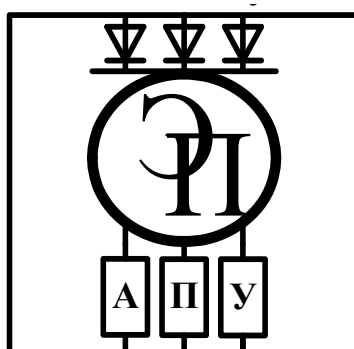


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок»

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТИПОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И КОМПЛЕКСОВ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
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

В методических рекомендациях к лабораторным работам для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» изложена методика идентификации статических и динамических режимов технологических объектов автоматизации, разработки и отладки программ управления в SCADA-системах, а также содержатся указания по выполнению заданий к лабораторным работам.

Учебно-методическое издание

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТИПОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И КОМПЛЕКСОВ

Ответственный за выпуск	Г. С. Ленеvский
Корректор	А. А. Подошеvко
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 Лабораторная работа № 6. Идентификация статистических режимов одномерных технологических объектов управления.....	5
2 Лабораторная работа № 7. Идентификация статических режимов многомерных технологических объектов управления.....	9
3 Лабораторная работа № 8. Динамическая идентификация технологических объектов управления.....	14
4 Лабораторная работа № 9. Исследование качества регулирования системы автоматизации технологической установки.....	20
5 Лабораторная работа № 10. Автопостроение базы каналов операторской станции для обмена с другими узлами проекта и внешними контроллерами в SCADA-системах.....	27
6 Лабораторная работа № 11. Разработка и отладка программ управления на языках программирования Техно-IL, Техно-FBD SCADA-системы.....	33
7 Лабораторная работа № 12. Разработка графической базы для операторской станции в SCADA-системе.....	39
Список литература.....	46

Введение

Лабораторные занятия по дисциплине «Автоматизация типовых технологических установок и комплексов» (АТТУиК) прививают студентам навык самостоятельных исследований, облегчают восприятие и понимание основных теоретических положений, способствуя их более глубокому усвоению.

Методические рекомендации соответствуют программе курса АТТУиК. Они служат основой для самостоятельной подготовки и проведения лабораторных работ с последующим оформлением и анализом результатов и предусматривают также изучение теоретического материала по учебной литературе, справочной литературе, веб-страниц сайтов интернета.

К выполнению лабораторных работ студенты допускаются после ознакомления с правилами и инструкцией по технике безопасности и инструктажа по безопасным методам работы на лабораторном оборудовании с оформлением соответствующей записи в журнале.

Лабораторные работы выполняются с применением средств вычислительной техники и специализированного программного обеспечения SCADA Trace Mode.

Отчеты оформляются в соответствии с действующими нормами и стандартами каждым студентом индивидуально.

1 Лабораторная работа № 6. Идентификация статических режимов одномерных технологических объектов управления

Цель работы: получение навыков определения связи между входной и выходной переменными с помощью метода корреляционного анализа и построения математической модели объекта управления в статическом режиме с помощью метода регрессионного анализа.

Задание

- 1 Вычислить коэффициент корреляции.
- 2 Вычислить корреляционные отношения Пирсона.
- 3 Определить связь между входной x и выходной y переменными.
- 4 Рассчитать коэффициенты уравнения регрессии (выбранной математической модели в виде полинома n -й степени).
- 5 Проверить полученную регрессионную модель на адекватность.
- 6 Начертить график расчетного уравнения регрессии на полученном экспериментально корреляционном поле $y(x)$.

Объект управления и результаты экспериментальных исследований

Объектом является электрический нагреватель, для которого необходимо установить аналитическую зависимость температуры T (выход) от тока I (вход). Экспериментальные данные представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Экспериментальные данные

$T, ^\circ\text{C}$	10	20	40	70	110	160	220	290	370
I, A	50	100	150	200	250	300	350	400	450

Подготовка к выполнению задания

- 1 Изучить метод корреляционного анализа.
- 2 Изучить метод регрессионного анализа.
- 3 Разработать алгоритмы расчетов корреляционных отношений Пирсона, коэффициента корреляции, коэффициентов уравнения регрессии.
- 4 Заготовить таблицы для экспериментальных и полученных по модели значений переменных.

Методические рекомендации по выполнению задания

- 1 При построении математических моделей одномерных объектов управления используют полином вида

$$Y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n, \quad (1.1)$$

где x – входная переменная;
 Y – выходная переменная;
 n – степень полинома;
 a_i – коэффициенты, $i = 0, 1, \dots, n$.

2 По корреляционному отношению Пирсона η , коэффициенту корреляции r определяют, какой вид зависимости существует между переменными (линейная, нелинейная или связи между переменными нет).

3 Для определения оценки статической взаимосвязи переменных используют корреляционное отношение Пирсона ($\eta_{x/y}$ для зависимости x от y и $\eta_{y/x}$ для зависимости y от x):

$$\eta_{x/y} = \left[\frac{\sum_{j=1}^{l'} m'_j \left(\frac{\bar{X}}{y_j} - \bar{X} \right)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2} \right]^{1/2}; \quad \eta_{y/x} = \left[\frac{\sum_{j=1}^l m_j \left(\frac{\bar{Y}}{x_j} - \bar{Y} \right)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{Y})^2} \right]^{1/2}, \quad (1.2)$$

где x_i, y_i – экспериментальные значения входной и выходной переменных соответственно;

$$\bar{X}; \bar{Y} – \text{средние значения переменных, } \bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i; \bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i;$$

N – число опытов;

l, l' – число равных интервалов, на которые разбиваются ординаты y и x ;

m_j, m'_j – число наблюдений (x_{ij}, y_{ij}) , попавших в j -й интервал;

$\frac{\bar{X}}{y_j}, \frac{\bar{Y}}{x_j}$ – условные средние значения на интервале,

$$\frac{\bar{X}}{y_j} = \frac{1}{m'_j} \sum_{i=1}^{m'_j} x_{ij}; \quad \frac{\bar{Y}}{x_j} = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} y_{ij}. \quad (1.3)$$

Для корреляционного отношения Пирсона η ($\eta_{x/y}, \eta_{y/x}$) всегда справедливо неравенство $0 \leq \eta \leq 1$. Если $\eta \neq 0$, то между переменными x и y имеется функциональная детерминированная зависимость, при $\eta \rightarrow 0$ зависимости между переменными нет.

4 Для определения линейной или нелинейной зависимости определяют коэффициент корреляции r . Значение коэффициента корреляции лежит в пределах $-1 \leq r \leq 1$.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (1.4)$$

где x_i, y_i – экспериментальные значения входной и выходной переменных соответственно;

$$\bar{X}, \bar{Y} – \text{средние значения переменных, } \bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i; \bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i;$$

N – число опытов.

Если $|r| \ll 1$, то между x и y линейная связь отсутствует.

5 Если $\eta_{x/y} \approx \eta_{y/x} \approx |r| \rightarrow 1$, то имеет место линейная зависимость между x и y .

6 В случае нелинейной зависимости степень полинома (1.1) ориентировочно можно определить по разностям экспериментально снятых ординат функции при постоянных приращениях аргумента. Она принимается равной такому порядку разностей, при котором они становятся примерно постоянными во всем диапазоне изменения входной величины.

7 Оптимальной может считаться модель, у которой сумма квадратов отклонений расчетных Y и экспериментальных y значений будет минимальной, т. е. минимизируется функционал.

$$F(a_i) = \min \sum_{i=1}^N (y_i - Y_i)^2. \quad (1.5)$$

Для определения коэффициентов модели a_i составляют систему уравнений типа

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial F(a_i)}{\partial a_0} = 0 \quad ; \\ \dots \\ \frac{\partial F(a_i)}{\partial a_n} = 0 \quad . \end{array} \right.$$

Если в качестве модели выбрано уравнение линейной регрессии

$$y = a_0 + a_1x, \quad (1.6)$$

коэффициенты определяют следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_0 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \sum_{i=1}^N x_i^2 - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N x_i y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}; \\ a_1 = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}. \end{array} \right. \quad (1.7)$$

9 Определить адекватность модели можно по среднеквадратическому отклонению, которое не должно превышать 10 %:

$$\sigma\% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_{\text{э}i} - y_{\text{п}i})^2}{N-1}} \frac{1}{\bar{Y}} 100\%. \quad (1.8)$$

Содержание отчета

- 1 Титульный лист.
- 2 Номер и название лабораторной работы.
- 3 Цель работы.
- 4 Задание.
- 5 Объект управления и результаты экспериментальных исследований.
- 6 Формула с пояснениями для расчета корреляционного отношения Пирсона, коэффициента корреляции, коэффициентов регрессионной модели с распечаткой результатов в среде MathCAD, MATLAB.
- 7 Таблица экспериментальных и полученных по регрессионной модели переменных.
- 8 График уравнения регрессии, построенный на корреляционном поле, полученном экспериментальным путем.
- 9 Выводы об адекватности модели.

Контрольные вопросы

- 1 Назначение метода корреляционного анализа.
- 2 Какой математической моделью описывается одномерный объект управления?
- 3 Как определяется коэффициент корреляции r и его назначение?
- 4 Записать выражение линейной зависимости между входной x и выход-

ной y переменными.

5 Как определяется степень полинома в случае нелинейной зависимости между входной x и выходной y переменными?

6 В каком диапазоне может изменяться коэффициент корреляции r ? Назначение метода регрессионного анализа.

7 Какая математическая модель может считаться оптимальной?

8 Из каких условий определяются коэффициенты математической модели a_0, a_1 ?

9 Как определить адекватность математической модели?

2 Лабораторная работа № 7. Идентификация статических режимов многомерных технологических объектов управления

Цель работы: получение навыков определения статических характеристик многомерного объекта управления с помощью множественного регрессионного анализа (метод пассивного эксперимента), с помощью метода полного факторного эксперимента (метод активного планирования эксперимента).

Задание

1 Оценить матрицу результатов пассивного эксперимента.

2 Выявить число переменных (факторов), влияющих на выходную координату, записать вид выбранной статической модели, определить число членов степенного полинома.

3 Определить коэффициенты модели.

4 Проверить полученную модель на адекватность.

5 Оценить матрицу результатов активного эксперимента, записать вид выбранной статической модели.

6 Рассчитать коэффициенты уравнения модели.

7 Проверить полученную модель на адекватность.

Объекты управления и результаты экспериментальных исследований

На сталеплавильном заводе при определении зависимости качества стали от различных факторов на материале 13 плавов проведены измерения количества выпусков стали x_{i1} , содержания серы в процентах x_{i2} , а также выхода стали y_i , %. Результаты пассивного эксперимента представлены в таблице 2.1. С точки зрения технологии нужно выяснить, зависит ли (а если да, то в какой степени) выход стали от количества выпусков и содержания серы в плавке. Результаты пассивного эксперимента из 13 наблюдений представлены в таблице 2.1.

Получить уравнение регрессии, отражающее зависимость выходного сигнала датчика моментов $U(y)$ от момента на валу $M(x_1)$ и испытываемой консольной нагрузки $F(x_2)$.

Таблица 2. 1 – Экспериментальные данные

Эксперимент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$x_1(i)$	53	34	39	39	28	39	39	15	19	27	23	24	25
$x_2(i)$	8	8	7	9	9	8	9	12	12	8	8	8	8
$y(i)$	19	70	0	77	85	27	0	100	78	78	98	59	87

Вал электродвигателя передает момент M (x_1) и испытывает консольную нагрузку F (x_2). Для определения влияния их значений на выходной сигнал датчика моментов $U(y)$ на работающем механизме был проведен активный эксперимент.

По матрице планирования эксперимента, представленной в таблице 2.2, был проведен активный эксперимент.

Таблица 2.2 – Матрица планирования эксперимента

Эксперимент	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	y
1	+1	+1	+1	+1	76,1
2	+1	+1	-1	-1	-24,8
3	+1	-1	+1	-1	-26,7
4	+1	-1	-1	+1	-19,5

Область идентификации ограничена реальными эксплуатационными режимами $M = \pm 20$ кН, $F = \pm 50$ кН, $U = \pm 100$ мВ.

Подготовка к выполнению задания

1 Изучить метод множественного регрессионного анализа для получения регрессионной модели в результате пассивного эксперимента.

2 Определить выражение регрессионной модели в зависимости от числа входных переменных.

3 Записать систему уравнений для определения коэффициентов уравнения регрессии данного объекта управления.

4 Изучить метод активного планирования эксперимента для получения множественной регрессионной модели объекта управления.

5 Определить выражение регрессионной модели, предварительно выбрав факторы, оказывающие существенное влияние на выходную переменную.

6 Определить области изменения нормируемых факторов и интервалы их варьирования.

Методические рекомендации по выполнению задания

1 Определение алгоритма функционирования (математической модели) исследуемого объекта в статическом режиме.

