

Канал: расход топлива – температура перегретого пара за пароперегревателем [8].

При увеличении расхода топлива

$$W(p) = \frac{0,033 \cdot e^{-20p}}{60p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{м}^3/\text{ч}}$.

При уменьшении расхода топлива

$$W(p) = \frac{0,042 \cdot e^{-20p}}{60p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{м}^3/\text{ч}}$.

Номинальный расход топлива – 5000 м³/ч.

**Паровой котел БКЗ-210-140Ф
(ТЭЦ-1 ОАО «ИЛИМ-ГРУПП» в г.Коряжма)**

Канал: угол наклона лопаток направляющего аппарата дутьевого вентилятора – перепад давлений на воздухоподогревателе

$$W(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-3p}}{15p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{Па}}{\theta_{\text{наклона}}}$.

Канал: перепад давлений на воздухоподогревателе – концентрация кислорода в дымовых газах за пароперегревателем

$$W(p) = \frac{0,016 \cdot e^{-30p}}{27p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\%O_2}{\text{Па}}$.

Паровой котел ТГМП-344А (Южная ТЭЦ г. Санкт-Петербург)

Канал: степень открытия направляющего аппарата дымососа - разрежение в верхней части топки

$$W(p) = \frac{0,4 \cdot e^{-15p}}{11p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{Па}}{\%}$.

ВОДОГРЕЙНЫЕ КОТЛЫ

Водогрейный котел КВГМ 70–150

Температура свежей воды на входе котла – 70 °С, температура теплофикационной воды на выходе котла – 150 °С. Расход свежей воды– 750 т/ч, расход топлива (природный газ) –8000 м³/ч.

Канал: степень открытия клапана топлива – расход природного газа

$$W(p) = \frac{60 \cdot e^{-2p}}{4p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{м}^3/\text{ч}}{\%}$.

Канал: расход газа – температура теплофикационной воды на выходе

$$W(p) = \frac{0,028 \cdot e^{-52p}}{74p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{м}^3/\text{ч}}$.

Канал: степень открытия клапана топлива – температура теплофикационной воды на выходе

$$W(p) = \frac{1,68 \cdot e^{-54p}}{78p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\%}$.

Канал: температура обратной воды – температура теплофикационной воды на выходе

$$W(p) = \frac{0,7 \cdot e^{-7p}}{5p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}}$.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УЗЛЫ И УСТАНОВКИ

Деаэратор атмосферного типа ДСА-150/70 (ТЭЦ-1 ОАО «Сегежский ЦБК») [21]

Канал: расход пара в деаэрационную колонку – температура парогазовой смеси в паровом пространстве деаэратора.

$$\text{Расход воды 250 т/ч} - W(p) = \frac{2,6 \cdot e^{-180p}}{220p+1} ;$$

$$\text{Расход воды 40 т/ч} - W(p) = \frac{14,2 \cdot e^{-180p}}{220p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи °С/т/ч.

Канал: расход воды через деаэратор – температура парогазовой смеси в паровом пространстве деаэратора.

$$\text{Расход воды 250 т/ч} - W(p) = -\frac{0,32 \cdot e^{-22p}}{26p+1}.$$

$$\text{Расход воды 40 т/ч} - W(p) = -\frac{2 \cdot e^{-22p}}{26p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи °С/т/ч.

Канал: расход пара в деаэрационную колонку – давление парогазовой смеси в паровом пространстве деаэратора.

$$W(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-14p}}{p} ;$$

размерность коэффициента передачи (кПа/с)/т/ч.

Канал: расход пара на барботажное устройство – уровень в баке-аккумуляторе.

$$W(p) = \frac{0,007 \cdot e^{-60p}}{p} ;$$

размерность коэффициента передачи (мм/с)/т/ч.

Теплообменник Alfa Laval M15B65 контура отопления котельной (водогрейные котлы марки ТЕРМАКС)

После достижения температуры в котловом контуре 60⁰С открывается двухходовой клапан, и поток воды с помощью циркуляционного насоса подаётся в первичный контур теплообменника, в котором происходит передача тепла от котловой воды к воде отопительного контура. Расход котловой воды через теплообменник изменяется трёхходовым клапаном, установленным перед теплообменником, для ее перераспределения между теплообменником и перепуском в обратную линию на котел. Таким образом, обеспечивается заданная температура контура отопления в зависимости от требуемой тепловой мощности и температуры наружного воздуха по заранее заданной отопительной кривой. В противоточном пластинчатом теплообменнике поверхностного типа происходит передача тепла от более нагретого тела – котловой воды, к менее нагретому телу – воде отопительного контура. Пройдя теплообменник, нагретая вода отопительного контура поступает к потребителю.

Передаточная функция по каналу: степень открытия трехходового клапана – температура теплофикационной воды на выходе контура отопления

$$W(p) = \frac{0,44 \cdot e^{-180p}}{60 \cdot p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\%}$.

СУШИЛЬНАЯ ЧАСТЬ БДМ, КДМ

Продукция БДМ – мешочная бумага, скорость БДМ номинальная – 750 м/мин, поверхностная плотность бумаги - 70 ÷ 110 г/м², влажность 6-9 %. (ОАО «Сегежский ЦБК»).

Канал: степень открытия регулирующего органа на паропроводе в ведущую сушильную группу – давление пара

$$W(p) = \frac{4 \cdot e^{-2p}}{9p + 1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{кПа}}{\%}$.

Канал: давление пара, поступающего в ведущую сушильную группу – влажность бумажного полотна перед накатом

$$W(p) = - \frac{0,014 \cdot e^{-30p}}{118p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\% \text{вл}}{\text{кПа}}$.

Канал: скорость БДМ – влажность бумажного полотна перед накатом

$$W(p) = \frac{0,0175 \cdot e^{-20p}}{65p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\% \text{вл}}{\text{м/мин}}$.

Продукция – облицовочный картон, скорость КДМ номинальная – 350 м/мин, поверхностная плотность картона - $250 \div 350 \text{ г/м}^2$, влажность 6-9 % («АО «Кнауф-Петроборд»).

Канал: степень открытия регулирующего органа на паропроводе в ведущую сушильную группу – давление пара

$$W(p) = \frac{3,6 \cdot e^{-20p}}{15p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{кПа}}{\%}$.

