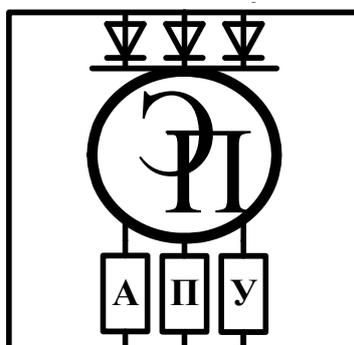


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и автоматизация
промышленных установок»

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТИПОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И КОМПЛЕКСОВ

*Методические рекомендации к курсовому проектированию
для студентов специальности
1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2022

УДК 681.52
ББК 31.291
А22

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» «26» ноября 2021 г., протокол № 4

Составитель канд. техн. наук, доц. Л. Г. Черная

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов

Рассмотрены аспекты проектирования информационно-управляющих систем автоматизации технологических установок и комплексов, разработки структуры и функциональных схем систем автоматизации с применением микропроцессорных контроллеров, промышленных компьютеров и программного обеспечения. Приведены методические рекомендации по выполнению разделов курсового проекта, типовой пример расчета и структурно-параметрического синтеза автоматической системы регулирования.

Учебно-методическое издание

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТИПОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И КОМПЛЕКСОВ

Ответственный за выпуск	Г. С. Леневский
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 99 экз. Заказ

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2022

Содержание

Введение.....	4
1 Цель, тематика, исходные данные, объем и содержание курсового проекта	5
1.1 Исходные данные.....	5
1.2 Объем и содержание курсового проекта.....	23
2 Методические указания по выполнению основных разделов курсового проекта.....	25
Список литературы.....	46

Введение

Специалисты в области электропривода и автоматизации промышленных установок, занимающиеся разработкой, монтажом и наладкой современных систем управления технологическими установками и комплексами, должны уметь разрабатывать системы автоматизации с целью формирования сигналов управления для передачи их исполнительным органам – приводам различных типов, обеспечивающим функционирование технологических установок и комплексов в соответствии с поставленными задачами.

Разработка информационно-управляющих систем автоматизации технологическими установками и комплексами базируется на использовании микропроцессорной техники, промышленных компьютеров, благодаря которым стало возможным создание сложных алгоритмов управления.

Методические рекомендации соответствуют рабочей программе дисциплины «Автоматизация типовых технологических установок и комплексов».

1 Цель, тематика, исходные данные, объем и содержание курсового проекта

Цель выполнения курсового проекта: ознакомить студентов с принципами построения современных информационно-управляющих систем автоматизации технологических установок и комплексов, реализованных на базе микропроцессорных контроллеров и промышленных компьютеров; развить способности самостоятельного решения задач автоматизации; использовать новейшие достижения мировой науки и практики; применить полученные знания для разработки информационно-управляющих систем автоматизации технологических установок и комплексов, обеспечивающих реализацию сложных алгоритмов управления для получения продукции заданного качества при экономии энергоресурсов.

В качестве тем курсового проекта предлагаются темы по автоматизации технологических установок различных отраслей промышленности. При этом решается комплекс задач по проектированию систем автоматического контроля, регулирования, управления и противоаварийной автоматической защиты технологических процессов, разработке информационно-управляющих систем автоматизации технологических установок и комплексов.

1.1 Исходные данные

Исходные данные на разработку информационно-управляющей системы автоматизации технологической установки выбираются согласно варианту и представлены в таблице 1 и на рисунках 1–14: функциональная схема автоматизации технологической установки, выполненная на средствах локальной автоматизации; перечень средств автоматизации; требования к контролю, регулированию, сигнализации технологических переменных, системе управления и противоаварийной автоматической защиты; номинальные параметры исполнительных механизмов. Исходные данные для структурно-параметрического синтеза автоматической системы регулирования (АСР) основной технологической переменной приведены в графе «Индивидуальное задание» таблицы 1 и на рисунке 15.

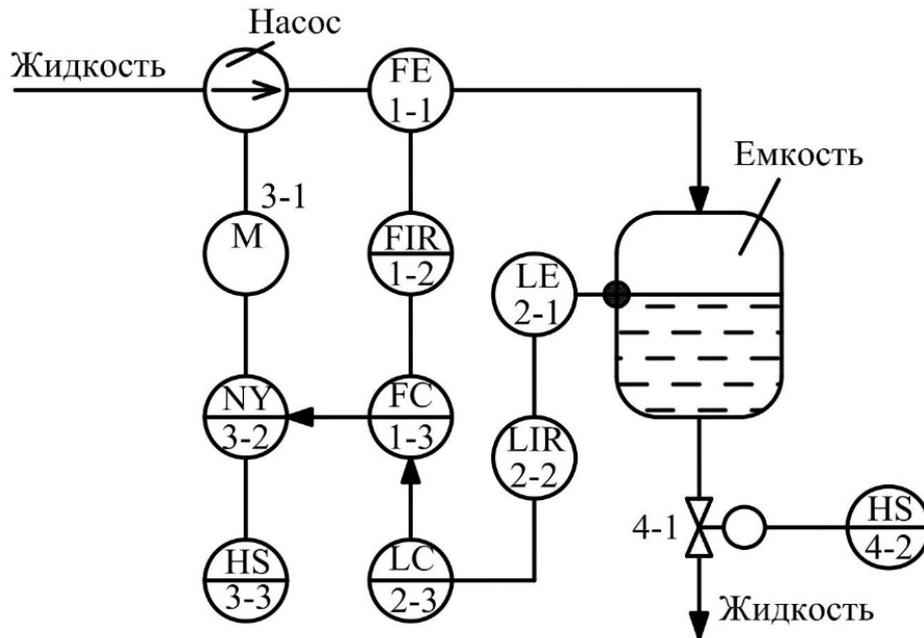
Таблица 1 – Исходные данные

Номер варианта	Исходные данные	Технологическая установка, исполнительные механизмы	Заданное значение основной технологической переменной	Критическое значение параметра для системы ПАЗ и АС	Технические характеристики исполнительных механизмов Р _н , кВт (п _н , об/мин)
1	k ₀₁ = 6,4, τ ₀₁ = 3,6 с, T ₀₁ = 35 с, k _u = 8,2, τ _u = 7,2 с, T _u = 60 с	Технологическая емкость, М (рисунок 2)	L _{зад} = (6 ± 0,2) м	L _{maxПАЗ} = 6,5 м L _{maxАС} = 6,3 м	60 (1440)
2	k ₀₁ = 3, τ ₀₁ = 4,5 с, T ₀₁ = 12 с, k _u = 5,6, τ _u = 3,2 с, T _u = 26 с	Печь, М1, М2 (рисунок 14)	СО _{зад} = (0,6 ± 0,2) %	СО _{maxПАЗ} = 1,2 % СО _{maxАС} = 1,0 %	65 (1470) 30 (1420)
3	k ₀₁ = 2,1, τ ₀₁ = 0,6 с, T ₀₁ = 15 с, k _u = 3,8, τ _u = 1,8 с, T _u = 28 с	Котельная установка, М1, М2, М3 (рисунок 12)	L _{зад} = (1,6 ± 0,2) м	L _{maxПАЗ} = 1,65 м L _{maxАС} = 1,63 м	60 (1440) 25 (740) 35 (1420)
4	k ₀₁ = 1,6, τ ₀₁ = 1,8 с, T ₀₁ = 10 с, k _u = 5,4, τ _u = 3,5 с, T _u = 12 с	Теплообменник, М (рисунок 8)	T _{зад} = (65 ± 2) °С	T _{maxПАЗ} = 72 °С T _{maxАС} = 70 °С	55 (920)
5	k ₀₁ = 12, τ ₀₁ = 3,5 с, T ₀₁ = 12 с, k _u = 32, τ _u = 5 с, T _u = 18 с	Печь, М1, М2 (рисунок 10)	T _{зад} = (145 ± 2) °С	T _{maxПАЗ} = 152 °С T _{maxАС} = 148 °С	50 (720) 40 (1500)
6	k ₀₁ = 1,2, τ ₀₁ = 4,2 с, T ₀₁ = 12 с, k _u = 6, τ _u = 5,4 с, T _u = 25 с	Котельная установка, М1, М2 (рисунок 11)	P _{зад} = (4,5 ± 1) МПа	P _{maxПАЗ} = 5,0 МПа P _{maxАС} = 4,8 МПа	55 (740) 40 (1400)
7	k ₀₁ = 3,5, τ ₀₁ = 2 с, T ₀₁ = 45 с, k _u = 10, τ _u = 4,5 с, T _u = 110 с	Технологическая емкость, М (рисунок 1)	L _{зад} = (6 ± 0,2) м	L _{maxПАЗ} = 6,8 м L _{maxАС} = 6,6 м	75 (2440)
8	k ₀₁ = 3,6, τ ₀₁ = 16 с, T ₀₁ = 16 с, k _u = 6, τ _u = 24 с, T _u = 24 с	Выпарная установка, М1 (рисунок 5)	V _{зад} = (130 ± 4) Па·с	V _{maxПАЗ} = 140 Па·с V _{maxАС} = 138 Па·с	45 (1450)
9	k ₀₁ = 4,8, τ ₀₁ = 1,8 с, T ₀₁ = 16 с, k _u = 6,4, τ _u = 2,4 с, T _u = 25 с	Теплообменник, М (рисунок 7)	T _{зад} = (90 ± 2) °С	T _{maxПАЗ} = 96 °С T _{maxАС} = 94 °С	35 (1420)
10	k ₀₁ = 2,2, τ ₀₁ = 0,8 с, T ₀₁ = 40 с, k _u = 4, τ _u = 1,2 с, T _u = 55 с	Установка приготовления мощного раствора, М1, М2, М3 (рисунок 9)	pH _{зад} = (60 ± 4) %	pH _{maxПАЗ} = 68 % pH _{maxАС} = 66 %	25 (1470) 30 (1420) 60 (1470)
11	k ₀₁ = 1,6, τ ₀₁ = 4 с, T ₀₁ = 112 с, k _u = 2,4, τ _u = 7,5 с, T _u = 150 с	Сушилка, М1, М2 (рисунок 4)	M _{зад} = (25 ± 2) %	M _{maxПАЗ} = 32 % M _{maxАС} = 30 %	12 (1470) 32 (720)
12	k ₀₁ = 25, τ ₀₁ = 6 с, T ₀₁ = 90 с, k _u = 36, τ _u = 8,5 с, T _u = 120 с	Печь, М1, М2 (рисунок 14)	СО _{зад} = (0,8 ± 0,2) %	СО _{maxПАЗ} = 1,5 % СО _{maxАС} = 1,2 %	25 (730) 15 (1470)

Продолжение таблицы 1

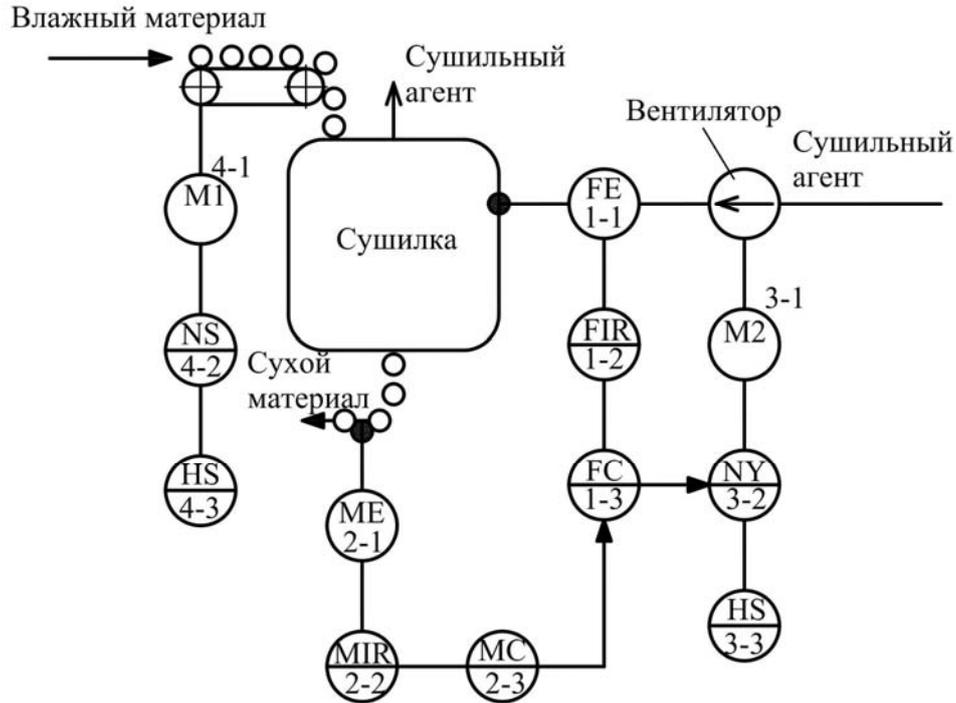
Номер варианта	Исходные данные	Технологическая установка, исполнительные механизмы	Заданное значение основной технологической переменной	Критическое значение параметра для системы ПАЗ и АС	Технические характеристики исполнительных механизмов $P_{нз}$, кВт ($n_{нз}$, об/мин)
13	$k_{01} = 11$, $\tau_{01} = 1,4$ с, $T_{01} = 20$ с, $k_u = 28$, $\tau_u = 3,6$ с, $T_u = 45$ с	Выпарная установка, М1 (рисунок 5)	$V_{зад} = (80 \pm 2)$ Па·с	$V_{minПАЗ} = 72$ Па·с $V_{minАС} = 75$ Па·с	60 (2750)
14	$k_{01} = 8$, $\tau_{01} = 0,5$ с, $T_{01} = 3$ с, $k_u = 10$, $\tau_u = 1,5$ с, $T_u = 5,4$ с	Выпарная установка, М1 (рисунок 6)	$V_{зад} = (110 \pm 2)$ Па·с	$V_{minПАЗ} = 100$ Па·с $V_{minАС} = 105$ Па·с	25 (1370) 52 (1420)
15	$k_{01} = 6$, $\tau_{01} = 6,4$ с, $T_{01} = 45$ с, $k_u = 9$, $\tau_u = 8,3$ с, $T_u = 100$ с	Теплообменник, М (рисунок 7)	$T_{зад} = (84 \pm 2)$ °С	$T_{minПАЗ} = 78$ °С $T_{minАС} = 80$ °С	55 (730)
16	$k_{01} = 15$, $\tau_{01} = 1,8$ с, $T_{01} = 36$ с, $k_u = 20$, $\tau_u = 2,4$ с, $T_u = 40$ с	Теплообменник, М (рисунок 8)	$T_{зад} = (45 \pm 2)$ °С	$T_{minПАЗ} = 38$ °С $T_{minАС} = 40$ °С	25 (1400)
17	$k_{01} = 25$, $\tau_{01} = 1,6$ с, $T_{01} = 15$ с, $k_u = 30$, $\tau_u = 2,8$ с, $T_u = 28$ с	Печь, М1, М2 (рисунок 10)	$T_{зад} = (125 \pm 2)$ °С	$T_{maxПАЗ} = 132$ °С $T_{maxАС} = 130$ °С	30 (960) 22 (1400)
18	$k_{01} = 0,8$, $\tau_{01} = 2,6$ с, $T_{01} = 36,5$ с, $k_u = 1,6$, $\tau_u = 3,3$ с, $T_u = 44$ с	Котельная установка, М1, М2, М3 (рисунок 12)	$L_{зад} = (2,5 \pm 0,2)$ м	$L_{maxПАЗ} = 3,0$ м $L_{maxАС} = 2,9$ м	45 (730) 15 (2440) 22 (1420)
19	$k_{01} = 11$, $\tau_{01} = 1,1$ с, $T_{01} = 16$ с, $k_u = 24$, $\tau_u = 4,1$ с, $T_u = 29$ с	Сушилка, М1, М2 (рисунок 3)	$M_{зад} = (50 \pm 2)$ %	$M_{minПАЗ} = 43$ % $M_{minАС} = 45$ %	15 (730) 12 (1450)
20	$k_{01} = 2,8$, $\tau_{01} = 1,2$ с, $T_{01} = 28$ с, $k_u = 12$, $\tau_u = 3,8$ с, $T_u = 46$ с	Установка приготовления мощного раствора, М1, М2, М3 (рисунок 13)	$pH_{зад} = (25 \pm 2)$ %	$pH_{maxПАЗ} = 34$ % $pH_{maxАС} = 30$ %	22 (740) 10 (1430) 40 (2470)
21	$k_{01} = 5$, $\tau_{01} = 3,4$ с, $T_{01} = 115$ с, $k_u = 12$, $\tau_u = 9,5$ с, $T_u = 120$ с	Сушилка, М1, М2 (рисунок 3)	$M_{зад} = (30 \pm 3)$ %	$M_{maxПАЗ} = 40$ % $M_{maxАС} = 38$ %	60 (1470) 22 (1420)
22	$k_{01} = 2,2$, $\tau_{01} = 0,8$ с, $T_{01} = 40$ с, $k_u = 4$, $\tau_u = 1,2$ с, $T_u = 55$ с	Сушилка, М1, М2 (рисунок 3)	$M_{зад} = (40 \pm 2)$ %	$M_{maxПАЗ} = 48$ % $M_{maxАС} = 46$ %	15 (1475) 24 (745)
23	$k_{01} = 3,4$, $\tau_{01} = 2,4$ с, $T_{01} = 16$ с, $k_u = 18$, $\tau_u = 4$ с, $T_u = 32$ с	Технологическая емкость, М (рисунок 2)	$L_{зад} = (0,5 \pm 0,05)$ м	$L_{minПАЗ} = 0,1$ м $L_{minАС} = 0,2$ м	45 (740)
24	$k_{01} = 2,5$, $\tau_{01} = 2$ с, $T_{01} = 50$ с, $k_u = 5$, $\tau_u = 4,5$ с, $T_u = 100$ с	Сушилка, М1, М2 (рисунок 3)	$M_{зад} = (30 \pm 2)$ %	$M_{minПАЗ} = 24$ % $M_{minАС} = 26$ %	45 (730) 22 (745)

