

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники

(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»

(кафедра)

27.03.04 Управление в технических системах

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Системы и технические средства автоматизации и управления

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: «Автоматизация установки нейтрализации стоков предприятия»

Студент

С.С. Нягашкин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

П.А. Николаев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите
Заведующий кафедрой

к.т.н., доцент А.А. Шевцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2018

Аннотация

Объём 65 с., 31 рис., 4 табл., 27 источников.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ.

Бакалаврская работа состоит из расчётно-пояснительной записки содержащей в себе две главы на 72 страницы машинописного текста и шести листов графического материала формата А1.

Цель работы – оптимизация систем автоматического управления процессом нейтрализации стоков предприятия.

В первой главе работы содержится описание технологического процесса с краткой характеристикой технологического оборудования. Так же там показана необходимость автоматизированного контроля с обоснованием выбора регулируемых, контролируемых и сигнализируемых параметров. Выбрано оборудование для автоматизации.

Во второй главе выполнен расчёт системы автоматического управления на устойчивость в статическом и динамическом режимах, сделан вывод, что при заданных параметрах звеньев САУ обладает хорошей устойчивостью.

Содержание

Введение.....	5
1 Технологическая часть	6
1.1 Описание технологического процесса.....	6
1.2 Краткая характеристика технологического оборудования.....	7
1.3 Необходимость автоматизированного контроля	8
1.4 Обоснование выбора регулируемых параметров и каналов внесения регулируемых воздействий.....	9
1.5 Выбор контролируемых, сигнализируемых параметров и мероприятий по защите.....	10
1.6 Описание выбранной системы автоматического управления	12
1.7 Выбор оборудования для автоматизации	14
1.7.1 Назначение и технические характеристики преобразователя давления Cerabar PMC71	14
1.7.2 Техническое описание радарного уровнемера Micropilot FMR62.....	24
1.7.3 Техническое описание электромагнитного расходомера Proline Promag P300.....	32
1.7.4 Техническое описание многопараметрического преобразователя Liquiline CM444.....	36
1.7.5 Техническое описание электрода для определения pH Orbisint CPS11D ..	39
1.8 Выбор сетевого оборудования.....	44
1.8.1 Измерительно–управляющая система Delta V.....	44
1.9 SCADA–система Trace Mode	48
2 Расчётная часть.....	52
2.1 Определение параметров устойчивости системы автоматического регулирования в статическом и динамическом режимах	52
2.1.1 Определение графическим методом общей статической характеристики цепи обратной связи – ДРИМ.....	52

2.1.2 Построение статических характеристик объекта регулирования и системы управления	53
2.1.3 Определение аналитического выражения регулирующей системы – ДРИМ.....	55
2.1.4 Нахождение аналитическим способом рабочей точки системы	55
2.1.5 Определение передаточных функций элементов системы.....	56
2.1.6 Определение передаточной функции системы регулирования.....	57
2.1.7 Определение временной функции переходного процесса и критерия устойчивости САР по характеристическому уравнению.....	57
2.1.8 Определение параметров устойчивости системы управления по годографу..	58
Заключение	61
Список используемых источников.....	62

Введение

Автоматизация производства является существенным фактором научно-технического развития во всех отраслях промышленности.

Значимой задачей автоматизации предприятий является создание автоматических систем управления технологическими процессами (АСУТП), характеризующимся высоким быстродействием, точностью и надежностью.

Главным средством получения информации, поступающей в систему автоматического управления, служат измерительные приборы и информационно-измерительные системы.

Автоматизация производственного процесса позволяет увеличить выпуск продукции, понизить её себестоимость и повысить качество, снизить количество обслуживающего персонала, так же она даёт экономию материалов, улучшает условия труда и техники безопасности. Автоматизация способствует повышению производительности труда и в корне меняет роль человека в процессе производства.

Цель управления процессом нейтрализации стоков предприятия – поддержание заданного значения pH частично обессоленной воды.

Цель бакалаврской работы – оптимизация систем автоматического управления процессом нейтрализации стоков предприятия.

Для этого заменяются устаревшие модификации приборов и средств автоматизации на современные интеллектуальные датчики–преобразователи:

- многопараметрический преобразователь Liquiline CM444 с электродом для определения pH Orbisint CPS11D;
- радарный уровнемер Micropilot FMR62;
- электромагнитный расходомер Proline Promag P300;
- преобразователя давления Cerabar PMC71.

1 Технологическая часть

1.1 Описание технологического процесса

Установка нейтрализации стоков предприятия ОАО «ТОАЗ» предназначена для получения частично-обессоленной воды и выдачи ее на установку приготовления питательной воды (блок 10) агрегата аммиака N 7 с расходом 262 м³/час.

Нейтрализации подлежат различные виды стоков: кислые, щелочные, шламовые, вода от пробоотборных точек фильтров, переливов баков, опорожнения трубопроводов, фильтров, емкостей.

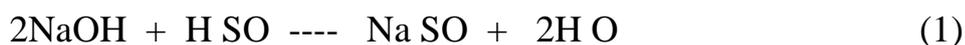
Кислые стоки, образующиеся при регенерации Н-катионитовых фильтров, из корпусов 188 и 189 поступают в баки сбора кислых стоков 77/1–2, сюда же подаются стоки из корпуса 189 от пробоотборных точек ионообменных фильтров, от опорожнения трубопроводов и аппаратов, а так же проливы узлов приема и хранения серной кислоты и щелочи.

Из баков 77/1–2 насосами 78/1–3 кислые стоки подаются в нейтрализаторы 81/1–2 и 38.

Щелочные стоки, образующиеся при регенерации анионитовых фильтров из корпусов 188 и 189 поступают в бак сбора щелочных стоков 79. Из бака щелочные стоки насосами 80/1–2 подаются в нейтрализаторы 81/1–2 и 38.

Стоки от пробоотборных точек ионообменных фильтров, от опорожнения трубопроводов и аппаратов, узлов приема кислоты и щелочи фильтровального зала корпуса 188 собираются в два дренажных приемка 85/1–2, откуда насосами 84/1,3,4 подаются в нейтрализаторы 81/1–2.

Перемешивание всех поступающих стоков в нейтрализаторах 81/1–2 и 38 производится технологическим воздухом для более полного протекания реакции самонейтрализации. При смешивании кислых и щелочных стоков происходит частичная самонейтрализация по реакции:



При pH стоков в нейтрализаторах менее 6,0 туда подаются щелочные стоки, а при pH более 9,0 – кислые стоки. Для более полной нейтрализации стоков в нейтрализаторы 81/1–2 предусмотрена подача известкового молока насосом 25/4 с установки приготовления осветленной воды. В баке 38 производится только самонейтрализация стоков.

После получения нейтральных стоков при pH=6,0-9,0 они самотеком двумя потоками поступают в канализацию N 6 с минеральными загрязнениями.

1.2 Краткая характеристика технологического оборудования

Бак–нейтрализатор 38.

Вертикальный сварной аппарат; среда – кислые и щелочные стоки с pH=6,0-9,0; диаметр D = 10400 мм, высота H = 12000 мм, объем V = 1000 м³.

Баки–нейтрализаторы 81/1, 81/2.

Вертикальный сварной аппарат с коническим днищем; среда – кислые и щелочные стоки с pH=6,0-9,0; диаметр D = 12200 мм, высота H = 15400 мм, объем V = 900 м³.

Бак сбора щелочных стоков 79.

Вертикальный сварной аппарат с коническим днищем; среда – щелочные стоки; диаметр D = 9700 мм, высота H = 9222 мм, объем V = 400 м³.

Баки сбора кислых стоков 77/1, 77/2.

Вертикальный сварной аппарат с коническим днищем; среда – кислые стоки; диаметр D = 9700 мм, высота H = 9222 мм, объем V = 400 м³.

Насос подачи щелочных стоков 80/1, 80/2.

Центробежный насос марки X160/29-Д-Р; производительность F = 160 м³/час; давление рабочее P=0,37МПа; среда – щелочные стоки с pH=6,0-9,0.

Насос подачи щелочных стоков 78/1, 78/2, 78/3.

Центробежный насос марки X160/29-Д-П; производительность $F = 160$ м³/час; давление рабочее $P=0,37$ МПа; среда – кислые стоки с рН =6,0-9,0.

Насос подачи известкового молока 25.

Центробежный насос марки 2,5ПС-6; производительность $F = 34$ м³/час; давление рабочее $P=0,3$ МПа; среда – известковое молоко.

1.3 Необходимость автоматизированного контроля

«Автоматизация производства является существенным фактором научно–технического развития во всех отраслях промышленности.» [2]

«Значимой задачей автоматизации предприятий является создание автоматических систем управления технологическими процессами (АСУТП), характеризующимся высоким быстродействием, точностью и надежностью.» [2]

«Главным средством получения информации, поступающей в систему автоматического управления, служат измерительные приборы и информационно–измерительные системы.» [2]

«Качество функционирования системы автоматического управления в значительной мере зависит от метрологических качеств измерительных приборов, а также от статических и динамических свойств регулирующих и исполнительных устройств.» [2]

Так как качество функционирования системы автоматического управления зависит от метрологических качеств измерительных приборов, мной было решено заменить имеющиеся морально устаревшие датчики (рН–метр – 4122; уровнемер – Сапфир 22ДДвн; расходомер – Акрон–01; датчик давления Метран–150ДИ) и контроллеры (Базис 21ЦУ; Базис 35), на более функциональные и обновлённые.

Для более качественного контроля процесса были выбраны современные датчики–преобразователи:

– преобразователь Liquiline CM444 с электродом Orbisint CPS11D для измерения pH;

– радарный уровнемер Micropilot FMR62;

– расходомер электромагнитный Proline Promag P 300;

– датчик давления Cerabar-PMC71.

В качестве контроллера был выбран MD «Плюс» с цифровой системой автоматизации DeltaV.

1.4 Обоснование выбора регулируемых параметров и каналов внесения регулирующих воздействий

По типу технологического процесса установка нейтрализации стоков предприятия относится к химическому процессу.

Показателем эффективности процесса является – получение частично обессоленной воды с pH 6,0-9,0.

Цель управления процессом нейтрализации стоков предприятия – поддержание заданного значения pH частично обессоленной воды.

Главными возмущениями являются изменение pH щелочных и кислых стоков, поступающих в баки нейтрализаторы 81/1,81/2, 38 от анионитовых фильтров из корпусов 188 и 189.

Цель управления достигается прямым методом - регулируется значение pH в баках нейтрализаторах 81/1, 81/2 подачей известкового молока (контуры 2, 3).

Для достижения оптимального значения pH нейтральных стоков применяется система автоматического управления, состоящая из контуров регулирования pH кислых и щелочных стоков (контур 1, 2, 3); а так же контуров управления запорными клапанами (поз. 19, 20, 21, 22, 23, 24) установленные на трубопроводах кислых и щелочных стоков, которыми

дистанционно управляет оперативный персонал в зависимости от рН на выходе из баков–нейтрализаторов 81/1, 81/2, 38.

С целью ликвидации возможных переполнений баков–нейтрализаторов 81/1, 81/2, 38, измеряется и регулируется уровень (поз 4а, 5а, 6а).

1.5 Выбор контролируемых, сигнализируемых параметров и мероприятий по защите

«Контролю подлежат те параметры, по значениям которых осуществляется оперативное управление технологическим процессом нейтрализации, а также его пуск и остановка. К таким параметрам относятся все режимные и выходные параметры, а также входные параметры, при изменении которых в объект будут поступать возмущения.» [2]

К контролируемым параметрам относятся:

- рН в баке–нейтрализаторе 6,0-8,0 (поз.1а);
- рН в баке–нейтрализаторе 6,0-8,0 (поз.2а);
- рН в баке–нейтрализаторе 6,0-8,0 (поз.3а);
- уровень в баке–нейтрализаторе 20-80% (поз.4а);
- уровень в баке–нейтрализаторе 20-80% (поз.5а);
- уровень в баке–нейтрализаторе 20-80% (поз.6а);
- уровень в баке–нейтрализаторе 20-80% (поз.7а);
- уровень в баке–нейтрализаторе 20-80% (поз.8а);
- уровень в баке–нейтрализаторе 20-80% (поз.9а);
- расход в трубопроводе щелочных стоков 160 м³/час (поз. 10а);
- давление в линии нагнетания щелочных стоков 0,37МПа (поз.11а);
- давление в линии нагнетания щелочных стоков 0,37МПа (поз.12а);
- расход в трубопроводе щелочных стоков 160 м³/час (поз. 13а);
- давление в трубопроводе технологического воздуха 0,2МПа (поз.14а);
- давление на линии нагнетания известкового молока 0,3МПа (поз.15а);

- давление в линии нагнетания кислых стоков 0,37МПа (поз.16а);
- давление в линии нагнетания кислых стоков 0,37МПа (поз.17а);
- давление в линии нагнетания кислых стоков 0,37МПа (поз.18а).

