

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Амурский государственный университет»

Автоматика насосных станций систем заправки
Лабораторный практикум

Благовещенск
Издательство АмГУ
2020

Автоматика насосных станций систем заправки. Лабораторный практикум / сост.: Аревков М.А. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2020. – 140 с.

Лабораторный практикум для подготовки к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Заправочные системы и станции» предназначен для подготовки бакалавров по направлению 24.03.01 «Ракетные комплексы и космонавтика».

© Амурский государственный университет, 2020

© Аревков М.А. (составитель), 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО И НАЗНАЧЕНИЕ ЗАПРАВОЧНО-НЕЙТРАЛИЗАЦИОННОЙ СТАНЦИИ	6
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	61
Лабораторная работа №1. Элементы и аппаратура автоматических (автоматизированных) систем управления насосными станциями	68
Лабораторная работа №2. Регулирующие клапаны.	76
Лабораторная работа №3. Первичные преобразователи. Изучение приборов и методов определения давления и расхода	79
Лабораторная работа №4. Понятие о статических и динамических характеристиках элементов систем автоматического управления	85
Лабораторная работа №5. Исследование напорной характеристики центробежного насоса при различных частотах вращения вала насоса	89
Лабораторная работа №6. Исследование напорной характеристики центробежного насоса без регулирования частоты вращения приводного вала.	92
Лабораторная работа №7. Исследование кавитационной характеристики центробежного насоса при различных частотах вращения вала насоса	94
Лабораторная работа №8. Исследование способов повышения КПД насосной станции с целью энергосбережения.	97
Лабораторная работа №9. Исследование характеристик центробежных насосов при параллельном соединении с учетом изменяемой частоты вращения одного из них	100
Лабораторная работа №10. Исследование характеристик центробежных насосов при последовательном соединении с учетом изменяемой частоты вращения вала одного из них.	103
Лабораторная работа №11. Исследование расходно-перепадной характеристики задвижки	106
Лабораторная работа №12. Автоматический контроль параметров среды. Управление насосной станцией для поддержания постоянного уровня в резервуаре с использованием ТРМ1 ОВЕН.	109
Лабораторная работа №13. Автоматическое регулирование процессов по давлению перед потребителем с использованием ТРМ1 ОВЕН.	114
Лабораторная работа №14. Автоматическое регулирование процессов по расходу потребителей с использованием ТРМ1 ОВЕН.	120
Лабораторная работа №15. Автоматическое регулирование процессов	125

по уровню в резервуаре с использованием ПЭВМ.	
Лабораторная работа №16. Автоматическое регулирование процессов по давлению перед потребителем с использованием ПЭВМ.	130
Лабораторная работа №17. Автоматическое регулирование процессов по расходу потребителей с использованием ПЭВМ.	135
БИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	140

Методическое пособие представляет собой сборник указаний к лабораторным работам по дисциплине «Заправочные системы и станции».

Учебный стенд «Автоматика насосных станций систем заправки» предназначен для проведения лабораторных работ по изучению автоматизированного управления подачей и напором насосных станций систем водоснабжения. Стенд позволяет экспериментально определять напорные и кавитационные характеристики насосов динамического действия (в том числе при их последовательном и параллельном соединении) и изучать элементы автоматики насосных станций.

Стенд позволяет проводить испытания динамических насосов, задавать и определять давление, расход и уровень жидкости. Приводной электродвигатель одного насоса подключен к сети электропитания через преобразователь частоты для регулировки частоты вращения рабочего колеса насоса.

Задание на выполнение работы студенты получают на подгруппы по 3-5 человек. Студенты работают самостоятельно под руководством преподавателя.

Перед лабораторной работой необходимо используя методические указания составить отчёт по теоретической части работы и усвоить основные положения. В начале лабораторной работы проводится проверка усвоения материала лабораторной работы в тестовой или устной форме.

В ходе работы каждый студент вносит в отчёт все полученные данные, строит необходимые графики и т.п.

По окончании лабораторной работы каждый студент должен провести анализ полученных результатов и сделать выводы. Отчёт по лабораторным работам защищается каждым студентом индивидуально.

ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО И НАЗНАЧЕНИЕ ЗАПРАВОЧНО-НЕЙТРАЛИЗАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

Назначение заправочно-нейтрализационной станции, ее структура. Взаимосвязь работы ее технологического оборудования с космическими аппаратами и разгонными блоками.

Заправочно-нейтрализационная станция предназначена для проведения заправки космических аппаратов, разгонных блоков различными компонентами ракетного топлива и сжатыми газами на всех этапах эксплуатации станции на требуемом техническом уровне. Так же она предназначена для обеспечения слива компонентов ракетного топлива и сброс сжатых газов из двигательной установки изделий. Нейтрализация баков двигательной установки изделий после слива компонентов ракетного топлива.



Рисунок 1 — Заправка разгонного блока «Фрегат»

Структура заправочно-нейтрализационной станции.

Заправочно-нейтрализационная станция имеет следующий типовой состав систем и сооружений:

- технологические системы;
- строительные сооружения, а также инженерные коммуникации;
- технические системы.

Состав технологических и технических систем и сооружений может различаться.

Рассмотрим на примере типовую структуру заправочно-нейтрализационную станцию.

Технологические системы станции включают в себя:

- Заправочные системы, которые применяются для различных компонентов ракетного топлива. Могут использоваться как при выполнении операций по заправке, так и при сливе компонентов ракетного топлива;
- Системы, которые обеспечивают подготовку компонентов ракетного топлива к заправке. К ним относятся системы сбора и нейтрализации промстоков, агрегаты сжигания паров и промстоков и др.;
- Системы, которые обеспечивают безопасность проведения работ. К ним относятся системы контроля концентрации паров топлива в воздухе, система пожаротушения).

Строительные сооружения предназначены для размещения оборудования технологических и технических систем заправочно-нейтрализационной станции.

Для станции используются следующие строительные сооружения:

- Заправочный корпус. В них производятся работы с космическим аппаратами и разгонными блоками;
- Хранилища горючего и окислителя. Горючее и окислитель хранятся отдельно;
- Вентиляционный корпус. Предназначен для размещения оборудования приточной системы вентиляции для заправочного корпуса;
- Корпус термостатирования. Предназначен для размещения оборудования термостатирования;
- Сооружения сбора промстоков окислителя и горючего. После проведения технологических операций необходима нейтрализация заправочного оборудования, нейтрализация баков космических аппаратов и разгонных блоков;
- Площадки, на которой размещаются агрегаты нейтрализации паров и промстоков окислителя и горючего;
- Сооружения системы оборотного водоснабжения. Обеспечивает технической и охлажденной водой работу технологических и технических систем (компрессоров, вакуумных установок и т.д.);
- Сооружения электроподстанций. Обеспечивающие понижение напряжения электропитания;
- Проходные и непроходные каналы. Служат для прокладки трубопроводов технологических и технических систем, электрических кабелей;
- Пожарные водоемы. Предназначены для хранения воды и использования ее для пожаротушения.

Рассмотрим примерную схему размещения объектов на заправочно-нейтрализационной станции.