Для аналитического описания статических характеристик объекта с двумя

входными переменными и одним выходом по методу множественного регрессионного анализа находит применение модель в виде степенного полинома

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1x_2 + a_4x_1^2 + a_5x_2^2, \quad (2.1)$$

или в обобщенном виде

$$Y = \sum_{\beta=0}^k a_{\beta}x_{\beta}, \quad (2.2)$$

где a_{β} – коэффициент регрессионной модели, подлежащий определению;

x_{β} – переменная фактора, влияющая на выходную переменную;

Y – выходная переменная, полученная расчетным путем по модели;

β – номер члена выбранного степенного полинома, $\beta = 0, \dots, k$;

k – число факторов, влияющих на выходную переменную.

Статическая математическая модель объекта исследования с учетом (2.2) имеет вид:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5, \quad (2.3)$$

где $x_3 = x_1x_2$; $x_4 = x_1^2$; $x_5 = x_2^2$.

2 По методу полного факторного эксперимента проводится пассивный эксперимент и опытные данные заносят в таблицу с некоторым шагом Δt .

Матрица результатов наблюдений с учетом вида выбранной статической модели и числа членов степенного полинома для N экспериментальных точек имеет вид:

$$\begin{array}{cccccc} x_1(1) & x_2(1) & \dots & x_{\beta}(1) & \dots & x_k(1) & y(1) \\ x_1(2) & x_2(2) & \dots & x_{\beta}(2) & \dots & x_k(2) & y(2) \\ x_1(i) & x_2(i) & \dots & x_{\beta}(i) & \dots & x_k(i) & y(i) \\ x_1(N) & x_2(N) & \dots & x_{\beta}(N) & \dots & x_k(N) & y(N) \end{array}$$

3 Оптимальной может считаться модель, у которой сумма квадратов отклонений расчетных экспериментальных значений $y(i)$ и расчетных значений $Y(i)$ будет минимальной, т. е. минимизируется функционал:

$$F(a_{\beta}) = \sum_{i=1}^N (y(i) - Y(i))^2 \rightarrow \min. \quad (2.4)$$

Для отыскания минимума выражения необходимо найти частные производные по всем коэффициентам и приравнять их к нулю:

$$\frac{\partial F}{\partial a_0} = 0; \quad \frac{\partial F}{\partial a_1} = 0; \quad \dots; \quad \frac{\partial F}{\partial a_\beta} = 0; \quad \dots; \quad \frac{\partial F}{\partial a_k} = 0. \quad (2.5)$$

4 После преобразования система уравнений принимает вид:

$$\begin{cases} a_0 N + a_1 \sum_{i=1}^N x_1(i) + \dots + a_\beta \sum_{i=1}^N x_\beta(i) + \dots + a_k \sum_{i=1}^N x_k(i) = \sum_{i=1}^N y(i); \\ a_0 \sum_{i=1}^N x_q(i) + a_1 \sum_{j=1}^N x_1(i)x_q(i) + \dots + a_\beta \sum_{i=1}^N x_\beta(i)x_q(i) + \\ + a_k \sum_{i=1}^N x_k(i)x_q(i) = \sum_{i=1}^N y(i)x_q(i), \end{cases} \quad (2.6)$$

где $q = 1, 2, \dots, k$.

Для нахождения коэффициентов модели a_β необходимо решить систему уравнений (2.6), воспользовавшись методом Гаусса или прикладным пакетом MathCAD.

5 Определить адекватность можно по среднеквадратическому отклонению, которое не должно превышать 10 %:

$$\sigma \% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y(i) - Y(i))^2}{N-1}} \frac{1}{\bar{Y}} 100 \% , \quad (2.7)$$

где \bar{Y} – средние значения переменных, $\bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y(i)$.

Модель адекватна реальному объекту с точностью $(100 - \sigma) \%$.

6 По методу полного факторного эксперимента для получения коэффициентов регрессионной модели данные берут из матрицы планирования:

$$a_i = \frac{\sum_{j=1}^N y_j x_{ij}}{N} , \quad (2.8)$$

где N – число опытов, $N = 2^r$;

i – номер фактора, $i = 0, \dots, r$;

r – число входных переменных факторов;

x_{ij} – берутся в относительных единицах (± 1).

Например, для регрессионной модели вида

$$Y = a_0x_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1x_2, \quad (2.9)$$

где x_0 – фиктивный фактор, вводящий коэффициент a_0 , $x_0 = 1$, коэффициенты определяются из выражений:

$$a_0 = \frac{\sum_{j=1}^4 x_{0j}y_j}{4}; \quad a_1 = \frac{\sum_{j=1}^4 x_{1j}y_j}{4}; \quad a_2 = \frac{\sum_{j=1}^4 x_{2j}y_j}{4}; \quad a_3 = \frac{\sum_{j=1}^4 (x_1x_2)_j y_j}{4}. \quad (2.10)$$

При проведении эксперимента необходимо выбрать начальные уровни факторов и интервалы их варьирования. В качестве начального уровня выбирают значение технологического фактора, соответствующее нормальному режиму. Интервалы варьирования выбирают так, чтобы верхний уровень фактора в относительных единицах соответствовал (+1), а нижний – (-1), начальный – (0). В относительных единицах переменная определяется выражением

$$x_{\text{отн}} = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}, \quad (2.11)$$

где x_{i0} – основной (начальный) уровень i -й переменной, относительно которого ведется варьирование;

Δx_i – интервал варьирования;

x_i – значение переменной в абсолютных единицах.

После определения коэффициентов a_i в относительных единицах переходят к регрессионной модели объекта управления в абсолютных значениях:

$$Y = a_0 + a_1 \frac{x_1 - x_{10}}{\Delta x_1} + a_2 \frac{x_2 - x_{20}}{\Delta x_2} + \dots \quad (2.12)$$

Определить адекватность можно по среднеквадратическому отклонению, которое не должно превышать 10 %:

$$\sigma \% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - Y_i)^2}{N-1}} \frac{1}{\bar{Y}} 100 \%, \quad (2.13)$$

где \bar{Y} – средние значения переменных, $\bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$.

Содержание отчета

- 1 Титульный лист.
- 2 Номер и название лабораторной работы.
- 3 Цель работы.
- 4 Задание.
- 5 Объекты управления и результаты экспериментальных исследований.
- 6 Матрица наблюдений.
- 7 Матрица планирования эксперимента.
- 8 Формулы с пояснениями для расчета коэффициентов моделей.
- 9 Выражение множественной регрессионной модели с полученными коэффициентами, регрессионной модели в абсолютных единицах.
- 10 Выводы по адекватности статических моделей в результате идентификации.

Контрольные вопросы

- 1 Назначение метода множественного регрессионного анализа, активного планирования эксперимента.
- 2 Как определяется число опытов при активном планировании эксперимента?
- 3 Записать вид выбранной регрессионной модели для объекта управления, имеющего входные переменные x_1, x_2 и выходную переменную y .
- 4 Как определяются коэффициенты регрессионной модели a_0, a_1, a_2, a_3 ?
- 5 Каково назначение «+1», «-1» в матрице планирования эксперимента?
- 6 Записать выражение регрессионной модели объекта управления в абсолютных значениях.

3 Лабораторная работа № 8. Динамическая идентификация технологических объектов управления

Цель работы: получение навыков обработки экспериментальных данных для получения модели динамики объекта, аппроксимирующей поведение реального объекта.

Задание

- 1 По экспериментальным данным, указанным преподавателем, построить кривую разгона в относительных единицах.
- 2 По виду кривой разгона определить характер объекта.
- 3 Выбрать вид моделей динамики объекта управления.
- 4 Определить предполагаемые коэффициенты математических моделей с характеристическими уравнениями первого и более высокого порядков для одного и того же объекта.
- 5 Проверить полученные модели на адекватность.

Объекты управления и результаты экспериментальных исследований

В таблицах 3.1 и 3.2 приведены экспериментальные данные кривых разгона объектов, полученные при перестановке регулирующего органа на 20 % (ступенчатое входное воздействие составляет в относительных единицах $A = 0,2$).

Таблица 3.1 – Экспериментальные данные кривой разгона

Время t , с	0	5	10	15	20	25
Уровень H , м	0,02	0,08	0,15	0,20	0,35	0,40

Продолжение таблицы 3.1

Время t , с	30	35	40	45	50	55
Уровень H , м	0,45	0,50	0,55	0,58	0,60	0,60

Таблица 3.2 – Экспериментальные данные кривой разгона

Время t , с	0	5	10	15	20	25
Температура Θ , °С	80,0	80,1	80,1	80,2	80,3	80,8

Продолжение таблицы 3.2

Время t , с	30	35	40	45	50	55
Температура Θ , °С	81,1	81,5	83,0	84,0	85,5	85,5

Объект управления – уравнительный бак, в котором регулируется уровень жидкости H , м, для обеспечения постоянной подачи в технологический аппарат.

Объект управления – технологический аппарат для термической обработки жидкости, в котором регулируется температура Θ , °С.

Подготовка к выполнению задания

1 Изучить возможные модели динамики объекта управления по типу кривых разгона, предложенных преподавателем.

2 Изучить метод площадей трапеций, метод площадей Симона для расчета коэффициентов модели динамики объекта.

3 Записать формулу приближенного вычисления определенного интеграла и дать пояснения.

4 Представить экспериментальные данные в относительных единицах для построения кривой разгона.

5 Изучить способы проверки модели на адекватность.

Методические рекомендации по выполнению задания

Обработка экспериментальных данных при идентификации зависит от степени искажения данных и от принятых моделей, аппроксимирующих поведение реального объекта.

Возможны различные типы кривых разгона. Соответственно, используются и различные модели реальных объектов.

1 Математическая модель динамики объекта в виде передаточной функции

$$W_0(s) = \frac{k_0}{1 + T_0 s} e^{-\tau_0 s}, \quad (3.1)$$

где τ_0 – запаздывание;

T_0 – постоянная времени (определяется графически по кривой разгона);

k_0 – коэффициент усиления,

$$k_0 = \frac{y(t_N) - y(t_0)}{A}, \quad (3.2)$$

где A – ступенчатое входное воздействие;

$y(t_0)$, $y(t_N)$ – начальное и установившееся значения выходной переменной.

T_0 , τ_0 , k_0 определяются графоаналитическим методом по кривой разгона, представленной на рисунке 3.1.

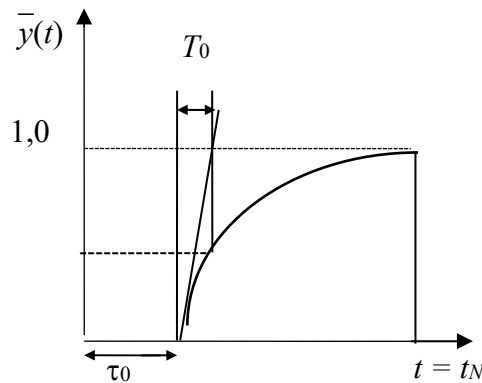


Рисунок 3.1 – Экспериментальная кривая разгона объекта управления в относительных единицах

Экспериментальные значения для построения кривой разгона в относительных единицах определяются выражением

$$\bar{y}(t) = \frac{y(t) - y(t_0)}{y(t_N) - y(t_0)}.$$

2 Математическая модель динамики объекта в виде передаточной функции

с характеристическим уравнением второго порядка

$$W_0(s) = \frac{k_0}{a_2 s^2 + a_1 s + 1} . \quad (3.3)$$

Используя метод площадей трапеции и известную теорему операционного исчисления о предельном переходе, получим

$$k_0 = \lim_{s \rightarrow 0} W_0(s) ; \quad (3.4)$$

$$k_1 = \lim_{s \rightarrow 0} W_1(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s} [k_0 - W_0(s)] = k_0 a_1 ; \quad (3.5)$$

$$k_2 = \lim_{s \rightarrow 0} W_2(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s} [k_1 - W_1(s)] = k_1 a_1 - k_0 a_2 . \quad (3.6)$$

Неизвестные значения коэффициентов k_0, k_1, k_2 находим последовательным интегрированием реакции $h(t)$ согласно соотношениям:

$$k_0 = \lim_{t \rightarrow t_N} h_0(t) ; \quad (3.7)$$

$$k_1 = \lim_{t \rightarrow t_N} h_1(t) = \lim_{t \rightarrow t_N} \int_0^t [k_0 - h_0(t)] dt ; \quad (3.8)$$

$$k_2 = \lim_{t \rightarrow t_N} h_2(t) = \lim_{t \rightarrow t_N} \int_0^t [k_1 - h_1(t)] dt . \quad (3.9)$$

Последовательность нахождения коэффициентов a_1, a_2 передаточной функции по методу площадей трапеций:

- 1) по исходным данным строят график переходной функции $h_0(t) = \frac{\bar{y}(t)}{A}$;
- 2) численным методом находят площадь под кривой $k_0 - h_0(t)$ или функцию $h_1(t)$, значения которой запоминаются;
- 3) определяют значение $h_1(t) = k_1$ и строят график $h_1(t)$;
- 4) находят площадь под кривой $k_1 - h_1(t)$ при $t = t_N$ или значение функции $h_2(t) = k_2$.