«Сигнализации подлежит факт изменения количественных и качественных характеристик целевых продуктов, а также не предусмотренная технологическим регламентом остановка отдельных агрегатов.» [2]

К сигнализируемым параметрам относятся:

- рН в баке–нейтрализаторе 38, минимальное значение менее 6,0рН, максимальное более 8,0рН (поз.1а);
- рН в баке–нейтрализаторе 81/1, минимальное значение менее 6,0рН, максимальное более 8,0рН (поз.2а);
- рН в баке–нейтрализаторе 81/2, минимальное значение менее 6,0рН, максимальное более 8,0рН (поз.3а);
- уровень в баке–нейтрализаторе 38, минимальное значение менее 20%, максимальное более 80% (поз.4а);
- уровень в баке–нейтрализаторе 81/1, минимальное значение менее 20%, максимальное более 80% (поз.5а);
- уровень в баке–нейтрализаторе 81/2, минимальное значение менее 20%, максимальное более 80% (поз.6а);
- уровень в баке сбора кислых стоков 77/1, минимальное значение менее 20%, максимальное более 80% (поз.7а);
- уровень в баке сбора кислых стоков 77/2, минимальное значение менее 20%, максимальное более 80% (поз.8а);
- уровень в баке сбора щелочных стоков 79, минимальное значение менее 20%, максимальное более 80% (поз.9а);
- давление в линии нагнетания щелочных стоков после насоса 80/1, не менее 0,3МПа, не более 0,4МПа (поз.11а);
- давление в линии нагнетания щелочных стоков после насоса 80/2, не менее 0,3МПа, не более 0,4МПа (поз.12а);

- давление в трубопроводе технологического воздуха из блока осушки, не менее 0,1МПа, не более 0,3МПа (поз.14а);
- давление на линии нагнетания известкового молока после насоса 25/4, не менее 0,2МПа, не более 04МПа (поз.15а);
- давление в линии нагнетания кислых стоков после насоса 78/1, не менее 0,3МПа, не более 0,4МПа (поз.16а);
- давление в линии нагнетания кислых стоков после насоса 78/2, не менее 0,3МПа, не более 0,4МПа (поз.17а);
- давление в линии нагнетания кислых стоков после насоса 78/3, не менее 0,3МПа, не более 0,4МПа (поз.18а);
- положение запорных и регулирующих клапанов (поз.) «открыт», «закрыт».

Запорными клапанами (поз. 19, 20, 21, 22, 23, 24) установленными на трубопроводах кислых и щелочных стоков, дистанционно управляет оперативный персонал в зависимости от рН на выходе из баков-нейтрализаторов 81/1, 81/2, 38.

1.6 Описание выбранной системы автоматического управления

Цель управления процессом нейтрализации стоков предприятия – поддержание заданного значения рН частично обессоленной воды.

По функциональному назначению система автоматического управления (САУ) относится к системе автоматического регулирования (САР) и импульсного управления и состоит из контуров:

- контур 1 – регулирование рН в баке–нейтрализаторе 38, регулирующий клапан (поз. 1в) установлен на трубопроводе щелочных стоков;
- контур 2 – регулирование рН в баке–нейтрализаторе 81\1, регулирующий клапан (поз. 2в) установлен на трубопроводе известкового молока;

- контур 3 – регулирование рН в баке–нейтрализаторе 81/2, регулирующий клапан (поз. 3в) установлен на трубопроводе известкового молока;
- контур 4 – регулирование уровня в баке–нейтрализаторе 38, регулирующий клапан (поз. 4б) установлен на трубопроводе условно чистых вод;
- контур 5 – регулирование уровня в баке–нейтрализаторе 81/1, регулирующий клапан (поз. 5б) установлен на трубопроводе условно чистых вод;
- контур 6 – регулирование уровня в баке–нейтрализаторе 81/2, регулирующий клапан (поз. 6б) установлен на трубопроводе условно чистых вод;
- контур 7 – регулирование уровня в баке сбора кислых стоков 77/1, регулирующий клапан (поз. 7б) установлен на трубопроводе дренажа;
- контур 8 – регулирование уровня в баке сбора кислых стоков 77/2, регулирующий клапан (поз. 8б) установлен на трубопроводе дренажа;
- контур 9 – регулирование уровня в баке сбора щелочных стоков 79, регулирующий клапан (поз. 9б) установлен на трубопроводе дренажа;
- контур 19 – импульсное управление запорным клапаном (поз. 19а), установлен на трубопроводе кислых стоков на входе в бак–нейтрализатор 38;
- контур 20 – импульсное управление запорным клапаном (поз. 20а), установлен на трубопроводе кислых стоков;
- контур 21 – импульсное управление запорным клапаном (поз. 21а), установлен на трубопроводе кислых стоков на входе в бак–нейтрализатор 81/1;
- контур 22 – импульсное управление запорным клапаном (поз. 22а), установлен на трубопроводе кислых стоков на входе в бак–нейтрализатор 81/2;
- контур 23 – импульсное управление запорным клапаном (поз. 23а), установлен на трубопроводе щелочных стоков на входе в бак–нейтрализатор 81/1;

– контур 24 – импульсное управление запорным клапаном (поз. 24а), установлен на трубопроводе щелочных стоков на входе в бак–нейтрализатор 81/2;

Контур 1, 2, 3 являются стабилизирующей САУ;

Контур 4, 5, 6, 7, 8, 9 являются следящей САУ;

Контур 19, 20, 21, 22, 23, 24 являются импульсной системой управления.

По количеству контуров регулирования САУ является многоконтурной.

1.7 Выбор оборудования для автоматизации

1.7.1 Назначение и технические характеристики преобразователя давления Cerabar PMC71



Рисунок 1 – Преобразователя давления Cerabar PMC71

Цифровой преобразователь давления Cerabar PMC71 с керамической мембраной используется во всех отраслях промышленности для измерения давления, уровня, объема и массы в жидкостях. Датчик обеспечивает высокую степень безопасности благодаря мембране из сверхчистой керамики со встроенным обнаружением повреждений. Меню быстрой настройки с регулируемым диапазоном измерения обеспечивает простую пусконаладку, сокращает затраты и экономит время.

Область применения

Двухкамерный корпус из алюминия или нержавеющей стали (316L).

- Диапазон измерения: -1/0 мбар ... +40 бар
- Основная погрешность: $\pm 0.075\%$, Улучшенная "Платиновая" $\pm 0.05\%$
- Международные сертификаты взрывозащиты, защита от перелива WHG, SIL, гигиенические сертификаты, морские сертификаты

Преимущества

- Оптимально подходит для применений в вакууме и работы с коррозионными и абразивными средами
- Безопасность процесса благодаря обнаружению повреждения мембраны
- Устойчивость к перегрузкам и мембрана из сверхчистой керамики (99.9% Al_2O_3)
- Доступен с установленными вентильными блоками: всегда оптимальная совместимость, всегда протестирован на утечки.

Принцип измерения

Приборы с керамической разделительной диафрагмой (Ceraphire®).

На рисунке 2 изображён принцип измерения прибора с керамической разделительной диафрагмой (Ceraphire®).

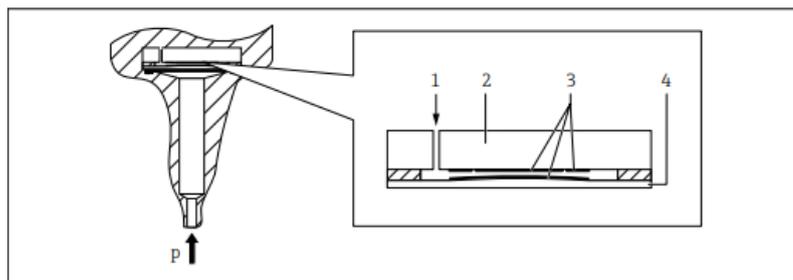


Рисунок 2 – Принцип измерения прибора с керамической разделительной диафрагмой (Ceraphire®). Где: 1 Давление воздуха (датчики относительного давления); 2 Керамический субстрат; 3 Электроды; 4 Керамическая мембрана.

В керамическом датчике нет масла, то есть рабочее давление, воздействуя непосредственно на прочную керамическую разделительную мембрану, прогибает ее.

Протокол связи

- 4...20 мА для связи по протоколу HART
- PROFIBUS PA

– Приборы Endress+Hauser соответствуют требованиям модели FISCO.

– Ввиду низкого потребления тока, составляющего $13 \text{ мА} \pm 1 \text{ мА}$, и при монтаже в соответствии с FISCO, к одному сегменту шины может быть подключено следующее число приборов: до 7 для областей применения Ex ia, CSA IS и FM IS; до 27 для всех остальных областей применения, таких как безопасные зоны, Ex nA и т.д. Дополнительная информация о PROFIBUS PA приведена в руководстве по эксплуатации BA00034S "PROFIBUS DP/PA: рекомендации по планированию и вводу в эксплуатацию" и в рекомендации PNO.

- FOUNDATION Fieldbus

– Приборы Endress+Hauser соответствуют требованиям модели FISCO.

– Ввиду низкого потребления тока, составляющего $15.5 \text{ мА} \pm 1 \text{ мА}$, и при монтаже в соответствии с FISCO, к одному сегменту шины может быть подключено следующее число приборов: до 6 для областей применения Ex ia, CSA IS и FM IS; до 24 для всех остальных областей применения, таких как безопасные зоны, Ex nA и т.д. Дополнительную информацию о FOUNDATION Fieldbus, например, требования к системным компонентам для шины, см. в руководстве по эксплуатации BA00013S, раздел "Обзор FOUNDATION Fieldbus".

Вход. Измеряемые переменные процесса:

- Абсолютное давление
- Избыточное давление

Выход. Выходной сигнал:

- 4...20 мА, наложенный цифровой сигнал связи по протоколу HART, 2-проводное подключение

- Цифровой сигнал связи PROFIBUS PA (профиль 3.0), 2-проводное подключение

- Кодирование сигнала: Manchester Bus Powered (MBP): Manchester II

- Скорость передачи: 31,25 кбит/с, режим напряжения

- Цифровой сигнал связи FOUNDATION Fieldbus, 2-проводное подключение

- Кодирование сигнала: Manchester Bus Powered (MBP): Manchester II

- Скорость передачи: 31,25 кбит/с, режим напряжения

Таблица 1 - Блоки преобразователя

Блок	Содержание	Выходные значения
Блок TRD1	Содержит все параметры, связанные с измерением	<ul style="list-style-type: none"> • Давление или уровень (канал 1) • Температура процесса (канал 2)
Сервисный блок	Содержит сервисную информацию	<ul style="list-style-type: none"> • Давление после выравнивания (канал 3) • Индикатор удержания пикового значения давления (канал 4) <ul style="list-style-type: none"> • Счетчик превышений максимального давления (канал 5)
Блок диагностики	Содержит диагностическую информацию	Код ошибки по каналам DI (каналы 0 ...16)
Блок дисплея	Содержит параметры настройки локального дисплея	Выходные сигналы отсутствуют

Таблица 2 - Функциональные блоки

Блок	Содержание	Количество блоков	Время выполнения		Функциональные возможности	
			Прибор версии 6	Прибор версии 7	Прибор версии 6	Прибор версии 7
Блок ресурсов	Этот блок содержит все данные, однозначно определяющие прибор; он является электронным эквивалентом заводской таблички прибора.	1			Расширенные	Расширенные