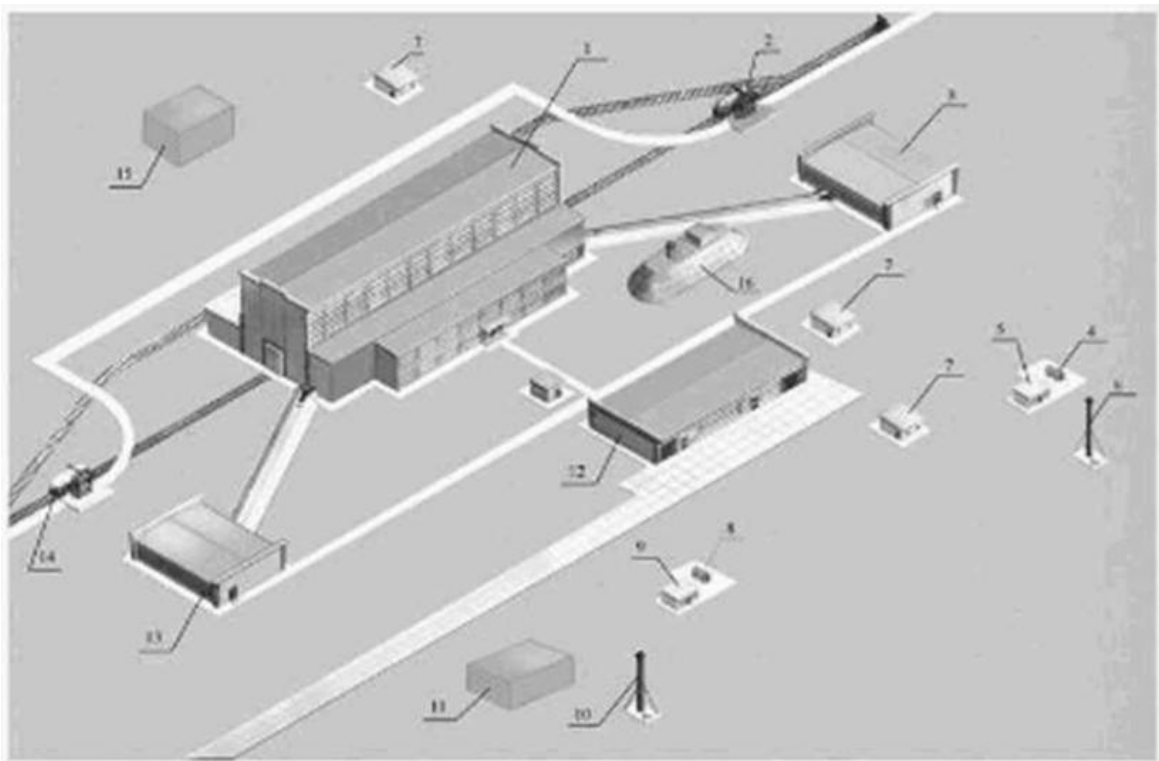


Рисунок 2 — Комплекс строительных сооружений заправочной станции

Таблица 1 — Наименование строительных сооружений заправочной станции

№ п/п	Наименование
1.	Заправочный корпус
2.	Колонка приема-выдачи горючего и железнодорожная цистерна горючего
3.	Хранилище горючего
4.	Агрегат нейтрализации паров и промстоков горючего
5.	Сооружение сбора промстоков горючего
6.	Дренажная система горючего
7.	Трансформаторная подстанция
8.	Агрегат нейтрализации паров и промстоков окислителя
9.	Сооружение сбора промстоков окислителя
10.	Дренажная система окислителя
11.	Сооружение технического и обратного водоснабжения
12.	Холодильный центр термостатирование компонентов ракетного топлива
13.	Хранилище окислителя
14.	Колонка приема-выдачи окислителя и железнодорожная цистерна окислителя
15.	Вентиляционная камера для подачи приточного воздуха в заправочный корпус
16.	Хранилище воды системы пожаротушения

Функционирование и взаимодействие составных частей станции обеспечивается инженерными коммуникациями. Инженерные коммуникации обеспечивают снабжение заправочный корпусов теплом, электроэнергией, водой (и т. д.). Также инженерные коммуникации обеспечивают взаимодействие технологических и технических систем.

По территории станции проложены следующие инженерные коммуникации:

- Кабельные сети технологических и технических систем, телефонной и громкоговорящей связи;
- Трубопроводы: питьевого водоснабжения, технического водоснабжения, оборотного водоснабжения, бытовой канализации, системы сбора промстоков окислителя и горючего, сброса дренажных паров окислителя и горючего, технических систем;
- Железнодорожный путь нормальной колеи;
- Автомобильные и пешеходные дороги;
- Периметр ограждения станции. Контрольно-пропускной пункт и ворота для проезда железнодорожного и автомобильного транспорта.