Канал: давление пара, поступающего в ведущую сушильную группу – влажность картонного полотна перед накатом

$$W(p) = - \frac{0,00763 \cdot e^{-40p}}{80p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\% \text{вл}}{\text{кПа}}$.

КОНВЕКТИВНЫЕ СУШИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Печь (аппарат) с кипящим (псевдооживленным) слоем (КС) для сушки соли NaCl (ОАО «Аванский солекомбинат») [9]

Параметры печи (аппарата) с КС для сушки соли:
производительность установки по сухому продукту – 2,079 кг/(м²с);
влажность поступающей соли – 4 %;
температура теплоносителя – 350 °С;
температура слоя – 80 °С;
масса соли в слое – 440 кг/м²;

Передаточная функция по каналу управления: расход теплоносителя на 1 м² решетки – температура слоя

$$W(p) = \frac{176 \cdot e^{-12p}}{62p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{нм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)}$.

Передаточная функция по каналу возмущения: нагрузка аппарата с КС на 1 м² решетки – температура слоя

$$W(p) = -\frac{38,4 \cdot e^{-15p}}{62p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)}$.

Барабанная конвективная сушильная установка для сушки железного концентрата в горнодобывающей промышленности (ГОК «Ковдор») [13]

Передаточная функция по каналу: расход мазута – температура в топке

$$W(p) = \frac{0,65 \cdot e^{-45p}}{89p+1} ; \quad .$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{кг}/\text{ч}}$.

Передаточная функция по каналу: расход мазута – влажность сухого концентрата на выходе сушильной установки

$$W(p) = - \frac{0,0029 \cdot e^{-1074p}}{435p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\%_{\text{вл}}}{\text{кг/ч}}$.

Передаточная функция по каналу: расход сырого концентрата – влажность сухого концентрата на выходе сушильной установки

$$W(p) = \frac{0,0238 \cdot e^{-874p}}{565p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\%_{\text{вл}}}{\text{т/ч}}$.

ПРОПАРКА И ПРОПИТКА ДРЕВЕСНОЙ ЩЕПЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ВЫСОКОГО ВЫХОДА (ВПВВ)

**Бункер пропарки щепы фирмы Sunds Defibrator после импрегнатора
Prex в производстве XTMM (ОАО «Волга»)**

Передаточная функция по каналу: степень открытия клапана на паропроводе в бункер – температура в нижней части бункера

$$W(p) = \frac{0,32 \cdot e^{-32p}}{112p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\%}$.

Передаточная функция по каналу: степень открытия клапана на паропроводе в бункер – температура выпара в вентиляционной трубе на выходе из бункера

$$W(p) = \frac{0,35 \cdot e^{-17p}}{83p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\%}$.

Инерционность первого канала значительно превышает инерционность второго канала. Суммарная эквивалентная инерционность первого канала составляет 6 минут, что составляет 0,4-0,6 от времени нахождения щепы в бункере [4].

Пропарочный бункер щепы перед промывкой в производстве ТММ (фабрика газетной бумаги, г. Шклов, Беларусь)

Объем бункера 5,5 м³. Температура пропарки 95-100 °С.

Передаточная функция по каналу: степень открытия регулирующего органа на подаче пара в бункер – температура выпара в вентиляционной трубе бункера

$$W(p) = \frac{0,463 \cdot e^{-330p}}{600p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\%}$.

Пропарочный бункер CBRB-4000 (Metso Paper) в производстве ХТММ (ЗАО «Интернейшнл Пейпер»)

Передаточная функция по каналу: степень открытия клапана на паропроводе в бункер – температура щепы в нижней части бункера [20]

$$W(p) = \frac{0,132 \cdot e^{-182p}}{259p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\%}$.

Парогенератор теплорекуперационной установки (ТРУ) в производстве ХТММ (ОАО «Волга»)

Передаточные функция по каналам [6]:

- степень открытия клапана на трубопроводе питательной воды - уровень воды в испарителе

$$W(p) = \frac{4,88 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-60p}}{p};$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{м}}{\text{с} \cdot \%}$;

- расход пара от рафинеров – уровень воды в испарителе

$$W(p) = - \frac{1,7 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-130p}}{p};$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{м}}{\text{с} \cdot \%}$;

- температура питательной воды – уровень воды в испарителе

$$W(p) = - \frac{0,852 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-240p}}{p};$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{м}}{\text{с} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Пропиточная колонна IPA-880 (Metso Paper) в производстве ХТММ (ЗАО «Интернейшнл Пейпер»)

Производительность пропиточной колонны (ПК) – 433 в.с. т/сут осиновой щепы.

Уровень в пропиточной колонне – 0,6 ÷ 1,9 м

Передаточная функция по каналу: степень открытия регулирующего клапана на подаче воды в ПК – уровень в ПК [20]

$$W(p) = \frac{0,13 \cdot e^{-132p}}{156p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{м}}{\%}$.

Рафинер «Бауэр-488» в производстве ХРММ (ОАО «Сясьский ЦБК»)

Первая ступень размол осинової щепы осуществляется одним-трем двухдисковыми рафинерами «Бауэр-488» при концентрации 20-30 %.

Размольные диски рафинеров вращаются в противоположных направлениях с частотой 1500 об/мин. Каждый диск приводится от индивидуального электродвигателя мощностью 2,5 МВт.

Производительность древесно-массного цеха составляла 190 твсв/сут.

На первой ступени размол работало 2 рафинера, причем второй рафинер был ведущим при последовательно-параллельной подаче щепы шнеком на рафинеры.

Средняя мощность электропривода рафинера стороны загрузки составляла 1,4 МВт, напряжение электропривода загрузочного шнека-питателя, соответствующее 100 % загрузке, составляло 40 В [5].

Передаточная функция по каналу: напряжение электропривода загрузочного шнека питателя второго рафинера первой ступени – температура среды в послеразмольной камере рафинера:

$$W(p) = \frac{0,39 \cdot e^{-55p}}{125p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{С}}{\text{В}}$.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБЛАГОРАЖИВАНИЯ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Термодисперсионная установка (ТДУ) (АО «Кнауф-Петроборд»)

Передаточные функции по каналам:

степень открытия регулирующего органа на подаче пара в нагревательный шнек – температура макулатурной массы в нагревательном шнеке

$$W(p) = \frac{2,25 \cdot e^{-40p}}{120p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\%}$.