Продолжение таблицы 2

Блок аналогового входа 1 Блок аналогового входа 2	Функциональный блок аналогового входа получает данные измерений от блока датчиков (выбирается по номеру канала) и предоставляет эти данные другим функциональным блокам на выходе. Расширение: цифровые выходы для аварийных сигналов процесса, отказоустойчивый режим	2	45 мс	45 мс (без тренда и отчетов об аварийных сигналах)	Расширенные	Расширенные
Блок цифрового входа	В этом блоке содержатся дискретные данные блока диагностики (выбирается по номеру канала от 0 до 16), которые предоставляются другим блокам на выходе.	1	40	30	Стандартные	Расширенные
Блок цифрового выхода	Этот блок преобразует дискретный входной сигнал и инициирует по нему определенное действие (выбирается по номеру канала) в блоке измерения перепада давления и расхода или в сервисном блоке. Канал 1 сбрасывает счетчик превышений максимального давления.	1	60	40	Стандартные	Расширенные
Блок PID	Этот блок используется в качестве пропорционального интегрально-дифференциального контроллера и может применяться в замкнутой цепи управления для управления на месте эксплуатации. Он реализует каскадное управление и прямое управление. Вход "IN" может отображаться на экране. Выбор осуществляется в блоке дисплея (DISPLAY_MAIN_LINE_CONTENT).	1	120	70	Стандартные	Расширенные

Продолжение таблицы 2

<p>Блок коммутатора входа</p>	<p>Блок коммутатора входа позволяет выбирать до четырех входов и генерировать выходной сигнал в соответствии с настроенным действием. В нормальном режиме входные сигналы поступают на этот блок от блоков аналогового входа. Блок позволяет выполнять выборку сигнала по закону максимума, минимума, среднего значения и "первого годного" сигнала. На дисплее могут индцироваться входы с IN1 по IN4. Выбор осуществляется в блоке дисплея (DISPLAY_MAIN_LINE_CONTENT).</p>	<p>1</p>	<p>35</p>	<p>35</p>	<p>Стандартные</p>	<p>Расширенные</p>
<p>Арифметический блок</p>	<p>В этом блоке реализуются несложные математические функции, часто используемые при измерениях. От пользователя не требуется умение записывать уравнения. Математический алгоритм выбирается пользователем по названию, в соответствии с выполняемой функцией.</p>	<p>1</p>	<p>50</p>	<p>40</p>	<p>Стандартные</p>	<p>Расширенные</p>
<p>Блок характеристики сигнала</p>	<p>Блок характеризатора сигнала содержит две секции, каждая из которых выдает выходной сигнал в виде нелинейной функции соответствующего входного сигнала. Нелинейная функция определяется по единой таблице соответствия, содержащей 21 пару произвольных значений "x-y".</p>	<p>1</p>	<p>30</p>	<p>40</p>	<p>Стандартные</p>	<p>Расширенные</p>

Продолжение таблицы 2

Блок интегратора	Блок интегрирует переменную как функцию от времени или суммирует число импульсов от блока импульсного входа. Блок можно использовать в качестве сумматора, суммирующего значения до сброса, либо пакетного сумматора с контрольной точкой, в котором интегрируемое значение сравнивается с целевым значением, созданным до или в ходе процедуры управления, и при достижении целевого значения генерируется двоичный сигнал.	1	35	40	Стандартные	Расширенные
Блок аналогового аварийного сигнала	В этом блоке хранятся все события подачи аварийных сигналов (работает в режиме компаратора), которые передаются на его выход.	1	35	35	Стандартные	Расширенные

Общее руководство по монтажу.

- Коррекцию зависящего от положения смещения нулевой точки можно выполнить непосредственно на приборе с помощью клавиш управления; ее также можно выполнять во взрывоопасных зонах в случае приборов с внешним управлением.

Наличие разделительной диафрагмы также может обусловить смещение нулевой точки, в зависимости от места установки..→ 118

- Корпус преобразователя может поворачиваться на 380°.
- В Endress+Hauser можно заказать монтажный кронштейн для монтажа прибора на трубе или стене .→ 45
- Если в месте присоединения разделительной диафрагмы возможно образование отложений или закупорка, то при установке разделительных диафрагм фланцев и ячеек следует использовать промывочные кольца.

Промывочное кольцо можно разместить между подключением к процессу и разделительной диафрагмой. Отложения материала перед мембраной можно смывать через два боковых промывочных отверстия; эти же отверстия используются для вентиляции камеры высокого давления.

- При выполнении измерений в средах с содержанием твердых веществ, например в загрязненных жидкостях, для сбора и удаления осадка следует установить сепараторы и спускные вентили.

- Кабель и разъем по возможности следует ориентировать вниз, чтобы предотвратить попадание влаги (например, от дождя или в результате конденсации).

Монтажная позиция для приборов без разделительных диафрагм – РМС71.

Преобразователи Cerabar S без разделительных диафрагм устанавливаются согласно нормам для манометра (DIN EN 837-2).

Рекомендуется использовать отсечные вентили и сифоны.

Ориентация зависит от поставленной задачи измерения.

Измерение давления газа

Прибор Cerabar S с отсечным клапаном следует устанавливать над отводом – за счет этого любой образующийся конденсат возвращается в процесс.

Измерение давления паров

При измерении давления в парах следует применять сифоны. Сифон позволяет понизить температуру почти до температуры окружающей среды. Перед вводом в эксплуатацию сифон необходимо наполнить жидкостью. Прибор Cerabar S с сифоном рекомендуется устанавливать под отводом.

Преимущества:

- неизменная высота водяного столба оказывает пренебрежимо малое влияние на результаты измерений;

- термическое воздействие на прибор также является пренебрежимо малым.

Также допускается монтаж приборы выше отвода. Учитывайте максимально допустимую температуру окружающей среды для преобразователя.

Измерение давления жидкости

Прибор Cerabar S с отсечным клапаном устанавливается на уровне точки отвода либо ниже ее.

Измерение уровня

- Прибор Cerabar S следует устанавливать ниже наиболее низкой точки измерения.

- Не следует устанавливать прибор в следующих местах: в зоне потока загружаемой среды, на выпускном отверстии резервуара или в точке резервуара, на которую могут воздействовать импульсы давления мешалки или насоса.

- Для упрощения калибровки и функционального тестирования прибор следует устанавливать за отсечным клапаном.

Монтажные позиции

Некоторые варианты ориентации могут привести к смещению нулевой точки, см.

Это смещение нулевой точки, зависящее от положения, можно откорректировать непосредственно на приборе при помощи рабочей кнопки, в том числе, в опасных зонах в случае использования приборов с внешним управлением (регулировка положения).

Принцип управления

Структура меню, удобная для оператора и оптимизированная для выполнения пользовательских задач:

- Ввод в эксплуатацию
- Эксплуатация

- Диагностика

Быстрый и безопасный ввод в эксплуатацию

Отдельные меню для каждой области применения с пояснениями

Надежная работа:

- Локальное управление на нескольких языках

• Стандартное управление непосредственно на приборе и с помощью управляющего ПО

• Параметры, связанные со значениями измеряемых величин, можно заблокировать/разблокировать, используя переключатель защиты от записи, программное обеспечение прибора или дистанционное управление

Эффективная диагностика для расширения возможностей измерения:

- Текстовые сообщения с рекомендациями по устранению проблем

- Разнообразные возможности моделирования

Эксплуатация прибора с использованием локального дисплея (опционально)

4-строчный жидкокристаллический (ЖК) дисплей используется для отображения информации и для управления прибором. На локальном дисплее отображаются измеренные значения, диалоговые тексты и сообщения о неисправностях, а также уведомления в текстовом формате, помогающие пользователю на каждом этапе эксплуатации.

Для упрощения работы дисплей можно снять.

Дисплей прибора можно поворачивать в любое положение с шагом 90°.

В зависимости от монтажного положения прибора это может облегчить управление и считывание измеряемого значения.

Функции:

- Экран индикации 8-значного измеренного значения, включая знак и десятичную точку, гистограмма для:

– текущей индикации HART 4...20 мА

– графическое представление стандартизированного значения блока аналогового входа с помощью PROFIBUS PA

– Графическое представление выходных данных преобразователя с помощью FOUNDATION Fieldbus.

- Простое, но подробное руководство по функциям меню с разделением параметров на несколько уровней и групп

- Меню на 8 языках

- Для упрощения навигации каждому параметру присвоен 3-разрядный идентификационный номер.

- Возможность настройки индикации дисплея в соответствии с конкретными требованиями, например, выбор языка, чередование индикации, индикация различных значений измеряемой величины, например, температуры датчика, настройка контрастности.

- Развитые диагностические функции (отображение сообщений о неисправностях, предупреждающих сообщений, индикаторов удержания пикового значения и пр.).

- Быстрый и безопасный ввод в эксплуатацию с помощью меню быстрой настройки.

1.7.2 Техническое описание радарного уровнемера Micropilot FMR62



Рисунок 3 – Радарный уровнемер Micropilot FMR62

Область применения:

- Непрерывное бесконтактное измерение уровня жидкостей, паст и эмульсий;
- Встроенная антенна из РЕЕК или антенна с покрытием из PTFE, устанавливаемая заподлицо;
- Максимальный диапазон измерений: 80 м (262 фут);
- Температура: -40 до +200 °C (-40 до +392 °F);
- Давление: -1 до +25 бар (-14,5 до +362,6 фунт/кв. дюйм);
- Погрешность: ± 1 мм (0,04 дюйм);
- Протокол линеаризации (по 3 точкам, по 5 точкам);

Преимущества:

- Надежные измерения благодаря улучшенной фокусировке луча с меньшим углом расхождения, особенно в резервуарах со множеством внутренней арматуры;
- Компактная конструкция позволяет устанавливать прибор в небольшие емкости и с использованием малых присоединений к процессу;
- Безопасность как принцип – наивысший уровень безопасности;
- Простой пошаговый ввод в эксплуатацию с удобным пользовательским интерфейсом;
- Максимальная надежность благодаря отслеживанию и анализу нескольких эхо-сигналов;
- Все настройки сохраняются в модуле памяти HistoROM, что облегчает ввод в эксплуатацию, техобслуживание и диагностику;
- SIL2 согласно IEC 61508, SIL3 для одно - или разнородного дублирования;
- Простота функциональных тестов на соответствие SIL и WHG;
- Метка RFID – простая идентификация точек измерения для повышения доступности данных;

- Технология Heartbeat.

Принцип измерения

Прибор Micropilot представляет собой бесконтактный радарный уровнемер с частотно-модулированным непрерывным излучением (FMCW). Антенна излучает электромагнитную волну с постоянно меняющейся частотой. Эта волна отражается от продукта и принимается той же антенной.

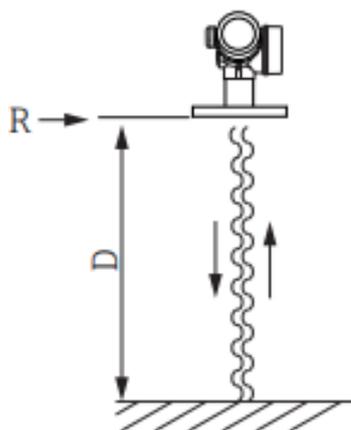


Рисунок 4 – Принцип FMCW: излучение и отражение непрерывной волны

R – Контрольная точка измерения

D – Расстояние между контрольной точкой и поверхностью продукта.

Как следствие, в любой момент времени разность частот излучаемого и принимаемого сигналов выражается как:

$$\Delta f = k \Delta t \quad (2)$$

где Δt – время пробега, k – заданное увеличение при частотной модуляции.

Δt определяется расстоянием D между контрольной точкой R и поверхностью продукта:

$$D = (c \Delta t) / 2 \quad (3)$$

где c – скорость распространения волны.

Таким образом, величина D может быть рассчитана на основе измеренной разности частот Δf .

На основе полученного значения D определяется количество содержащего в резервуаре или силосе.

Входные данные

Измеряемая величина

Измеряемая величина соответствует расстоянию между контрольной точкой и поверхностью продукта. Уровень рассчитывается на основе введенного известного расстояния "E", соответствующего пустому резервуару. Дополнительно можно преобразовывать уровень в другие величины (объем, массу) путем линеаризации (32 пары значений).