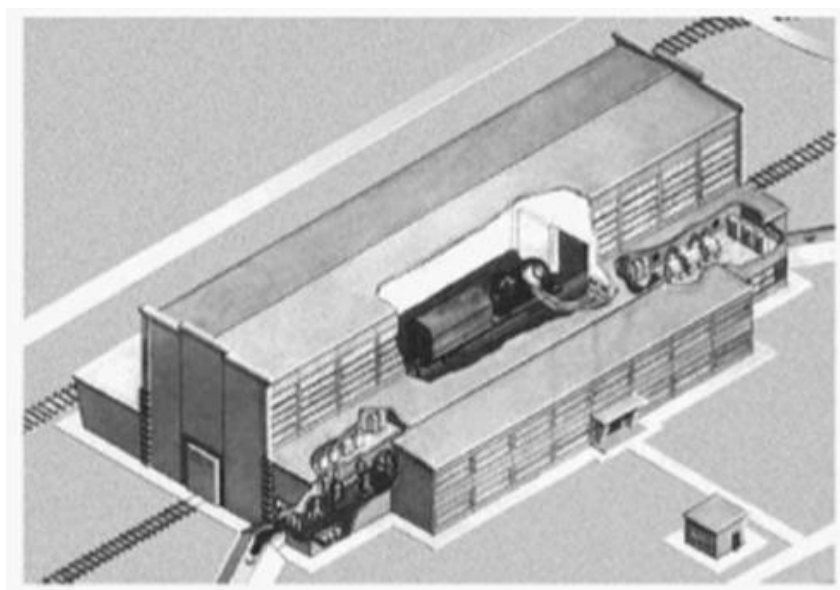


Рисунок 3 — Общий вид заправочного корпуса станции

Заправка космического аппарата или разгонного блока на станции включает в себя выполнение:

- Подготовку станции к заправке космических аппаратов или разгонных блоков;
- Заправку космических аппаратов или разгонных блоков компонентами ракетного топлива и сжатыми газами;
- Приведение станции в исходное состояние после заправки.

Рассмотрим каждый пункт подробнее

Подготовка станции к заправке.

До прибытия космического аппарата или разгонного блока на заправочно-нейтрализационную станцию происходит подготовка всех систем:

- Если есть необходимость, то происходит прием компонентов ракетного топлива в емкости хранилищ;
- Сжатыми газами заполняют баллоны ресиверной системы газоснабжения;
- Подготовка систем заправочно-нейтрализационной станции к заправке космического аппарата или разгонного блока.

Подготовка всех систем заправочно-нейтрализационной станции осуществляется операторами систем согласно инструкциям по подготовке станции к заправке. Все действия выполняются в строгом соответствии инструкциям.

Подготовка заправочных систем

Подготовка производится в следующей последовательности:

- Осуществляется проверка инженерами срока поверки контрольно-измерительных приборов по поверочным клеймам. Поверка измерительных приборов происходит в строгом соответствии плану поверки на космодроме;
- Осуществляется проверка инженерами систем на правильное функционирование согласно эксплуатационной документации на систему;
- Ведется проверка точности взвешивания весовых механизмов дозаторов согласно эксплуатационной документации на систему;
- Осуществляется подготовка компонентов ракетного топлива к заправке космического аппарата или разгонного блока;
- Ведется отбор проб для проведения химического анализа компонентов ракетного топлива. Анализ производится на физико-химической лаборатории.

При подготовке топлива используются различные системы как технологические, так и технические.

Технологические системы:

- Термостатирования;
- Газоснабжения;
- Вакуумная установка;
- Агрегат сжигания паров топлива и промстоков;
- Системы газового контроля воздуха в производственных помещениях.

Технические системы:

- Энергоснабжения;
- Отопления;
- Вентиляция;
- Водоснабжения;

- Связь;
- Грузоподъемное оборудование и оборудование герметизации залов.

При подготовке к заправке осуществляется сборка коммуникаций для заправки баков двигательной установки компонентами ракетного топлива и сборка коммуникаций для зарядки шаробаллонов сжатыми газами. Собранные коммуникации проверяются на герметичность и вакуумную плотность. После всех проверок результаты подготовки заносятся в формуляр системы и журнал учета работ технологического оборудования.