скорость сеточного пресса ТДУ (% от максимальной) – температура макулатурной массы в нагревательном шнеке

$$W(p) = -\frac{1,8 \cdot e^{-80p}}{120p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\%}$.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Пропиточная камера установки непрерывной варки целлюлозы «Камюр»

Пропиточная камера предназначена для проведения глубокой пропитки щепы варочным щелоком перед варкой.

Загрузочный шнек пропиточной камеры предназначен для загрузки щепы в пропиточную камеру.

Донный шабер пропиточной камеры перемешивает щепу с разбавляющим щелоком и с помощью направляющих лопастей направляет щепу к выгрузочному отверстию в центре днища для перекачки в варочный котел.

Щепа из питателя высокого давления транспортируется щелоком по загрузочному трубопроводу в верхнюю часть пропиточной камеры. Верх пропиточной камеры снабжен вертикальным вращающимся шнеком, вставленным в цилиндрическое сито. Шнек проталкивает щепу в пропиточную камеру и одновременно очищает сито от мелочи, а щелок через сито вновь отбирается в циркуляционную систему загрузки. Уровень щепы в верхней части пропиточной камеры контролируется и поддерживается в пределах 30–70 %.

Белый щелок поступает на пропитку и варку из цеха каустизации щелоков. Количество черного щелока, подаваемого в систему, зависит от влажности щепы и гидромодуля. Давление в пропиточной камере поддерживается в пределах 0,9–1,2 МПа. Пропитанная щепа через разгрузочное устройство транспортируется щелоком в сепаратор варочного котла. Отбираемый в сепараторе щелок подогревается в теплообменниках и вновь подается в линию загрузки котла. При этом температура щелока достигает 120–130 °С. Эффективная щелочность в зоне циркуляции 23–25 г/дм³ в единицах Na₂O.

Передаточная функция по каналу: угловая скорость донного шабер-уровень щепы в пропиточной камере

$$W(p) = - \frac{0,8 \cdot e^{-96p}}{80p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{м}}{\text{об/мин}}$.

РЕГЕНЕРАЦИЯ ЩЕЛОКА ДЛЯ ВАРКИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Бак растворителя плава содорегенерационного котлоагрегата СРКА-4 ОАО «Сегежский ЦБК»

Регенерация щелока состоит из следующих производственных процессов: упаривания щелока до содержания в нем 50-65% абсолютно сухого вещества (а.с.в.); сжигания упаренного щелока с получением минерального остатка в виде зеленого щелока (раствора плава); каустизации зеленого щелока гашеной известью с целью получения из карбоната едкого натра.

Варочный щелок состоит в основном из едкого натра NaOH, сульфида натрия Na₂S, карбоната натрия Na₂CO₃ и сульфата натрия Na₂SO₄. Наличие в варочном щелоке других минеральных солей незначительно и в расчет не принимается.

Активным реагентом варочного щелока является смесь едкого натра и сульфида натрия (NaOH+Na₂S), называемая активной щелочью. Содержащийся в варочном щелоке карбонат натрия (Na₂CO₃) является следствием неполноты реакции каустизации зеленого щелока.

В СРКА сжигается упаренный черный щелок с получением плава. Сульфатный черный щелок образуется в процессе варки и промывки целлюлозы и состоит из органической части, перешедшей в раствор варочного щелока из древесины, и минеральной части, которая была затрачена на варку с

перегруппировкой составляющих в результате ряда химических реакций. После упаривания полученного щелока в выпарных станциях он поступает на сжигание в СРКА. Раствор плава в слабом белом щелоке образует зеленый щелок.

Передаточная функция по каналу управления: степень открытия клапана на выходном трубопроводе зеленого щелока – уровень в баке растворителя плава

$$W(p) = - \frac{0,405 \cdot e^{-143p}}{134p + 1};$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\% \text{ Н}}{\% \text{ кл}}$.

ВОДОВОДНАЯ СТАНЦИЯ ГУП «ВОДОКАНАЛ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА»

Коагулирование речной воды в блоке осветлителей

Основным технологическим приемом удаления из воды грубодисперсных примесей, находящихся во взвешенном состоянии, и коллоидных органических загрязнений, присутствующих в воде в растворенном виде, является процесс коагуляции за счет введения в воду коагулянтов. В процессе коагуляционной очистки воды на 90—99 % удаляются различные микробиологические загрязнения.

Эффективность их удаления зависит от глубины очистки воды по мутности, цветности и перманганатной окисляемости. Важной особенностью коагулирования является также то, что в зависимости от условий проведения процесса определяются эффективность дальнейшего осветления и очистки воды на сооружениях первой ступени и фильтровальных сооружениях и в конечном итоге — качество питьевой воды.

В качестве коагулянта используют сернистый алюминий $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, который вводится в «сырую» обрабатываемую воду в определенной дозе Al_2O_3 для обеспечения процессов очистки воды. Концентрация товарного раствора коагулянта по Al_2O_3 7,0-8,0 %.

Диапазон эффективных доз коагулянта по Al_2O_3 в обрабатываемой воде 4.5-6 мг/л.

Качество очищенной питьевой воды можно оценить по электропроводности. Изменение расхода коагулянта влечёт за собой изменение электро-

проводности чистой воды. Увеличение расхода увеличивает электропроводность, а снижение нагрузки уменьшает электропроводность в чистой воде.

Это объясняется изменением концентрации взвешенных веществ в чистой воде. С увеличением количества коагулянта способность электролита вызывать коагуляцию коллоидной системы возрастает с увеличением валентности коагулирующего иона, обладающего зарядом, противоположным заряду коллоидных частиц.

Расход речной обрабатываемой воды в блоке осветлителей – 420000 м³/сут, электропроводность питьевой воды – 117-119 мкСМ/см, расход рабочего раствора коагулянта – 2900 кг/сут, концентрация рабочего раствора –1 %.

Передающая функция узла коагулирования речной воды по каналу: степень открытия клапана на подаче коагулянта – электропроводность очищенной питьевой воды

$$W(p) = \frac{0,19 \cdot e^{-48p}}{47 \cdot p + 1};$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{мкСМ/см}}{\%}$.

Передающая функция узла коагулирования речной воды по каналу: степень открытия клапана на подаче сырой речной воды – электропроводность очищенной питьевой воды

$$W(p) = -\frac{0,21 \cdot e^{-80p}}{52 \cdot p + 1};$$

размерность коэффициента передачи $\frac{\text{мкСМ/см}}{\%}$.