Диапазон измерений

Таблица 3 – Максимальный диапазон измерений

Прибор	Антенна	Максимальный диапазон измерений
FMR62	GE: Встроенная, PEEK, 20 мм / 3/4"	10 м (32,8 фут)
	GF: Встроенная, PEEK, 40 мм / 1-1/2"	22 м (72 фут)
	GM: С покрытием из PTFE, монтаж заподлицо, 50 мм / 2"	50 м (164 фут)
	GN: С покрытием из PTFE, монтаж заподлицо, 80 мм / 3"	80 м (262 фут)

Доступный диапазон измерений

Доступный диапазон измерений зависит от размера антенны, отражающих свойств среды, монтажной позиции и любых возможных паразитных отражений.

Рабочая частота Прибл. 80 ГГц В одном резервуаре можно устанавливать несколько приборов FMR6x благодаря малой длительности измерения и узкой фокусировке луча.

Мощность передачи

- Пиковая мощность: 6,3 мВт;
- Средняя выходная мощность: 63 мкВт.

Выход

Таблица 4 – Выходной сигнал HART

Кодирование сигнала	Frequency Shift Keying $\pm 0,5$ мА поверх токового сигнала
Скорость передачи данных	1200 Bit/s
Гальваническая изоляция	да

Условия установки

Монтажная позиция

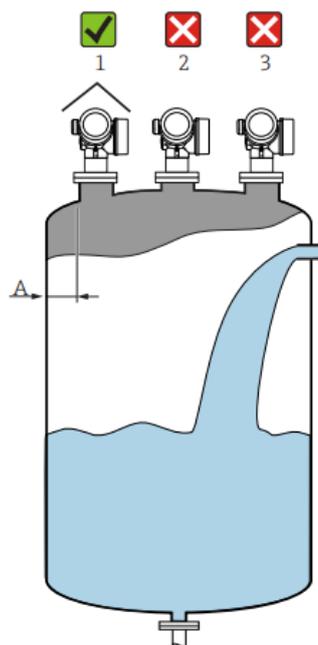


Рисунок 5 – Монтажная позиция.

- Рекомендуемое расстояние А стена – внешний край патрубка: $\sim 1/6$ диаметра резервуара. Однако ни при каких обстоятельствах прибор не должен устанавливаться на расстоянии меньше 15 см (5,91 дюйм) от стенки резервуара;
- Не устанавливайте устройство в центре (2): помехи могут заглушить сигнал;
- Не устанавливайте над потоком загружаемого продукта (3);
- Рекомендуется прикрывать прибор козырьком (1) для защиты от прямых солнечных лучей или осадков.

Внутренние устройства резервуара

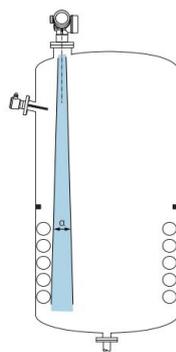


Рисунок 6 – Внутренние устройства резервуара

Избегайте установки внутренних устройств (датчиков предельного уровня, датчиков температуры, опорных деталей, вакуумных колец, теплообменников, перегородок и т. п.) в зоне действия сигнального луча. Учитывайте угол расхождения луча.

Избегайте эхо-помех

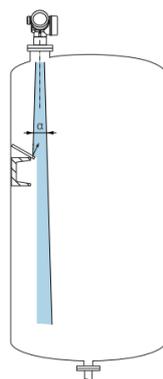


Рисунок 7 – Металлические отражатели для рассеивания сигнального луча.

Установленные под углом металлические отражатели для рассеивания сигнального луча помогают предотвратить эхо-помехи. Варианты оптимизации:

- Размеры антенны. Чем больше антенна, тем меньше угол расхождения луча α и слабее эхо-помехи;
- Сканирование помех Процесс измерения можно оптимизировать путем электронного подавления эхо-помех.

Угол расхождения луча

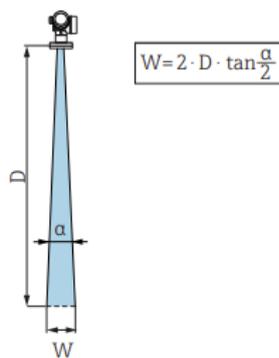


Рисунок 8 - Взаимосвязь между углом расхождения луча α , расстоянием D и диаметром луча W

Угол расхождения луча определяется зоной α , в которой плотность энергии радиоволн составляет половину максимальной плотности энергии (ширина 3 дБ). Микроволны распространяются также за пределами сигнального луча, и могут отражаться от предметов, находящихся в зоне их распространения.

Монтаж: встроенная антенна

Выравнивание оси конуса радиолуча антенны Выравнивание оси конуса радиолуча антенны не требуется, так как из-за малого угла расхождения луча эффект поляризации пренебрежимо мал.

Принцип управления

Структура меню, удобная для оператора и оптимизированная для выполнения пользовательских задач:

- Ввод в эксплуатацию
- Эксплуатация
- Диагностика
- Уровень эксперта

Быстрый и безопасный ввод в эксплуатацию

- Интерактивный мастер с графическим интерфейсом для простого ввода в эксплуатацию посредством FieldCare/DeviceCare

- Управление посредством меню с краткими пояснениями относительно назначения отдельных параметров

- Стандартное управление непосредственно на приборе и с помощью управляющего ПО

Встроенное устройство хранения данных (HistoROM)

- Обеспечивает перенос конфигурации при замене электронных модулей
- Запись до 100 сообщений о событиях в приборе
- Запись до 1000 измеренных значений в приборе
- Сохранение кривой сигнала при вводе в эксплуатацию для последующего использования в качестве эталона.

Эффективная диагностика для повышения надежности измерения

- Встроенные текстовые сообщения с рекомендациями по устранению проблем

- Множество возможностей моделирования и функции линейной записи

Дистанционное управление По протоколу HART

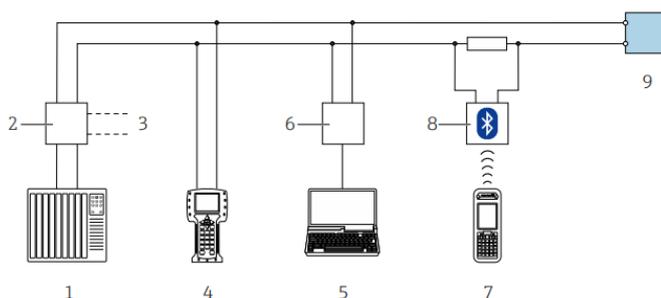


Рисунок 9 – Варианты дистанционного управления по протоколу HART

1. PLC (ПЛК, программируемый логический контроллер);
2. Блок питания преобразователя, например RN221N (с резистором связи);
3. Подключение к Commubox FXA191, FXA195 и Field Communicator 375, 475;
4. Field Communicator 475;
5. Компьютер с управляющей программой (например, FieldCare, AMS Device Manager, SIMATIC PDM);
6. Commubox FXA191 (RS232) или FXA195 (USB);
7. Field Xpert SFX350/SFX370;
8. Bluetooth-модем VIATOR с соединительным кабелем;
9. Преобразователь.

1.7.3 Техническое описание электромагнитного расходомера Proline Promag P300



Рисунок 10 – Электромагнитный расходомер Proline Promag P300

Область применения

- Принцип работы не зависит от давления, плотности, температуры и вязкости продукта;
- Используется в химических и технологических процессах с коррозионными жидкостями и при высоких рабочих температурах.

Характеристики прибора

- Макс. номинальный диаметр DN 600 (24");
- В наличии все необходимые сертификаты по взрывозащищенному исполнению;
- Футеровка из PTFE или PFA;
- Компактный корпус с двумя отсеками, до 3 сигналов ввода/вывода;
- Сенсорный экран с подсветкой и доступом WLAN;
- Выносной дисплей.

Преимущества

- Отсутствие потребности в техническом обслуживании ввиду отсутствия подвижных частей;
- Полный доступ к информации о процессе и диагностике – числовые данные, свободно совмещаемые устройства ввода-вывода и цифровые шины;
- Упрощенная система и разнообразие – свободно конфигурируемая функциональность ввода-вывода;

Принцип измерения

Согласно закону электромагнитной индукции Фарадея, в проводнике, движущемся в магнитном поле, возникает индукционный ток.

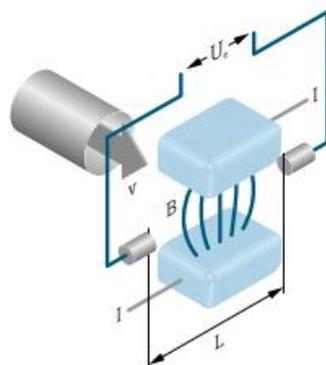


Рисунок 11 – Принцип измерения электромагнитного расходомера

U_e – Индуцированное напряжение

B – Магнитная индукция (магнитное поле)

L – Расстояние между электродами

I – Ток

v – Скорость потока

Монтаж

Специальные приспособления, например опоры, не требуются. Внешние воздействия поглощаются конструкцией прибора.

Место монтажа

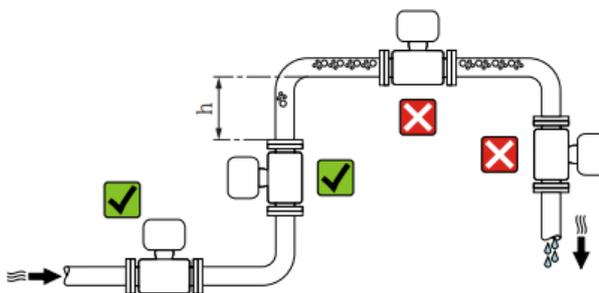


Рисунок 12 – Место монтажа

Предпочтительна установка сенсора в восходящей трубе. Убедитесь, что до следующего изгиба трубы соблюдается достаточное расстояние:

$$h \geq 2 \times DN$$

Скапливание пузырьков газа в измерительной трубе может привести к увеличению погрешности измерения. Поэтому не допускается монтаж расходомера в следующих точках трубопровода:

- В самой высокой точке трубопровода.
- Непосредственно перед свободным сливом из спускной трубы.

Монтаж в спускных трубах

В спускных трубах, длина которых $h \geq 5$ м (16,4 фут), после сенсора следует установить сифон или выпускной клапан. Эта мера позволяет предотвратить снижение давления и, соответственно, опасность повреждения измерительной трубы. Кроме того, эта мера предотвращает потерю силы нагнетания жидкости.

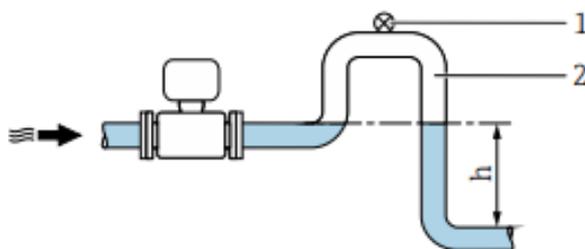


Рисунок 13 – Монтаж в спускных трубах

1. Выпускной клапан;

2. Сифон;

h – Длина спускной трубы.

Монтаж в частично заполненных трубах

Для частично заполненных труб с уклоном требуется конфигурация дренажного типа. Дополнительная защита обеспечивается функцией контроля заполнения трубы (EPD), с помощью которой выявляются пустые или частично заполненные трубы.

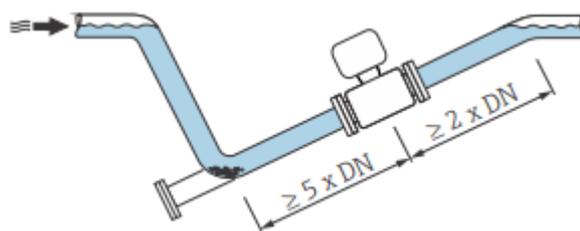


Рисунок 14 – Монтаж в частично заполненных трубах

Принцип управления

Принцип управления структурой меню, ориентированного на оператора для выполнения пользовательских задач:

- Ввод в эксплуатацию;
- Эксплуатация;
- Диагностика;
- Уровень эксперта.

Быстрый и безопасный ввод в эксплуатацию:

- Интуитивное меню для настройки прибора в соответствии с областью применения (с помощью мастера быстрой настройки);
- Управление посредством меню с краткими пояснениями относительно назначения отдельных параметров;
- Доступ посредством веб-сервера;
- Опция: доступ к прибору с помощью ручного программатора посредством WLAN.