Заправка космических аппаратов и разгонных блоков.

Для заправки компонентами ракетного топлива и сжатыми газами космический аппарат или разгонный блок доставляется в заправочный корпус. Обычно изделие доставляют на транспортно-заправочном агрегате, и размещается в одном из заправочных залов окислителя, горючего или сжатых газов. Последовательность заправки компонентами ракетного топлива определяется инструкциями по заправке. В первую очередь перед заправкой осуществляется заземление транспортно-заправочного агрегата и космического аппарата или разгонного блока на шину заземления заправочного корпуса. Подготовку космического аппарата или разгонного блока к заправке выполняется операторами заправочно-нейтрализационной станции. Операторы готовят заправочные краны, которые устанавливаются на заправочные горловины баков двигательной установки. После подстыковки наземных коммуникаций к заправочным кранам проверяется правильность сборки наземных коммуникаций и правильность их подстыковки к заправочным кранам.



Рисунок 4 — Заправка разгонного блока «Фрегат» с помощью сборочных коммуникаций.

Последовательность заправки по одному из компонентов ракетного топлива на станции состоит:

- Проверка стыков наземных коммуникаций с заправочными кранами и заправочных кранов с горловинами баков двигательной установки на герметичность, вакуумную плотность;
- Осуществляется вакуумирование заправочных коммуникаций;
- Осуществляется вакуумирование газовых и топливных полостей баков (в случае, если заправка баков ДУ вакуумная). После вакуумирования осуществляется закрытие заправочных кранов;
- Происходит заполнение заправочных и проливных коммуникаций компонентов ракетного топлива;
- Для того, чтобы отсутствовали газовые включения в компонентах ракетного топлива, происходит пролив заправочных магистралей. Чтоб бы

определить, что газовые включения отсутствуют, топливо проходит через смотровые устройства заправочной системы;

- Контрольная выдержка - проверка отсутствия утекания компонентов ракетного топлива из заправочной магистрали при включении операции «Заправка». Что бы осуществить контрольную выдержку, используется весовое устройство. Время выдержки 5 минут;

- Осуществляется задание дозы заправки на коромысловом указательном приборе весового устройства и задание дозы предварения на вторичном указательном приборе весового устройства;

- Включение операции «Заправка» на технологическом оборудовании. Происходит открытие заправочной горловины бака двигательной установки заправочным краном;

- После окончательной отсечки дозы и контрольная выдержка происходит закрытие заправочной горловины бака двигательной установки. Осуществляется проверка закрытия;

- До отсутствия топлива в смотровых устройствах заправочной системы осуществлять слив компонентов ракетного топлива из заправочных и проливных магистралей;

- До отсутствия паров топлива и отстыковка наземных коммуникаций от заправочных кранов осуществлять продувку заправочных и проливных магистралей;

- Снятие заправочных кранов с горловин баков двигательной установки и герметизация заправочных горловин.

После того, как космический аппарат или разгонный блок заправят одним из компонентом ракетного топлива, изделия перевозят в другой заправочный зал, где осуществляется заправка другим компонентом ракетного топлива.

Когда комический аппарат или разгонный блок будет заправлен всеми видами топлив и сжатыми газами, изделие перевозится в монтажно-испытательный корпус, где осуществляется сборка космической головной части.

После вывоза космического аппарата с разгонным блоком со станции системы и агрегаты, обеспечивающие его заправку, приводятся в исходное состояние. Эти работы выполняются в соответствии с требованиями технической документации и инструкций, в которых излагается последовательность и порядок приведения в заключительное состояние каждой из систем, обеспечивающих возможность проведения технологических работ со следующим космическими аппаратами и разгонными блоками.



Рисунок 5 — Перевозка разгонного блока «Фрегат» в монтажно-испытательный корпус

Приведение станции в исходное состояние.