ПРОИЗВОДСТВО КОМБИКОРМОВ ДЛЯ ЖИВОТНОВОДСТВА И ПТИЦЕВОДСТВА

Влажное гранулирование комбикорма

Сущность технологического процесса заключается в увлажнении продукта до влажности 28...32%, прессовании теста в гранулы, их сушке и охлаждении. Гранулы производят, как правило, в два этапа. В кондиционере замешивается продукт, размягчается паром и нагревается до 70...80 °С; в прессующей части – прессе-грануляторе масса продавливается шнеком через отверстия матрицы, при выходе из матрицы срезается специальными вра-

щающимися ножами. Затем гранулы высушивают в воздушных сушилках, охлаждают и сортируют, выделяя крошку и мучку. Гранулы, полученные влажным способом, обладают большой водостойкостью.

Передаточная функция кондиционера для увлажнения и нагрева комбикорма по каналу: степень открытия регулирующего органа на подаче пара в кондиционер – температура комбикорма в пресс-грануляторе

$$W(p) = \frac{1,9 \cdot e^{-3p}}{7p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\%}$.

ПАСТЕРИЗАЦИЯ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Пастеризатор молочной смеси в производстве мороженого Tetra Plex C8-SH

Целью пастеризации смесей в производстве мороженого является уничтожение патогенной токсинообразующей микрофлоры и инактивация ферментов. В результате исключается передача через мороженое инфекционных заболеваний к потребителям и увеличивается срок хранения. Процесс пастеризации происходит при температуре 84-86 °С.

Для этого в нагревательную секцию пастеризатора подается пар давлением 0,2-0,5 МПа и температурой 150-170 °С, который нагревает воду до температуры 87-90 °С. Затем горячая вода нагревает поступающую молочную смесь для ее пастеризации.

Для пастеризации применяется многосекционный пластинчатый пастеризатор-теплообменник типа Tetra Plex C8-SH. Он состоит из 4-х секций: пастеризации, регенерации, охлаждения холодной водой и охлаждения ледяной водой. Температура смеси на входе 54-59 °С, температура смеси на выходе 4-6 °С. Температура воды для первой ступени охлаждения – 30 °С, для второй ступени охлаждения 1 °С. Расходы пара - 7500 кг/ч, молочной смеси – 6000 кг/ч, горячей воды – 6490 кг/ч.

Передаточная функция пастеризатора по каналу: степень открытия клапана на паропроводе в нагревающую секцию – температура молочной смеси перед охлаждением

$$W(p) = \frac{1,7 \cdot e^{-10p}}{51p+1} ;$$

размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\%}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Тренд управляемого параметра следует преобразовать в таблицу n -дискретных значений параметра m_i через равные временные интервалы.

При наличии высокочастотной составляющей тренд нужно аппроксимировать.

Затем необходимо определить среднеарифметическое значение параметра (математическое ожидание) $\bar{x}$ за анализируемый период времени

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} \quad (\text{П4.1})$$

Остаточное случайное отклонение дискретного значения параметра m_i в этом случае будет

$$v_i = m_i - \bar{x} \quad (\text{П4.2})$$

Критерием правильности вычисления остаточных случайных отклонений ряда дискретных значений параметра является близость нулю их алгебраической суммы

$$\sum_{i=1}^n v_i \cong 0 \quad (\text{П4.3})$$

Обычно эти остаточные случайные отклонения подчиняются закону нормального распределения Гаусса. Для проверки такого подчинения определяют среднеквадратическое отклонение ряда дискретных значений параметра (стандарт) σ по формуле Бесселя

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} \quad (\text{П4.4})$$

и по формуле нормального распределения

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{1,5707}{n(n-1)}} \cdot \sum_{i=1}^n |v_i| \quad (\text{П4.5})$$

Если значения стандартов σ_1 и σ_2 отличаются друг от друга более чем на 10%, то действительный закон распределения отличается от нормального и обрабатывать полученные результаты по правилам нормального распределения невозможно.

Разброс дискретных значений управляемого параметра относительно математического ожидания определяется по величине дисперсии

$$D = \sigma^2 \quad (\text{П4.6})$$

Дисперсия и стандарт полностью определяют величину разброса случайных отклонений параметра при их нормальном распределении.

Далее следует определить границу доверительного интервала отклонения параметра от математического ожидания $\Delta_{\text{Гр}}$ [1,2].

При доверительной вероятности $P_{\text{дов}}$, равной 0,95

$$\Delta_{\text{Гр}} = \pm 2\sigma. \quad (\text{П4.7})$$

В качестве первого примера проанализируем работу САУ влажностью картона на КДМ-1 картоноделательного участка (КДУ) ОАО «Санкт-Петербургский картонно-полиграфический комбинат» (ОАО СПб КПК).

Аппроксимируем тренд влажности картона при работе САУ влажностью за 8 часов работы плавной кривой и выполним все вычисления согласно выражениям (П4.1-П4.7).

Итак,

$$\overline{x_w} = 6,63 \%, \sigma_{1w} = 0,25 \%, \sigma_{2w} = 0,24 \%,$$

Так как σ_{1w} и σ_{2w} отличаются друг от друга менее чем на 10 %, то действительный закон распределения принимаем как нормальный.

$$\text{Тогда } \sigma_w = \sigma_{2w} = 0,24 \%, D_w = 0,058 \text{ и } \Delta_{гр} = \pm 0,48 \%.$$

$$\text{Отсюда получаем, что согласно ПЗ.7 } W = \overline{x_w} \pm 2\sigma_w = 6,63 \pm 0,48 \%$$

Согласно требованиям регламента влажность картона на КДМ-1 должна быть равной $7_{-1}^{+2} \%$, то есть находиться в диапазоне 6-9 % [12].

Исходя из результатов обработки тренда влажность будет находиться в диапазоне 6,15-7,11 %. Следовательно, САУ влажностью в целом удовлетворяет требованиям регламента. Однако нахождение диапазона колебаний в пределах нижней половины допуска является нежелательным в связи с возможностью перерасхода пара и пересушки картона.

В качестве второго примера проанализируем работу САУ разрежения в верхней части топки парового котла ДКВР 20/13 «СПб Теплоэнерго».