Надежная работа

- Управление на местном языке;
- Универсальный принцип управления на приборе и в управляющих программах;
- При замене электронных модулей настройки прибора сохраняются на встроенном устройстве памяти (HistoROM), которое содержит данные процесса и измерительного прибора, а также журнал событий. Повторная настройка не требуется.

1.7.4 Техническое описание многопараметрического преобразователя Liquiline CM444



Рисунок 15 – Многопараметрического преобразователя Liquiline CM444

Многопараметрический преобразователь с возможностью использования до восьми каналов измерения на основе цифровой технологии Memosens.

Область применения

- Водоснабжение и водоотведение;
- Электростанции;
- Химическая промышленность;
- Другие области применения в промышленности.

Преимущества

- Высокая гибкость:
 - поддерживается подключение до 8 датчиков Memosens;
 - Расчет новых измеренных значений с помощью математических функций;
 - Цифровые шины (HART, PROFIBUS, Modbus, Ethernet/IP) и интегрированный веб-сервер;
 - По выбору: функция очистки, контроллер, сигнальное реле;
 - Опция: цифровые или аналоговые входы/выходы.
- Высочайшая безопасность процесса благодаря стандартизированному принципу эксплуатации для всех приборов платформы Liquiline, пробоотборников и анализаторов.
- Быстрый ввод в эксплуатацию:

- Memosens: датчики, откалиброванные в лабораторных условиях, подключение в процессе работы;
- Предварительно настроенный преобразователь Liquiline;
- Простое расширение и адаптация.
- Минимальный резерв запчастей:
 - Модульный принцип для нескольких платформ (использование идентичных модулей независимо от параметров);
 - Интеграция с Fieldcare и W@M упрощает эффективное обслуживание приборов.

Измерительная система

В обзоре приведены примеры измерительных систем. Для заказа доступны другие датчики и типы арматуры, предназначенные для особых условий конкретных областей применения.

Точка измерения

Полная измерительная система включает в себя следующие компоненты:

- Преобразователь Liquiline;
- Датчики с поддержкой технологии Memosens;
- Арматура для используемых датчиков;
- Узел монтажа на трубу или рейку (опция);
- Защитный козырек от атмосферных явлений (опция).

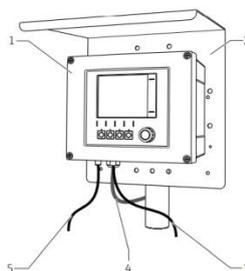


Рисунок 16 – Измерительная система (например, двухканальный прибор)

1. Liquiline;

2. Защитный козырек от атмосферных явлений СУУ101 (опция);

3, 5. Кабель передачи данных СУК10 или фиксированный кабель;

4. Кабель питания (предоставляется заказчиком).

Значение pH

Измерение pH в питьевой воде:

- Выдвижная арматура Cleanfit CPA871;
- Датчик Orbisint CPS11D;
- Измерительный кабель СУК10.

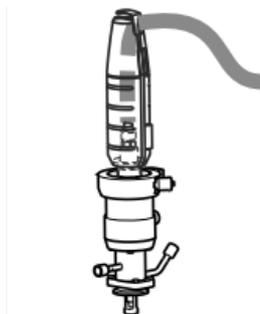


Рисунок 17 – Измерение pH

Вход

Измеряемые величины

→ Документация подключенного датчика

Диапазоны измерений;

→ Документация подключенного датчика.

Типы входов

- Цифровые входы с датчиков для подключения датчиков с технологией

Memosens;

- Аналоговые токовые входы (опция);
- Цифровые входы (опция).

Выход

Входной сигнал В зависимости от исполнения:

- До 8 двоичных сигналов датчиков;
- 2 сигнала 0/4 ... 20 мА (опция), пассивные, потенциально развязанные друг с другом и со входами датчиков;
- от 0 до 30 В.

Управление

Графический дисплей:

- Разрешение: 240 x 160 пикселей;
- Подсветка с функцией выключения;
- Красный фон дисплея как предупреждение об ошибках;
- Технология прозрачно-отражающего дисплея обеспечивает максимальную контрастность даже в условиях повышенной яркости;
- Определяемые пользователем меню параметров измерения позволяют постоянно отслеживать значения, важные для области применения.

Принцип управления

Новый, простой и структурированный принцип эксплуатации:

- Интуитивное управление посредством навигационных и программных кнопок;
- Быстрое конфигурирование опций измерения в соответствии с областью применения;
- Простая настройка и диагностика с помощью текстового дисплея;
- Все доступные языки интерфейса поставляются с каждым прибором.

1.7.5 Техническое описание электрода для определения pH Orbisint CPS11D



Рисунок 18 – Электроды с аналоговой и цифровой технологией Memosens для определения pH

Для стандартных областей применения в технологических процессах и средах с использованием грязеотталкивающей тефлоновой (PTFE) диафрагмой и дополнительного встроенного датчика температуры.

Применение

- Долгосрочный мониторинг или контроль предельного уровня в процессах при стабильных условиях:

- Химическая промышленность: сильные кислоты/щелочи, полимеры;

- Электростанции (например, мокрые скрубберы), нефтегазовая промышленность;

- Мусоросжигательные заводы.

- Очистка воды:

- Котловая и охлаждающая вода;

- Питьевая вода;

- Промышленные и муниципальные очистные сооружения.

С сертификацией ATEX, FM и CSA для применения во взрывоопасных зонах.

Преимущества

- Применение при давлении до 17 бар абс. (246psi);

- Использование технологического стекла в щелочных средах высокой концентрации (исполнения VA и VT);

- Использование технологического стекла в среде, содержащей фтористоводородную кислоту (исполнение FA);

- Солевое кольцо для применений с низким диапазоном проводимости (исполнение AS);

- Встроенный датчик температуры NTC30K (Memosens) для эффективной температурной компенсации; Pt100 или Pt1000 для аналоговых датчиков;

- Электролит, устойчивый к ядовитым веществам, с ионной ловушкой (опционально).

Дополнительные преимущества технологии Memosens:

- Максимальная безопасность процесса;
- Защита данных благодаря применению цифровой передачи данных;
- Чрезвычайная простота использования за счет хранения специфичных для датчика данных в самом датчике;

• Запись данных нагрузки датчика в самом датчике позволяет проводить профилактическое техобслуживание с помощью Memobase Plus CYZ71D.

Принцип измерения Измерение pH

Значение pH используется в качестве единицы измерения кислой или щелочной реакции жидкой среды. В зависимости от значения pH среды стеклянная мембрана электрода создает тот или иной электрохимический потенциал. Этот потенциал генерируется благодаря избирательной проницаемости наружного слоя мембраны для ионов H^+ . При этом образуется электрохимический пограничный слой с электрическим потенциалом.

Преобразователь пересчитывает измеренное напряжение в соответствующее значение pH по уравнению Нернста.

Измерительная система В состав измерительной системы входят, как минимум, следующие компоненты:

- Датчик pH CPS11D или CPS11;
- Преобразователь, например, Liquiline CM42, CM44x, Mecom S CPM153, Liquisys M CPM2x3;
- Кабель данных Memosens CYK10 (для датчиков Memosens) или кабель СРК9 (для аналоговых датчиков);
- Погружная, проточная или выдвижная арматура, например, Cleanfit CPA871.

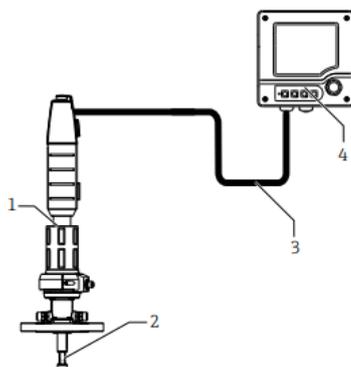


Рисунок 19 – Пример измерительной системы для измерения pH

1. Выдвижная арматура Cleanfit CPA871;
2. Датчик pH CPS11D;
3. Кабель данных Memosens CYK10;
4. Двухпроводный преобразователь Liquiline M CM42 для взрывоопасной зоны.

Надежность Простое управление

В датчики с технологией Memosens встроены электронные компоненты, позволяющие сохранять данные калибровки и другую информацию, такую как общее время работы и время работы в экстремальных условиях измерения. При подключении датчика его данные автоматически передаются в преобразователь и используются при вычислении текущего измеренного значения. Благодаря тому, что данные калибровки хранятся в датчике, датчик можно калибровать и подстраивать независимо от точки измерения. Результаты:

- Удобство калибровки в измерительной лаборатории в оптимальных условиях окружающей среды позволяет повысить качество калибровки;
- Заранее откалиброванные датчики легко и быстро заменяются, за счет чего значительно возрастает стабильность работы точки измерения;
- Интервалы обслуживания могут определяться на основе всех сохраненных данных о нагрузке и калибровке датчиков; обеспечивается возможность профилактического технического обслуживания;
- Возможность сохранения истории датчика с использованием внешних носителей данных и программ оценки, например MemobasePlus CYZ71D. Это

позволяет выбирать текущую область применения датчиков в зависимости от их исторических данных.

Целостность

Безопасность данных благодаря передаче цифрового сигнала. Технология Memosens обеспечивает перевод измеренных значений в цифровую форму непосредственно в датчике и их передачу в преобразователь через бесконтактное соединение способом, исключающим потенциальные помехи.

Результаты:

- при отказе датчика или разрыве соединения между датчиком и преобразователем автоматически выдается сообщение об ошибке;
- немедленное обнаружение ошибок повышает стабильность работы точки измерения.

Обеспечение безопасности

Максимальная безопасность процесса

Благодаря индуктивной передаче измеренных значений через бесконтактное соединение технология Memosens гарантирует максимальную безопасность процесса и обеспечивает следующие преимущества:

- Исключение всех проблем, связанных с влиянием влаги:
 - Предотвращение коррозии в разъемных соединениях;
 - Предотвращение искажения измеренных значений из-за воздействия влаги;
 - Соединение с возможностью подключения даже под водой.
- Преобразователь гальванически отделен от измеряемой среды. "Симметричное высокоимпедансное" или "асимметричное" подключение, преобразователь импеданса – все это в прошлом;
- За счет цифровой передачи измеренных значений обеспечивается безопасность с точки зрения ЭМС;
- Искробезопасные электронные компоненты гарантируют бесперебойную эксплуатацию во взрывоопасных зонах.

1.8 Выбор сетевого оборудования

1.8.1 Измерительно-управляющая система Delta V

Назначение и область применения

«Система Delta V, созданная фирмой Fisher-Rosemount- это измерительно-управляющая система, предназначение которой заключается в том, чтобы обеспечить автоматизацию технологических процессов на основании измерительной информации, включая сбор и обработку первичной информации (от датчиков, преобразователей и т.п.) о параметрах технологических процессов, хранение, преобразование и передачу информации на более высокие уровни управления, вычисление показателей характеризующих процесс, формирование команд и управляющих воздействий, а также сигналов аварийной защиты». [9]

Область применения системы: химическая, нефтехимическая, нефтеперерабатывающая, агрохимическая, энергетическая, металлургическая, газовая промышленности, промышленность по транспортировке и переработке газа, нефти и нефтепродуктов, целлюлозно-бумажная промышленность и др.

Система может применяться в технологических целях и целях коммерческого учета.

Описание

Система Delta V состоит из:

- контроллеров и модулей аналогового ввода или вывода (I/O), обеспечивающих контроль и обработку данных процесса;
- коммуникационной сети (Communications Network), обеспечивающей связь между узлами системы;
- рабочих станций (Workstations), обеспечивающих графическое представление результатов измерений и управления процессом.

Система Delta V позволяет реализовать преимущества полевой шины Fieldbus (FF), в частности, пользователь может конфигурировать управление на уровне полевых приборов, программировать прибор так, чтобы он функционировал при потере требуемого входного значения.