Для приведения станции в исходное состояние, необходимо:

- Осуществляется опорожнение сливных емкостей, дозирующих емкостей, теплообменников от топлива в рабочую емкость хранилища;

- Происходит разборка заправочных коммуникаций и передача заправочных рукавов, съемного оборудования в систему нейтрализации заправочного оборудования;
- Проведение нейтрализации заправочных рукавов, съемного оборудования, заправочных кранов от остатков топлива;
- Осуществление передачи нейтрализованного оборудования на заправочную систему для хранения и дальнейшего использования.

Конструктивные особенности баков двигательных установок космических аппаратов и разгонных блоков

Объектами обслуживания станции:

- Баки двигательной установки космических аппаратов;
- Баки двигательной установки разгонных блоков.

Необходимо учитывать конструктивные особенности баков при выполнении различных операций. Это необходимо для того, чтобы в процессе выполнения технологических операций не были нарушены прочностные ограничения, обусловленные конструктивными элементами баков.

Пример. Если рассматривать заправку баков ракет-носителей, то подача топлива осуществляется в основном насосными агрегатами. Если рассматривать заправку двигательной установки космического аппарата или разгонного блока на заправочно-нейтрализационной станции, то в этом случае заправка осуществляется вытеснительным способом.

В зависимости какое топливо с точки зрения газосодержания (насыщенный или дегазированный) будет заправляться в баки, отсюда будет следовать какая будет использоваться конструкция бака.

В этом отношении конструкции баков могут быть следующими:

- Без разделителя. В этой конструкции заправочная и дренажная горловина сообщаются через полость бака. Такой бак будет заправляться насыщенными компонентами топлива при открытом дренаже;

- С разделителем. В этой конструкции топливная полость бака с заправочной горловиной отделена гибким разделителем от газовой полости бака и дренажной горловины. Такой бак используется для заправки дегазированным компонентом топлива предварительно отвакуумированной топливной полости бака.

При проведении операций вакуумирования и наддувом разделителя, заправочными средствами обеспечиваются заданные ограничения по перепаду давления на стенках разделителя.

Компоненты ракетного топлива и особенности их подготовки перед заправкой космических аппаратов и разгонных блоков.

От задач двигательной установки в процессе функционирования космического аппарата или разгонного блока обусловлена особенность подготовки компонентов ракетного топлива перед заправкой изделий.

Маршевый двигатель: создать тяговое усилие.

Двигателей системы ориентации: сориентировать космического аппарата или разгонного блока в пространстве перед включением маршевого двигателя.

Различаются и условия включения маршевого двигателя и двигателей системы ориентации:

- Топливо маршевого двигателя: перед заправкой происходит насыщение топлива азотом или гелием. Это нужно для того, чтобы давление наддува бака не снижалось за счет перехода газа из газовой подушки в топливо;

- Топливо двигательных установок системы ориентации: перед заправкой происходит дегазирование топлива для того, чтобы из жидкостной

фазы топливо не выделился газовый пузырь, который мог бы попасть в двигательную установку.

В техническом задании на заправку указываются:

- Газосодержание топлива;
- Температура термостатирования;
- Допустимая разность температур окислителя и горючего.

По этим параметрам топливо будет подготавливаться перед заправкой в баки двигательной установки.

Другие требования по подготовке топлива перед заправкой определяются особенностями применяемых компонентов топлива, а также условиями функционирования космического аппарата.

На станции широко применяются следующие топлива:

- Окислители (амил, амилин, меланж);
- Горючие (гептил, нафтил);
- Однокомпонентные топлива (амидол, пероксид водорода);
- Сжатые газы (азот, гелий, ксенон).

В процессе хранения топлива в герметичных емкостях полное газовыделение складывается из продуктов гомогенного (непосредственно в растворе) разложения (из-за наличия микропримесей химических элементов) и гетерогенного разложения (на поверхности материала, контактирующего с топливом).

В баке двигательной установки возрастает давление вследствие газовыделения. Газовыделение ограничивает длительность существования космического аппарата. Скорость газовыделения зависит от чистоты топлива, качества подготовки топливной полости бака, качества подготовки оборудования заправочной системы.

Оборудование для однокомпонентного топлива подвергается специальной химической обработке. Подготовка оборудования уменьшает влияние состояния и материала контактирующих с топливом поверхностей на качество продукта.