Переведем тренд разрежения за 8 часов в таблицу дискретных значений m_i через равные интервалы времени (табл. П4.1).

Таблица П4.1. Дискретные значения разрежения

Время, мин	Разрежение, m_i , Па
0	10
20	11
40	10
60	10
80	11
100	12
120	11
140	11
160	11
180	10
200	10
220	9
240	10
260	9
280	9
300	10
320	10
340	11
360	11
380	11
400	10
420	9
440	9
460	10
480	10

Среднеарифметическое значение разрежения $\bar{x}=10,2$ Па.

Остаточные случайные отклонения v_i дискретного значения разрежения m_i представлены в таблице П4.2.

Таблица П4.2. Остаточные случайные отклонения v_i дискретного значения разрежения m_i

№п/п	v_i	№п/п	v_i
1	-0,2	14	-1,2
2	0,8	15	-1,2
3	-0,2	16	-0,2
4	-0,2	17	-0,2
5	0,8	18	0,8
6	1,8	19	0,8
7	0,8	20	0,8
8	0,8	21	-0,2
9	0,8	22	-1,2
10	-0,2	23	-1,2
11	-0,2	24	-0,2
12	-1,2	25	-0,2
13	-0,2		

Среднеквадратичное отклонение ряда дискретных значений разрежения σ_1 по формуле Бесселя равно 0,81, а σ_2 по формуле нормального распределения равно 0,84. Так как σ_1 и σ_2 отличаются друг от друга менее чем на 10 %, то действительный закон распределения принимаем как нормальный.

Дисперсия D равна 0,7056. Граница доверительного интервала отклонения разрежения от математического ожидания $\Delta_{гр}=\pm 1,68$ Па.

Разрежение P , исходя из результатов обработки тренда, будет находиться в диапазоне 8,52-11,88 Па.

По регламенту разрежение должно быть в диапазоне 9-13 Па. Следовательно, САУ разрежением не удовлетворяет требованиям регламента.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ГЛАВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

1. Анализ существующей САУ

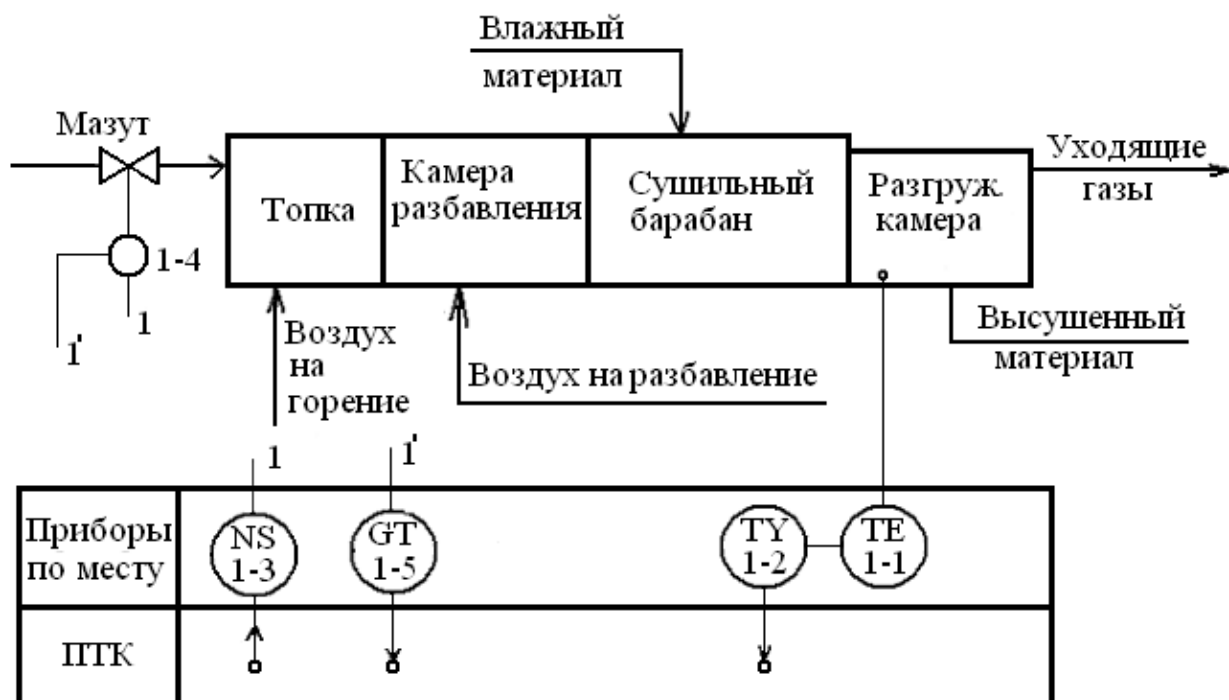


Рис.П5.1. Функциональная схема существующей САУ влажностью материала после барабанной сушилки

Управление сушкой материала осуществляется косвенным путем (рис. П5.1) – изменением расхода жидкого топлива (мазута) в топку барабанной сушилки в зависимости от температуры уходящих газов в разгружающей камере.

Здесь: поз.1-1 – термоэлектрический преобразователь ТХА-0192-Т-С4, рабочий диапазон - $40 \div 1000^{\circ}\text{C}$, $L=1250$ мм;

поз.1-2 – измерительный преобразователь ПИ 9701-ХА(К), диапазон измерения $0-1000^{\circ}\text{C}$, выход 4-20 мА;

поз.1-3 – пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-2М;

поз.1-4 – механизм электрический однооборотный 220 В с соединительной тягой МЭО-40/63-0,25-94;

поз.1-5 – блок сигнализации положения токовый БСПТ-10, выход 4-20 мА, (блок питания БП-10, блок датчика БД-10).

Недостатки этой САУ следующие.

Отсутствует непосредственное измерение влажности высушенного материала и используется зависимость влажности от температуры уходящих газов, указанная в режимной карте сушилки.

Режимная карта не учитывает изменения динамических свойств объекта вследствие изменения футеровки и насадок сушильного барабана.

Существующая САУ одноконтурная, она не имеет упреждающих корректирующих воздействий. В системах инерционных и с большим запаздыванием одноконтурная САУ работает неудовлетворительно.

Кроме того, при наличии больших и высокочастотных возмущающих воздействий САУ практически не успевает реагировать на них и будет постоянно находиться в неустановившемся состоянии, что снижает точность управления параметром.