Общие характеристики системы:

Конфигурация:	Сетевая
Протоколы Связи:	TCP/IP
Скорость передачи данных по магистрали PeerWay:	10 Мбит/с
Температура окружающей среды	0-60 гр.С
Допустимая вибрация	0-5 g при 16-150 Гц
Количество модулей ввода/вывода на плате контроллера	8
Количество сигналов на 1 модуль ввода или вывода	8

Модули Аналогового Ввода:

Типы Входных сигналов:	4-20ма, 1-5В, HART, FIEDBUS
Время сканирования входных сигналов:	не более 30 мс
Разрядность АЦП:	16 бит
Предел допускаемой приведенной погрешности преобразования АЦП:	0,1%

Модули Аналогового Вывода:

Типы Входных сигналов:	4-20ма, HART, FIELDBUS
Время сканирования входных сигналов:	не более 30 мс
Разрядность АЦ П:	12 бит
Предел допускаемой приведенной погрешности преобразования ЦАП:	0,25%

Модули Дискретного Ввода/вывода

Типы сигналов	=24 В, ~120 В, ~230 В (сухой контакт или с питанием,
---------------	---

Система DeltaV поддерживает цифровые приборы с протоколом HART и пр., позволяя конфигурировать приборы, калибровать, диагностировать и вести полную базу данных по приборному парку КИП и А.

Все системы и распределённая система управления (PCU), и противоаварийная защита (ПАЗ) используют резервированные блоки питания производства Phoenix Contact, полностью резервированное оборудование и кабели сети управления DeltaV, PCU и ПАЗ используют отдельные блоки питания.

Входные цепи PCU и ПАЗ разделены в кроссовой секции для обеспечения подключения выделенных магистральных кабелей системы противоаварийной защиты (СПАЗ). Все цепи ПАЗ имеют соответствующую предупредительную маркировку.

В составе системы управления предусмотрены внешние барьеры искрозащиты.

Все контроллеры и рабочие станции связаны между собой дублированной коммуникационной сетью на базе Ethernet TCP/IP.

Организация работы резервированных контроллеров осуществляется по схеме “Горячее резервирование”. Оба контроллера из резервированной пары устанавливаются на общую панель, исключая проводные соединения между ними, перемычки и прочие аксессуары. Реализация работы резервированной пары и переключения между контроллерами осуществляется на аппаратном уровне. Контроллер, находящийся в режиме ожидания содержит ту же конфигурацию, что и активный и отслеживает его работу. При обнаружении отказа активного контроллера, ожидающий модуль переводит управление на себя, обеспечивая безударное продолжение выполнения алгоритмов управления процессом без вмешательства персонала. При

возвращении отказавшего контроллера в рабочее состояние оба контроллера снова становятся резервированной парой.

В состав комплекса технических средств (КТС) также включены резервированные источники питания 220В/12В для контроллеров, а также резервированные источники питания 220В/24В для питания токовых цепей приборов, сухих контактов и искробезопасных барьеров.

Для управления технологическими процессами объектов предусмотрены станции оператора и станция инженера- оператора.

Система управления данными DeltaV основана на программном обеспечении Emerson, имеющем все необходимые лицензии.

Система DeltaV может обмениваться данными с заводской вычислительной сетью Ethernet по протоколу TCP/IP.

Для питания КТС АСУТП в составе комплекса предусмотрены источники бесперебойного питания (ИБП) с дополнительными батареями с временем удержания 48 мин. ИБП имеют резервирование по схеме n+1.

Сигнализация.

Предусмотрены следующие виды сигнализации:

- аварийная и предупредительная сигнализации нарушения технологических параметров;

- сигнализация положения отсечных клапанов;

- сигнализация наличия до взрывных концентраций.

ПО контроллера MD Плюс реализует следующие функции:

- опрос и обработку входных аналоговых и дискретных сигналов от модулей ввода/вывода;

- выдачу управляющих воздействий на аналоговые и дискретные исполнительные механизмы;

- обмен информацией с интеллектуальными полевыми приборами на основе Hart протокола;

- анализ входных данных, формирование сигналов нарушений технологического регламента и аварийных ситуаций;
- формирование расчетных параметров;
- выполнение различных законов регулирования.

Система DeltaV состоит из модулей, что позволяет управлять системной информацией, как модульными компонентами. Каждый модуль имеет свое уникальное название (ТЭГ) и специфические характеристики и может быть загружен в контроллер или модифицирован независимо от других компонентов системы.

Каждый модуль автоматически распознается и доступен со своими параметрами всем приложениям DeltaV по имени ТЭГа.

1.9 SCADA–система Trace Mode

«SCADA TRACE MODE ® - это высокотехнологичная российская программная система для автоматизации технологических процессов (АСУ ТП), диспетчеризации, телемеханики, учета ресурсов (АСКУЭ, АСКУГ) и автоматизации зданий.» [14]

В данной работе была использована, чтобы продемонстрировать, как могло бы выглядеть автоматизированное рабочее место оператора.

Создание статического изображения.

1) «Создание рамки. Для того чтобы создать рамку необходимо левой клавишей мыши щёлкнуть по иконке . Найти её можно на панели инструментов щёлкнув на  и найти среди предложенных вариантов значок рамки (рис. 20). Щелчком левой клавиши мыши необходимо задать противоположные углы рамки. Для попадания в режим редактирования необходимо так же щелчком левой клавиши мыши нажать на иконку .» [14]

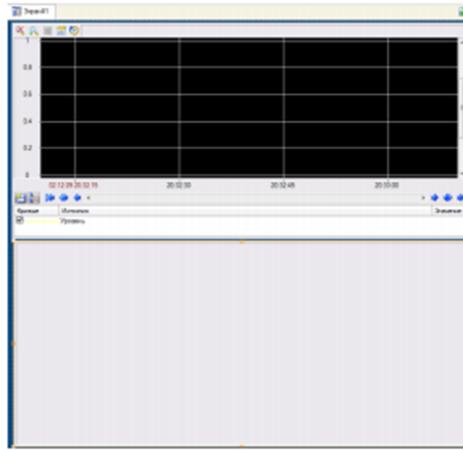


Рисунок 20 – Размещение рамки

2) «Создание ёмкости. Для создания ёмкости необходимо найти значок  и щёлкнуть по нему левой клавишей мыши, если же её нет на панели инструментов, то найти её можно щёлкнув по одной из иконок , , , , , , , , , , или  левой клавишей мыши. После нажатия на нужный значок поместите ёмкость на экране, задав её противоположные углы щелчком левой клавиши мыши по иконке . Получится ёмкость похожая на ту, что показана на рисунке 21.» [14]

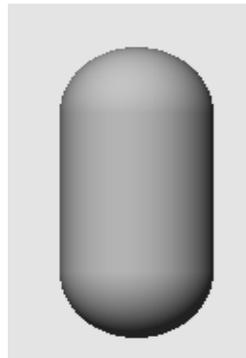


Рисунок 21 – Создание ёмкости

Дважды щёлкнув по созданной ёмкости левой клавишей мыши или выделив её, откроется окно свойств объекта. В этом окне можно изменить такие поля как, например: толщина стенок; верхний и нижний край; материал; стандартная структура. На рисунке 22 показано как будет выглядеть ёмкость,

если изменить толщину стенок, верхний край и материал. Таким же образом можно добавить и другие объёмные фигуры.



Рисунок 22 – Пример ёмкости при задании: толщины стенок, материала, верхнего края.

3) Создание насоса. Чтобы создать насос необходимо нажать на значок  и из предложенных инструментов выбрать . Далее необходимо сделать все те же шаги, что и при создании ёмкости. После выбора материала и нужной формы насоса, получится статическое изображение как на рисунке 23.



Рисунок 23 – размещение насоса

4) «Создание труб. Щёлкнув левой клавишей мыши по иконке , среди инструментов которые там предложены, выберите . Далее сделайте трубу, по которой продукт будет идти до ёмкости, откуда по ней же попадёт в насос. Чтобы это сделать, нужно щелчком левой клавиши мыши отметить начало трубы. Далее перевести курсор в местоположение изгиба трубы и снова

щёлкнуть левой клавишей мыши. Так проставляются все точки изгиба трубы, и когда курсор попадает на место конечной точки трубы, нужно щёлкнуть правой кнопкой мыши и таким образом завершить создание текущей трубы. Так сделайте все необходимые трубы. Для редактирования свойств трубы выделите её, откроется окно свойств. Измените параметры нужных вам полей. Статическое изображение примет вид как на рисунке 24.» [14]

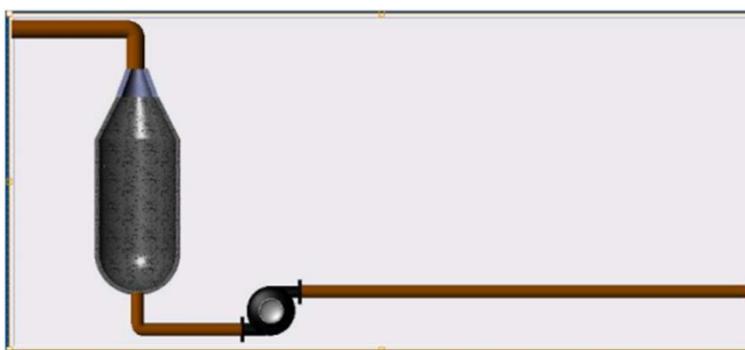


Рисунок 24 – Создание труб

При использовании вышеизложенного получилось статическое изображение автоматизированного рабочего места оператора (Рисунок 25).

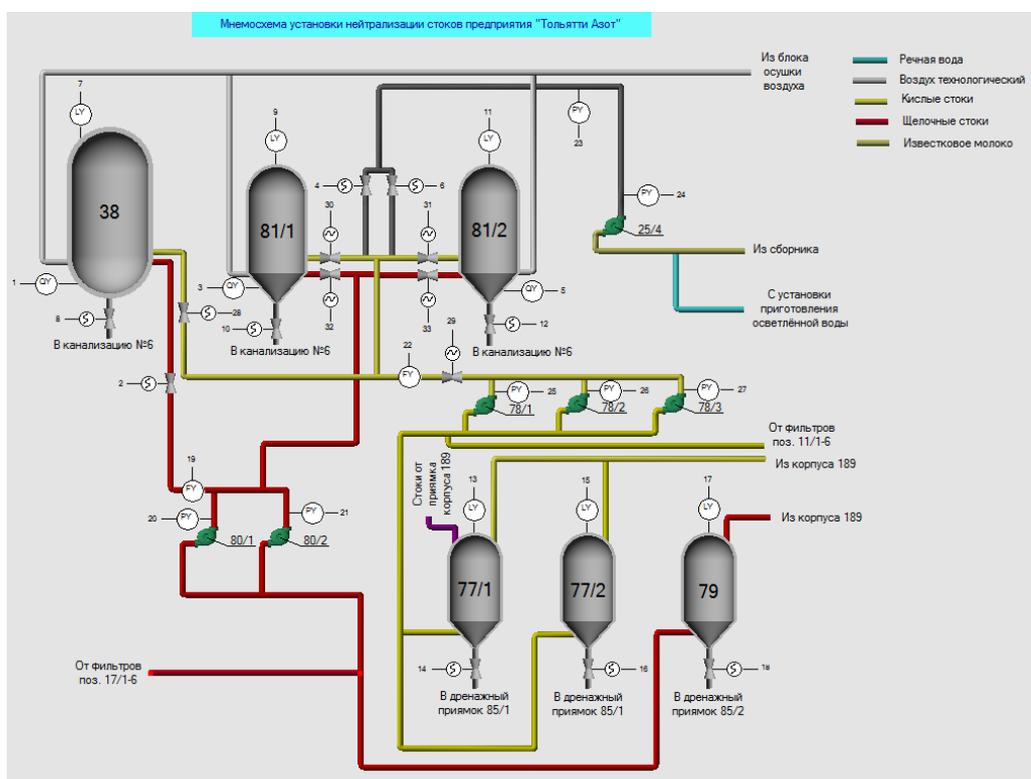


Рисунок 25 – Статическое изображение АРМ оператора

2 Расчётная часть

2.1 Определение параметров устойчивости системы автоматического регулирования в статическом и динамическом режимах

Разработана система автоматического регулирования уровня в баке–нейтрализаторе 38 (контур 4). Обозначения на структурной схеме системы (Рисунок 26):

Д – датчик;

ОР – объект регулирования;

Р – регулятор;

ИМ – исполнительный механизм;

К – ослабитель/усилитель.