Номер варианта	Исходные данные	Технологическая установка, исполнительные механизмы	Заданное значение основной технологической переменной	Критическое значение параметра для системы ПАЗ и АС	Технические характеристики исполнительных механизмов $P_{нз}$, кВт ($n_{нз}$, об/мин)
25	$k_{01} = 3,6$, $\tau_{01} = 16$ с, $T_{01} = 16$ с, $k_u = 6$, $\tau_u = 10$ с, $T_u = 24$ с	Печь, М1, М2 (рисунок 10)	$T_{зад} = (105 \pm 2) ^\circ\text{C}$	$T_{\min\text{ПАЗ}} = 80 ^\circ\text{C}$ $T_{\min\text{АС}} = 95 ^\circ\text{C}$	30 (960) 22 (1500)
26	$k_{01} = 4,8$, $\tau_{01} = 1,8$ с, $T_{01} = 16$ с, $k_u = 6,4$, $\tau_u = 2,4$ с, $T_u = 25$ с	Установка приготовления мощного раствора, М1, М2, М3 (рисунок 9)	$pH_{зад} = (40 \pm 2) \%$	$pH_{\min\text{ПАЗ}} = 32 \%$ $pH_{\min\text{АС}} = 38 \%$	40 (1400) 60 (1460) 25 (1440)
27	$k_{01} = 2,8$, $\tau_{01} = 6,2$ с, $T_{01} = 85$ с, $k_u = 3,9$, $\tau_u = 8,4$ с, $T_u = 100$ с	Установка приготовления мощного раствора, М1, М2, М3 (рисунок 9)	$pH_{зад} = (40 \pm 2) \%$	$pH_{\min\text{ПАЗ}} = 32 \%$ $pH_{\min\text{АС}} = 38 \%$	40 (2440) 60 (1460) 25 (1440)
28	$k_{01} = 1,8$, $\tau_{01} = 2,2$ с, $T_{01} = 36$ с, $k_u = 2,4$, $\tau_u = 4$ с, $T_u = 45$ с	Печь, М1, М2 (рисунок 14)	$CO_{зад} = (0,7 \pm 0,1) \%$	$CO_{\max\text{ПАЗ}} = 1,1 \%$ $CO_{\max\text{АС}} = 0,9 \%$	45 (740) 25 (2570)
29	$k_{01} = 3,4$, $\tau_{01} = 2,4$ с, $T_{01} = 16$ с, $k_u = 18$, $\tau_u = 4$ с, $T_u = 32$ с	Выпарная установка, М1 (рисунок 5)	$V_{зад} = (180 \pm 4) \text{Па}\cdot\text{с}$	$V_{\min\text{ПАЗ}} = 172 \text{Па}\cdot\text{с}$ $V_{\min\text{АС}} = 175 \text{Па}\cdot\text{с}$	80 (2760)
30	$k_{01} = 1,7$, $\tau_{01} = 2,6$ с, $T_{01} = 7,5$ с, $k_u = 5,1$, $\tau_u = 3,6$ с, $T_u = 12,5$ с	Выпарная установка, М1 (рисунок 6)	$V_{зад} = (100 \pm 2) \text{Па}\cdot\text{с}$	$V_{\min\text{ПАЗ}} = 90 \text{Па}\cdot\text{с}$ $V_{\min\text{АС}} = 95 \text{Па}\cdot\text{с}$	65 (970)
31	$k_{01} = 3,5$, $\tau_{01} = 2,6$ с, $T_{01} = 50$ с, $k_u = 4,8$, $\tau_u = 8,4$ с, $T_u = 75$ с	Теплообменник, М (рисунок 8)	$T_{зад} = (110 \pm 5) ^\circ\text{C}$	$T_{\min\text{ПАЗ}} = 95 ^\circ\text{C}$ $T_{\min\text{АС}} = 100 ^\circ\text{C}$	45 (720)



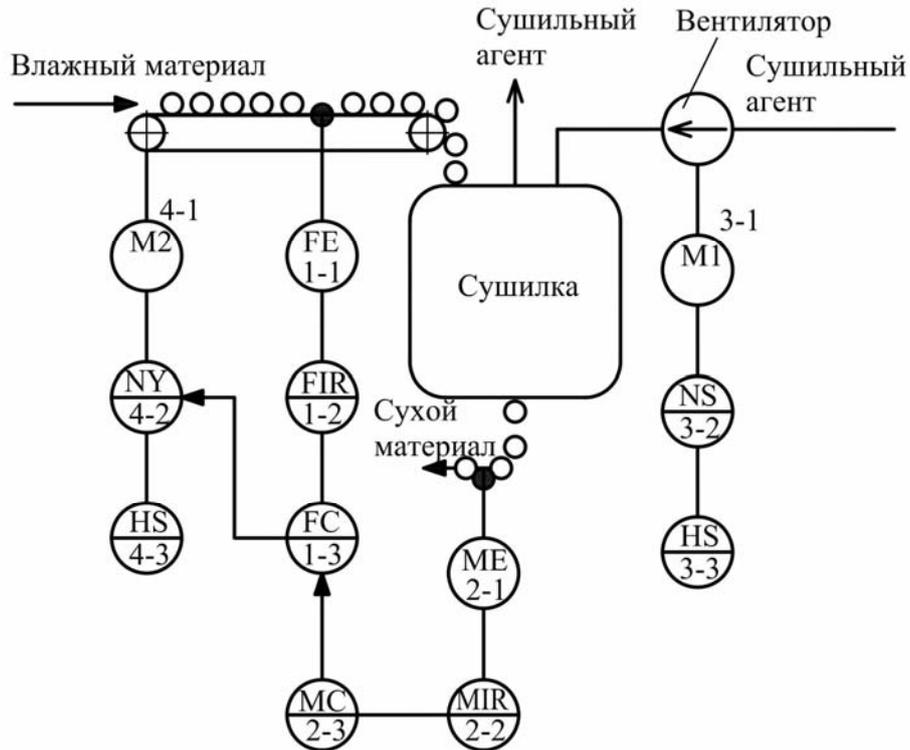
Позиционное обозначение	Наименование	Буквенное обозначение
1-1	Датчик расхода	FE
1-2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля расхода	FIR
1-3	Регулятор расхода	FC
2-1	Датчик уровня	LE
2-2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля уровня	LIR
2-3	Регулятор уровня	LC
3-1	Двигатель насоса	M
3-2	Частотный преобразователь	NY
3-3	Кнопочный пост управления двигателя M	HS
4-1	Клапан отсечной	-
4-2	Кнопочный пост управления клапана 4-1	HS

Рисунок 2 – Функциональная схема автоматизации каскадной автоматической системы регулирования уровня жидкости в емкости



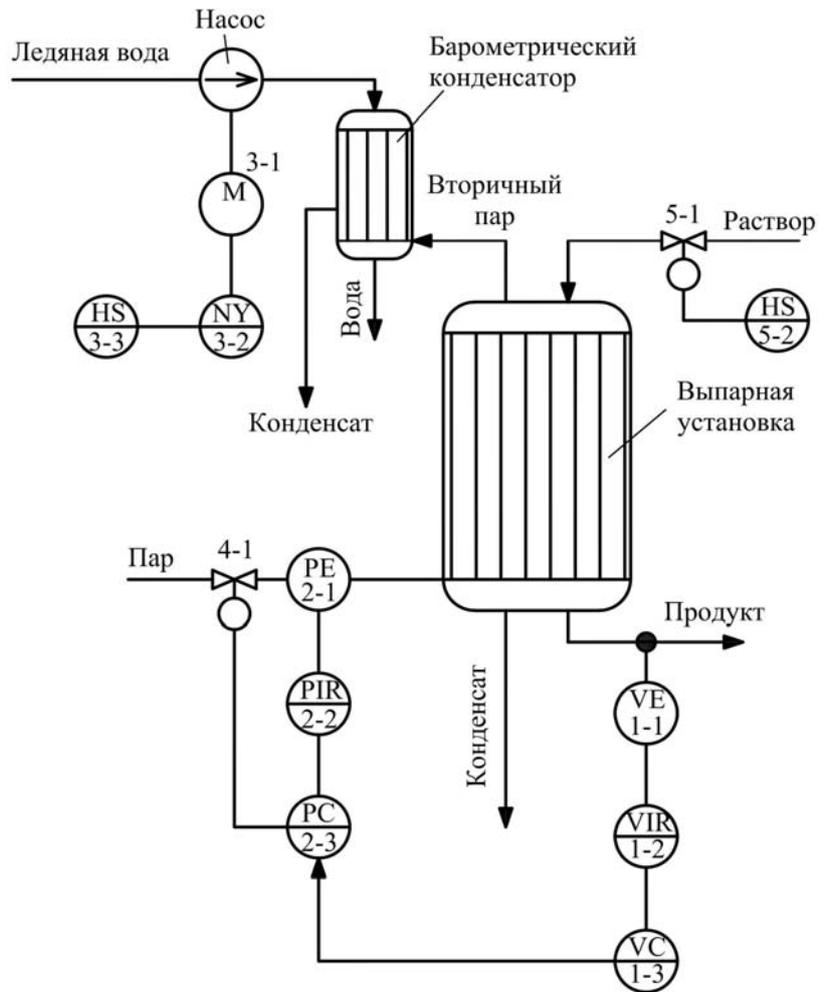
Позиционное обозначение	Наименование	Буквенное обозначение
1-1	Датчик расхода	FE
1-2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля расхода	FIR
1-3	Регулятор расхода	FC
2-1	Датчик влажности	ME
2-2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля влажности	MIR
2-3	Регулятор влажности	MC
3-1	Двигатель весового дозатора непрерывного действия	M1
3-2	Частотный преобразователь	NY
3-3	Кнопочный пост управления двигателя M2	HS
4-1	Двигатель вентилятора	M2
4-2	Магнитный пускатель	NS
4-3	Кнопочный пост управления двигателя M1	HS

Рисунок 3 – Функциональная схема автоматизации каскадной автоматической системы регулирования влажности материала в сушилке



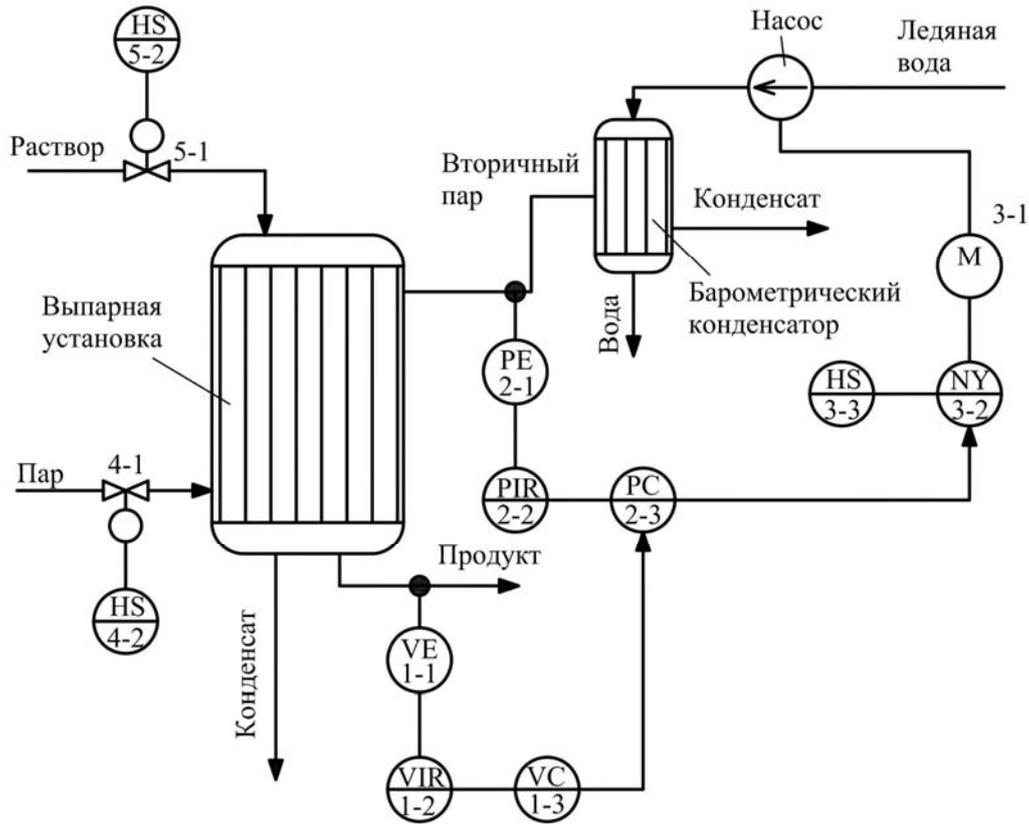
Позиционное обозначение	Наименование	Буквенное обозначение
1-1	Датчик расхода	FE
1-2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля расхода	FIR
1-3	Регулятор расхода	FC
2-1	Датчик влажности	ME
2-2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля влажности	MIR
2-3	Регулятор влажности	MC
3-1	Двигатель вентилятора	M1
3-2	Магнитный пускатель	NS
3-3	Кнопочный пост управления двигателя M2	HS
4-1	Двигатель весового дозатора непрерывного действия	M2
4-2	Частотный преобразователь	NY
4-3	Кнопочный пост управления двигателя M1	HS