Интегралы (3.8) и (3.9) находятся приближенно по методу трапеций:

$$\int_0^t f_j(t) dt = \Delta t \left(\sum_{i=0}^N f_j(t_i) - \frac{f_j(t_0) + f_j(t_N)}{2} \right), \quad (3.10)$$

где N – число точек, $N = t/\Delta t$;

Δt – шаг измерений;

$$f_j(t) = k_j - h_j(t); j = 0, 1.$$

3 Математическая модель динамики объекта в виде передаточной функции с характеристическим уравнением более высокого порядка

$$W_0(s) = \frac{k_0(1+bs)}{1+a_1s+a_2s^2+a_3s^3}. \quad (3.11)$$

Коэффициенты передаточной функции a_i и b находят по методу площадей Симою. Для этого вначале рассчитывают площади S_i , определяемые по кривой разгона:

$$S_i = \sum_{g=0}^{i-1} \frac{(-1)^g}{g!} S_{i-g-1} S_{g0}; \quad (3.12)$$

$$\left. \begin{aligned} S_0 &= 1; \\ S_1 &= S_0 \int_{t_0}^{t_N} [1 - \bar{y}(t)] dt = S_0 S_{00}; \\ S_2 &= S_1 S_{00} - S_0 \int_{t_0}^{t_N} [1 - \bar{y}(t)] t dt = S_1 S_{00} - S_0 S_{10}; \\ S_4 &= S_3 S_{00} - S_2 S_{10} + \frac{1}{2} S_1 S_{20} - \frac{1}{6} S_0 S_{30}, \end{aligned} \right\} \quad (3.13)$$

где $S_{g0} = \int_{t_0}^{t_N} [1 - \bar{y}(t)] \cdot t^g dt.$

Рассчитывается S_{g0} по одной из формул приближенного вычисления определенного интеграла, например метод «трапеций»:

$$\int_{t_0}^{t_N} f(t) dt = \left[\sum_{j=1}^{N-1} f_j(t) + \frac{f(t_0) + f(t_N)}{2} \right] \Delta t, \quad (3.14)$$

где N – число точек, $N = \frac{t_N - t_0}{\Delta t};$

Δt – шаг интегрирования.

По мере расчета S_i определяют значение $\left| \frac{S_i}{S_{i-1}} \right|.$

Если это отношение станет меньше заданного значения Δ , вычисления S_i прекращают, полагая порядок знаменателя передаточной функции (3.11) равным $(i-1)$. Тогда

$$b = 0; a_j = S_j; j = 1, \dots, i - 1. \quad (3.15)$$

Если S_i станет меньше нуля, то независимо от значения $\left| \frac{S_i}{S_{i-1}} \right|$ вычисления прекращают и полагают порядок знаменателя равным $(i - 1)$.

$$a_j = S_j - b_1 S_{j-1}; j = 1 \dots i - 1; b = -\frac{S_i}{S_{i-1}}. \quad (3.16)$$

Если $b < \Delta$, расчеты ведут по (3.15) и b не учитывают.

4 Для построения расчетных значений модели (3.1), (3.3), (3.11) – воспользоваться пакетом прикладных программ MATLAB, MathCAD.

5 Аппроксимация признается удовлетворительной, если максимальное расхождение между экспериментальными и расчетными данными кривой разгона не превышает 0,1. Адекватность можно проверить по среднеквадратичному отклонению

$$\sigma = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - Y_i)^2}{n - 1}}}{y(t_N) - y(t_0)}, \quad (3.17)$$

где y_i – экспериментальные значения;
 Y_i – вычисленные значения.

Содержание отчета

- 1 Титульный лист.
- 2 Номер и название лабораторной работы.
- 3 Цель работы.
- 4 Задание.
- 5 Объект управления и результаты экспериментальных исследований.
- 6 Таблица экспериментальных и расчетных данных по кривым разгона.
- 7 Формулы с пояснениями расчета моделей динамики объекта по графо-аналитическому методу, методу площадей трапеций. методу площадей Симою с распечаткой результатов в среде MathCAD, MATLAB.
- 8 Графики кривых разгона (экспериментальной, расчетных по трем методам) с построениями для определения динамических параметров объекта управления.
- 9 Выводы по адекватности моделей в результате идентификации.

Контрольные вопросы

- 1 Что называется кривой разгона для объекта управления?
- 2 Как построить кривую разгона в относительных единицах?
- 3 Записать выражение математической модели динамики объекта управления в виде передаточной функции.
- 4 Как определяются динамические параметры объекта управления: τ_0 – запаздывание, T_0 – постоянная времени, k_0 – коэффициент усиления.
- 5 Как определяются расчетные значения кривой разгона по модели с использованием пакетов прикладных программ MATLAB, MathCAD?
- 6 Как проверить полученную модель на адекватность?

4 Лабораторная работа № 9. Исследование качества регулирования системы автоматизации технологической установки

Цель работы: получение навыков построения графика переходного процесса замкнутой автоматической системы регулирования (АСР), определения показателей качества процесса регулирования и оптимальных настроек непрерывного регулятора по инженерной методике, а также оптимальных настроек цифрового регулятора.

Задание

- 1 По известной модели объекта управления и типу регулятора создать модель АСР в пакете MATLAB.
- 2 С помощью средств вычислительной техники построить график переходного процесса в пакете MATLAB.
- 3 Определить вид переходного процесса и основные показатели качества.
- 4 Дать заключение об устойчивости системы.
- 5 Определить оптимальные настройки непрерывного регулятора по инженерной методике для обеспечения заданного значения с точностью $\pm 5\%$ от заданного значения, а также оптимальные настройки цифрового регулятора, выбрав период дискретизации.
- 6 Записать выражение рекуррентных алгоритмов для цифрового регулятора.

Объекты управления

Объект управления – сушильная камера, которая описывается передаточной функцией

$$W(s) = \frac{25}{60s + 1} e^{-15s}.$$

Для автоматического регулирования влажности выбран ПИ-регулятор с настройками $k_p = 3,3$ $T_i = 1200$ с. Заданное значение влажности $M_{зад} = 12$ %.

Объект управления – выпарная установка, которая описывается передаточной функцией

$$W(s) = \frac{0,68}{120s + 1} e^{-30s}.$$

Для автоматического регулирования концентрации выбран П-регулятор с настройкой $k_p = 2,5$. Заданное значение концентрации $Q_{зад} = 45$ %.

Подготовка к выполнению задания

1 Изучить способ построения структурных схем АСР с различными типами регуляторов.

2 Изучить алгоритмы расчета переходного процесса.

3 Изучить показатели качества процесса регулирования и способы их получения.

Методические рекомендации по выполнению задания

Инженерную методику используют для ориентировочных расчетов оптимальных параметров настроек регуляторов (таблица 4.1). Исходная информация для этих расчетов: динамические параметры объекта управления k_0 , T_0 , τ_0 , тип регулятора и тип переходного процесса.

Таблица 4.1 – Определение оптимальных настроек регуляторов по упрощенной инженерной методике

Регулятор	Настройки	Типовой процесс регулирования		
		апериодический	с 20-процентным перерегулированием	с минимальной интегральной ошибкой $\min \int_0^{\infty} \Delta y^2 dt$
		Статический ОУ с передаточной функцией $W_0(s) = \frac{k_0}{1 + T_0 s} e^{-\tau_0 s}$		
П-	k_p	$\frac{0,3}{k_0 \frac{\tau_0}{T_0}}$	$\frac{0,7}{k_0 \frac{\tau_0}{T_0}}$	$\frac{0,9}{k_0 \frac{\tau_0}{T_0}}$
ПИ-	k_p	$\frac{0,6}{k_0 \frac{\tau_0}{T_0}}$	$\frac{0,7}{k_0 \frac{\tau_0}{T_0}}$	$\frac{1}{k_0 \frac{\tau_0}{T_0}}$

Окончание таблицы 4.1

Регулятор	Настройки	Типовой процесс регулирования		
		апериодический	с 20-процентным перерегулиро- ванием	с минимальной интегральной ошибкой $\min \int_0^{\infty} \Delta y^2 dt$
		Статический ОУ с передаточной функцией $W_0(s) = \frac{k_0}{1+T_0s} e^{-\tau_0 s}$		
ПИ-	T_{II}	$0,6\tau_0$	$0,7\tau_0$	τ_0
ПИД-	k_P	$\frac{0,95}{k_0} \frac{\tau_0}{T_0}$	$\frac{1,2}{k_0} \frac{\tau_0}{T_0}$	$\frac{1,4}{k_0} \frac{\tau_0}{T_0}$
	T_{II}	$2,4\tau_0$	$2\tau_0$	$1,3\tau_0$
	T_D	$0,4\tau_0$	$0,4\tau_0$	$0,5\tau_0$

Для определения качества регулирования в стабилизирующих АСР необходимо воспользоваться математической моделью, представленной на рисунке 4.1 (с учетом объекта управления и типа регулятора) в среде Simulink пакета MATLAB.

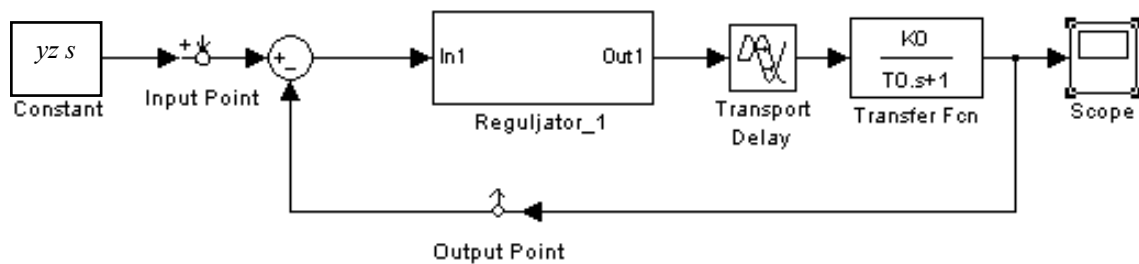


Рисунок 4.1 – Модель АСР

На рисунках 4.2–4.4 представлены модели регуляторов.

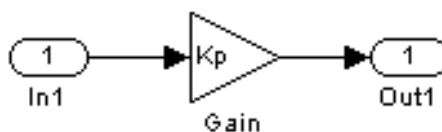


Рисунок 4.2 – Модель П-регулятора

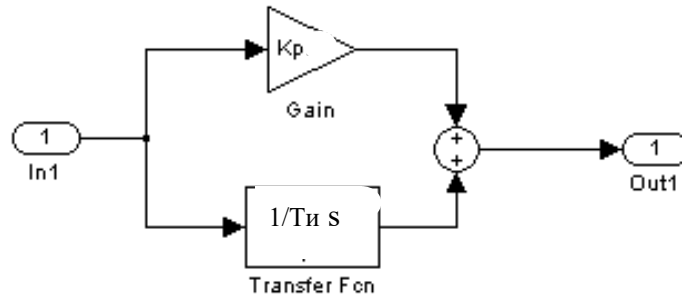


Рисунок 4.3 – Модель ПИ-регулятора

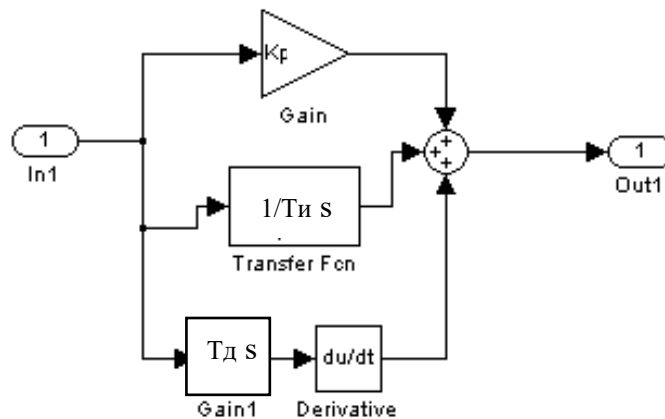


Рисунок 4.4 – Модель ПИД-регулятора

В качестве примера на рисунках 4.5–4.7 представлены графики переходных процессов АСР с различными видами регуляторов для заданного значения выходной переменной $yz = 85,5$.

Определены оптимальные настройки регуляторов по инженерной методике (см. таблицу 4.1) для апериодического переходного процесса. Было смоделировано поведение АСР с использованием П-, ПИ- и ПИД-регуляторов. Для получения заданного качества регулирования $yz = 85,5$ с точностью $\pm 5\%$ от заданного значения.

Для получения заданного качества регулирования $yz = 85,5$ с точностью $\pm 5\%$ от заданного значения выбран ПИ-регулятор с настройками:

$$k_p = \frac{0,6 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0}; \quad T_i = 0,6 \cdot \tau_0; \quad T_d = 0,6 \tau,$$

перерегулирование $\sigma\% = 22,8\%$, время регулирования $t_{pez} = 1200$ с.