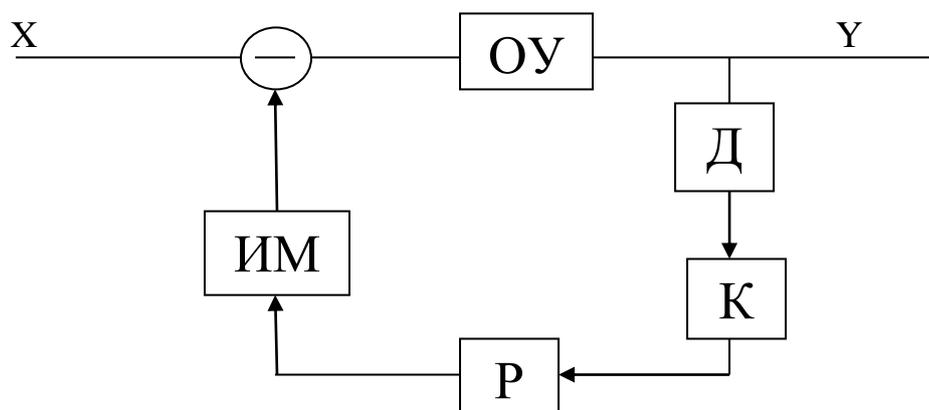


Рисунок 26 – Структурная схема автоматического регулирования уровня в баке–нейтрализаторе 38

2.1.1 Определение графическим методом общей статической характеристики цепи обратной связи – ДРИМ

Для этого изобразим статические характеристики данных звеньев на общей плоскости. Первый квадрат содержит в себе статическую

характеристику датчика, второй – регулятора, а третий – исполнительного механизма.

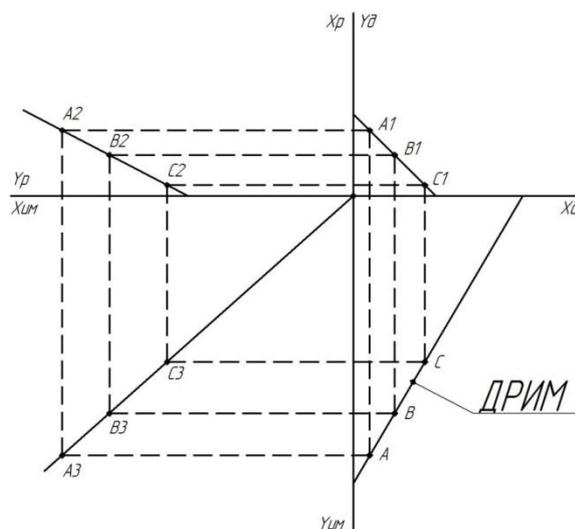


Рисунок 27 – Результирующая статическая характеристика обратной связи
ДРИМ

Проведя прямую через точки А, В и С, получим результирующую статическую характеристику обратной связи – ДРИМ (Рисунок 27).

С координатами точек:

$A(0,3; 6);$

$B(0,9; 5);$

$C(1,6; 3,8)$

2.1.2 Построение статических характеристик объекта регулирования и системы управления

Две статические характеристики встретятся в точке А с координатами (3,5; 0,5). Данная точка называется рабочей. Угол пересечения взятых нами двух статических характеристик равен $67^{\circ}33'$.

Из теории автоматического регулирования известно, что при прохождении двух статических характеристик через одну точку под углом от 60° до 90° система отличается хорошей устойчивостью.

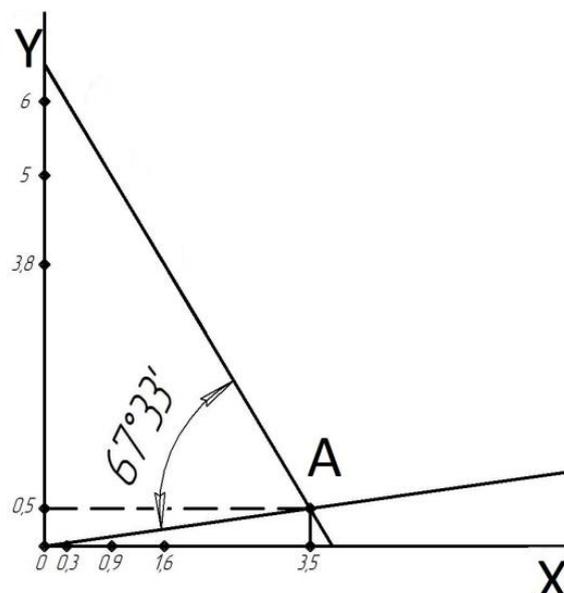


Рисунок 28 – Единая система координат ДРИМ и статических характеристик объекта

Рассмотрим общую статическую характеристику объекта и ДРИМ, чтобы рассчитать динамический коэффициент регулирования D .

По характеристике ДРИМ можно понять вероятный диапазон изменений входного параметра от 0 до 3,2, т.е. $\Delta X_{\text{вх}} = 3,2$. Далее подставляем эти точки в характеристику объекта и получаем $\Delta Y = 0,5$. Поместим эти значения в выражение.

$$D = \Delta Y / \Delta X_{\text{вх}} \quad (4)$$

$$D = 0,5 / 3,2 = 0,16$$

Из теории автоматического управления известно, что если $D = 1$ система имеет оптимальную передачу сигнала в замкнутом контуре, если $D > 1$ в цепь обратной связи следует включить ослабитель сигнала; при $D < 1$ в цепь обратной связи следует включить усилительный элемент.

$$K = 1/D; \quad (5)$$

$$K = 1/0,16 = 6,3$$

Для того чтобы сделать динамический коэффициент равным единице, в цепь обратной связи включается усилительный элемент с коэффициентом передачи $K = 6,3$.

2.1.3 Определение аналитического выражения регулирующей системы – ДРИМ

Из структурной схемы управления видно, что $Y_d = X_p$; $Y_p = X_{им}$.

Подставим уравнение датчика в уравнение регулятора, а полученное результирующее уравнение подставим в уравнение исполнительного механизма.

$$Y_{им} = \frac{NY}{(N^2 + 8)^{\frac{1}{2}}} = \frac{7}{\sqrt{57}} * \sqrt{\frac{7}{2}}(X + 2) = 1,7X + 6,7 \quad (6)$$

В результате получено выражение: $Y_{им} = 6,7 + 1,7X_d$.

Это выражение является статической характеристикой цепи обратной связи, полученной аналитическим способом. Также оно описывает, полученную ранее графическим способом статическую характеристику цепи обратной связи.

2.1.4 Нахождение аналитическим способом рабочей точки системы

Для определения координат рабочей точки системы создаём структурную схему (Рисунок 29) полученной системы по аналитическому выражению в виде двух элементов, с целью определения взаимосвязи регулирующих параметров.

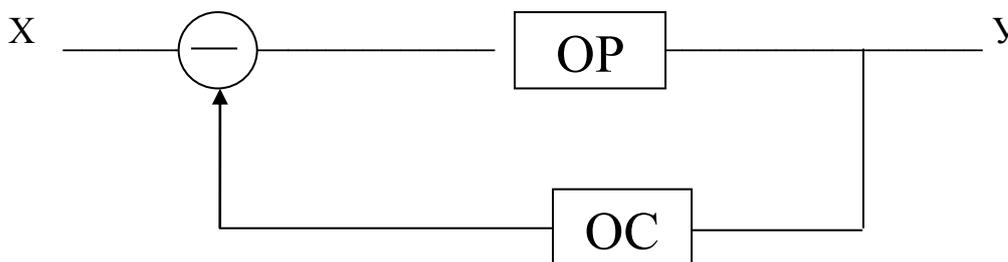


Рисунок 29 – Структурная схема полученной системы

Находим точку пересечения двух прямых, которая задаётся уравнениями:

$$\begin{cases} Y_{им} = 6,7 + 1,7X_d \\ Y_o = X_o / N \end{cases} \quad (7)$$

Решаем систему уравнений и получаем координаты рабочей точки.

$$X = 3,4; Y = 0,9$$

$$A (3,4; 0,9)$$

При графическом и аналитическом способе исследования координаты точки А совпадают.

2.1.5 Определение передаточных функций элементов системы

К расчету динамических параметров системы относится определение передаточных функций.

Объекта регулирования:

$$W_{op}(p) = \frac{N^2 + 1}{p} = \frac{7^2 + 1}{p} = 0,9/p \quad (8)$$

Датчика:

$$W_{д} = \frac{4p + 3}{p + 5/N} = \frac{4p + 3}{p + 5/7} = \frac{4p + 3}{p + 0,7} \quad (9)$$

Регулятора:

$$W_{р} = \frac{p + 6}{p + N/6} = \frac{p + 6}{p + 7/6} = \frac{p + 6}{p + 1,2} \quad (10)$$

Исполнительного механизма:

$$W_{им} = \frac{4 + N}{4Np} = \frac{4 + 7}{4 * 7p} = \frac{0,4}{p} \quad (11)$$

Передаточные функции звеньев перемножаются.

$$W_{oc}(p) = W_{д}(p) * W_{р}(p) * W_{им}(p) * W_{к}(p) \quad (12)$$

$$\begin{aligned} W_{oc}(p) &= \frac{p + 6}{p + 1,2} * \frac{4p + 3}{p + 0,7} * \frac{0,4}{p} * 6,3 = \\ &= \frac{(p^2 + 27p + 18) * 2,68}{p^2 + 1,9p + 0,1p} = \frac{10,72p^2 + 72,36p + 48,24}{p^3 + 1,9p^2 + 0,1p} \end{aligned}$$

2.1.6 Определение передаточной функции системы регулирования

Воспользуемся выражением ниже для определения передаточной функции системы.

$$W_c(p) = \frac{W_{op}(p)}{1 + W_{op}(p) * W_{oc}(p)} \quad (13)$$

$$W_c(p) = \frac{0,9/p}{1 + 0,9/p * \frac{10,7p^2 + 72,4p + 48,2}{p^3 + 1,9p^2 + 0,84p}} = \frac{0,9p^3 + 1,7p^2 + 0,8p}{p^4 + 1,9p^3 + 9,7p^2 + 65,2p + 43,4} \quad (14)$$

Упростим выражение для нахождения временной функции переходного процесса, убрав из выражения передаточной функции в числителе $0,9p^3 + 1,7p^2$, а в знаменателе $p^4 + 1,9p^3$.

$$W_{пер}(p) = \frac{0,8p}{9,7p^2 + 65,2p + 43,4} = \frac{0,8p}{9,7p^2 + 6,7p + 4,5} = \frac{0,08p}{p^2 + 6,7p + 4,5} \quad (15)$$

Она представляет собой частотную характеристику переходного процесса, которая характеризует реакцию системы на входной гармонический сигнал.

2.1.7 Определение временной функции переходного процесса и критерия устойчивости САР по характеристическому уравнению

Устойчивость системы определяется по положению характеристических корней p_1 и p_2 на координатной плоскости (Рисунок 30) (в координатах мнимых Im и действительных Re чисел).

$$p^2 + 6,7p + 4,5 = 0 \quad (16)$$

Нахождение решений уравнения:

$$p_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (17)$$

$$D = \sqrt{b^2 - 4ac} = \sqrt{6,7^2 - 4 * 4,5} = \pm 5,2i \quad (18)$$

$$p_1 = -0,75$$

$$p_2 = -5,95$$

Согласно критерию Ляпунова, система будет устойчивой, при условии того, что два положения корней располагаются в отрицательной плоскости относительно оси Im . И чем дальше от этой оси отдаляются корни, тем устойчивее становится система.