Основными стадиями обработки являются:

Механическая очистка и обезжиривание;

- Травление в растворах щелочи или кислоты с последующей промывкой;
- Пассивация — обработка раствором топлива (амидола или пероксида водорода), для которого предназначено оборудование, затем промывка дистиллированной водой до полного удаления продукта и сушка подогретым отфильтрованным воздухом или азотом до воздушно-сухого состояния.

Проводится подготовка магистралей выдачи топлива в изделие. Суть ее заключается в сборке магистралей, в проверке их на вакуумную плотность, а при работе с пероксидом водорода — в промывке магистралей 30 % раствором пероксида водорода.

Для контроля за качеством топлива отбираются пробы его на химический анализ и отправляются в физико-химическую лабораторию для подтверждения соответствия по качеству нормативным документам.

Подготовка окислителя и горючего, заключается в приведении температуры к заданной для заправляемого изделия. Необходимо приведение массовой концентрации растворенного газа в топливе к требуемой (насыщение азотом или гелием, дегазирование). Газосодержание в топливе определяют с помощью хроматографических установок.

Предварительно для работы с дегазированным топливом вакуумируют топливную полость бака и заправочные магистрали.

К окислителям предъявляются повышенные требования по содержанию сухого остатка и технологических примесей для надежной работы

двигательной установка в течение долгого времени (более пяти лет) на космическом аппарате. Для того, чтобы сохранить качество окислителя перед его приемом в заправочную систему предварительно проливают и продувают оборудование окислителем с отбором проб на химический анализ.

Процесс заправки состоит в следующем: собирают заправочные магистрали, потом проводят многоразовую промывку их окислителем с последующим вакуумированием промытых магистралей и отбором проб окислителя из выдающих магистралей до получения положительных результатов по качеству в физико-химической лаборатории. Получают анализ содержания сухого остатка и технологических примесей.

Предъявляются специальные требования к гептилу для двигательной установки с длительным режимом работы. Это связано с охлаждающей способностью гептила, которая может уменьшаться в течение длительного хранения. Для контроля за качеством гептила, проводят регулярные отборы проб из емкостей в процессе хранения на соответствие его качества нормативным документам и на охлаждающие свойства. Разработчики изделия устанавливают сроки отбора проб и их объем в инструкциях по контролю качества топлива.

Азот и гелий (газ). Эти виды газов предназначены для заполнения шаробаллонов изделия и наддува газовых полостей баков. При подготовке к работе с изделием проверяют на соответствие их качества нормативным документам, а также на влажность. Для контроля проводят отборы проб из баллонов и из выдающих магистралей.



Рисунок 6 — Шаробаллон

С помощью анализаторов влажности, проверяют влажность газов по точке выпадения росы. Если требуются повышенные требования к влажности газов (до точки выпадения росы при температуре не выше -80 градусов при атмосферном давлении) производится осушка выдающих магистралей с помощью специальных блоков осушки до получения требуемой влажности газа.

В микродвигателях космического аппарата рабочим телом является ксенон высокой чистоты. Для обеспечения сохранения качества ксенона перед заправкой в изделие выдающие магистрали тщательно готовят: вакуумируют, ополаскивают ксеноном и отбирают пробы из выдающих магистралей на соответствие ксенона по чистоте требованиям нормативных документов предъявляемые разработчиками изделия.

Конструктивные и организационно-технические мероприятия по обеспечению надежности и безопасности работы оборудования заправочно-нейтрализационной станции при эксплуатации.

Оборудование заправочно-нейтрализационной станции должно обеспечить:

- Надежность проведение всех предусмотренных работ;
- Обеспечить соблюдение технологического графика выполнения заправочных работ;
- Выполнении требований безопасной эксплуатации станции.

Выбор показателей надежности оборудования, входящего в состав станции, производится в зависимости от назначения, режимов применения, возможностей восстановления и требований технического обслуживания.