В качестве управляющего устройства в существующей САУ применяется «Ремиконт Р-130», имеющий следующие недостатки:

- большое количество дополнительных модулей (КБС, БУМ и др); в результате увеличивается количество межмодульных соединений;
- ограничение точек входа/выхода на один контроллер;
- сложность расширения;
- поддержка только четырех контуров управления на один контроллер;
- низкая скорость опроса каналов;
- средняя надежность контроллера и шлюзового блока;
- нет поддержки ряда распространенных протоколов промышленных сетей;
- недостаточная номенклатура модулей УСО (устройства связи с объектом);
- АРМ (автоматизированное рабочее место) и контроллер находятся на значительном расстоянии, что снижает уровень связи.

2. Выбор способа управления

Управление влажностью высушенного материала возможно следующими способами:

- изменением скорости вращения сушильного барабана;
- изменением температуры топочных газов (теплоносителя), поступающих в сушильный барабан; температурой теплоносителя можно

управлять расходом мазута в топку или расходом воздуха в камеру разбавления после топки;

- изменением скорости движения топочных газов в сушильном барабане; это возможно в свою очередь с помощью изменения разрежения в топке, то есть расхода уходящих газов.

Управление влажностью изменением скорости вращения сушильного барабана нецелесообразно вследствие большой длины барабана и возможного увеличения нагрузки на электропривод сушильного барабана.

Управление влажностью изменением скорости движения топочных газов также неэффективно, так как, например, при уменьшении скорости движения увеличивается отложение материала на стенках дымовой трубы и ухудшается процесс управления разрежением в верхней части топки.

Наиболее целесообразным и эффективным является управление изменением температуры топочных газов, поступающих в сушильный барабан, за счет изменения расхода мазута.

Этот способ управления следует реализовать по каскадной схеме. Внутренний стабилизирующий контур – САУ температурой газов в топке. Внешний задающий контур – САУ влажностью высушенного материала.

3. Разработка функциональной схемы и технической структуры предлагаемой САУ

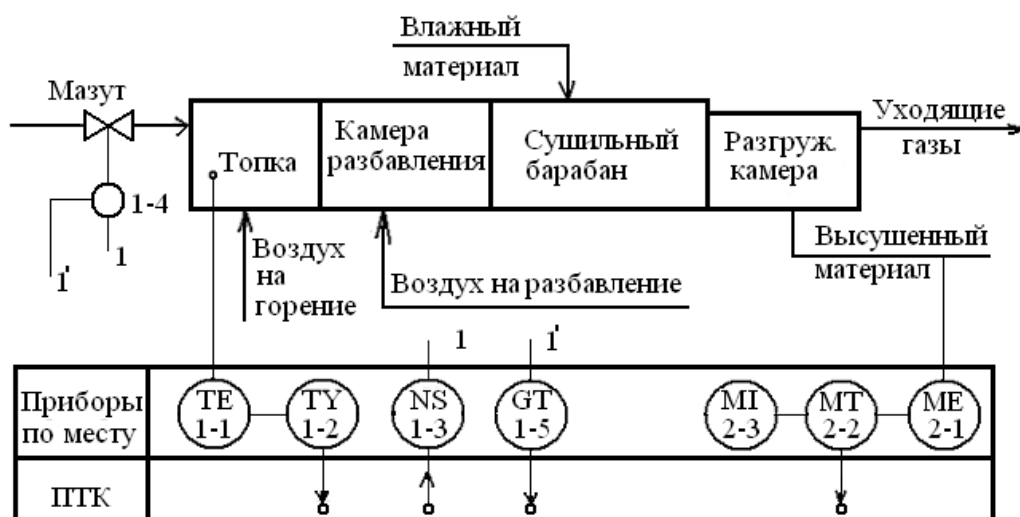


Рис.П5.2. Функциональная схема предлагаемой САУ влажностью материала после барабанной сушилки

В связи с тем, что ранее была выбрана каскадная САУ влажностью материала, разрабатываем новую функциональную схему САУ (рис. П5.2).

Измеренное значение влажности сухого материала поступает в контроллер, где производится его обработка и выдается управляющий сигнал в виде задания внутреннему контуру – САУ температурой в топке.

Ниже представлена спецификация на технические средства к новой функциональной схеме САУ (табл. П5.1).

Таблица П5.1. Спецификация на технические средства автоматизации

Позиция	Наименование, техническая характеристика оборудования	Тип, марка, обозначение документа, опросного листа	Код оборудования, изделия, материала	Завод-изготовитель	Единица измерения	Кол-во	Масса единицы оборудования, кг	Примечание
TE 1-1	Термоэлектрический преобразователь, рабочий диапазон 0-1300 ⁰ С, ПП(S), L=800мм	АТПП 01.20-К-И-22-800	-	ПК «Тесей» г. Обнинск	шт.	1	-	-
ТУ 1-2	Измерительный преобразователь, диапазон измерения 800-1200 ⁰ С, ПП(S), выход 4-20мА	ПИ 9701-ПП(S)	-	ПО «Эталон» г. Омск	шт.	1	-	-
NS 1-3	Пускатель бесконтактный реверсивный	ПБР-2М	-	ОАО ЗЭиМ» г. Чебоксары	шт.	1	-	-
1-4	Механизм электрический однооборотный, 220В, с соединительной тягой	МЭО-40/63-0,25-94	-	ОАО ЗЭиМ» г. Чебоксары	шт.	1	7,0	-
GT 1-5	Блок сигнализации положения ИМ токовый (блок питания БП-10 и датчик БД-10)	БСПТ-10	-	ОАО ЗЭиМ» г. Чебоксары	шт.	1	2,45	-
ME 2-1	Интеллектуальный измеритель влажности инфракрасный, диапазон измерения 0-90 %, IP65	MM710	-	PROMTEX Ltd, Великобритания	шт.	1	-	-
MT 2-2 MI 2-3	Интерфейс Gauge Port с выносным индикатором SDU выход 4-20 мА, Fieldbus	M Gauge Port, SDU	-	PROMTEX Ltd, Великобритания	шт.	1	-	-

Измерительный блок MM710 обеспечивает получение калиброванных результатов измерения влажности. Интерфейс Gaude Port обеспечивает связь прибора с внешними устройствами (токовые и цифровой выходы) и удобное питание измерительного блока напряжением 24 В постоянного тока. Кроме обычных аналоговых и цифрового выхода Gaude Port обеспечивает подключение к сети Fieldbus и релейные выходные сигналы.