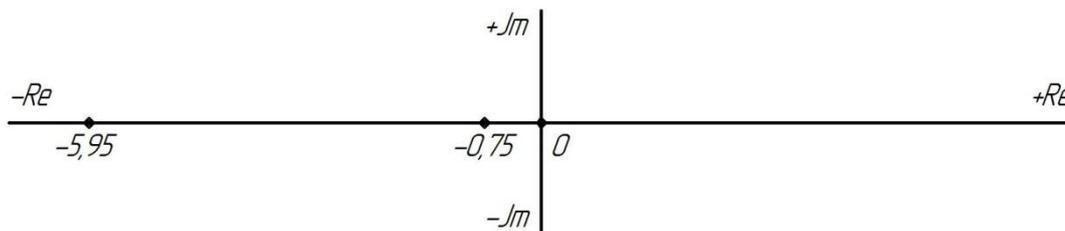


Рисунок 30 – Координатная плоскость критерия устойчивости САР

2.1.8 Определение параметров устойчивости системы управления по годографу

Передаточная функция всей системы имеет вид:

$$W_c(p) = \frac{0,9p^3 + 1,7p^2 + 0,8p}{p^4 + 1,9p^3 + 9,7p^2 + 65,2p + 43,4} \quad (19)$$

По критерию Найквиста определяется устойчивость системы.

Заменим в выражении оператор Лапласа p на iw :

$$Y = iw^3 + 1,9iw^2 + 9,7iw + 65,2(jw) + 43,4 \quad (20)$$

$$Y = iw^3 - 1,9iw^3 - 9,7w^2 + 65,2iw + 43,4 \quad (21)$$

Уравнение поделим на две части, мнимую и действительную:

$$\text{Re}(w) = 43,4 - 9,7w^2 + w^4 \quad (22)$$

$$\text{Im}(w) = 65,2w - 1,9w^3 \quad (23)$$

Для определения реперных точек годографа приравняем мнимую часть к нулю и определим частоты:

$$\text{Im}(w) = 0 \quad (24)$$

$$65,2w - 1,9w^3 = 0 \quad (25)$$

$$w(65,2 - 1,9w^2) = 65,2 - 1,9w^2 = 0$$

$$1,9w^2 = 65,2$$

$$w^2 = 34,3$$

$$w_{1,2} = \pm\sqrt{34,3}$$

$$w_1 = +5,9$$

$$w_2 = -5,9$$

$$w_3 = 0$$

В выражение действительной части, следует подставить положительные значения этих частот:

$$\text{Re}(5,9) = 43,4 - 9,7 * 5,9^2 + 5,9^4 = 908,4 \quad (26)$$

$$\text{Re}(0) = 43,4$$

Частоты определяемы при условии, что действительная часть равна нулю.

$$\text{Re}(w) = 0$$

$$43,4 - 9,7w^2 + w^4 = 0 \quad (27)$$

$$w^4 - 9,7w^2 + 43,4 = 0 \quad (28)$$

Для получения квадратного уравнения вводим новую переменную $w^2 = x$.

$$x^2 - 9,7x + 43,4 = 0 \quad (29)$$

Теперь определим поведение годографа при частотах $w > 5,9$. Берём значение частоты $w = 6$ и $w = 6,2$. Что поможет получить значения точек $\text{Re}(6) = 990,2$; $\text{Re}(6,2) = 1148,1$ и $\text{Im}(6) = -19,2$; $\text{Im}(6,2) = -48,6$, которые в последующем нанесем на чертёж.

Соединяем реперные точки, двигаясь в сторону увеличения частоты. Таким образом, получается КРИВАЯ ГОДОГРАФА (Рисунок 31).

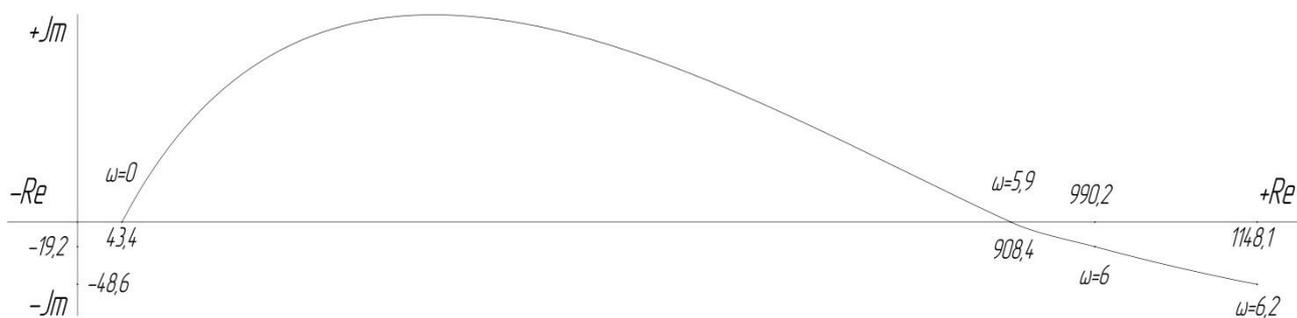


Рисунок 31 – Кривая годографа

Согласно критерию Найквиста данная САР устойчива, так как кривая не пересекает ось Re в отрицательной полуплоскости за пределами точки $(-1, i0)$.

Заключение

В настоящем проекте разработана схема автоматизации установки нейтрализации стоков предприятия. Дано описание технологического процесса нейтрализации стоков предприятия, характеристика основного технологического оборудования, обоснование выбора регулируемых, контролируемых и сигнализируемых параметров. В качестве системы автоматического управления выбрана многоконтурная система автоматического регулирования. Определены параметры устойчивости САУ в статическом и динамическом режимах.

На основании и расчетов и с учетом условий эксплуатации выбраны современные средства автоматизации:

- преобразователь Liquiline CM444 с электродом Orbisint CPS11D для измерения pH;
- радарный уровнемер Micropilot FMR62;
- расходомер электромагнитный Proline Promag P 300;
- датчик давления Cerabar-PMC71.

Регулирование, регистрирование и сигнализация параметров выполняется с помощью интеллектуального контроллера MD «Плюс» с цифровой системой автоматизации DeltaV.

Выполнен расчёт системы автоматического управления на устойчивость в статическом и динамическом режимах, сделан вывод, что при заданных параметрах звеньев САУ обладает хорошей устойчивостью.

Список используемых источников

1. Лыков, Анатолий Николаевич Микропроцессорные средства автоматизации энергетических систем учебное пособие: в двух частях/А. Н. Лыков, Р. В. Катаев; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Пермь: Изд-во Пермского нац. исслед. политехнического университета, 2017
2. Пантелеев, Владимир Николаевич Основы автоматизации производства: учебник для использования в учебном процессе образовательных учреждений, реализующих программы начального профессионального образования/В. Н. Пантелеев, В. М. Прошин Москва: Академия, 2017
3. Ильюшин, Юрий Валерьевич, сост. Управление технологическими процессами: методические указания и задания к курсовому проекту для студентов магистратуры направления 27.04.04/Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2017
4. Васильева, Н. Г. Разработка и оформление функциональных схем автоматизации: учебно-методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию по направлению подготовки бакалавров 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» по курсу Автоматизация техно Кумертау: Респ. Башкортостан, 2016
5. Гаврилов, Александр Николаевич - Теория автоматического управления технологическими объектами (линейные системы): учебное пособие/А. Н. Гаврилов, Ю. П. Барметов, А. А. Хвостов; Министерство образования и науки РФ, ФГБОУ ВО "Воронежский государственный университет инженерных технологий" Воронеж: ФГБОУ ВО "ВГУИТ", 2016

6. Попов, Валерий Павлович Человеко-машинный интерфейс: учебно-методическое пособие/В. П. Попов, Н. В. Соловьев; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. автономное образовательное учреждение высш. образования Санкт-Петербургский гос. ун-т аэрокосмического прибор Санкт-Петербург: ГУАП, 2016
7. Щербаков, Михаил Александрович, Ред. Проблемы автоматизации и управления в технических системах: сборник статей Международной научно-технической конференции, г. Пенза, 23-25 апреля 2013 г./Пензенский гос. ун-т [и др.]; [под ред. М. А. Щербакова] Пенза: Изд-во ПГУ, 2013
8. Сольнищев, Ремир Иосифович Внедрение систем автоматизации проектирования: учебное пособие/Р. И. Сольнищев, Л. И. Гришанова; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высшего проф. образования Санкт-Петербургский гос. ун-т аэрокосмического прибор Санкт-Петербург: ГУАП, 2014
9. Мятееж, Сергей Владимирович Промышленные контроллеры: учебное пособие/С. В. Мятееж; Министерство образования и науки Российской Федерации, Новосибирский государственный технический университет, [Факультет механики и автоматизации] Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016
10. Алексеев, Владимир Васильевич Основы программирования логических контроллеров: учебное пособие/В. В. Алексеев, В. С. Коновалова; Минобрнауки России, Санкт-Петербургский гос. электротехнический ун-т "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина) Санкт-Петербург: ЛЭТИ, 2016
11. Елизаров, Игорь Александрович Интегрированные системы проектирования и управления: SCADA-системы: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Автоматизация технологических процессов и производств"/И. А. Елизаров [и др.] Тамбов: ТГТУ, 2015
12. Кавалеров, Максим Владимирович Компьютерные технологии управления в технических системах: учебное пособие/М. В. Кавалеров; М-во образования и

науки РФ, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Пермский нац. исслед. политехнический университет Пермь: Изд-во Пермского нац. исслед. политехнического ун-та, 2015

13. Магергут, Валерий Залманович Автоматизированные системы управления (оптимизационные задачи и SCADA-системы): лабораторный практикум: учебное пособие по дисциплине "Техническое и программное обеспечение информационных систем в промышленности" для студентов направления бакалавриата 230400 Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2014

14. Волков, Андрей Анатольевич Расчет систем электроосвещения с применением систем автоматизированного проектирования: методические указания по дисциплине "Программные средства автоматизации" для студентов бакалавриата. Москва: МГСУ, 2015

15. Мезин, Сергей Витальевич Разработка АСУ на базе среды программирования Codesys и Scada-системы Trace mode с организацией передачи данных посредством OPC-сервера: С. В. Мезин ; М-во образования и науки Российской Федерации, Нац. исследовательский ун-т "МЭИ" Москва: Изд-во МЭИ, 2015

16. Любарский, Дмитрий Романович Программно-технические средства противоаварийного управления локального уровня/Д. Р. Любарский; под ред. М. Ш. Мисриханова Москва: Энергоатомиздат, 2015

17. Абсолютное и избыточное давление – преобразователь Cerabar PMC71, 2017 URL: <https://www.ru.endress.com/ru/Tailor-made-field-instrumentation/izmerenie-davleniya/datchik-davlenia-Cerabar-PMC71> (Дата обращения: 15.05.2018)

18. Радарный принцип измерения Micropilot FMR62, 2017 URL: <https://www.ru.endress.com/ru/Tailor-made-field-instrumentation/uroven/FMR62> (Дата обращения: 15.05.2018)

19. Liquiline CM444 Четырехканальный преобразователь, 2017 URL: <https://www.ru.endress.com/ru/Tailor-made-field-instrumentation/liquid-analysis->

- product-overview/chetyrekanalnyj-preobrazovatel-Liquiline-СМ444 (Дата обращения: 15.05.2018)
20. Электромагнитный расходомер Proline Promag P 300, 2016 URL: <https://www.ru.endress.com/ru/Tailor-made-field-instrumentation/Flow-measurement-product-overview/promag-p300> (Дата обращения: 15.05.2018)
21. Цифровой датчик pH Orbisint CPS11D, 2015 URL: <https://www.ru.endress.com/ru/Tailor-made-field-instrumentation/liquid-analysis-product-overview/memosens-datchik-pH-CPS11D> (Дата обращения: 15.05.2018)
22. Определение параметров устойчивости САР URL: https://studopedia.su/20_67766_raschetnaya-chast.html (Дата обращения: 02.04.2018)
23. An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies Dennis Y.C. Leunga, Giorgio Caramannab, M. Mercedes Maroto-Valerb <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114005450>
24. V. Gurevich "Electronic Devices on Discrete Components for Industrial and Power Engineering", CRC Press, New York, 2008
25. Visualization of Control Structure in Human-Automation System Based on Cognitive Work Analysis, 2016 Yukio Horiguchi, Catherine M. Burns, Hiroaki Nakanishi, Tetsuo Sawaragi
26. "Introduction to Industrial Control Networks". IEEE Communications Surveys and Tutorials. 2012. <http://www.rfidblog.org.uk/Preprint-GallowayHanckeIndustrialControlSurvey.pdf>
27. Mechatronics, robotics and components for automation and control IFAC CC milestone report. 2016 A. Ollero, S. Boverie, R. Goodall. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667016371920>