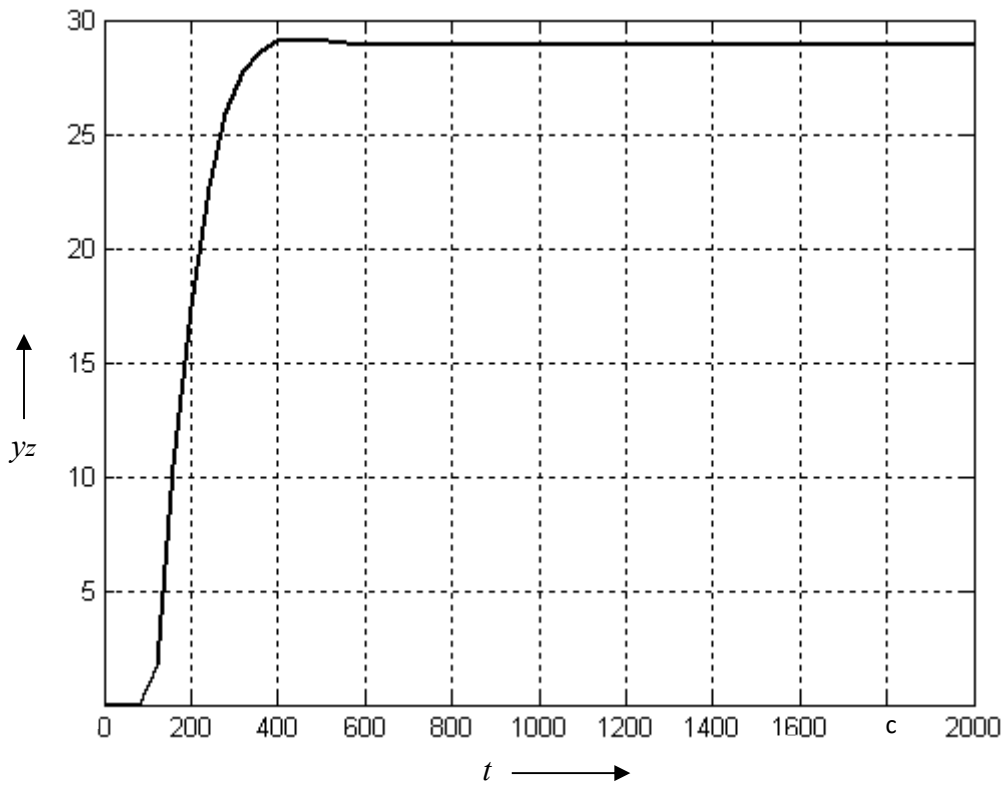


Рисунок 4.5 – График переходного процесса АСР с П-регулятором (график не выходит на заданное значение $yz = 85,5$)

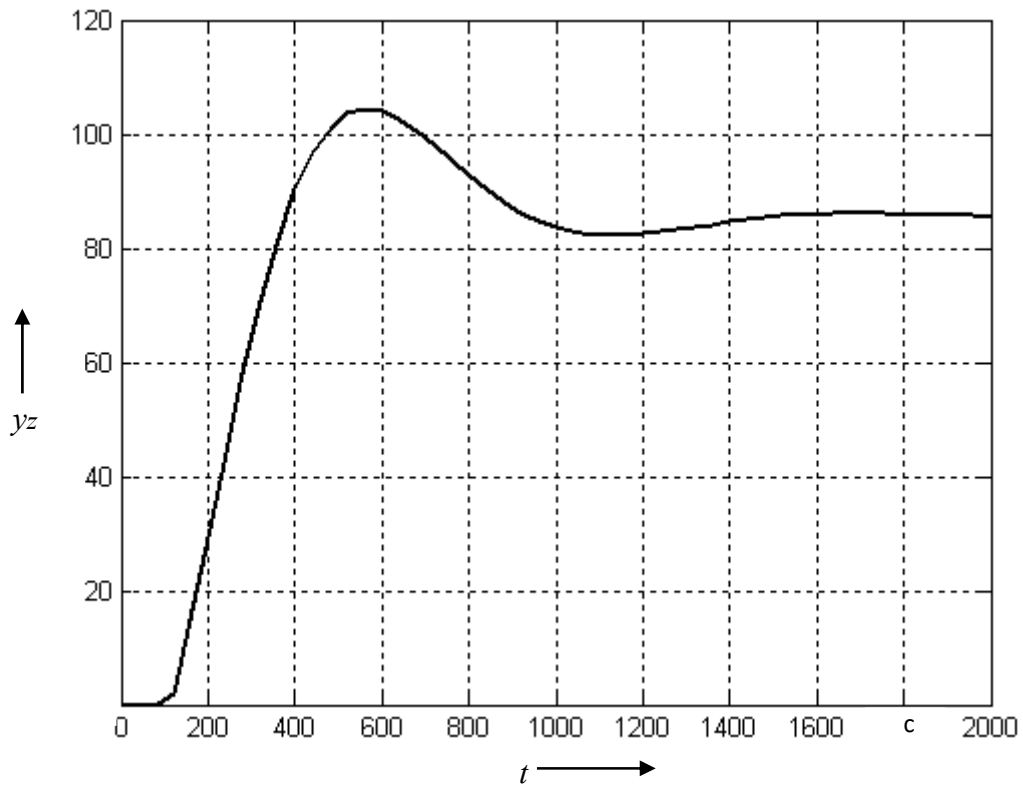


Рисунок 4.6 – График переходного процесса АСР с ПИ-регулятором (перерегулирование $\sigma \% = 22,8 \%$, время регулирования $t_{рег} = 1200$ с для точности регулирования $\pm 5 \%$ от заданного значения $yz = 85,5$)

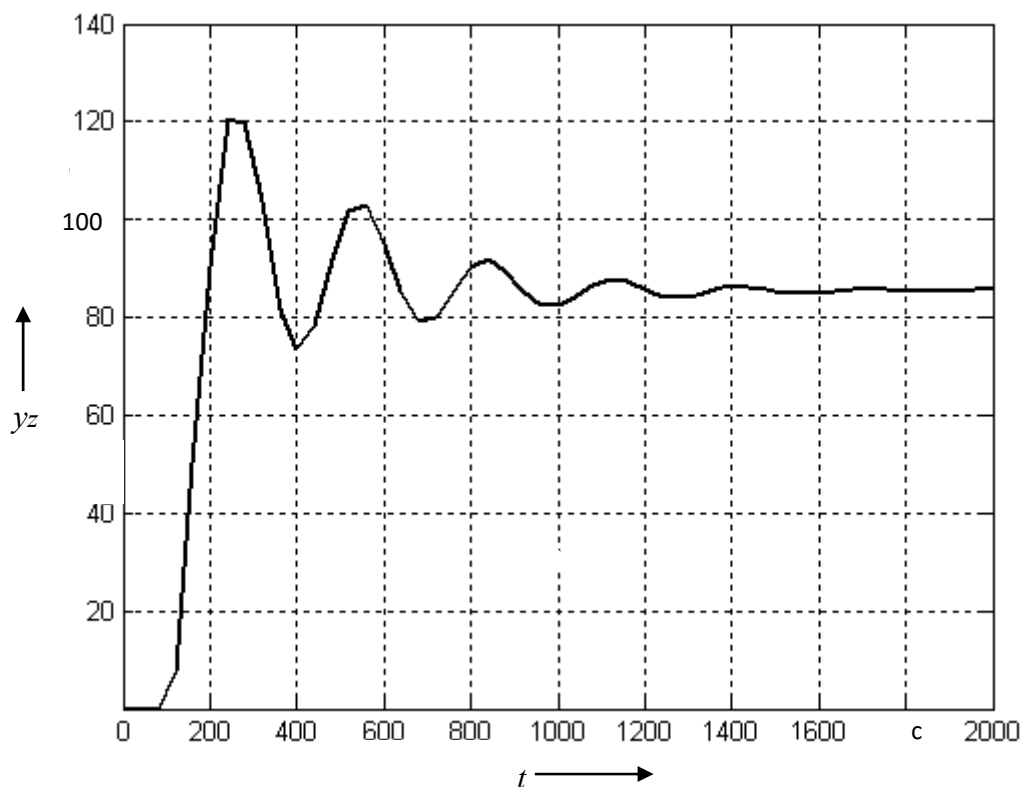


Рисунок 4.7 – График переходного процесса АСР с ПИД-регулятором (перерегулирование $\sigma \% = 40 \%$, время регулирования $t_{пер} = 960$ с для точности регулирования $\pm 5 \%$ от заданного значения $y_z = 85,5$)

Считается, что качество цифрового регулятора приближается к качеству аналогового, если период квантования (время дискретизации) не превышает по длительности $\Delta T \leq 0,1 \cdot T_0$. Цифровой регулятор формирует управляющее воздействие на каждом шаге регулирования U_k с помощью рекуррентных алгоритмов:

$$U_k = U_{k-1} + q_0 \Delta y_k + q_1 \Delta y_{k-1} + q_2 \Delta y_{k-2}, \quad (4.1)$$

где U_{k-1} – управляющее воздействие на предыдущем шаге регулирования;

$\Delta y_k, \Delta y_{k-1}, \Delta y_{k-2}$ – отклонение регулируемой переменной от заданного значения на данном шаге регулирования, предыдущем шаге регулирования, два шага назад;

q_0, q_1, q_2 – настройки цифрового регулятора.

Определив оптимальные настройки непрерывного регулятора по упрощенной инженерной методике, оптимальные настройки цифрового регулятора определяют из выражений:

$$q_0 = k_p \left(1 + \frac{\Delta T}{2T_u} + \frac{T_D}{\Delta T} \right); \quad (4.2)$$

$$q_1 = -k_p \left(1 - \frac{\Delta T}{2T_u} + \frac{2T_D}{\Delta T} \right); \quad (4.3)$$

$$q_2 = k_p \frac{T_D}{\Delta T_0}. \quad (4.4)$$

Содержание отчета

1 Титульный лист.

2 Номер и название лабораторной работы.

3 Цель работы.

4 Задание.

5 Объект управления.

6 Математические модели АСР (заданной и полученной с учетом выбранного регулятора для получения требуемого качества регулирования) для исследования переходного процесса с помощью средств вычислительной техники в пакете MATLAB с распечаткой результатов.

7 Графики переходного процесса с показателями качества.

8 Определение оптимальных настроек непрерывного регулятора по инженерной методике, а также оптимальных настроек цифрового регулятора, используя настройки непрерывного регулятора и динамические параметры объекта управления.

9 Выражение рекуррентных алгоритмов для цифрового регулятора.

10 Выводы.

Контрольные вопросы

1 Как формируется передаточная функция ПИД-регулятора? Записать выражение.

2 От чего зависит управляющее воздействие ПИД-регулятора? Записать выражение.

3 Как определяются оптимальные настройки непрерывных регуляторов по инженерной методике?

4 Как определяются показатели качества переходного процесса?

5 От чего зависят управляющее воздействие цифрового регулятора? Записать выражение в виде рекуррентных алгоритмов.

6 Какие параметры влияют на определение оптимальных настроек цифровых регуляторов?

5 Лабораторная работа № 10. Автопостроение базы каналов операторской станции для обмена с другими узлами проекта и внешними контроллерами в SCADA-системах

Цель работы: знакомство с редактором базы каналов SCADA-системы Trace Mode, v.5 (фирма «AdAstra», г. Москва, Россия), получение навыков разработки распределенной структуры системы автоматизации.

Задание

- 1 Разработать структуру нового проекта: выбор состава операторских станций и контроллеров.
- 2 Создать узлы проекта: PC-контроллера и операторской станции.
- 3 Осуществить автопостроение базы каналов для контроллера.
- 4 Редактировать каналы объекта.
- 5 Провести тиражирование узлов проекта.
- 6 Осуществить автопостроение базы каналов операторской станции для обмена данными с другими узлами проекта.

Объект управления

Установка для приготовления моющего раствора. Функциональная схема локальной системы автоматизации регулирования концентрации рН моющего раствора и дозирования кальцинированной соды представлена на рисунке 5.1, обозначение средств автоматизации – в таблице 5.1.

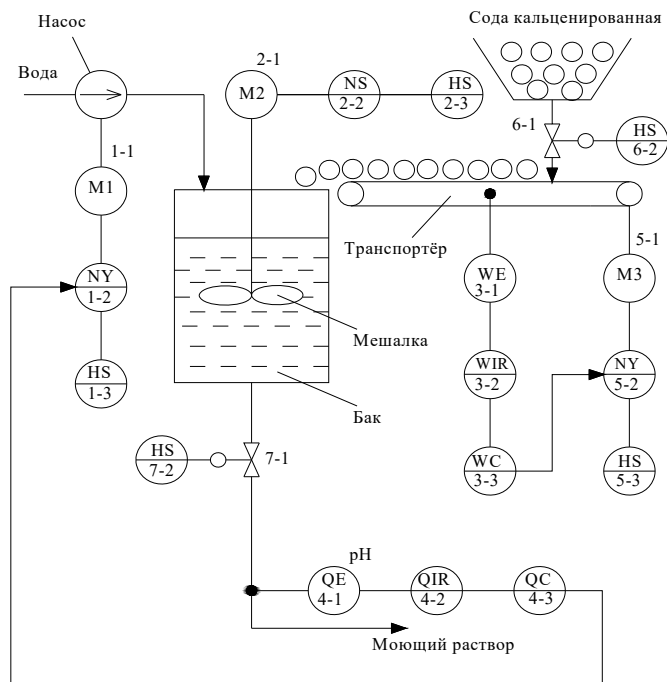


Рисунок 5.1 – Функциональная схема системы автоматизации регулирования концентрации рН моющего раствора и дозирования кальцинированной соды (заданное значение основной технологической переменной рН = $(45 \pm 0,1) \%$; $W = (10 \pm 0,5) \text{ кг}$)

Таблица 5.1 – Обозначение средств автоматизации

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

Методические рекомендации по выполнению задания

Для подготовки и выполнения задания необходимо изучить урок № 1 в справочной системе Trace Mode.