Рисунок 4 – Функциональная схема автоматизации каскадной автоматической системы регулирования влажности материала в сушилке



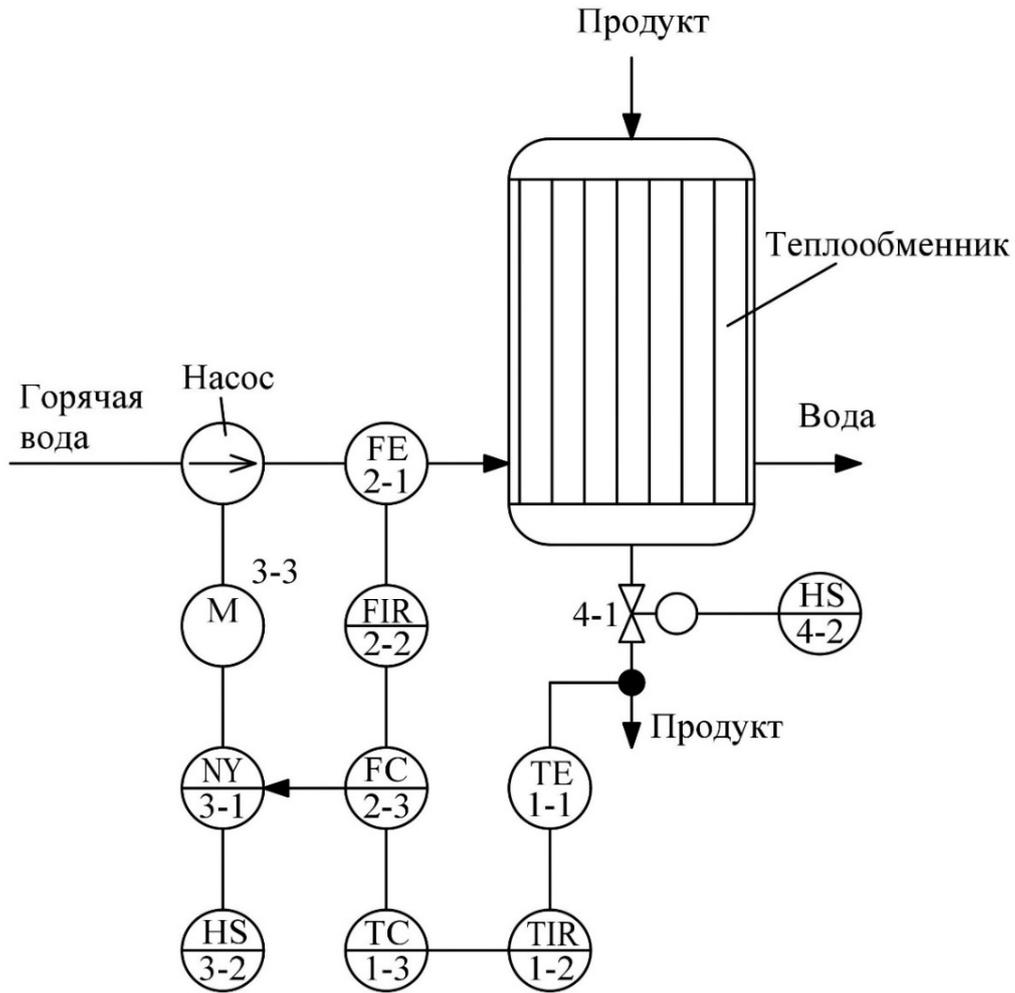
Позиционное обозначение	Наименование	Буквенное обозначение
1–1	Датчик вязкости	VE
1–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля вязкости	VIR
1–3	Регулятор вязкости	VC
2–1	Датчик давления пара	PE
2–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля давления	PIR
2–3	Регулятор давления	PC
3–1	Двигатель насоса	M
3–2	Частотный преобразователь	NY
3–3	Кнопочный пост управления двигателя M	HS
4–1	Клапан регулирующий	–
5–1	Клапан отсечной	–
5–2	Кнопочный пост управления клапана 5–1	HS

Рисунок 5 – Функциональная схема автоматизации каскадной автоматической системы регулирования вязкости в выпарной установке



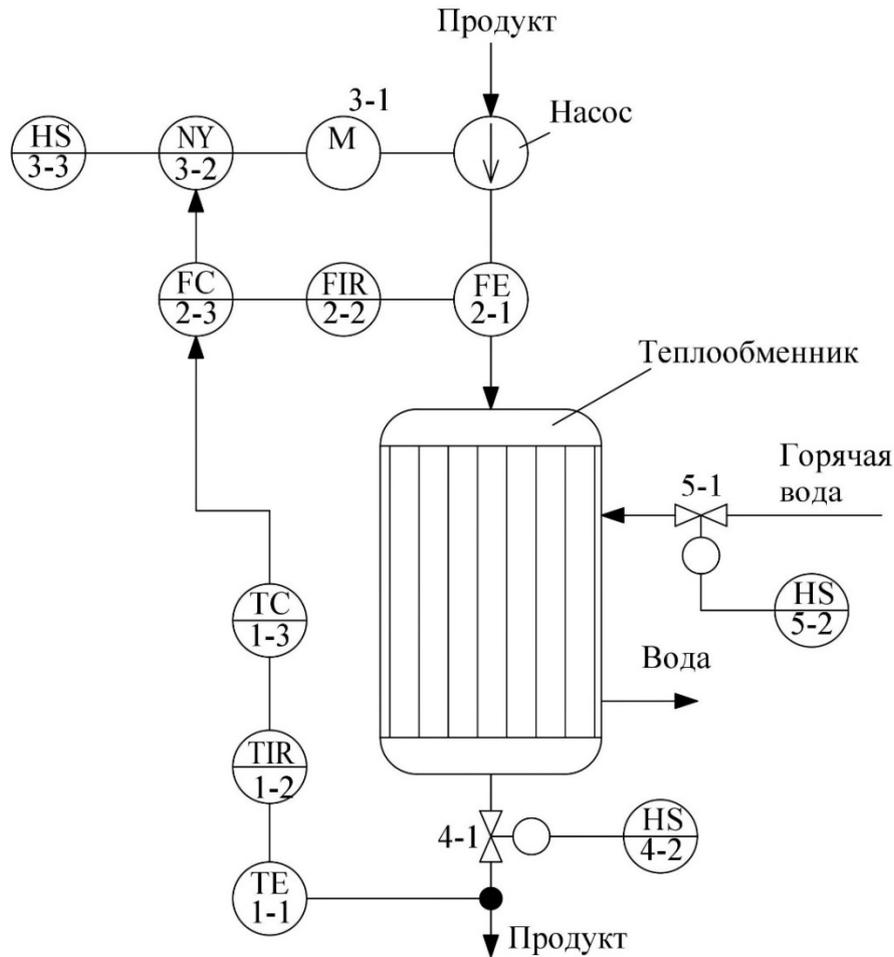
Позиционное обозначение	Наименование	Буквенное обозначение
1–1	Датчик вязкости	VE
1–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля вязкости	VIR
1–3	Регулятор вязкости	VC
2–1	Датчик давления пара	PE
2–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля давления	PIR
2–3	Регулятор давления	PC
3–1	Двигатель насоса	М
3–2	Частотный преобразователь	NY
3–3	Кнопочный пост управления двигателя М	HS
4–1	Клапан отсечной	–
4–2	Кнопочный пост управления клапана 4–1	HS
5–1	Клапан отсечной	–
5–2	Кнопочный пост управления клапана 5–1	HS

Рисунок 6 – Функциональная схема автоматизации каскадной автоматической системы уровня регулирования вязкости в выпарной установке



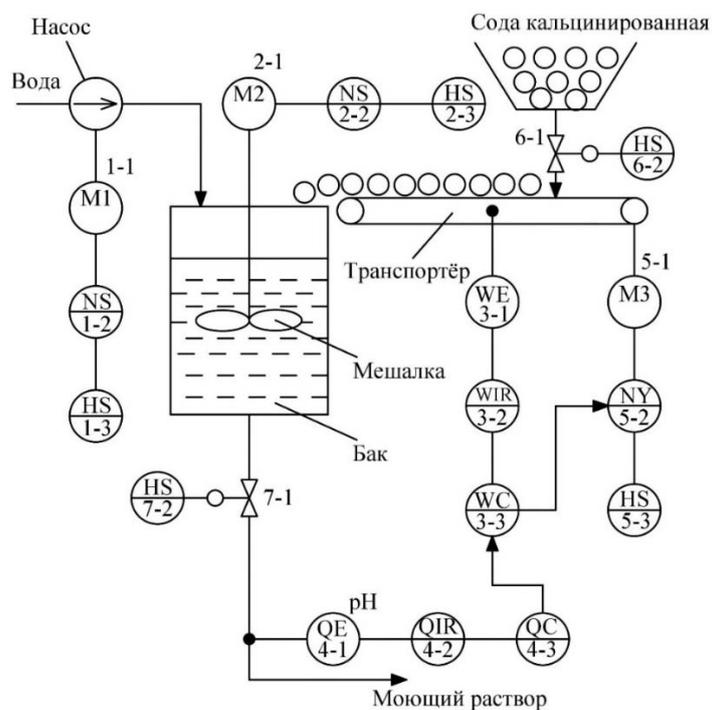
Позиционное обозначение	Наименование	Буквенное обозначение
1-1	Датчик температуры	TE
1-2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля температуры	TIR
1-3	Регулятор температуры	TC
2-1	Датчик расхода горячей воды	FE
2-2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля расхода горячей воды	FIR
2-3	Регулятор расхода горячей воды	FC
3-1	Частотный преобразователь	NY
3-3	Кнопочный пост управления двигателя М	HS
3-3	Двигатель насоса	М
4-1	Клапан отсечной	–
4-2	Кнопочный пост управления клапана 4-1	HS

Рисунок 7 – Функциональная схема автоматизации каскадной автоматической системы регулирования температуры в теплообменнике



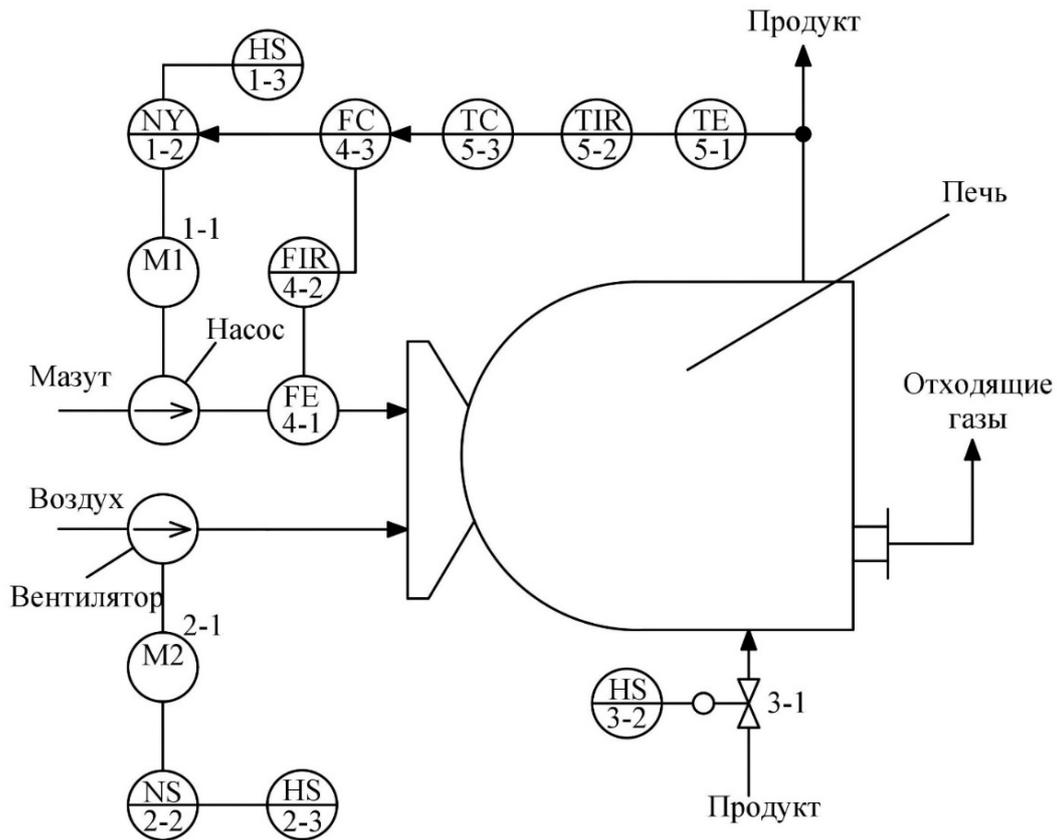
Позиционное обозначение	Наименование	Буквенное обозначение
1–1	Датчик температуры	TE
1–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля температуры	TIR
1–3	Регулятор температуры продукта	TC
2–1	Датчик расхода продукта	FE
2–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля расхода продукта	FIR
2–3	Регулятор расхода продукта	FC
3–1	Двигатель насоса	М
3–2	Частотный преобразователь	NY
3–3	Кнопочный пост управления двигателя М	HS
4–1	Клапан отсечной	–
4–2	Кнопочный пост управления клапана 4–1	HS
5–1	Клапан отсечной	–
5–2	Кнопочный пост управления клапана 5–1	HS

Рисунок 8 – Функциональная схема автоматизации каскадной автоматической системы регулирования температуры в теплообменнике