Выносной индикатор SDU устанавливается рядом с измерительным блоком и позволяет вести наблюдение за результатами измерений.

Кроме функции индикации SDU имеет специальную клавиатуру, используемую в качестве средства управления при взятии проб в период калибровки прибора.

Техническая структура (рис. П5.3) отражает реализацию управления на аппаратном уровне и показывает общую взаимосвязь уровней управления.

На технологическом уровне находятся первичные преобразователи, измерительные преобразователи и исполнительные механизмы.

Аналоговые и дискретные сигналы поступают в УСО, которые преобразуют эти сигналы в цифровой формат и передают их по локальной шине в центральное процессорное устройство (ЦПУ) контроллера. Роль устройства управления выполняет GE Fanuc 90-30 с установленным модулем ЦПУ CPU 364.

УСО являются безынициативными устройствами, работающими под управлением контроллера. Управление осуществляется дискретно посредством ШИМ (широтно-импульсной модуляции).

На цеховом уровне находится непосредственно программируемый контроллер (ПК).

В соответствии с программой ПК принимает сигналы от подключенных входных устройств и производит выдачу управляющих сигналов на ИМ через промежуточное реле и усилители ПБР-2М.

Контроллер используется также для связи с диспетчерским уровнем. Модули входов/выходов устанавливаются непосредственно на панели ЦПУ. Здесь также реализована система резервирования АРМ с помощью установки панели оператора ОР-27.

На диспетчерском уровне располагаются станции в виде IBM PC-совместимых компьютеров, которые обеспечивают диспетчеризацию технологического процесса и реализуют принцип бесщитовой автоматизации. Роль промышленной шины играет HUB, связывающий все устройства диспетчерского уровня.

HUB (концентратор) обладает следующими характеристиками:

- соответствие спецификации IEEE 802.3 и 10 BASE-T стандарту;
- обеспечение 12 независимых входных портов;
- «ширина полосы» до 10 МГц/с;
- обеспечение фильтрации и пересылки функций для каждого порта, 100 %-ная фильтрация, пересылка пакетов со скоростью 14800 пак/с;

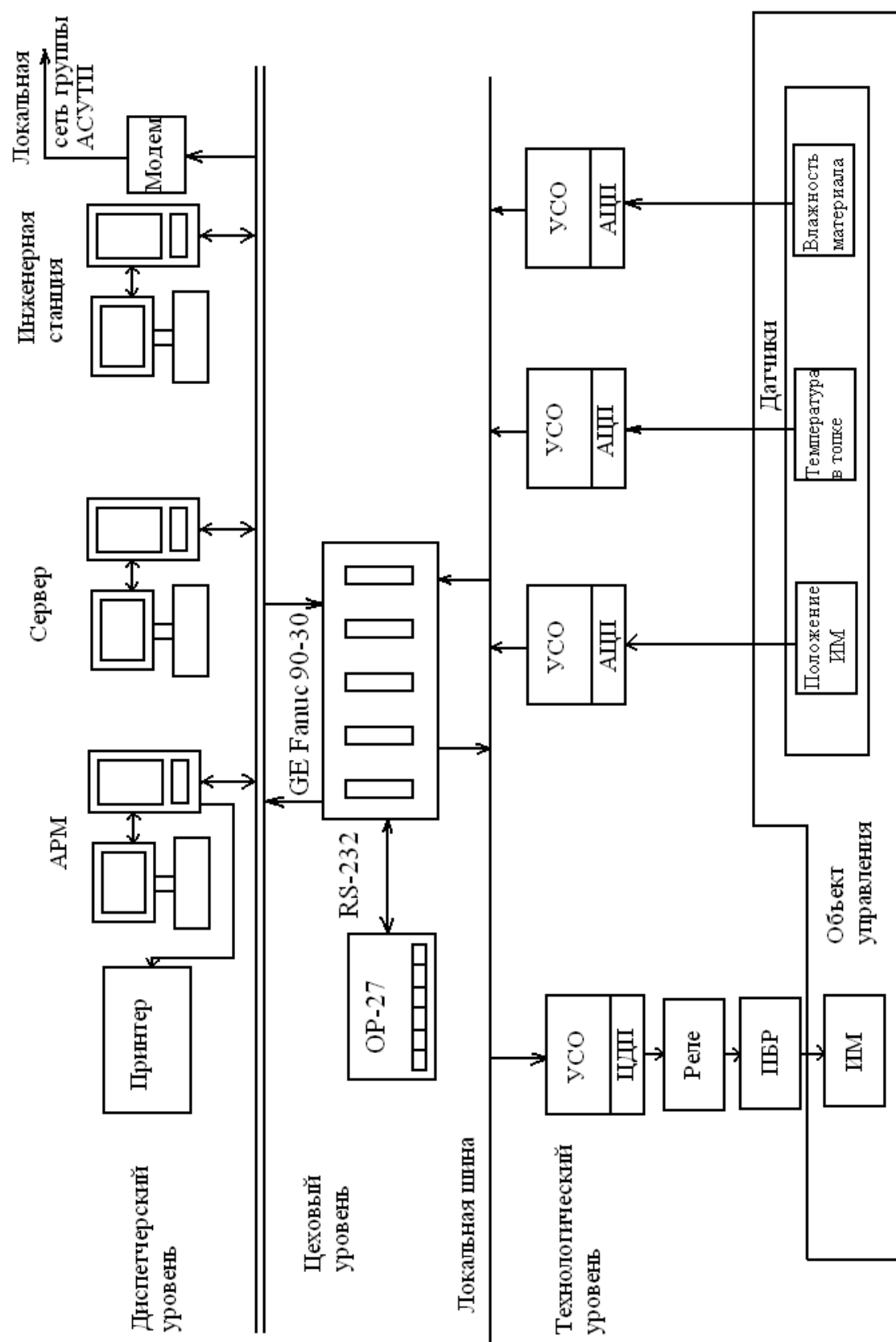


Рис. П 53. Техническая структура САУ влажностью материала после барабанной сушилки

- визуальное отображение состояния использования портов.