1 Создание нового проекта и разработка его структуры осуществляется в редакторе базы каналов. Под **структурой проекта** понимается система операторских станций и контроллеров, работающих под управлением мониторов Trace Mode.

2 Чтобы загрузить **редактор базы каналов**, надо выполнить команду **Редактор базы каналов** из группы установки инструментальной системы в меню **Программы Windows**.

При этом осуществляется запуск редактора базы каналов и на экране появляется его окно, показанное на рисунке 5.2.

3 Для создания нового проекта следует нажать левой клавишей (ЛК) мыши на иконке инструментальной панели, обозначенной на рисунке 5.2. При этом на экран выводится следующий диалог (рисунок 5.3).

В этом диалоге надо указать имя нового проекта и его тип. Зададим имя проекта – **БЫСТРЫЙ_СТАРТ**, и оставим тип, установленный по умолчанию (**Пользовательский**). Подтвердим завершение настройки параметров проекта нажатием ЛК на кнопке ОК.

При этом диалог Свойства проекта исчезнет с экрана, а в заголовке окна редактора базы каналов и его строке статуса появится название нового проекта.

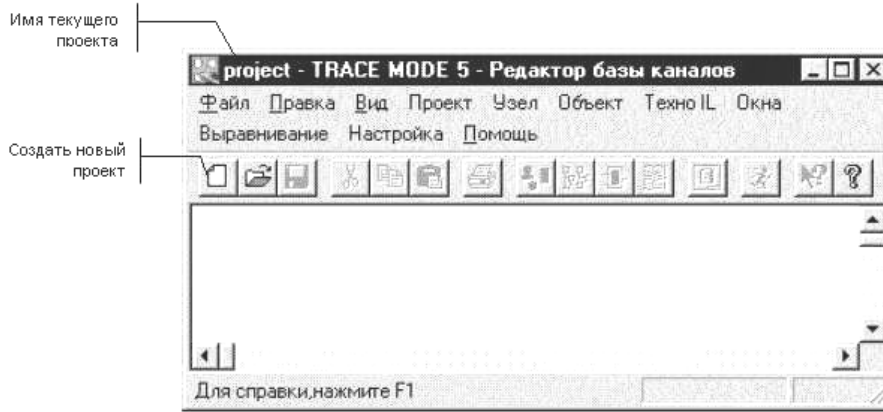


Рисунок 5.2 – Окно «Редактор базы каналов»

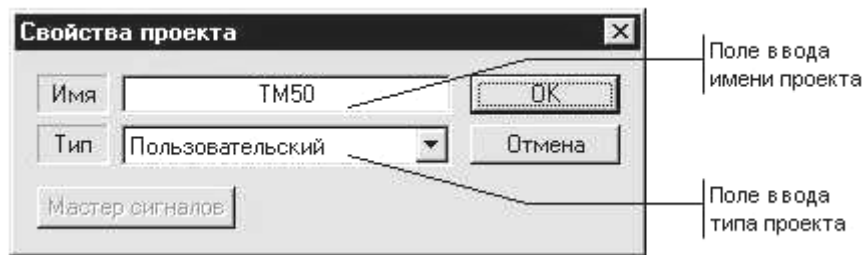


Рисунок 5.3 – Диалоговое окно «Имя нового проекта»

4 Перейдем теперь к созданию **структуры проекта**. Она включает в себя перечень **узлов** – операторских станций и контроллеров, которые работают под управлением Trace Mode. В нашем случае потребуется создать два узла. Один из них будет РС-контроллером, а второй – операторской станцией.

Создадим новый проект с именем «проект» и типом «пользовательский» (рисунок 5.4).

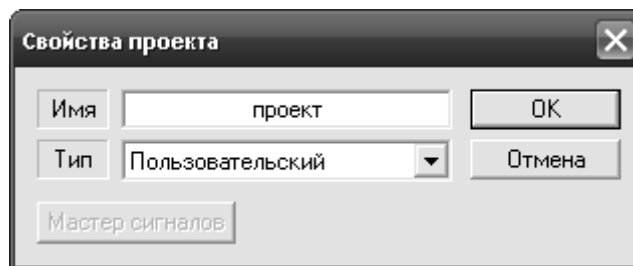


Рисунок 5.4 – Диалоговое окно «Имя нового проекта»

Для выбора контроллера в окне выбора типа узла раскроем список класса узлов под названием контроллеры и выберем тип контроллера FastWel. Назовем данный контроллер KONTROL (рисунок 5.5).

Для выбора операторской станции в окне выбора типа узла раскроем список класса узлов под названием большой и выберем тип операторской станции MPB (Сеть, M-Link). Назовем данную операторскую станцию STAN (рисунок 5.6).

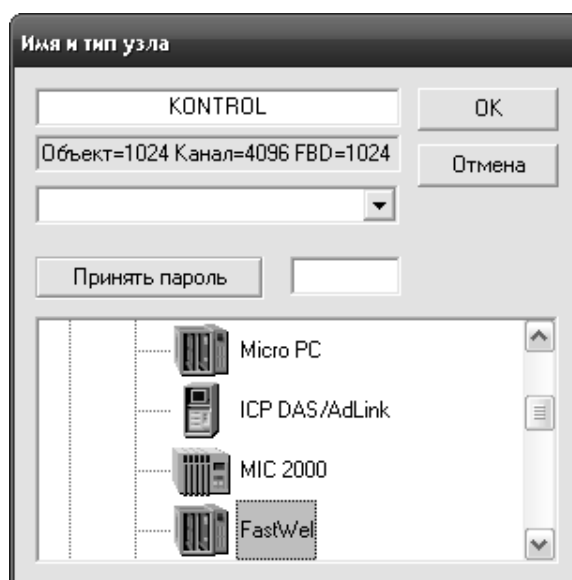


Рисунок 5.5 – Диалоговое окно «Имя и тип узла»

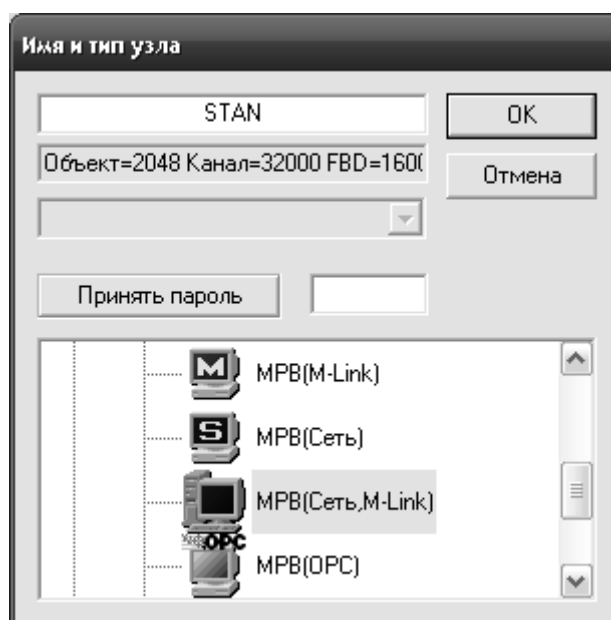


Рисунок 5.6 – Диалоговое окно «Имя и тип узла»

После выполнения этих действий окно редактора базы каналов будет иметь следующий вид (рисунок 5.7).

Создадим базу каналов контроллера нижнего уровня. Для этого запустим процедуру автопостроения и на экран будет выведен диалог ее настройки. В этом диалоге для каждого посадочного места в контроллере укажем тип используемой платы «УСО». В нашем случае задействуем четыре платы, а именно аналогового ввода, аналогового вывода, дискретного ввода и дискретного вывода соответственно, все платы 16-канальные (рисунок 5.8).

Затем осуществляем вход в окно редактирования базы каналов.

Каналы контроля и регулирования выбираются согласно выданного преподавателем объекта автоматизации.

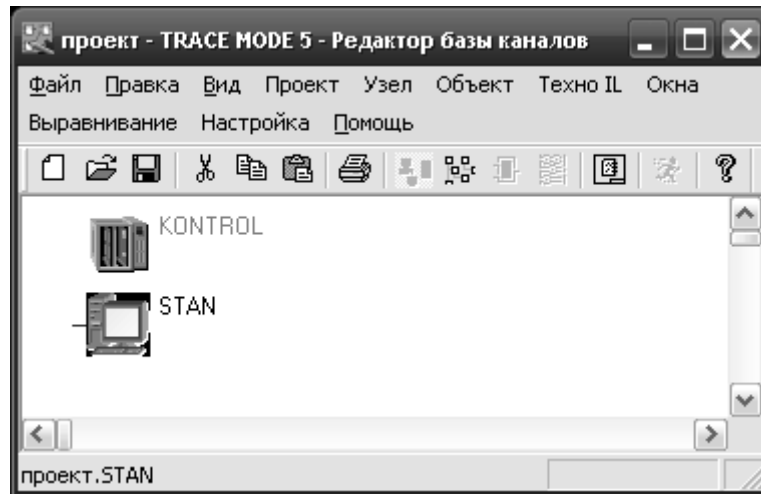


Рисунок 5.7 – Структура проекта



Рисунок 5.8 – Настройка процедуры автопостроения базы каналов

Для редактирования базы каналов необходимо руководствоваться рекомендациями урока № 1 в справочной системе Trace Mode.

Тиражирование и автопостроение базы каналов проводится согласно урока № 2 в справочной системе Trace Mode.

Тиражирование узлов проекта начинается с запуска редактора базы каналов и загрузки в него проекта БЫСТРЫЙ_СТАРТ.

Предположим, что автоматизируемый технологический объект имеет два однотипных участка, каждый из которых управляется отдельным контроллером. Соответственно, оба эти контроллера будут иметь одинаковую конфигурацию и программу управления. Ранее была создана база каналов для одного контроллера. Этот узел имеет имя **КНТ1**. Создадим теперь новый узел в проекте путем тиражирования узла **КНТ1**.

После этих операций окно редактора базы каналов будет выглядеть следующим образом (рисунок 5.9).

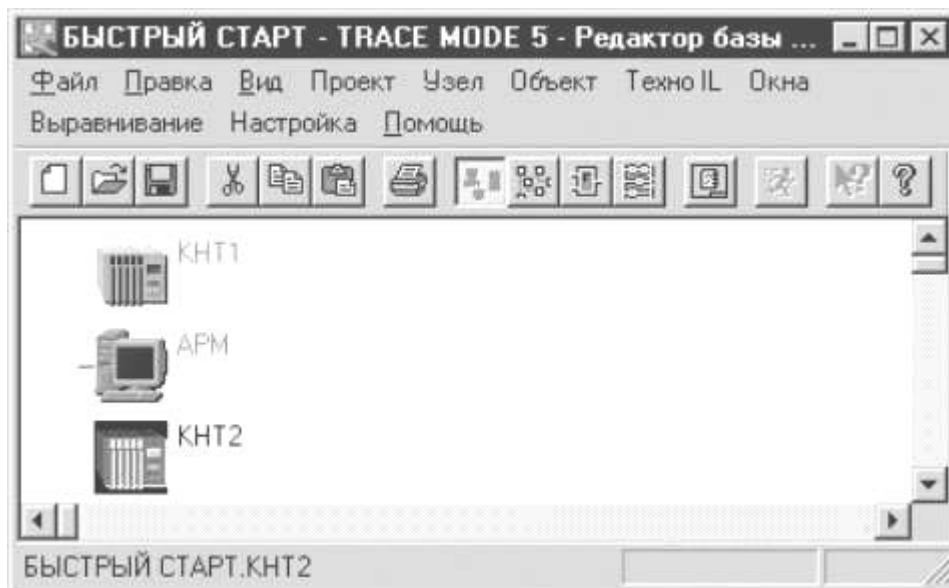


Рисунок 5.9 – Тиражирование узлов проекта

Для обмена данными с другими узлами проекта следует выполнить автопостроение базы каналов.

При переходе к редактированию базы каналов любой операторской станции на экран выводится диалог настройки процедуры автопостроения для обмена данными с другими узлами проекта. Это могут быть как операторские станции, так и контроллеры.

При этом существенно, чтобы линии связи, по которым будет осуществляться обмен данными (локальная сеть, последовательный интерфейс или коммутируемые телефонные линии), поддерживались всеми связанными узлами. Настройка линий передачи данных производится в диалоге **Параметры узла**.

Содержание отчета

- 1 Титульный лист.
- 2 Номер и название лабораторной работы.
- 3 Цель работы.
- 4 Задание.
- 5 Диалоговые окна с пояснениями хода выполнения лабораторной работы.
- 6 Справочные данные по выбранным модулям контроллеров MIC 2000, FastWel, устройствам сопряжения, операторской станции. Дать техническую характеристику.
- 7 Описание каналов управления с выбранными реквизитами.
- 8 Структура контроллера и системы автоматизации.