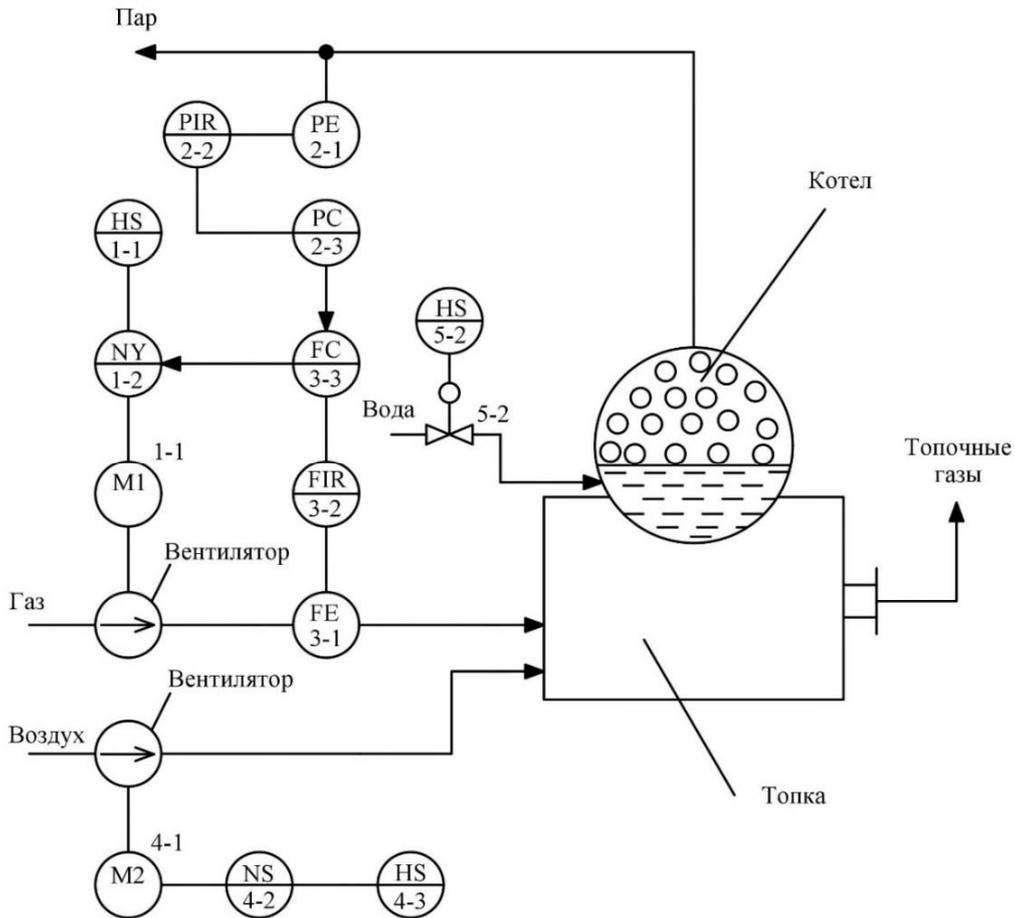
Позиционное обозначение	Наименование	Буквенное обозначение
1–1	Двигатель насоса	M1
1–2	Магнитный пускатель двигателя M1	NS
1–3	Кнопочный пост управления двигателя M1	HS
2–1	Двигатель мешалки	M2
2–2	Магнитный пускатель двигателя M2	NS
2–3	Кнопочный пост управления двигателя M2	HS
3–1	Датчик веса	WE
3–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля веса	WIR
3–3	Регулятор веса	WC
4–1	Датчик концентрации рН	QE
4–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля концентрации рН	QIR
4–3	Регулятор концентрации рН	QC
5–1	Двигатель транспортера	M3
5–2	Частотный преобразователь двигателя M3	NY
5–3	Кнопочный пост управления двигателя M3	HS
6–1	Клапан отсечной	–
6–2	Кнопочный пост управления клапана 6–1	HS
7–1	Клапан отсечной	–
7–2	Кнопочный пост управления клапана 7–1	HS

Рисунок 9 – Функциональная схема автоматизации каскадной автоматической системы регулирования концентрации рН моющего раствора



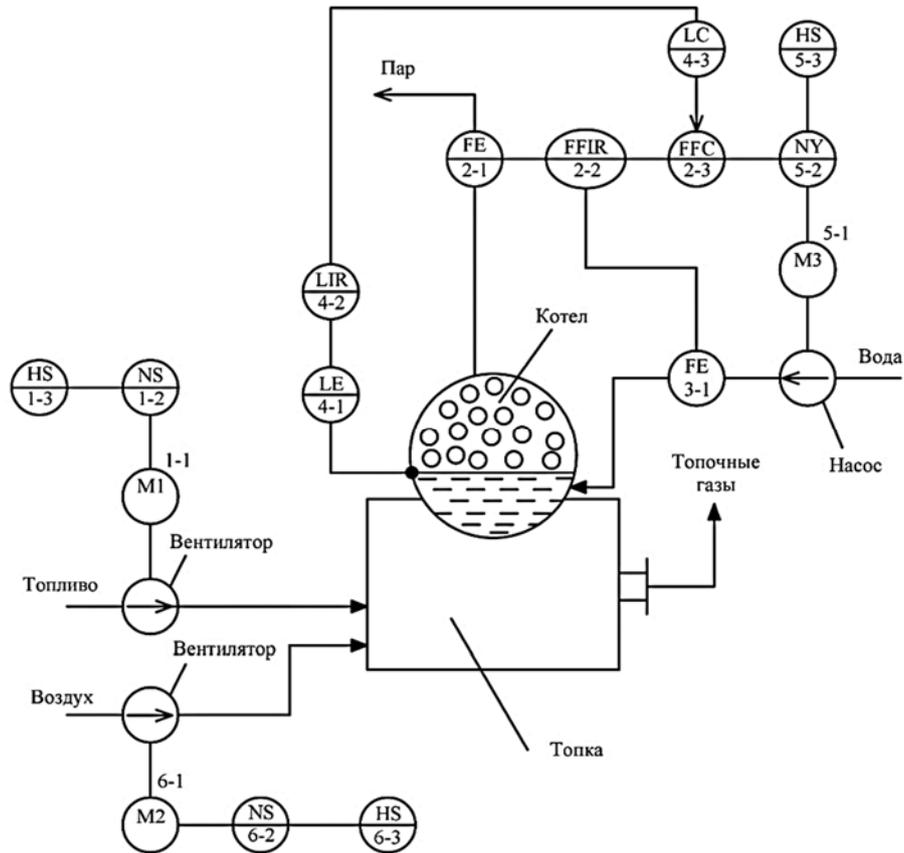
Позиционное обозначение	Наименование	Буквенное обозначение
1–1	Двигатель насоса	M1
1–2	Частотный преобразователь двигателя M1	NY
1–3	Кнопочный пост управления двигателя M1	HS
2–1	Двигатель вентилятора	M2
2–2	Магнитный пускатель двигателя M2	NS
2–3	Кнопочный пост управления двигателя M2	HS
3–1	Клапан отсечной	–
3–2	Кнопочный пост управления клапана 3–1	HS
4–1	Датчик расхода мазута	FE
4–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля расходов мазута	FIR
4–3	Регулятор расхода мазута	FC
5–1	Датчик температуры продукта	TE
5–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля температуры продукта	TIR
5–3	Регулятор температуры продукта	TC

Рисунок 10 – Функциональная схема автоматизации каскадной автоматической системы регулирования температуры продукта при выходе из печи



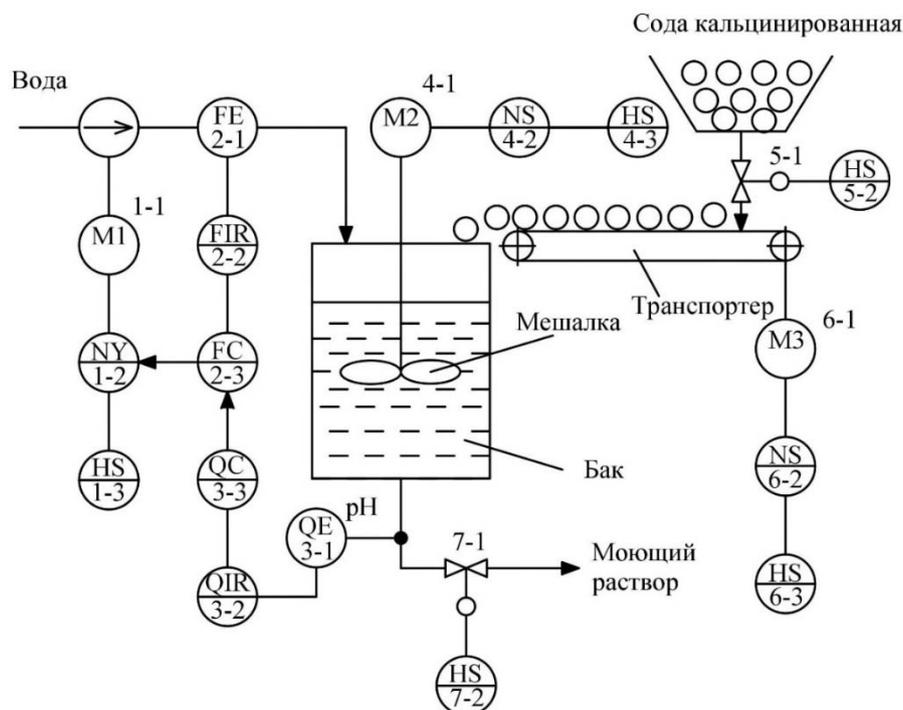
Позиционное обозначение	Наименование	Буквенное обозначение
1-1	Двигатель вентилятора	M1
1-2	Частотный преобразователь двигателя M1	NY
1-3	Кнопочный пост управления двигателя M1	HS
2-1	Датчик давления	PE
2-2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля давления пара	PIR
2-3	Регулятор давления	PC
3-1	Датчик расхода газа	FE
3-2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля расходов газа	FIR
3-3	Регулятор расхода газа	FC
4-1	Двигатель вентилятора	M2
4-2	Магнитный пускатель двигателя M2	HS
4-3	Кнопочный пост управления двигателя M2	NS
5-1	Отсечной клапан	—
5-3	Кнопочный пост управления клапана 5-1	NS

Рисунок 11 – Функциональная схема автоматизации каскадной автоматической системы регулирования давления пара в котельной установке



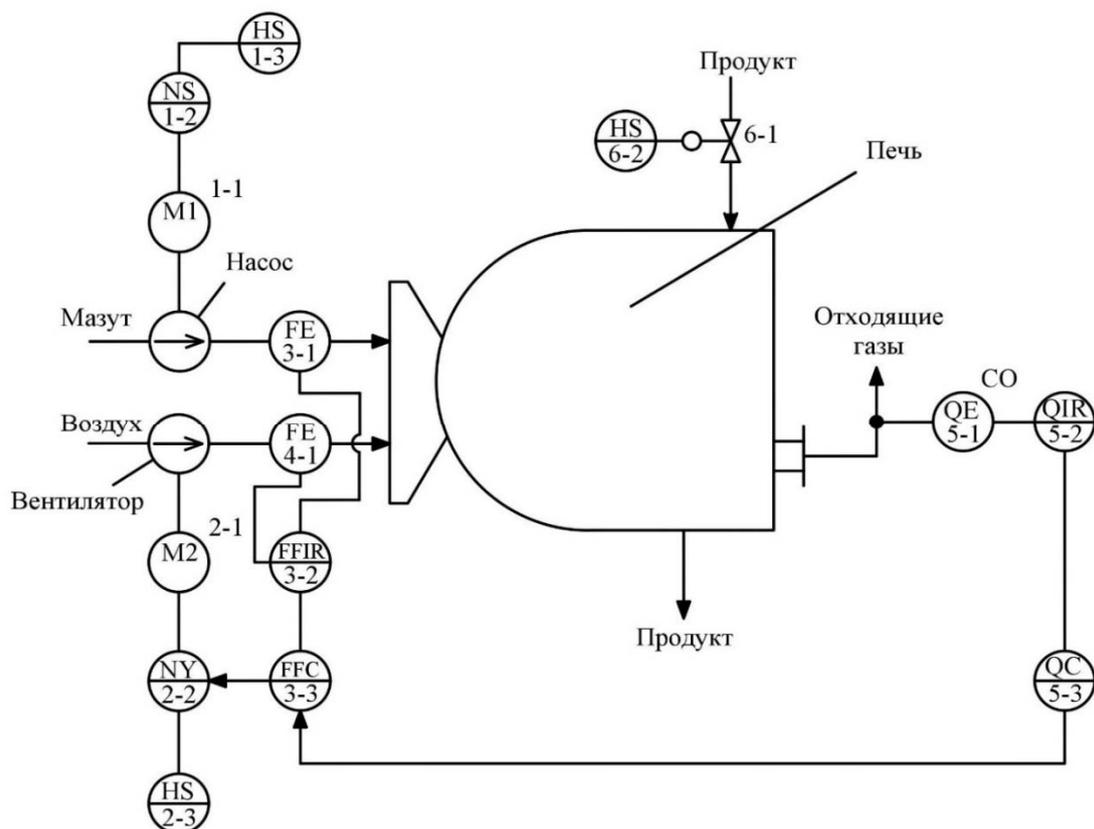
Позиционное обозначение	Наименование	Буквенное обозначение
1–1	Двигатель вентилятора	M1
1–2	Магнитный пускатель двигателя M1	NS
1–3	Кнопочный пост управления двигателя M1, M3	HS
2–1	Датчик расхода пара	FE
2–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля соотношения расходов пара и воды	FFIR
2–3	Регулятор соотношения расходов пара и воды	FFC
3–1	Датчик расхода воды	FE
4–1	Датчик уровня воды	LE
4–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля уровня воды	LIR
4–3	Регулятор уровня	LC
5–1	Двигатель насоса	M3
5–2	Частотный преобразователь двигателя M3	NY
5–3	Кнопочный пост управления двигателя M3	HS
6–1	Двигатель вентилятора	M2
6–2	Магнитный пускатель двигателя M2	NS
6–3	Кнопочный пост управления двигателя M2	HS

Рисунок 12 – Функциональная схема автоматизации каскадной автоматической системы регулирования уровня воды в котле котельной установки



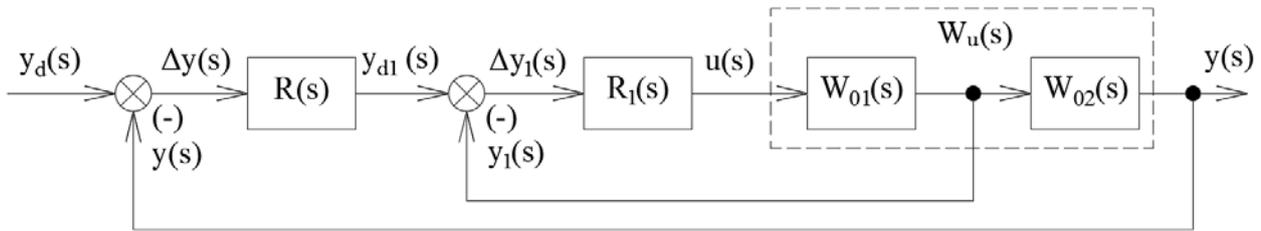
Позиционное обозначение	Наименование	Буквенное обозначение
1–1	Двигатель насоса	M1
1–2	Частотный преобразователь двигателя M1	NY
1–3	Кнопочный пост управления двигателя M1	HS
2–1	Датчик расхода воды	FE
2–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля соотношения расходов пара и воды	FIR
2–3	Регулятор расхода	FC
3–1	Датчик концентрации pH	QE
3–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля концентрации pH	QIR
3–3	Регулятор концентрации pH	QC
4–1	Двигатель мешалки	M2
4–2	Магнитный пускатель двигателя M2	NS
4–3	Кнопочный пост управления двигателя M2	HS
5–1	Клапан отсечной	
5–2	Кнопочный пост управления клапана 5–1	HS
6–1	Двигатель транспортера	M3
6–2	Магнитный пускатель двигателя M3	NS
6–3	Кнопочный пост управления двигателя M3	HS
7–1	Клапан отсечной	–
7–2	Кнопочный пост управления клапана 7–1	HS

Рисунок 13 – Функциональная схема автоматизации каскадной автоматической системы регулирования концентрации pH моющего раствора



Позиционное обозначение	Наименование	Буквенное обозначение
1–1	Двигатель насоса	M1
1–2	Магнитный пускатель двигателя M1	NS
1–3	Кнопочный пост управления двигателя M1	HS
2–1	Двигатель вентилятора	M2
2–2	Частотный преобразователь вентилятора M2	NY
2–3	Кнопочный пост управления вентилятора M2	HS
3–1	Датчик расхода мазута	FE
3–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля соотношения расходов мазута и воздуха	FFIR
3–3	Регулятор соотношения расходов	FFC
4–1	Датчик расхода воздуха	FE
5–1	Датчик концентрации CO в отходящих газах	QE
5–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля концентрации CO	FIR
5–3	Регулятор концентрации CO	FC
6–1	Клапан отсечной	–
6–2	Кнопочный пост управления клапана 6–1	HS

Рисунок 14 – Функциональная схема автоматизации каскадной автоматической системы регулирования концентрации CO в отходящих газах



$W_u(s)$ – передаточная функция объекта управления по каналу управления, $W_u(s) = \frac{k_u}{T_u \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau_u \cdot s}$; k_u – коэффициент усиления; T_u – постоянная времени; τ_u – время запаздывания; $W_{01}(s)$ – передаточная функция первого звена объекта управления, $W_{01}(s) = \frac{k_{01}}{T_{01} \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau_{01} \cdot s}$; k_{01} – коэффициент усиления; T_{01} – постоянная времени; τ_{01} – время запаздывания; $W_{02}(s)$ – передаточная функция второго звена объекта управления; $R(s)$ – передаточная функция основного (внешнего) регулятора, служащего для стабилизации основной технологической переменной $y(s)$; $R_1(s)$ – передаточная функция вспомогательного (внутреннего) регулятора, осуществляющего регулирование вспомогательной технологической переменной $y_1(s)$, взятой из произвольной точки объекта управления; $y_d(s)$, $\Delta y(s)$ – заданное значение основной технологической переменной, ошибка регулирования основной технологической переменной; $y_{d1}(s)$, $\Delta y_1(s)$ – заданное значение вспомогательной технологической переменной, ошибка регулирования вспомогательной технологической переменной, заданием для вспомогательного регулятора служит выходной сигнал основного регулятора $y_{d1}(s)$

Рисунок 15 – Структурная схема каскадной АСР

1.2 Объем и содержание курсового проекта

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части.