Панель оператора подключена непосредственно к контроллеру через интерфейс RS-232 и в случае отказа HUB позволит оператору производить управление до устранения неисправности.

Компьютер с установленным на нем SCADA-пакетом является АРМ оператора. С данного компьютера оператор осуществляет контроль и управление объектом.

Сервер данных является промежуточным звеном в цепи оператор – контроллер. В нем архивируются данные с контроллера. Инженерная станция предназначена для специалистов группы АСУТП. Посредством данной станции можно производить мониторинг и программировать контроллер в реальном времени.

Отдельная информационная линия предназначена для вывода текущей информации в локальную сеть группы АСУТП. Для усиления сигналов здесь устанавливается сетевой модем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования / А.Д. Нестеренко, В.А. Дубровный, Е.И. Забокрицкий и др. – Киев: Наукова думка, 1976. – 840 с.
2. Яныгин Ю.Я. Пособие метрологу целлюлозно-бумажного предприятия. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 80 с.
3. Автоматическое управление в химической промышленности / под ред. Е.Г. Дудникова. – М.: Химия, 1987. – 368 с.
4. Буйлов Г.П., Буйлова Л.И. Экспериментальные исследования узла термогидролитической обработки щепы после импрегнатора в производстве ХТММ // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства: межвуз. сб. науч. тр. / ЛТИЦБП. Л., 1991. – С. 117-118.
5. Буйлов Г.П., Васильев О.Д. Тепловые динамические характеристики рафинера в производстве химико-механической массы на Сясьском ЦБК // Химия и технология волокнистых полуфабрикатов: межвуз. сб. науч. тр. / СПбЛТА, СПб., 1992. – С. 62-64.
6. Буйлов Г.П., Буйлов А.Г., Корнев В.В. Экспериментальные исследования динамических свойств парогенератора теплорекуперационной установки в производстве ХТММ // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства: межвуз. сб. науч. тр. / СПбГТУРП. СПб., 1995. – С. 15-17.
7. Буйлов Г.П., Доронин В.А., Серебряков Н.П. Автоматика и автоматизация производственных процессов целлюлозно-бумажных производств: учебное пособие для вузов. – М.: Экология, 1995. – 320 с.
8. Буйлов Г.П., Урскуль В.А. Динамические характеристики парового котла БКЗ-75-39 котельной Санкт-Петербургского КПК // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства: межвуз. сб. науч. тр. / СПбГТУРП. СПб., 1997. – С. 112-116.
9. Буйлов Г.П., Белякова В.В. Динамические характеристики аппарата с кипящим слоем для сушки соли Аванского солекомбината // Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на промпредприятиях и ТЭС: межвуз. сб. науч. тр. / СПбГТУРП. СПб., 1999. – С. 70-74.
10. Бондаренкова И.В., Ковчин И.С., Кондрашкова Г.А. и др. Технологические измерения и приборы ЦБП: методические указания для выполнения курсового проекта. Ч 2. – СПб.: СПбГТУРП, 2002. – 25 с.
11. Обливин А.Н., Прокофьев Н.С., Киприанов А.И., Процессы и аппараты химической технологии : учебник. – М.: МГУЛ, 2002. – 656 с.: ил.
12. Технологические регламент и карта выработки картона хромэрзац марки «Ладога» на КДМ-2 СПб КПК. – СПб., ОАО «СПб КПК», 2003.
13. Буйлов Г.П., Королев В.С. Барабанная конвективная сушильная установка для железного концентрата как объект управления // Проблемы эконо-

мии топливно-энергетических ресурсов на промпредприятиях и ТЭС: межвуз. сб. науч. тр. – СПб.: СПбГТУРП, 2005. – С. 56-61.

14. Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для вузов. – М.: МЭИ, 2005. – 352 с.

15. Буйлов Г.П. Автоматика и автоматизация производственных процессов: учебно-методическое пособие. – СПб.: СПбГТУРП, 2005. – 82 с.

16. Селянинова Л.Н. Автоматизированная система имитационного моделирования систем управления: учебно-методическое пособие. – СПб.: СПбГТУРП, 2007. – 111 с.

17. Буйлов Г.П. Автоматизация оборудования целлюлозно-бумажных производств: учебное пособие по дипломному проектированию. – СПб.: СПбГТУРП, 2009. – 167 с.

18. Харазов В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами. – СПб.: Профессия, 2009. – 592 с.

19. ГОСТ 21.208–2013. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматики в схемах. – М.: Стандарт информ, 2013. – 20 с.

20. Буйлов Г.П. Математические модели пропитки и пропарки щепы в производстве ВПВВ и их использование для управления и оптимизации / СПбГТУРП. СПб., 2013. – 70 с.

21. Буйлов Г.П., Диев А.В. Деаэратор ДСА-150/70 ТЭЦ-1 ОАО «Сегежский ЦБК» как объект автоматизации // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства: межвуз. сб. науч. тр. / ВШТЭ СПбГУПТД. СПб, 2015. – С. 73-77.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Структура и содержание курсового проекта.....	4
2. Алгоритмические схемы объектов управления в теплоэнергетике и целлюлозно-бумажном производстве.....	8
3. Функциональные схемы автоматизации объектов теплоэнергетики и целлюлозно-бумажного производства.....	17
4. Выбор измерительных преобразователей общепромышленных и специальных параметров.....	57
5. Выбор исполнительного устройства.....	62
6. Выбор контроллера ПТК.....	64
Приложения.....	67
Приложение 1	
Пример бланка задания на курсовой проект.....	67
Приложение 2	
Математические модели объектов управления.....	68
Приложение 3	
Передаточные функции различных объектов управления.....	84
Приложение 4	
Анализ качества управления системы автоматического управления.....	103
Приложение 5	
Примеры выполнения отдельных глав курсового проекта.....	107
Библиографический список.....	114

Учебное издание

Валерий Николаевич Суриков
Герман Павлович Буйлов

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию

Редактор и корректор Т.А. Смирнова
Технический редактор Л.Я. Титова

Темплан 2017 г., поз. 63

Подп. к печати 26.06.17.

Формат 60x84/16.

Бумага тип. №1. Печать офсетная.

Печ. л. 7,5

Уч. – изд. л. 7,5

Тираж 100 экз. Изд. № 63.

Цена «С»

Заказ №

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, СПб., 198095, ул. И. Черных, 4.