Контрольные вопросы

- 1 В чем назначение редактора базы каналов?
- 2 Как выбирается тип контроллера и операторской станции?
- 3 Что входит в структуру проекта?
- 4 Как создается база каналов контроллера нижнего уровня?
- 5 Как проводится тиражирование узлов проекта?
- 6 Какие особенности автопостроения базы каналов для обмена данными с внешним контроллером?
- 7 Какой вид интерфейса и протокола используется при автопостроении базы каналов для обмена данными с внешним контроллером?

6 Лабораторная работа № 11. Разработка и отладка программ управления на языках программирования Техно-IL, Техно-FBD SCADA-системы

Цель работы: изучение языков программирования SCADA-системы Trace Mode; получение навыков разработки управляющих программ в Trace Mode.

Задание

- 1 Создать и разработать FBD-программы.
- 2 Подключить FBD-программы к каналам.
- 3 Отладка FBD-программы.
- 4 Создать, разработать и подключить к системе Техно-IL программы функционального блока, который позволяет контролировать рассогласование значений двух первых входов и коммутировать на выход значение одного из этих входов по условию превышения рассогласованием значения третьего входа (значениями входов задаться произвольно).
- 5 Эмуляция работы программ.

Объект управления

Объект управления – установка приготовления моющего раствора, заданное значение регулируемой переменной (концентрации моющего раствора) $pH = (45 \pm 0,1) \%$, оптимальные настройки PID-регулятора: $KP = 2.0$, $KI = 0.5$, $KD = 1.0$.

Методические рекомендации по выполнению задания

Для подготовки и выполнения задания необходимо изучить урок № 3 в справочной системе Trace Mode.

1 **Создание FBD-программы, реализующей PID-регулятор.** Программа позволяет вычислять рассогласование текущего значения основной технологи-

ческой переменной и его заданного значения, формировать величину управляющего воздействия по PID-закону и ограничение этой величины заданными границами.

Чтобы создать FBD-программу, следует сначала указать, на каком узле она будет использоваться. Для этого нужно войти в режим редактирования базы каналов требуемого узла. Далее для перехода в окно редактирования FBD-программ надо выполнить команду **FBD-программы** из меню **Окна**.

При этом на экране появляется диалог **FBD-программа**. В этом диалоге можно выбрать FBD-программу для редактирования или создать новую, а также ввести и отредактировать комментарий к программе.

Для создания новой программы надо выполнить команду **Создать** из меню **Программа** диалога **FBD-программа**.

Присвоим новой программе имя PID и введем для нее комментарий, как показано на рисунке 6.1.

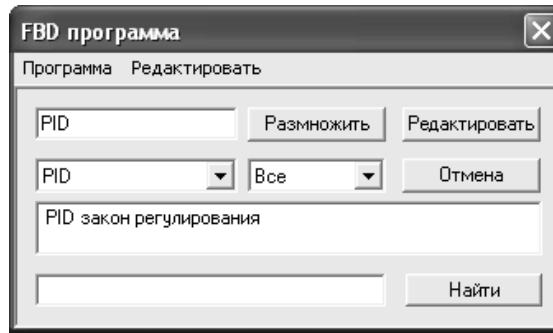


Рисунок 6.1 – Программа PID-регулятора

Для перехода к редактированию созданной FBD-программы следует нажать ЛК на кнопке **Редактировать**.

Поскольку программа только что создана, рабочее поле редактора будет пустым. В нем будет только присутствовать диалог управления редактированием **Меню FBD**.

Далее в диалоге **Меню FBD** необходимо войти в режим размещения новых блоков и выбрать все необходимые блоки для реализации PID-регулятора. Теперь следует перейти в режим редактирования связей и связать входы и выходы размещенных блоков (рисунок 6.2).

В рабочем поле редактора будет присутствовать диалог управления редактированием **Меню FBD** (см. рисунок 6.2).

Для соединения входа одного блока с выходом другого надо сначала выделить с помощью ЛК этот вход, затем снова нажать ЛК (при этом будет слышен звуковой сигнал) и, удерживая ее, переместить курсор в область второго конца связи. Для уничтожения связи следует выделить ее со стороны входа блока и нажать клавишу **DEL**.

Далее необходимо описать все внешние переменные данной программы и константы (рисунок 6.3).

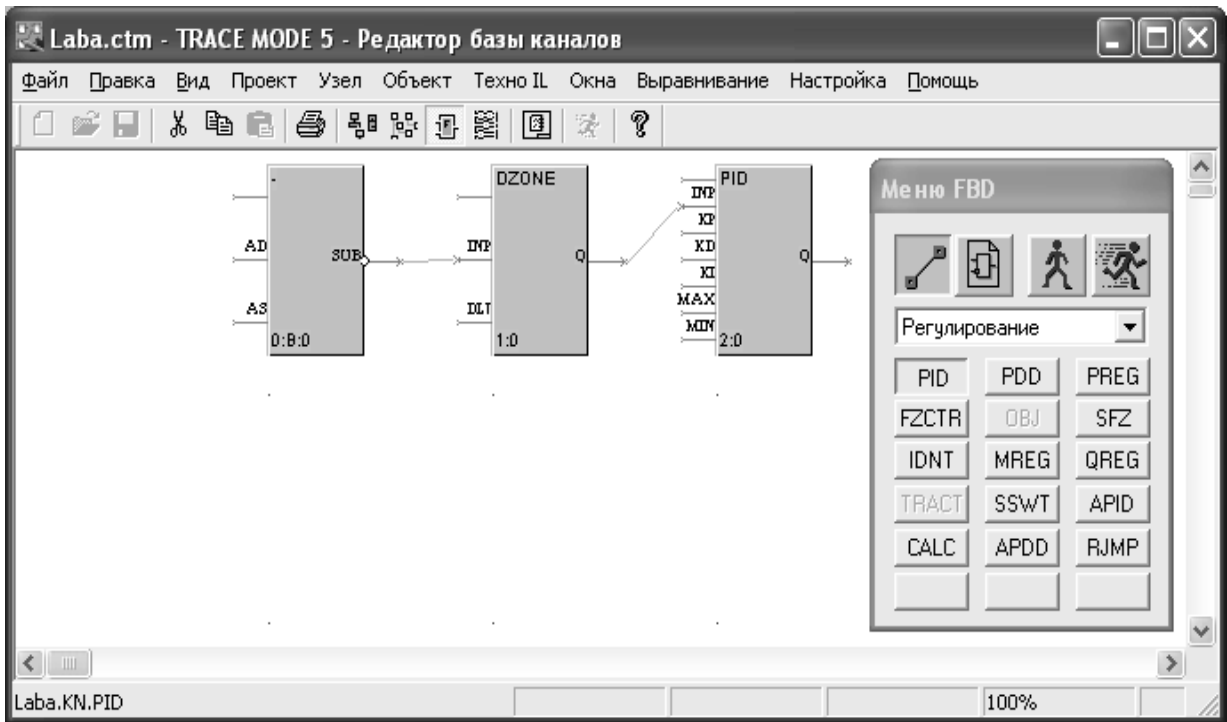


Рисунок 6.2 – Редактирование связей

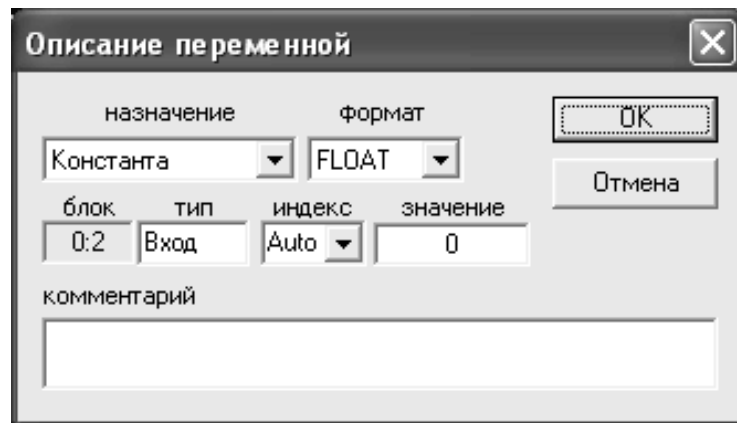


Рисунок 6.3 – Описание переменной

На этом разработка программы завершена. Теперь следует перейти в окно редактирования базы каналов узла для ее привязки к конкретным каналам. Алгоритм подключения FBD-программ к каналам узла рассмотрен в уроке № 3 справочной системы Trace Mode, в таблице 6.1 показаны обозначения входов/выходов PID-регулятора.

2 Создание Техно-ИЛ программы. Используя язык Техно-ИЛ можно создать собственный функциональный блок и подключить его к системе. Кроме того, Техно-ИЛ позволяет разрабатывать метапрограммы, запускаемые параллельно с пересчетом базы каналов.

Чтобы создать программу на Техно-ИЛ, надо выполнить команду **Создать** из меню **Техно-ИЛ** редактора базы каналов.

При этом на экране появится следующее диалоговое окно (рисунок 6.4).

Таблица 6.1 – Обозначения входов/выходов PID-регулятора

Блок	Вход/выход	Тип	Комментарий
(-)	AD	Аргумент	Вход регулятора
(-)	AS	Аргумент	Задание регулятора
DZONE	DLT	Константа	Зона нечувствительности
	KP	Константа	Коэффициент при пропорциональной составляющей
	KD	Константа	Коэффициент при дифференциальной составляющей
	KI	Константа	Коэффициент при интегральной составляющей
LIMIT	MIN	Константа	Минимум управления
	MAX	Константа	Максимум управления
	Q	Аргумент	Выход регулятора

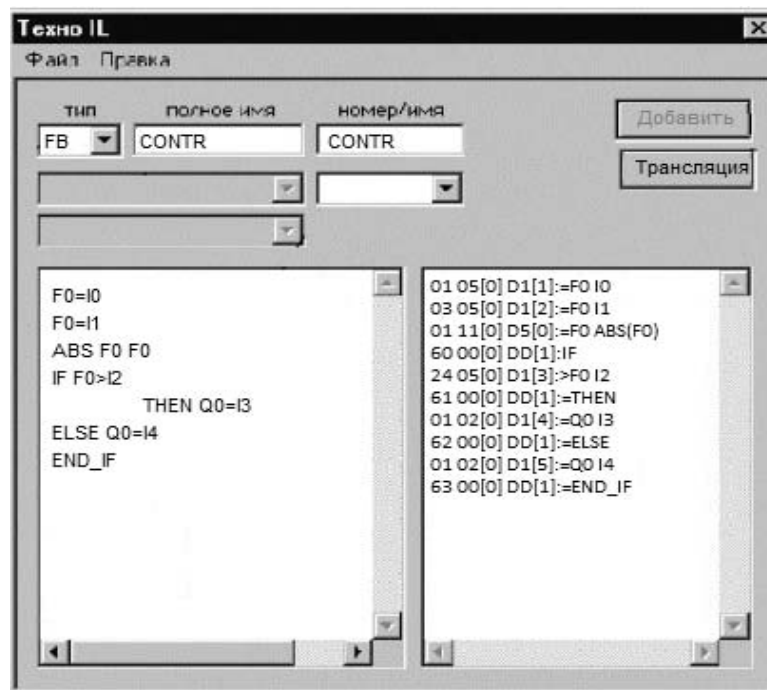


Рисунок 6.4 – Диалоговое окно программы Техно-IL

Рассмотрим пример создания программы для функционального блока, который позволяет контролировать рассогласование значений двух первых входов и коммутировать на выход значение четвертого входа по условию превышения рассогласованием по модулю значения третьего входа, иначе – значения пятого входа).

Оставим тип заданным по умолчанию – **FB** (функциональный блок). Присвоим программе имя **CONTR** в качестве как основного, так и дополнительного. Далее введем в левом окне текст программы, как показано на рисунке 6.4.

Чтобы проверить синтаксис программы, выполним команду **Дамп** из меню **Правка** этого диалога. Результат проверки выводится в правом окне.

Если сообщений об ошибках нет, то программу можно подключать к системе. Но сначала ее надо транслировать. Это реализуется нажатием ЛК на кнопке **Трансляция**. Если трансляция прошла успешно, то в правом окне появится надпись **ОК**. Теперь для подключения программы надо нажать ЛК на кнопке **Добавить**.

Если теперь перейти в окно редактирования FBD-программ и в диалоге **Меню FBD** выбрать раздел **Техно ИЛ_1**, то в нем будет присутствовать только что созданный блок (рисунок 6.5).

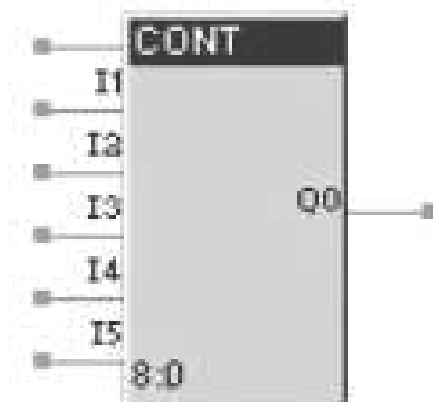


Рисунок 6.5 – Блок программной реализации FBD

Вид меню FBD-программы и показан на рисунке 6.6.