Содержание пояснительной записки

Титульный лист.

Задание на курсовой проект.

Содержание.

Аннотация на русском и иностранном языках.

Введение.

1 Разработка информационно-управляющей системы автоматизации установки (_____).

1.1 Назначение и принцип работы. Описание функциональной схемы автоматизации с учетом таблицы средств автоматизации.

1.2 Составление и описание структурной схемы каскадной автоматической системы регулирования с указанием заданных числовых значений (см. вариант индивидуального задания).

1.3 Структурно-параметрический синтез одноконтурной автоматической системы регулирования.

1.3.1 Составление схемы структурной одноконтурной автоматической системы регулирования (с обозначениями и числовыми значениями), описание.

1.3.2 Определение оптимальных настроек непрерывного регулятора по инженерной методике.

1.4 Обеспечение средств автоматизации для пуска насосов (вентиляторов, автоматического и дистанционного ручного управления). Определение переменных, подлежащих контролю, регулированию, автоматической сигнализации (АС), противоаварийной защиты (ПАЗ) с учетом требований: контроля состояния исполнительных механизмов (двигателей, клапанов), пуска насосов (вентиляторов). Схема функциональная локальной системы автоматизации с учетом реализованных требований, таблица средств автоматизации доработанная.

1.5 Определение количества датчиков, кнопочных постов управления, исполнительных механизмов (магнитных пускателей, частотных преобразователей с двигателями, клапанов, реле и т. д.) с указанием видов сигналов. Составление таблицы входных и выходных сигналов для информационно-управляющей системы автоматизации.

1.6 Выбор структуры информационно-управляющей системы автоматизации.

1.6.1 Обоснование выбора структуры информационно-управляющей системы автоматизации с указанием выполняемых функций на каждом уровне.

1.6.2 Разработка схемы структурной информационно-управляющей системы автоматизации (обеспечение автоматического и дистанционного ручного управления).

1.6.3 Выбор и обоснование контрольно-измерительных приборов, описание принципа действия, технических характеристик.

1.6.4 Выбор и обоснование исполнительных механизмов (двигателей, частотного преобразователя (схема подключения) с фильтрами, магнитных пускателей, реле, клапанов, заслонок, задвижек и т. д.), средств контроля их состояния, описание технических характеристик.

1.6.5 Выбор и обоснование контроллера, модулей ввода/вывода.

1.6.6 Выбор и обоснование компьютера.

1.6.7 Выбор и обоснование программного обеспечения, интерфейса.

1.6.8 Разработка и описание функциональной схемы информационно-управляющей системы автоматизации с учетом требований: системы ПАЗ, АС, контроля, регулирования основной технологической переменной, контроля состояния исполнительных механизмов (двигателей, клапанов), пуска насосов (вентиляторов), автоматического и ручного режимов на базе ГОСТ 21.208–2013.

1.6.9 Спецификации средств автоматизации.

1.7 Разработка алгоритма управления технологической установкой () с учетом функций контроля, регулирования, предаварийной автоматической сигнализации и противоаварийной защиты.

1.8 Разработка графического интерфейса.

1.8.1 Разработка мнемосхемы в SCADA-системе TRACE MODE с применением редактора базы каналов, редактора представления данных.

1.8.2 Реализация цифрового PID-регулятора на языке программирования Техно-FBD в SCADA-системе TRACE MODE с обозначением входов/выходов, их числовых значений, формирование управляющего воздействия.

Заключение.

Список использованных источников.

Приложение. Технические характеристики комплекса программно-технических средств автоматизации (распечатки web-страниц сайтов средств автоматизации, программного обеспечения).

Рекомендуемый объем пояснительной записки составляет 30–40 листов из расчета, что она отпечатана на принтере, шрифт Courier New 14 или Times New Roman Cyr 14.

В состав *графической части* курсового проекта входят:

1 лист формата А1, шифр ... Д1 – Технологическая установка (_____).

Рисунок 1 – Схема функциональная локальной системы автоматизации (базовый вариант).

Рисунок 2 – Схема структурная каскадной автоматической системы регулирования с указанием заданных числовых значений.

Рисунок 3 – Схема функциональная информационно-управляющей системы автоматизации с учетом требований: системы ПАЗ, АС, контроля, регулирования основной технологической переменной, контроля состояния исполнительных механизмов (двигателей, клапанов), пуска насосов (вентиляторов), автоматического и ручного режимов.

Рисунок 4 – Мнемосхема технологической установки (_____) в SCADA-системе TRACE MODE – «в цвете».

Рисунок 5 – Реализация цифрового PID-регулятора на языке программирования Техно-FBD с обозначением входов/выходов, их числовых значений и формированием управляющего воздействия – «в цвете».

Рисунок 6 – Схема алгоритма управления технологической установкой (_____) с учетом функций контроля, регулирования, предаварийной автоматической сигнализации и противоаварийной защиты.

2 Методические указания по выполнению основных разделов курсового проекта

Аннотация. Составляется на русском и иностранном языках.

Аннотация должна содержать общие сведения (название темы, фамилия, имя студента, группа, специальность, кафедра, должность, фамилия, имя руководителя), краткую характеристику курсового проекта с указанием цели и полученного результата. Является заключительным этапом курсового проекта.

Содержание. Включает заголовки разделов, подразделов, пунктов, подпунктов приложений и их наименований с указанием страниц, с которых они начинаются, в пояснительной записке.

Введение. В нем должна быть обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи курсовой работы.

Таблица 2 – Позиционное обозначение элементов

Позиционное обозначение	Наименование	Буквенное обозначение
1–1	Датчик температуры	TE
1–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля температуры	TIR
1–3	Регулятор температуры продукта	TC
2–1	Датчик расхода продукта	FE
2–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля расхода продукта	FIR
2–3	Регулятор расхода продукта	FC
3–1	Двигатель насоса	M
3–2	Частотный преобразователь	NY
3–3	Кнопочный пост управления двигателя М	HS
4–1	Клапан отсечной	
4–2	Кнопочный пост управления клапана 4–1	HS
5–1	Клапан отсечной	
5–2	Кнопочный пост управления клапана 5–1	HS

В данной технологической установке передача тепловой энергии продукту происходит посредством поступления в теплообменник горячей воды. Регулирование температуры продукта происходит регулированием расхода продукта с помощью датчика расхода (позиция 2–1).

Функциональная схема автоматизации каскадной автоматической системы уровня регулирования температуры в теплообменнике включает в себя:

- регулируемый привод насоса, который обеспечивает подачу продукта в теплообменник и состоит из электродвигателя 3–1, управляемого преобразователем частоты 3–2 и поста управления 3–3, которым осуществляется дистанционное управление преобразователем частоты 3–2;

- приборы контроля и регулирования температуры продукта на выходе из теплообменника: датчик температуры 1–1, вторичный регистрирующий прибор измерения температуры 1–2, регулятор температуры 1–3;

- приборы контроля и регулирования расхода продукта на входе теплообменника: датчик расхода 2–1, вторичный регистрирующий прибор измерения расхода 2–2, регулятор расхода 2–3;

- отсечной клапан 5–1, для регулирования подачи горячей воды в теплообменник;

- отсечной клапан 4–1, для и регулирования подачи продукта из теплообменника;

- управление отсечными клапанами производится с помощью постов управления 4–2 и 5–2 соответственно.

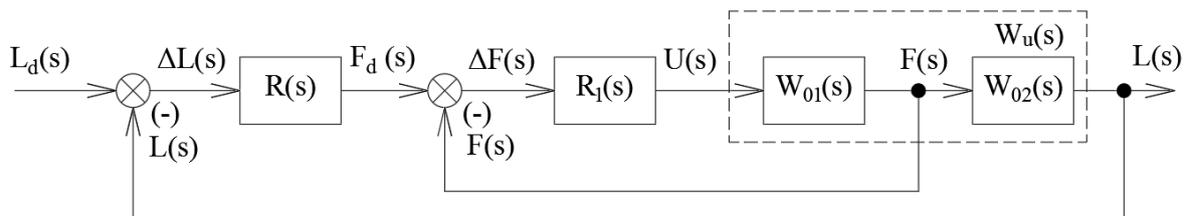
Составление и описание структурной схемы каскадной автоматической системы регулирования с указанием заданных числовых значений. Каскадные автоматические системы регулирования применяют для автоматизации технологических объектов управления, если существует вспомога-

ная технологическая переменная, однозначно связанная с основным выходом объекта.

В качестве примера рассмотрим систему каскадного регулирования, представленную на рисунке 17, где используются два регулятора:

1) основной (внешний) регулятор уровня жидкости $R(s)$, служащий для стабилизации основной технологической переменной $L(s)$. Заданием $L_d(s)$ для основного регулятора служит заданное значение уровня жидкости;

2) вспомогательный (внутренний) регулятор расхода жидкости $R_1(s)$, осуществляющий регулирование вспомогательной технологической переменной $F(s)$, взятой из произвольной точки объекта управления. Заданием $F_d(s)$ для вспомогательного регулятора служит выходной сигнал основного регулятора.



$L_d(s)$ – заданное значение уровня; $L(s)$ – текущее значение уровня; $\Delta L(s)$ – сигнал рассогласования уровня; $F_d(s)$ – заданное значение расхода; $F(s)$ – текущее значение расхода; $\Delta F(s)$ – сигнал рассогласования расхода; $W_{01}(s)$ – передаточная функция первого звена объекта управления; $W_{02}(s)$ – передаточная функция второго звена объекта управления; $W_u(s)$ – передаточная функция объекта управления

Рисунок 17 – Структурная схема каскадной АСР уровня жидкости в ёмкости

Согласно заданию и исходным данным:

- заданное значение уровня жидкости $L_d(s) = (8 \pm 0,2)$ м;
- передаточная функция первого звена объекта управления

$$W_{01}(s) = \frac{k_{01}}{T_{01} \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau_{01}s}, \quad (1)$$

где k_{01} – коэффициент усиления первого звена объекта управления;
 T_{01} – постоянная времени первого звена объекта управления;
 τ_{01} – время запаздывания первого звена объекта управления,
 примет следующий вид:

$$W_{01}(s) = \frac{2,5}{50 \cdot s + 1} \cdot e^{-2s};$$

– передаточная функция объекта управления

$$W_u(s) = \frac{k_u}{T_u \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau_u s}, \quad (2)$$

где k_u – коэффициент усиления объекта управления;

T_u – постоянная времени объекта управления;

τ_u – время запаздывания объекта управления, примет следующий вид:

$$W_u(s) = \frac{5}{100s + 1} \cdot e^{-4,5s};$$

– передаточная функция второго звена объекта управления

$$W_{02}(s) = \frac{k_u \cdot (T_{01} \cdot s + 1)}{k_{01} \cdot (T_u \cdot s + 1)} \cdot e^{-(\tau_u - \tau_{01})s}; \quad (3)$$

$$W_{02}(s) = \frac{5 \cdot (50 \cdot s + 1)}{2,5 \cdot (100 \cdot s + 1)} \cdot e^{-(4,5-2)s} = \frac{250 \cdot s + 5}{250 \cdot s + 2,5} \cdot e^{-2,5s}.$$

Передаточная функция основного регулятора (регулятора уровня жидкости)

$$R(s) = k_{p_opt} + \frac{1}{T_{u_opt} \cdot s}, \quad (4)$$

где k_{p_opt} – оптимальный коэффициент усиления регулятора уровня;

T_{u_opt} – оптимальная постоянная интегрирования регулятора уровня.

Передаточная функция вспомогательного регулятора (регулятора расхода жидкости)

$$R_1(s) = k_{p1opt} + \frac{1}{T_{u1opt} \cdot s}, \quad (5)$$

где k_{p1opt} – оптимальный коэффициент усиления регулятора хода жидкости;

T_{u1opt} – оптимальная постоянная интегрирования регулятора расхода жидкости.

Структурно-параметрический синтез одноконтурной автоматической системы регулирования. В качестве примера рассмотрим структурную схему одноконтурной автоматической системы регулирования, представленную на рисунке 18. $Q_d(s)$ – заданное значение концентрации моющего раствора, $Q_d(s) = pH_{зад} = (60 \pm 4) \%$; $Q(s)$ – текущее значение концентрации моющего раствора; $\Delta Q(s)$ – отклонение текущего значения концентрации моющего раствора от заданного значения (ошибка регулирования).

$W_u(s)$ – передаточная функция объекта управления:

$$W_u(s) = \frac{k_u}{T_u \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau_u s},$$

где k_u – коэффициент усиления объекта управления;

T_u – постоянная времени объекта управления;

τ_u – время запаздывания объекта управления.

$R(s)$ – передаточная функция PI-регулятора концентрации моющего раствора:

$$R(s) = k_{p_opt} + \frac{1}{T_{u_opt} \cdot s},$$

где k_{p_opt} – оптимальный коэффициент усиления регулятора;

T_{u_opt} – оптимальная постоянная интегрирования регулятора.

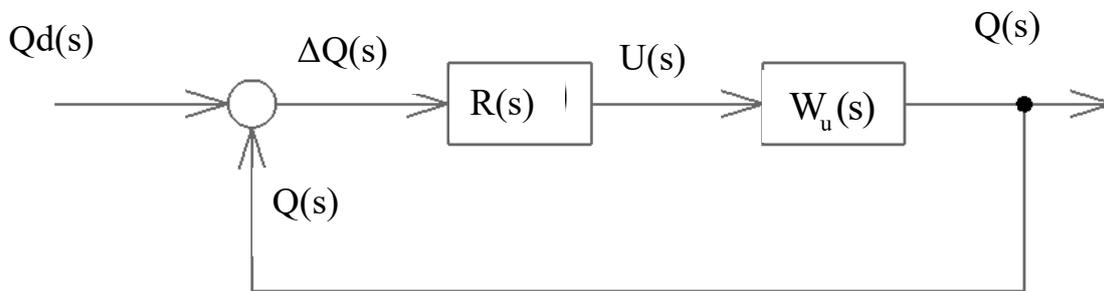


Рисунок 18 – Структурная схема каскадной автоматической системы регулирования

Для определения по инженерной методике оптимальных настроек непрерывного регулятора k_{p_opt} , T_{u_opt} необходимо воспользоваться таблицей 3. Например, для PI-регулятора с желаемым переходным процессом – аperiodическим:

$$k_{p_opt} = \frac{0,6}{k_u \frac{\tau_u}{T_u}}; \quad T_{u_opt} = 0,6 \tau_u.$$

Для определения динамической характеристики основной технологической переменной (концентрации моющего раствора), показателей качества процесса регулирования составим математическую модель одноконтурной системы регулирования в пакете MATLAB Simulink.

В качестве примера на рисунке 19 представлена математическая модель для исследования динамической характеристики – концентрации моющего раствора в среде MATLAB Simulink.

Графики переходного процесса изменения концентрации моющего раствора $Q(t) = pH(t)$ представлены на рисунке 20.

Исходя из рисунка 20 показатели качества процесса регулирования: время регулирования – $t_{рег} = 6$ с (для $pH = (60 \pm 4) \%$); перерегулирование – 5 %.

Таблица 3 – Оптимальные настройки регулятора (инженерная методика)

Регулятор	Настройки	Типовой процесс регулирования		
		апериодический	20-процентное перерегуливание	$\min \int_0^{\infty} \Delta y^2 dt$
P	$k_p \text{ opt}$	$\frac{0,3}{k_u \frac{\tau_u}{T_u}}$	$\frac{0,7}{k_u \frac{\tau_u}{T_u}}$	$\frac{0,9}{k_u \frac{\tau_u}{T_u}}$
	$T_u \text{ opt}$	$0,6 \tau_u$	$0,7 \tau_u$	$1,0 \tau_u$
PI	$k_p \text{ optt}$	$\frac{0,6}{k_u \frac{\tau_u}{T_u}}$	$\frac{0,7}{k_u \frac{\tau_u}{T_u}}$	$\frac{1,0}{k_u \frac{\tau_u}{T_u}}$
	$T_u \text{ opt}$	$0,6 \tau_u$	$0,7 \tau_u$	$1,0 \tau_u$
PID	$k_p \text{ optt}$	$\frac{0,95}{k_u \frac{\tau_u}{T_u}}$	$\frac{1,2}{k_u \frac{\tau_u}{T_u}}$	$\frac{1,4}{k_u \frac{\tau_u}{T_u}}$
	$T_u \text{ opt}$	$2,4 \tau_u$	$2,0 \tau_u$	$1,3 \tau_u$
	$T_D \text{ opt}$	$0,4 \tau_u$	$0,4 \tau_u$	$0,5 \tau_u$

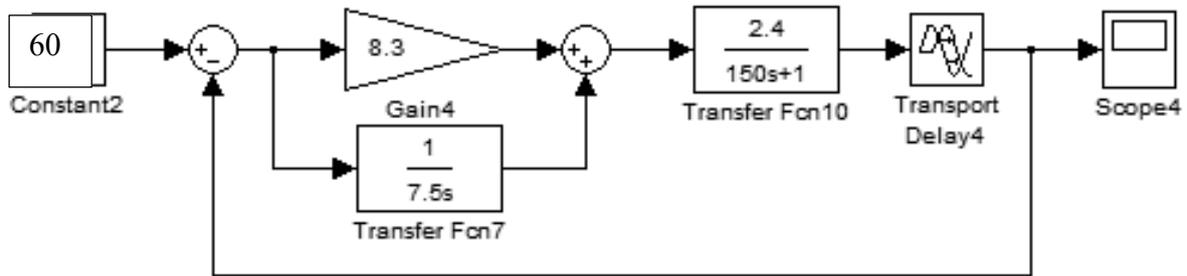
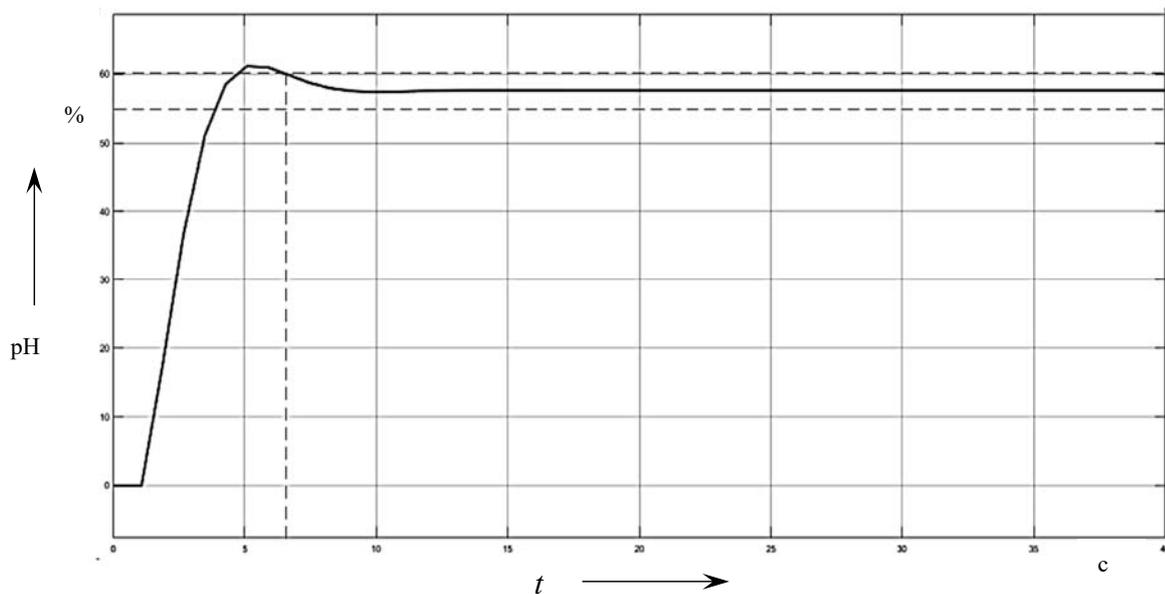


Рисунок 19 – Математическая модель для исследования динамической характеристики концентрации мощного раствора

Рисунок 20 – График переходного процесса изменения концентрации $pH(t)$

Обеспечение средств автоматизации для пуска насосов (вентиляторов, автоматического и дистанционного ручного управления). Определение переменных, подлежащих контролю, регулированию, автоматической сигнализации (АС), противоаварийной защите (ПАЗ) с учетом требований: контроля состояния исполнительных механизмов (двигателей, клапанов), пуска насосов (вентиляторов). Схема функциональная локальной системы автоматизации с учетом реализованных требований, таблица средств автоматизации доработанная. Рассматриваются дополнительные средства автоматизации для обеспечения пуска насосов (вентиляторов), осуществления автоматического и дистанционного ручного управления, контроля состояния исполнительных механизмов (двигателей, клапанов). Описываются переменные, подлежащие контролю, регулированию, сигнализации, блокировке, согласно заданию с указанием конкретных значений.

Пример преобразованной схемы автоматизации каскадной автоматической системы регулирования температуры в теплообменнике со всеми датчиками приведена на рисунке 21, позиционные обозначения элементов представлены в таблице 4.

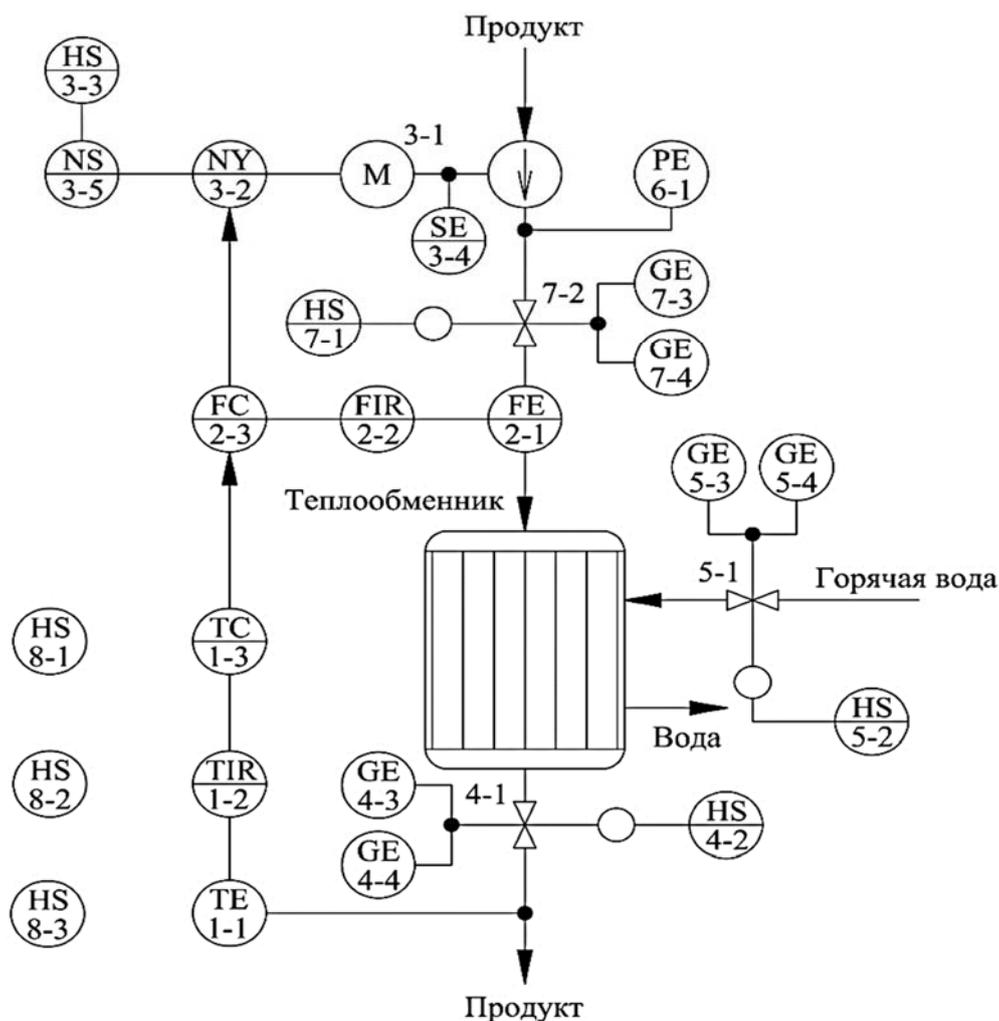


Рисунок 21 – Схема функциональная локальной системы автоматизации с учетом реализованных требований

Таблица 4 – Позиционные обозначения элементов дополненной функциональной схемы автоматизации каскадной автоматической системы уровня регулирования температуры в теплообменнике

Позиционное обозначение	Наименование	Буквенное обозначение
1–1	Датчик температуры	TE
1–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля температуры	TIR
1–3	Регулятор температуры продукта	TC
2–1	Датчик расхода продукта	FE
2–2	Вторичный показывающий и регистрирующий прибор контроля расхода продукта	FIR
2–3	Регулятор расхода продукта	FC
3–1	Двигатель насоса	M
3–2	Частотный преобразователь	NY
3–3	Кнопочный пост управления двигателя М	HS
3–4	Датчик скорости вращения двигателя М	SE
4–1	Клапан отсечной	
4–2	Кнопочный пост управления клапана 4–1	HS
5–1	Клапан отсечной	
5–2	Кнопочный пост управления клапана 5–1	HS
4–3	Выключатель концевой, клапан 4–1 закрыт	GE
4–4	Выключатель концевой, клапан 4–1 открыт	GE
5–3	Выключатель концевой, клапан 5–1 закрыт	GE
5–4	Выключатель концевой, клапан 5–1 открыт	GE
6–1	Датчик давления	PE
7–1	Кнопочный пост управления клапана 7–2	HS
7–2	Клапан отсечной	
7–3	Выключатель концевой, клапан 7–2 закрыт	GE
7–4	Выключатель концевой, клапан 7–2 открыт	GE
8–1	Кнопка «Пуск»	HS
8–2	Кнопка «Стоп»	HS
8–3	Переключатель выбора режима работы – автоматический, ручной (А/Р)	HS

Для обеспечения пуска насоса в трубопроводе нагнетания устанавливается запорный вентиль (клапан) 7–2 с постом управления 7–1, для измерения давления продукта на выходе насоса установлен манометр 6–1.

Для автоматического и дистанционного режимов работы установлены кнопка «Пуск» 8–1, кнопка «Стоп» 8–2, переключатель выбора режима работы 8–3.

Контролю подлежат следующие переменные: давление продукта на выходе насоса; температура продукта на выходе теплообменника; расход продукта.

Регулированию подлежат температура и расход продукта. Заданное значение для регулирования температуры $T_d = (105 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$.

Сигнализации и блокировке подлежат минимальные значения температуры, равные $T_{\min\text{ПАЗ}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ и $T_{\min\text{ПАЗ}} = 95 \text{ }^\circ\text{C}$ соответственно.

Также контролю подлежат переменные состояния исполнительных механизмов: скорость вращения двигателя; состояния клапанов (открыт или закрыт).

Для контроля скорости вращения двигателя применен датчик скорости 3–4. Состояния всех клапанов контролируются концевыми выключателями. На один клапан ставится два концевых выключателя для того, чтобы обеспечить контроль двух состояний клапана: 4–3, 5–3, 7–3 – клапаны 4–1, 5–1, 7–2 закрыты, 4–4, 5–4, 7–4 – клапаны 4–1, 5–1, 7–2 открыты.

Определения количества датчиков, кнопочных постов управления, исполнительных механизмов (магнитных пускателей, частотных преобразователей с двигателями, клапанов, реле и т. д.) с указанием видов сигналов. Составление таблицы входных и выходных сигналов для информационно-управляющей системы автоматизации. Для разработки информационно-управляющей системы автоматизации, базирующейся на микропроцессорном контроллере и промышленном компьютере, необходимо определить количество датчиков, кнопочных постов управления, исполнительных механизмов (магнитных пускателей, частотных преобразователей с двигателями, клапанов, реле и т. д.) с указанием видов сигналов.

Пример выбора входных и выходных сигналов представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Виды и уровни входных, выходных сигналов

Позиционное обозначение	Наименование	Тип сигнала, уровень сигнала
FE (2–1)	Датчик расхода	4...20 мА, аналоговый
PE (6–1)	Датчик давления	4...20 мА, аналоговый
TE (1–1)	Датчик температуры (термопара)	150 мВ, аналоговый
GE (4–3)	Концевой выключатель	Дискретный, –30 В
...		
HS (8–1)	Кнопка «Пуск» – автоматическая	Дискретный, –30 В
...		
SE (3–4)	Датчик скорости	RS-485
(4–1)	Клапан	Релейный, 50 Гц, 220 В
...		
NS (3–5)	Магнитный пускатель	Релейный, 50 Гц, 220 В
NY (3–2)	Частотный преобразователь	4...20 мА, аналоговый, дискретный, RS-485

Окончание таблицы 5

Позиционное обозначение	Наименование	Тип сигнала, уровень сигнала
РС (13)	Промышленный компьютер	Ethernet
Количество входных и выходных сигналов, необходимых для выбора модулей контроллера AI, TI, DI, PI, DO, RO, AO, RS-485, Ethernet		AI = TI = DI = PI = DO = RO = AO = RS-485 Ethernet

Выбор структуры информационно-управляющей системы автоматизации. Необходимо рассмотреть различные варианты структур информационно-управляющих систем автоматизации – централизованную, супервизорную, распределенную (звездообразную, кольцевую, шинную), указать их достоинства и недостатки. Обосновать выбор структуры с учетом реализации требований к автоматизации с указанием выполняемых функций на каждом уровне, разработать структурную схему информационно-управляющей системы автоматизации, выбрать комплекс технических средств и программного обеспечения.