Рисунок 6.6 – Меню FBD-программы

На рисунке 6.7 показан пример алгоритма управления для работы программы, а на рисунке 6.8 – реализация программы Техно-ИЛ в режиме эмуляции.

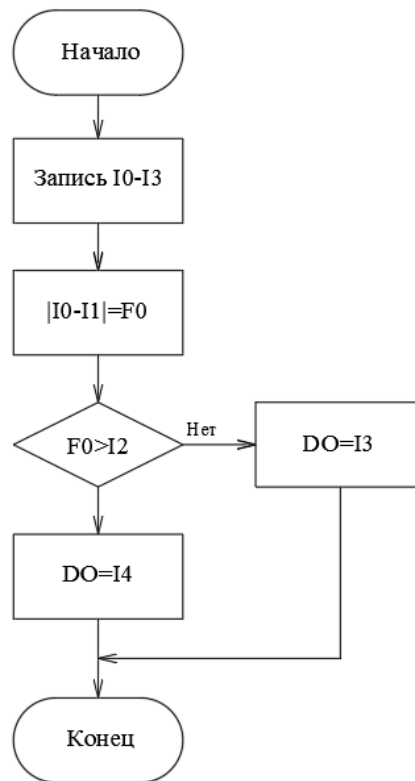


Рисунок 6.7 – Алгоритм работы программы на Техно-IL

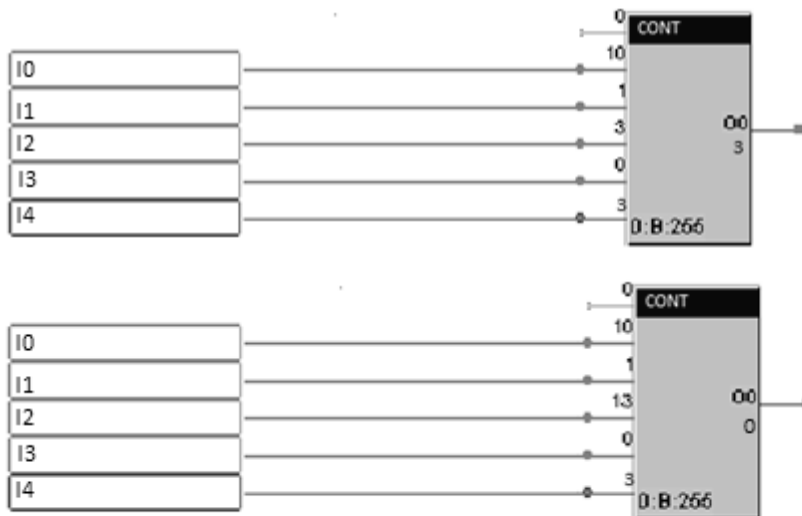


Рисунок 6.8 – Реализация программы Техно-IL в режиме эмуляции

Содержание отчета

- 1 Титульный лист.
- 2 Номер и название лабораторной работы.
- 3 Цель работы.
- 4 Задание.
- 5 Структура FBD-программы.
- 6 Алгоритм управления для разработки и подключения к системе программы Техно-IL.

7 Диалоговые окна с пояснениями хода выполнения лабораторной работы.

8 Реализация работы программы Техно-IL с заданными значениями I0, I1, I2, I3, I4 в режиме эмуляции.

Контрольные вопросы

- 1 Каково назначение языка программирования Техно-FBD?
- 2 Как реализован PID-регулятор на базе FBD-программы?
- 3 Перечислить назначение всех входов PID-регулятора FBD-программы.
- 4 Перечислить назначение всех выходов PID-регулятора FBD-программы.
- 5 В чем особенность модуля адаптивного APID-регулятора?
- 6 Каково назначение языка программирования Техно-IL?
- 7 Как проводится реализация программы Техно-IL в режиме эмуляции?

7 Лабораторная работа № 12. Разработка графической базы для операторской станции в SCADA-системе

Цель работы: изучение редактора представления данных SCADA-системы Trace Mode, получение навыков разработки графического интерфейса операторских станций в Trace Mode.

Задание

- 1 Создать графическую базу узла.
- 2 Создать статический рисунок динамических объектов.
- 3 Отобразить в графическом виде значения каналов, создать гистограммы и тренды автоматизации.
- 4 Эмуляция работы графической базы.

Объекты управления

Установка приготовления моющего раствора. Функциональная схема системы автоматизации регулирования концентрации pH моющего раствора и дозирования кальцинированной соды (рисунок 7.1, таблица 7.1).

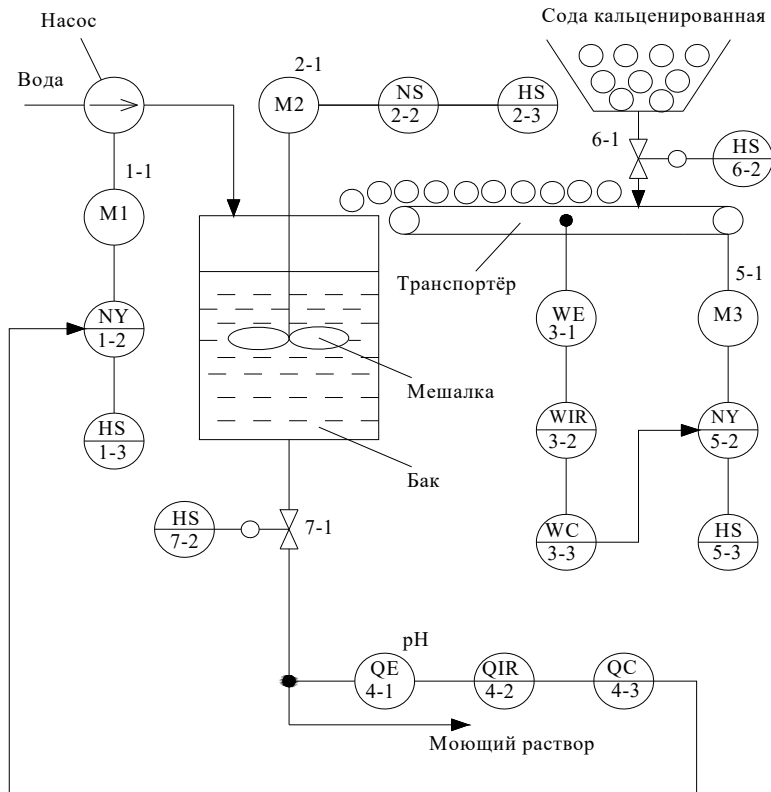


Рисунок 7.1 – Функциональная схема системы автоматизации

Таблица 7.1 – Обозначение средств автоматизации

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

Методические рекомендации по выполнению задания

Для подготовки и выполнения задания необходимо изучить урок № 4 в справочной системе Trace Mode.

Разработка графического интерфейса для операторских станций осуществляется в редакторе представления данных. В него загружается структура проекта, созданная в редакторе базы каналов.

Для создания базы каналов контроллера нижнего уровня выбраны соответствующие модули аналогового и дискретного ввода/вывода (рисунок 7.2).

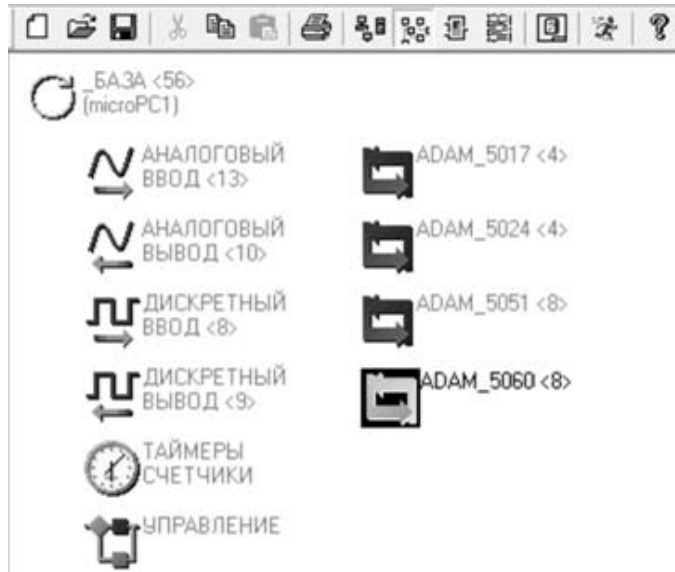


Рисунок 7.2 – Периферия контроллера в SCADA-системе Trace Mode

Пример привязки каналов аналогового и дискретного ввода/вывода микроконтроллера показан на рисунке 7.3.

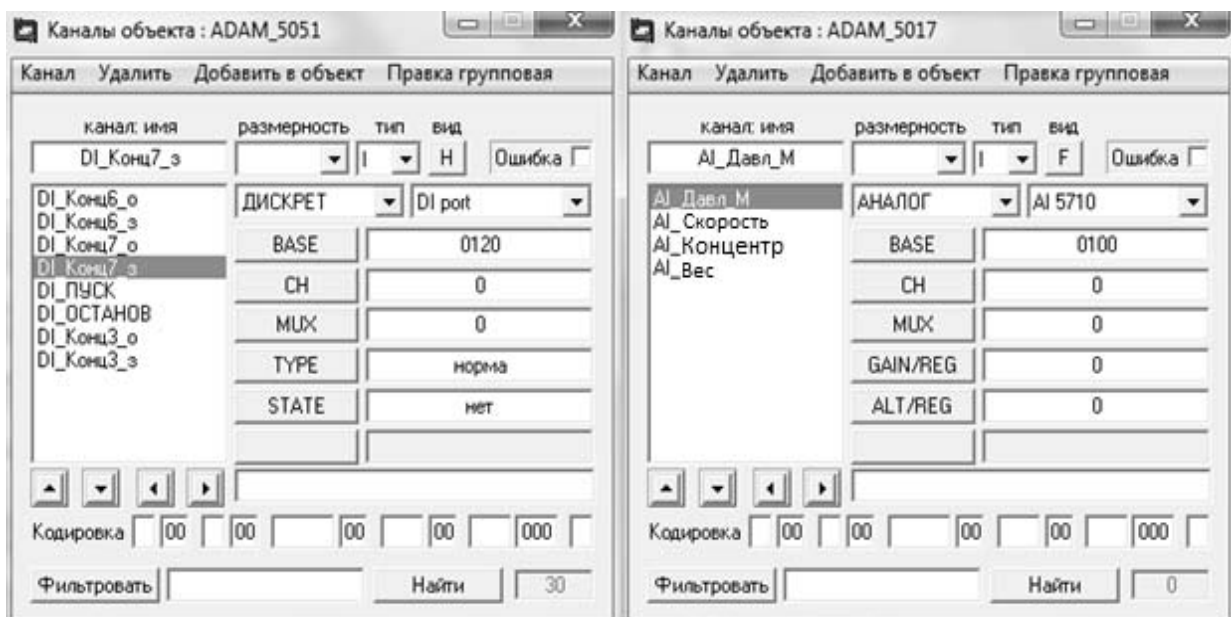


Рисунок 7.3 – Каналы обмена с поддерживаемым оборудованием в Trace Mode

Разработка мнемосхемы в SCADA-системе Trace Mode. Для запуска редактора представления данных следует войти в папку **Программы** главного меню Windows, затем – в папку **Trace Mode 5** и выполнить команду **Редактор представления данных**. При этом на экране появится окно редактора. Рабочая область редактора при загрузке не содержит никаких изображений, а инструментальные панели недоступны. Для создания и редактирования графических экранов необходимо сначала загрузить структуру проекта и загрузить или создать графическую базу любого узла, присутствующего в проекте.

Диалоговое окно редактора представления данных показано на рисунке 7.4.