На рисунке 22 изображена схема структурная информационно-управляющей системы автоматизации теплообменника, разработанная на основе схемы функциональной локальной системы автоматизации (см. рисунок 21, таблицу 3).

Верхний уровень реализован на промышленном компьютере (РС). На компьютер возложены функции показывающего и регистрирующего прибора, отображающего ход технологического процесса в графическом виде, понятном для пользователя, с возможностью внесения корректировок.

Средний уровень реализован на базе свободно программируемого контроллера MicroPC, обеспечивающего регулирование технологических переменных, программно-логическое управление, а также сигнализацию и блокировку. Связь с датчиками и исполнительными элементами осуществляется с помощью подключаемых модулей (модуль дискретного ввода, модуль аналогового ввода, модуль релейной коммутации, модуль аналогового вывода). Также контроллер имеет следующие интерфейсные разъемы:

- RS-485 для связи с частотным преобразователем, датчиком скорости;
- Ethernet для связи с промышленным компьютером верхнего уровня (РС).

На нижнем уровне расположены датчики и исполнительные механизмы.

Особенностью предлагаемой структуры управления является взаимозаменяемость верхнего и среднего уровней управления при выходе из строя одного из них. В случае отказа компьютера можно завершить процесс с помощью микропроцессорного контроллера и пульта дистанционного управления либо довести его до состояния, при котором возможен ремонт, а в случае сбоя на среднем уровне компьютер может самостоятельно управлять процессом.

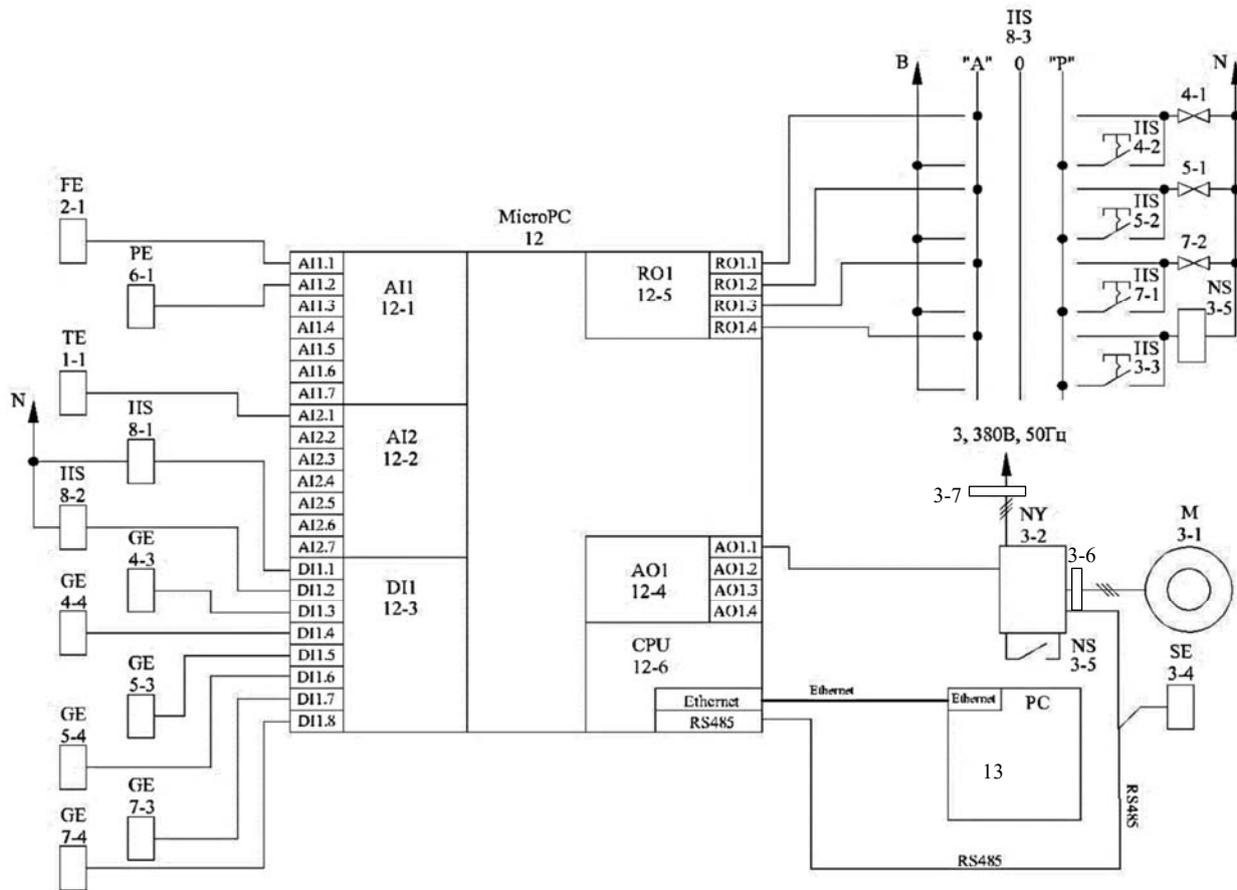


Рисунок 22 – Схема структурная информационно-управляющей системы автоматизации теплообменника

Автоматизированный технологический комплекс связан в общее информационное пространство с компьютером более высокого уровня посредством интерфейсов связи.

На структурной схеме изображают все основные функциональные части информационно-управляющей системы автоматизации и взаимосвязи между ними (ГОСТ 2.701–84 *Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению*).

Пример выбора комплекса программно-технических средств информационно-управляющей системы автоматизации следующий:

«1.6.3 Выбор и обоснование контрольно-измерительных приборов, описание принципа действия, технических характеристик.

1.6.3.1 Датчик уровня LE 2–1. Выберем гидростатический датчик уровня Pepperl + Fuchs LGC-KSR3C-1XMN-NA [3, приложение А, с. 39]. Используется при непрерывном измерении уровня жидкости. Принцип измерения: гидростатическое давление (давление столба жидкости преобразуется в сигнал, пропорциональный уровню).

Технические характеристики:

- диапазон измерения датчика – 5 м;
- класс точности – 0,2 %;
- тип выходного сигнала – аналоговый, 4...20 мА».

Функции отображения информации, регистрации, сигнализации и архивирования данных возложены на промышленный компьютер РС: РРС-103.

Необходимо разработать алгоритм управления технологической установкой (с учетом функций контроля, регулирования, сигнализации и противоаварийной защиты). Пример выполнения общего алгоритма управления технологической установки представлен на рисунке 24.

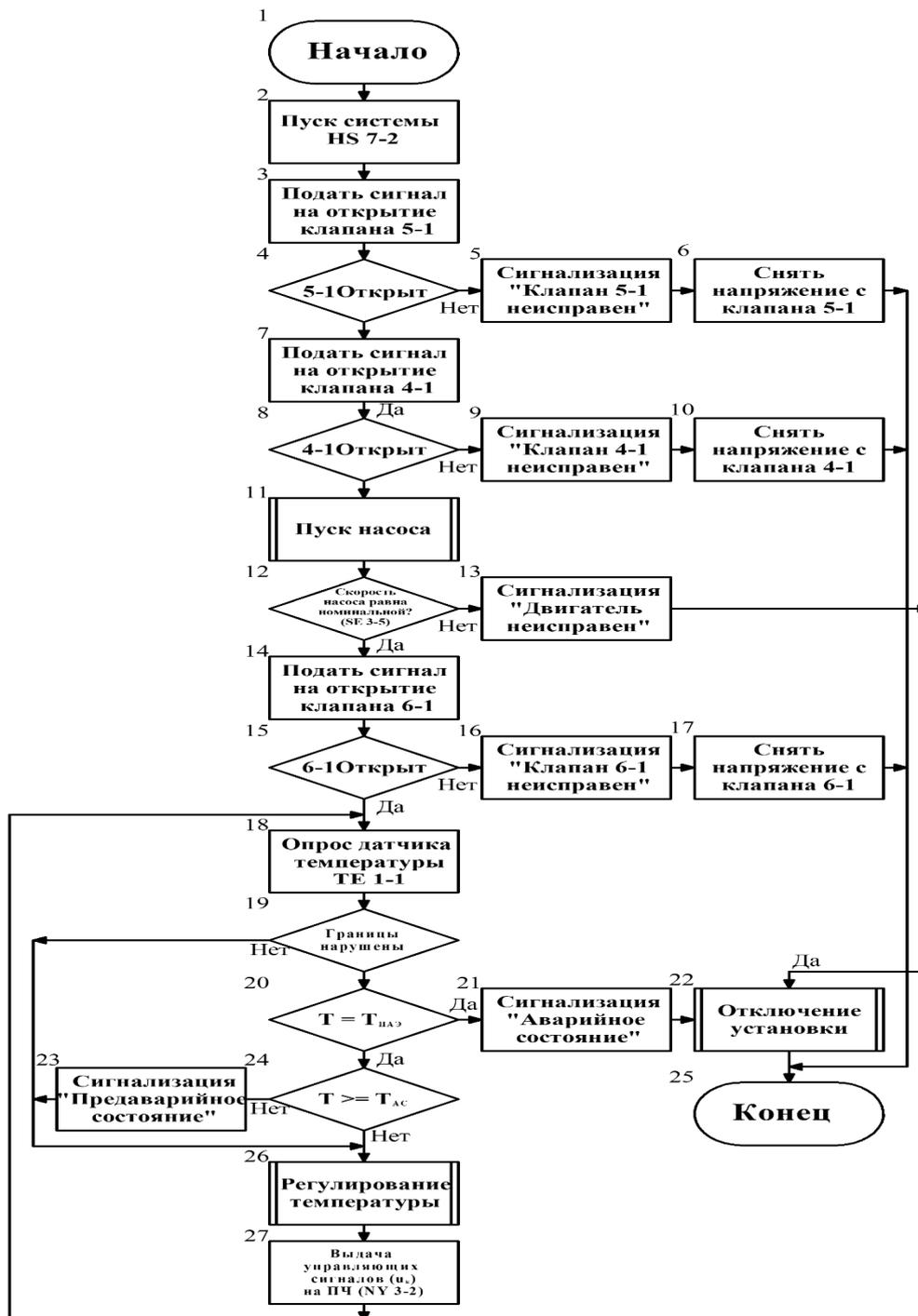


Рисунок 24 – Общий алгоритм управления теплообменником

Пример выполнения спецификации средств автоматизации приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Спецификация средств автоматизации

Позиционное обозначение	Наименование	Тип	Количество	Примечание
4–1	Датчик расхода воздуха 4...20 мА	Метран-150RFA	1	Emerson Electric (Англия)

Разработка алгоритма управления технологической установкой (с учетом функций контроля, регулирования, сигнализации и противоаварийной защиты).

Пуск системы производится кнопкой 7–2 (блок 2). Далее полагается сигнал на открытие клапана 5–1 (блок 3). Затем проверяется открытие клапана 5–1 (блок 4). Если клапан не открывается, то производится сигнализация о неисправности клапана (блок 5) и снимается сигнал на его открытие (блок 6), иначе подается сигнал на открытие клапана 4–1. Процедура повторяется (блок 8–10).

При успешном открытии клапанов 4–1 и 5–1 производится пуск насоса (блок 11). Пуск двигателя насоса проверяется (блок 12). Если пуск не произведен, то производится сигнализация о неисправности двигателя (блок 13) и установка отключается (блок 22).

Затем подается сигнал на открытие клапана 6–1 (блок 14). Процедура по открытию клапана повторяется (блоки 15–17).

Производится опрос датчика температуры ТЕ 1–1 (блок 18). Если значение температуры достигло значения $T_{ПАЗ}$ (блок 20), то сигнализируется аварийное состояние (блок 21) и отключается установка (блок 22), иначе сравнивается значение температуры с $T_{АС}$. Если значение температуры достигло значения $T_{АС}$ (блок 24), то сигнализируется предаварийное состояние (блок 23) и производится регулирование температуры (блок 26). Далее выдаются управляющие сигналы на ПЧ (блок 27).

Разработка графического интерфейса. Разработка графического интерфейса выполняется с помощью редактора базы каналов, редактора представления данных в SCADA-системе TRACE MODE.

Разработка мнемосхемы в SCADA-системе TRACE MODE. В редакторе представления данных произведена разработка графического интерфейса для данного проекта. Для создания и редактирования графических экранов была загружена структура проекта, а также создана графическая база узла, присутствующего в проекте.

В редакторе базы каналов создается новый проект в SCADA-системе TRACE MODE. Структура проекта, состоящего из микропроцессорного контроллера (microPC) и операторской станции – промышленного компьютера (HOST1). Структура проекта примет вид, представленный на рисунке 25.

Для создания базы каналов микропроцессорного контроллера нижнего уровня выберем соответствующие модули аналогового и дискретного ввода/вывода. Периферия контроллера представлена на рисунке 26.

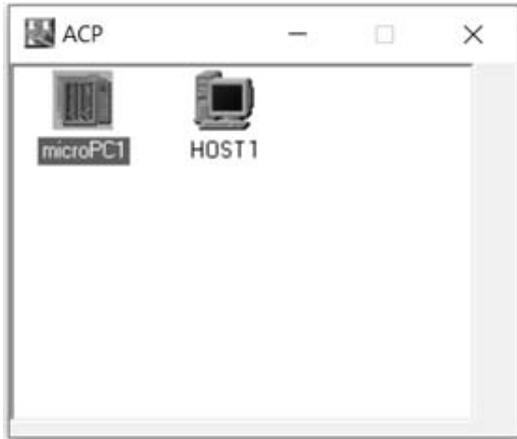


Рисунок 25 – Окно структуры проекта

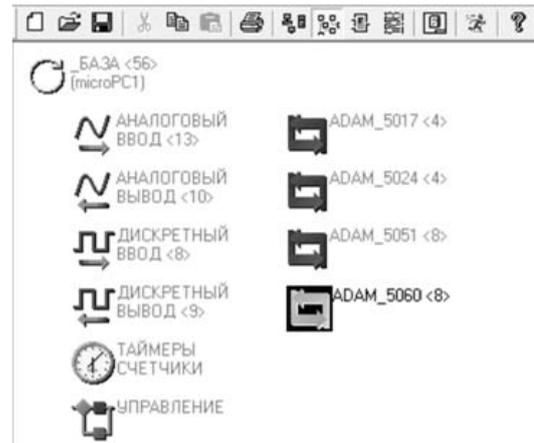


Рисунок 26 – Периферия контроллера в SCADA-системе TRACE MODE

Пример привязки каналов аналогового и дискретного ввода/вывода микроконтроллера представлен на рисунке 27.