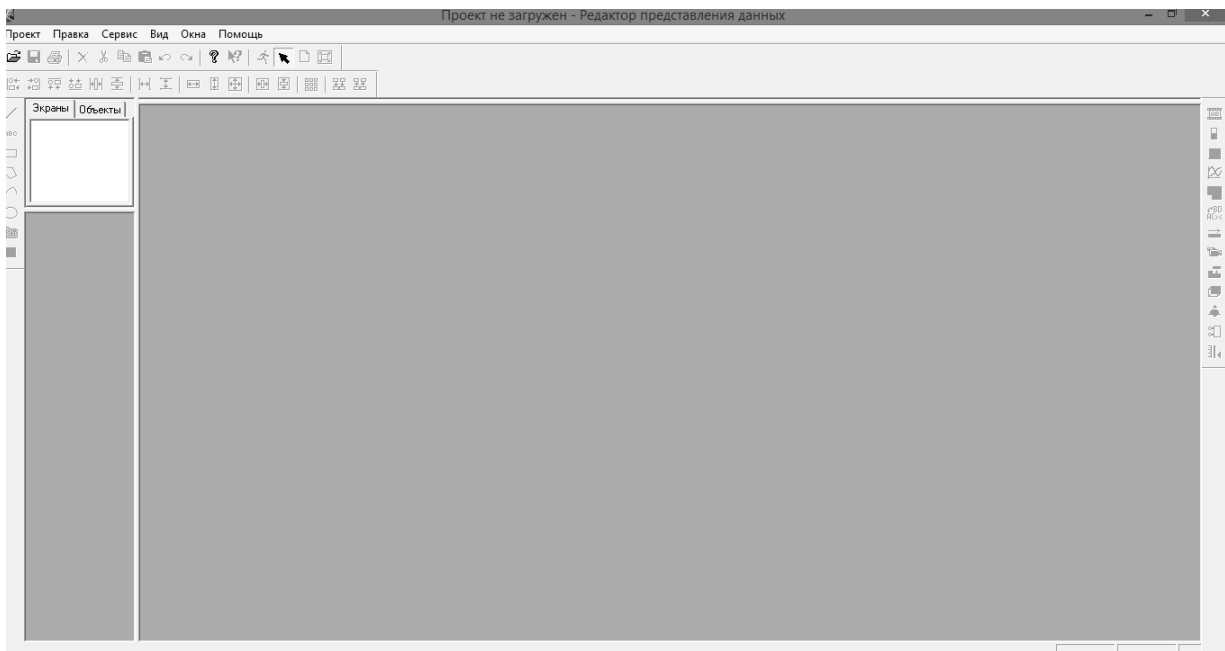


Рисунок 7.4 – Окно «Редактор представления данных»

Выберем нажатием ЛК на бланке **Экраны** навигатора проекта операторскую станцию АРМ. Выполним команду **Добавить группу** из этого меню. При этом в качестве вложенного элемента для узла **АРМ** создастся группа экранов. Этой группе автоматически присваивается имя **Новая группа**. Присвоим ей имя **мнемосхема**.

Выполним в этом меню команду **Добавить экран**. После этого снова войдем в это же меню и выполним ту же команду. После этого бланк **Экраны** навигатора проекта будет выглядеть как на рисунке 7.5.

Затем необходимо настроить оформление экранов, которое включает в себя разрешение, наличие заголовка, цвет фона или обои.

Далее необходимо разработать графический интерфейс, а именно разместить на экранах графической базы статические элементы рисования и динамические формы отображения. Графические элементы выбираются с помощью соответствующих инструментальных панелей. При этом на экран выводится диалог настройки их атрибутов (цвет фона, привязка к каналам и пр.).

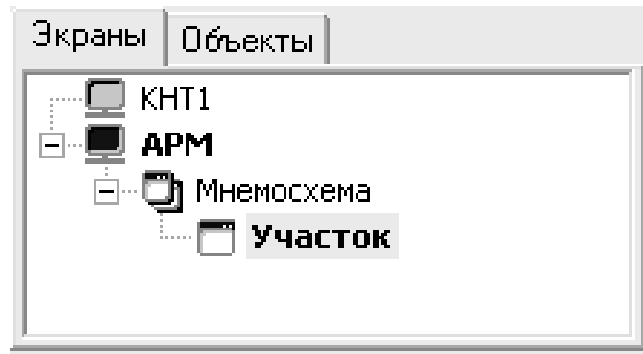


Рисунок 7.5 – Бланк **Экраны** навигатора проекта

Затем необходимо настроить оформление экранов, которое включает в себя разрешение, наличие заголовка, цвет фона или обои. Для этого надо нажать ЛК выделить узел **АРМ** в бланке **Экраны** навигатора проекта. Затем следует войти в меню узлов. Это осуществляется нажатием ПК на имени узла. Здесь нужно выполнить команду **Атрибуты**. При этом на экран выводится следующий диалог (рисунок 7.6).

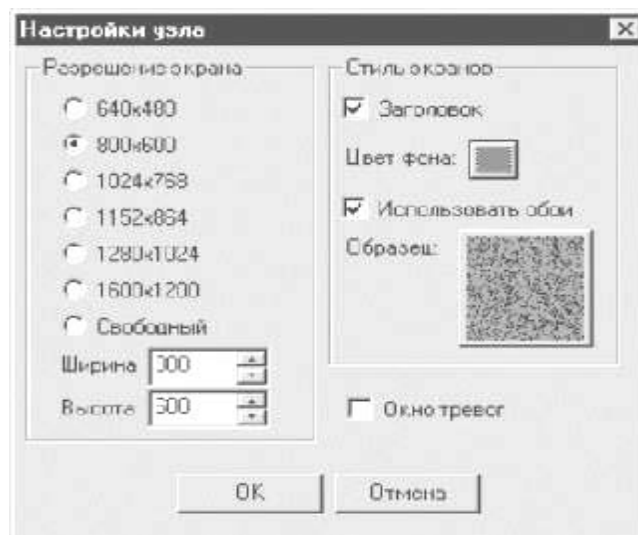


Рисунок 7.6 – Диалоговое окно оформления экранов

Зададим разрешение экрана 800×600 и поставим флаги наличия заголовка и использования обоев, как показано на рисунке. Далее следует выбрать текстуру для обоев. Для этого нажмем ЛК на кнопке **Образец**. На экране появится следующий диалог (рисунок 7.7).

Чтобы воспользоваться текстурами, поставляемыми с системой, следует подключить их в качестве ресурсов. Для этого надо нажать ЛК на кнопке с символом «?» рядом с верхним списком.

При этом на экран выводится диалог подключения ресурсов (рисунок 7.8).

Текстуры хранятся в библиотеке **ResWP.dll**. Перенесем эту библиотеку из окна «Доступные» в окно «Используемые». Подтвердим подключение библиотеки нажатием ЛК на кнопке **ОК**. Далее в диалоге **Обои** в первом списке в качестве источника укажем только что подключенную библиотеку.

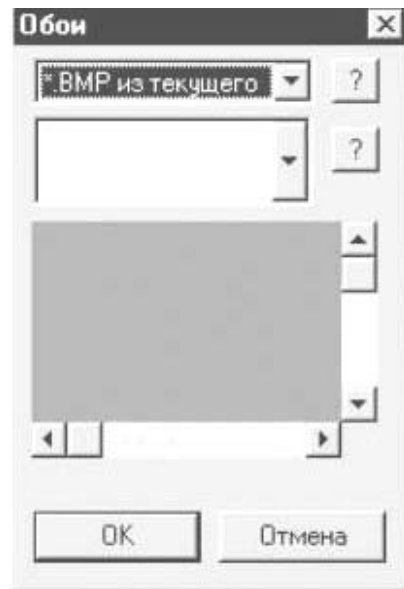


Рисунок 7.7 – Выбор текстуры экрана

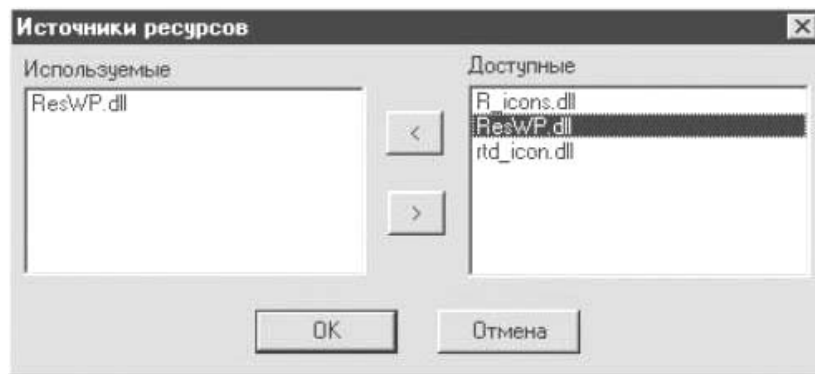


Рисунок 7.8 – Источник ресурсов

При этом становится доступным нижний список, где выводится содержимое библиотеки. Выберем из библиотеки понравившуюся текстуру и нажмем ЛК на кнопке **ОК**.

Сохраним созданную графическую базу. Для этого выполним команду **Сохранить** из меню **Проект**.

Разработка графического интерфейса заключается в размещении на экранах графической базы статических элементов рисования и динамических форм отображения. Графические элементы выбираются с помощью соответствующих инструментальных панелей. При этом на экран выводится диалог настройки их атрибутов (цвет фона, привязка к каналам и пр.).

Для создания статических и динамических объектов, отображения гистограмм, создания трендов технологических переменных необходимо воспользоваться рекомендациями урока № 4 справочной системы Trace Mode.

Рассмотрим создание графического интерфейса для установки приготовления моющего раствора.

Мнемосхема технологической установки в SCADA-системе Trace Mode представлена на рисунке 7.9.

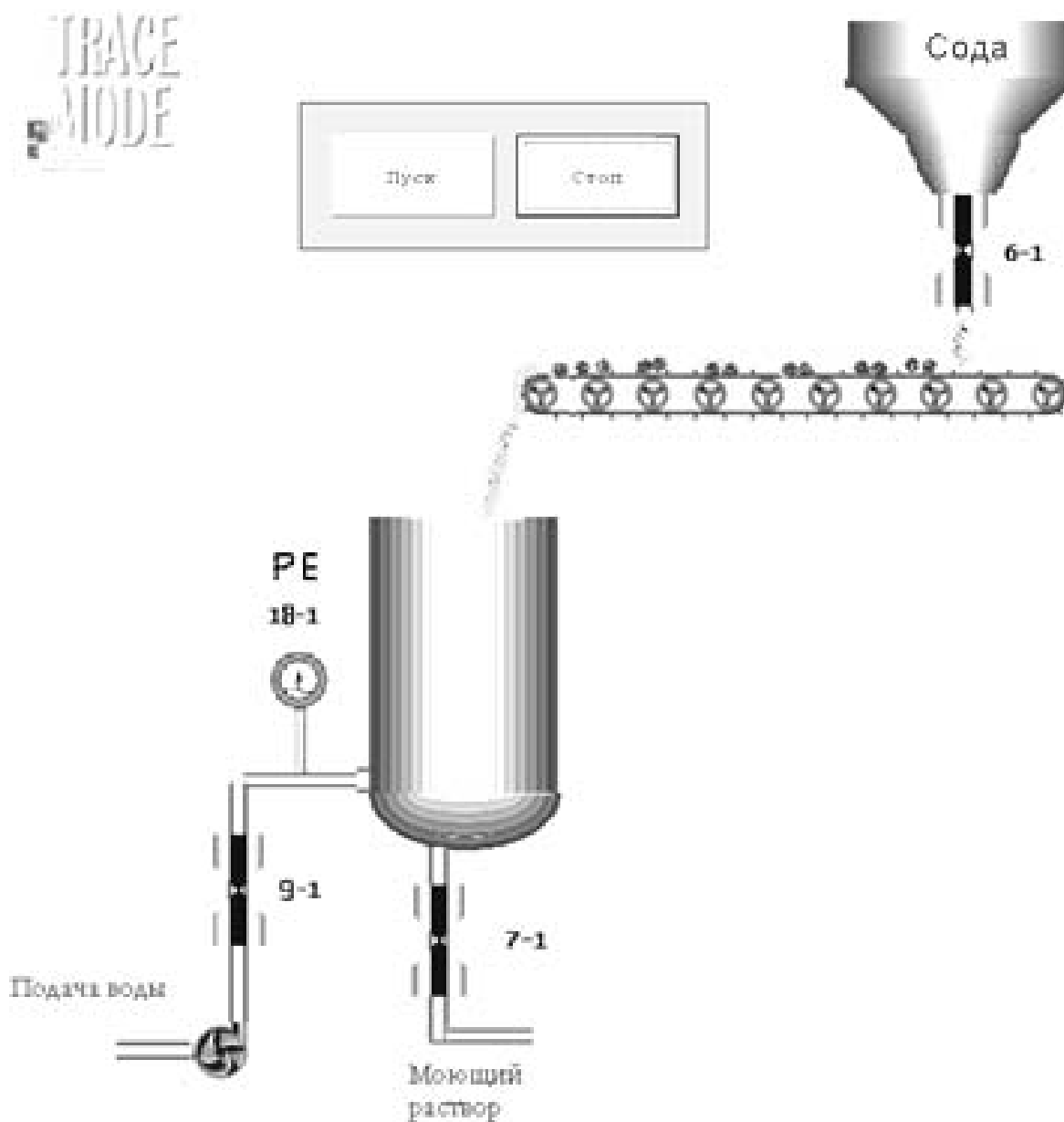


Рисунок 7.9 – Мнемосхема технологической установки в SCADA-системе Trace Mode

Содержание отчета

- 1 Титульный лист.
- 2 Номер и название лабораторной работы.
- 3 Цель работы.
- 4 Задание.
- 5 Диалоговые окна с пояснениями хода выполнения лабораторной работы.
- 6 Эмуляция работы графической базы.
- 7 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Каково назначение редактора представления данных?
- 2 Как проводится настройка атрибутов экранов?
- 3 Какова методика изображения статических и динамических объектов на графическом интерфейсе?
- 4 Как формируется тренд для регулирования технологической переменной?
- 5 Как проводится диалог настройки атрибутов гистограммы?
- 6 Как проводится проверка функционирования размещенных на экранах форм отображения в режиме эмуляции?

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.
- 4 **Парфенова, Е. В.** Информационные технологии : лабораторный практикум / Е. В. Парфенова. – Москва : МИСиС, 2018. – 56 с.