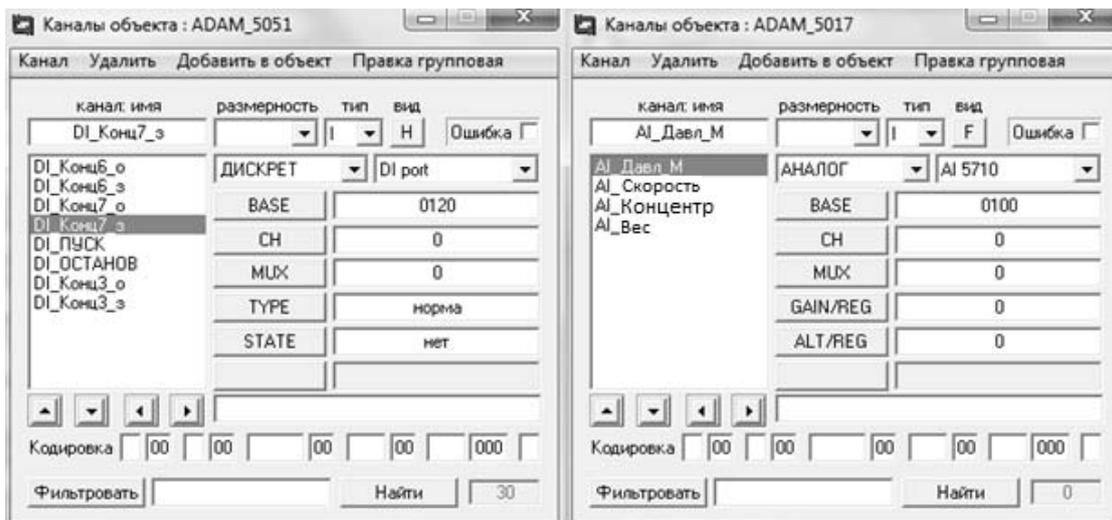


Рисунок 27 – Каналы обмена с поддерживаемым оборудованием в SCADA-системе TRACE MODE

Мнемосхема технологической установки в SCADA-системе TRACE MODE представлена на рисунке 28.

Реализация цифрового PID-регулятора на языке программирования Техно-FBD в SCADA-системе TRACE MODE с обозначением входов/выходов, их числовых значений, формирование управляющего воздействия представлена на рисунке 29.

Блок X-Y вычисляет рассогласование регулируемой величины (Y) с заданием (X). Величина рассогласования подается на вход INP блока DZONE, который реализует функцию зоны нечувствительности. Зона нечувствительности определяется значением входа DLT (разностью уставки ПАЗ и заданного значе-

ния). С выхода блока DZONE сигнал подается на вход INP блока PID, вычисляющего величину управляющего воздействия. Для переключения контура на ручной режим используется блок SEL (вход IG). На вход IN0 блока SEL подается сигнал с выхода блока PID, а на вход IN1 – величина ручного управления выходом регулятора.

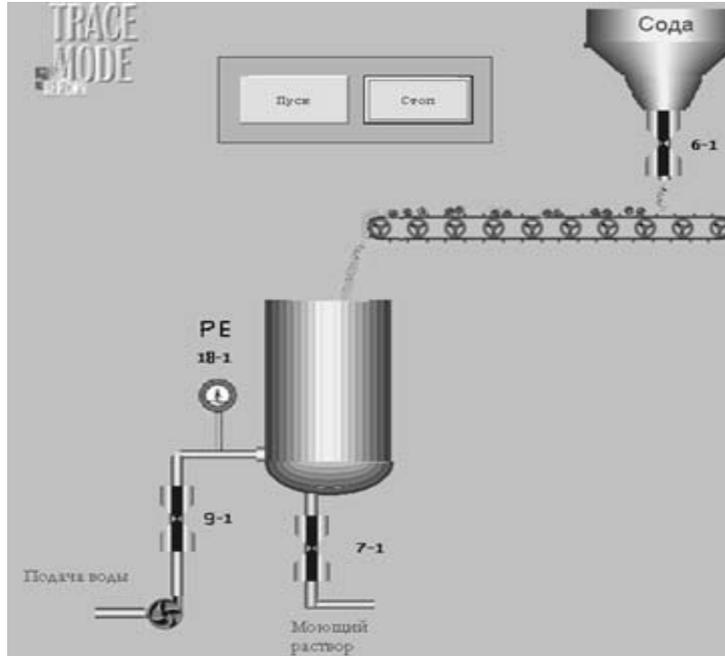


Рисунок 28 – Мнемосхема технологической установки в SCADA-системе TRACE MODE

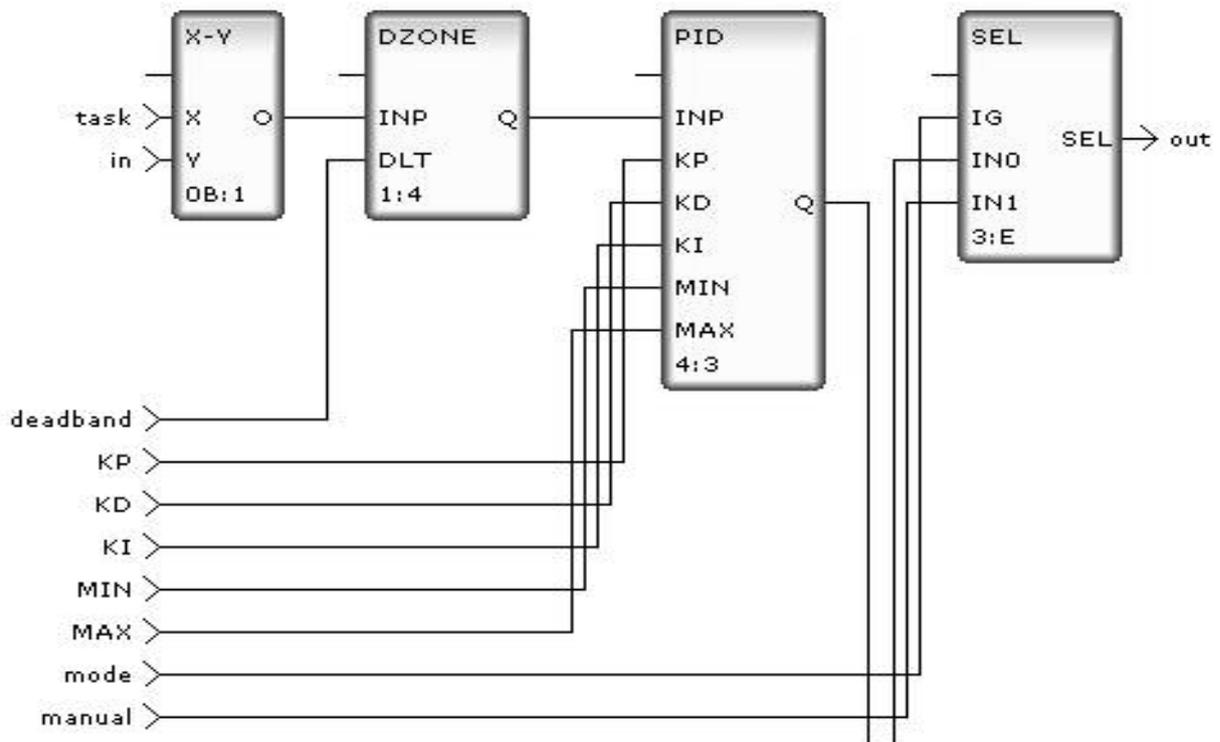


Рисунок 29 – Программа, реализующая контур регулирования по ПИД-закону

Блок PID вычисляет «out» величину управляющего воздействия по ПИД-закону с учетом значения рассогласования регулируемой величины и задания INP (ошибка регулирования), которое предварительно надо определить с помощью блока X–Y.

Блок PID формирует управляющее воздействие на текущем шаге:

$$Q_i = KP \cdot INP_i + KD \cdot \frac{INP_i - INP_{i-1}}{\Delta t} + KI \cdot \Delta t \cdot \sum_{k=1}^i INP_k, \quad (6)$$

где i – текущий шаг формирования управляющего воздействия;

$KP(k_{p \text{ opt}})$, $KD(T_D)$, $KI\left(\frac{1}{T_{u \text{ opt}}}\right)$ – коэффициенты при пропорциональной, дифференциальной и интегральной составляющих соответственно;

$\Delta t(0,1 T_u)$ – период дискретизации в секундах (периодичность опроса датчика и формирования управляющего воздействия);

INP_i , INP_{i-1} , INP_k – ошибка регулирования на данном шаге, на предыдущем шаге и на предыдущих шагах соответственно.

Для ограничения величины управляющего воздействия используются входы блока MIN и MAX. Если величина управления меньше MIN, то $Q = MIN$, если величина управления больше MAX, то $Q = MAX$.

Для расчета MIN и MAX определяют INP_{\min} – возможную минимальную ошибку регулирования (т. е. погрешность заданного значения), INP_{\max} – возможную максимальную ошибку регулирования (т. е. разность уставки АС и заданного значения), номер текущего шага i .

Если заданное значение для регулирования температуры $T_d = (105 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{\min AC} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ и $T_{\min ПАЗ} = 95 \text{ }^\circ\text{C}$, то $DLT = 105 - 95 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $INP_{\min} = 2 \text{ }^\circ\text{C}$, $INP_{\max} = 105 - 100 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Заключение. Содержит перечень основных результатов курсового проекта.

Список использованных источников. В список вносятся литературные источники, ссылки на которые имеются в пояснительной записке.

Приложение. В приложение выносятся справочные материалы (распечатки web-страниц выбранных контрольно-измерительных приборов, исполнительных механизмов, средств управления и контроля исполнительных механизмов, модулей ввода/вывода, процессора микропроцессорного контроллера Micro PC и промышленного компьютера PC). Пример оформления приложения представлен на рисунке 30.

Приложение А (справочное)

Технические характеристики комплекса программно-технических средств автоматизации (распечатки веб-страниц сайтов средств автоматизации, программного обеспечения)

А.1 Манометр РЕ (3–7) – АДМ-100.3 фирмы «Агава».

Технические характеристики манометра АДМ-100.3 приведены на рисунке А.1.

Назначение

Стрелочный манометр с токовым выходом АДМ-100.3 предназначен для пропорционального преобразования избыточного давления жидкостей, паров и газов в стандартный выходной сигнал постоянного тока и для визуального отображения измеряемого давления.

Область применения

Применяются в жилищно-коммунальном хозяйстве, в системах централизованного контроля и управления технологическими процессами на объектах тепло-, водо-, нефте- и газоснабжения, в распределительных сетях, а также в локальных системах автоматизации насосного, компрессорного и другого оборудования.

Отличительные особенности стрелочного манометра АДМ-100.3:

- Сокращает расходы на монтаж/наладку/эксплуатацию оборудования за счет уменьшения количества приборов и мест присоединения.
- Оптимальное сочетание цена/качество.
- Прост в монтаже и наладке.
- Стабильные метрологические характеристики.

Технические характеристики:

- Верхний предел измерения 0,25 МПа; 0,4 МПа; 0,6 МПа; 1,0 МПа; 1,6 МПа; 2,5; 4,0; 6,0 МПа
- Выходной сигнал 4-20 мА
- Класс точности - 1,5
- Климатическое исполнение УХЛ3.1 по ГОСТ 15150-69 -от -10 до +55 °С
- Температура измеряемой среды -10 до +80 °С.
- Защита от воды и пыли IP 20 или IP 54 - новинка

Рисунок А.1 – Технические характеристики манометра АДМ –100.3

·
·
·

А.6 Датчик давления РЕ (5-5) – SPAW – фирмы «Festo». Технические характеристики датчика SPAW представлены на рисунке А.6.

Pressure sensors SPAW with display

FESTO

Key features

At a glance

 9 pressure ranges from -1 ... +1 bar
up to 0 ... +100 bar

Protection class IP67

320° rotatable display

 1% accuracy, 0.15%
repetition accuracy

 Temperature of media
-20 ... 85 °C

 Materials in contact with media:
CrNiMo: 316L, from a measuring range
of 10 bar the membrane consists of
13-8-PH

 4-digit LED display, easy to
read, robust

 Display
- Bar
- MPA
- kPa
- Psi
- Kgf/cm²

 Simple operation, protected by
PIN code

Electrical connection M12

320° rotatable housing

 G¹/₄ internal thread or G¹/₂
external thread

Product description

The SPAW is an extremely robust pressure sensor with display used for measuring media pressures in 9 measuring ranges from -1 ... 1 bar to 0 ... 100 bar. It can measure all media which do not corrode the stainless steel measuring cell and stainless steel housing. The switching outputs can be set quickly and easily using three buttons. The high-quality 14-segment LED display can be ro-

tated by 320° and the orientation of the lettering can be rotated by 180°. This ensures that the display is easily readable in every installation position. Different standard designs are available, e.g.:

- Internal thread G¹/₄ or external thread G¹/₂
- 2 x PNP or 2 x NPN
- 4 ... 20 mA or 0 ... 10 V

Main applications

The pressure sensor SPAW is suitable for standard pressure measurements at an increased mechanical load. It can be used in high pressure pneumatic systems and to monitor the pressure of liquid media (e.g. coolant/cooling circuits, etc.)

Рисунок А.6 – Технические характеристики датчика SPAW

-
-
-

А.8 Датчик частоты вращения SE (3-5) – SG780. Технические характеристики датчика частоты вращения SG780 представлены на рисунке А.8.

Продолжение рисунка 30

SG780



Назначение

Датчик предназначен для **определения частоты, скорости вращения и угла поворота** оси двигателя.

Сферы применения

Системы управления двигателями.

Принцип действия

Принцип действия – бесконтактный.

На торец оси вращения устанавливается магнитный элемент. При вращении оси происходит вращение вектора намагниченности, которое улавливается магниточувствительными элементами, установленными на некотором удалении от магнитного элемента. Встроенная электроника усиливает выходные сигналы и с помощью микроконтроллера определяет угол поворота оси, частоту и скорость вращения.

Технические характеристики

Разрешение датчика, импульсов/оборот	64, 128, 256
Выходной сигнал	импульсный или цифровой
Выходные интерфейсы	RS232, RS 485
Напряжение питания, В	5

Рисунок А.8 – Технические характеристики датчика частоты вращения SG780

А.13 Компьютер (8–1) – IPPC-7157A фирмы Advantech. Технические характеристики IPPC-7157A представлены на рисунке А.13.

IPPC-7157A

Промышленная рабочая станция с 15" ЖК-дисплеем

ADVANTECH

Enabling an Intelligent Planet



Дополнительная информация

-  Спецификация (PDF 274 КБ)
-  Руководство пользователя (PDF 3,9 МБ)

Характеристики

- Поддерживаемые процессоры: Socket 775 Pentium® D до 3.2 ГГц; Pentium® 4 до 3.8 ГГц; Celeron® D до 3.06 ГГц (заказываются отдельно)
- ОЗУ до 4 GB DDR2 SDRAM (заказываются отдельно)
- ЖК-дисплей с диагональю 15", разрешение 1024 x 768, яркость 250 кд/м², угол обзора 140° /120° (по горизонтали/вертикали)
- Резистивный сенсорный экран (опционально)
- Интерфейсы: 1 × RS-232, 1 × RS-232/422/485; 5 × USB 2.0 (1 на передней панели); 2×PS/2; параллельный порт; видеопорт VGA; аудио
- Порты Ethernet: 2×10/100/1000Base-T
- Отсек для накопителей: 1×CD-ROM 5.25"; 2 × 3.5" SATA НМЖД
- Встроенный 3.5" FDD
- Слоты расширения: 5 × PCI и 2 × PCIe
- Степень защиты по передней панели IP65
- Габаритные размеры 482×354,8×162 мм
- Диапазон рабочих температур от 0 до +50° C
- Одобрение Российского Морского Регистра Судоходства, сертификат № 09.01046.011

Рисунок А.13 – Технические характеристики IPPC-7157A

Окончание рисунка 30

Список литературы

1 **Иванов, А. А.** Автоматизация технологических процессов и производств: учебное пособие / А.А. Иванов. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2021. – 224 с.

2 **Жежера, Н. И.** Микропроцессорные системы автоматизации технологических процессов : учебное пособие / Н. И. Жежера. – 2-е изд. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. – 240 с. : ил.

3 **Шишов, О. В.** Программируемые контроллеры в системах промышленной автоматизации : учебник / О. В. Шишов. – Москва : ИНФРА-М, 2021. – 365 с.