Системы станции в целом должны обеспечивать следующие показатели надежности:

- Безотказность. Обеспечивается заданная вероятность безотказного проведения цикла заправочных работ;
- Ремонтопригодность. Выполнение текущих ремонтно-восстановительных работ при возникновении неисправностей за время, при котором соблюдается технологический график заправки;
- Долговечность. Проведение заправочных работ с требуемыми показателями безотказности и ремонтопригодности в течение установленного срока службы станции.

Когда проектируют заправочно-нейтрализационную станцию, в нее должны быть заложены основы ее эффективности, надежности и безопасной эксплуатации. Это требует создание моделей эксплуатации агрегатов и систем станции, отражающих не только последовательность выполнения всех видов технологических операций по хранению, транспортированию и

подготовке компонентов топлива, но и стратегию системы технического обслуживания и ремонта, а также необходимую численность и квалификацию обслуживающего персонала. На всех этапах проектирования должны быть проанализированы вероятности возникновения аварийных ситуаций и приняты конструктивные решения, позволяющие свести к минимуму возможные последствия отказов и неисправностей отдельных элементов, а также последствия ошибок в действиях обслуживающего персонала.

Основными конструктивными мероприятиями по обеспечению надежности и безопасности являются:

- Для заправки топлива необходима разработка оптимальной пневмогидросхемы;
- Для наименьшего значения интенсивности отказов необходим выбор составных частей и комплектующих изделий;
- Для некоторых элементов станции необходим выбор оптимальных способов и кратности резервирования;
- По комплектующим изделиям ограничение по номенклатуре;
- Обеспечение ремонтпригодности;
- Обеспечение технического диагностирования, аппаратного контроля технического состояния и индексации неисправностей.

Организационно-технические мероприятия по обеспечению надежности и безопасности проводятся на всех стадиях жизненного цикла станции и включают в себя:

- Проведение анализа видов и последствий отказов;
- Расчет проектных показателей надежности;
- Подтверждение значений показателей надежности на этапах создания, экспериментальной отработки и эксплуатации станции;

- Проведение работ по специальным программам обеспечения надежности и безопасности;
- При возникновении отказов, провести их анализ.

В составе технических объектов существует наличие оборудования, способного обеспечивать установленные требования по безопасной эксплуатации:

- Пожарная безопасность;
- Безопасность труда обслуживающего персонала;
- Экологическая безопасность.

Для этого в состав заправочно-нейтрализационной станции включены специальные системы:

- Системы пожаротушения;
- Системы контроля паров компонентов топлива в воздухе производственных помещений;
- Системы нейтрализации магистралей заправочных систем;
- Системы сжигания дренажных паров компонентов топлива;
- Системы сбора и нейтрализации промстоков;
- Системы вентиляции производственных помещений.

Технологическое оборудование заправочно-нейтрализационной станции

Технологическое оборудование: это системы, обеспечивающие подготовку компонентов топлива и заправку космических аппаратов и разгонных блоков, систем дистанционного управления заправочных операций (окислителем и горючим), систем, обеспечивающих безопасность проводимых работ.

Заправочные системы компоненты топлива обеспечивают выполнение следующих операций:

- Заправку окислителем (амилом, амилином, меланжем 27И, меланжем 20Ф);
- Заправку горючим (гептилом, нафтилом, синтином, амидолом);
- Заправку пероксидом водорода высококонцентрированным;
- Газоснабжение и заправку сжатых газов (азотом, гелием);
- Заправку ксеноном;
- Заправку пропаном.

Каждая из заправочных систем имеет в своем составе:

- Оборудование для приема, хранения и подготовки компонентов топлива к заправке;
- Оборудование для отбора проб компонентов топлива. Они обеспечивают химический анализ и контроль содержания растворенных газов, которые проводят в физико-химической лаборатории;
- Дозирующие устройства. Они обеспечивают выдачу доз топлива в баки двигательной установки в широком диапазоне;
- Оборудование, обеспечивающее стыковку заправочных систем с баками двигательной установки и их заправку. Сюда входят стационарные и передвижные заправочные пульта, рукава, фильтры и стыковочные элементы).

В состав систем, обеспечивающих комплекс работ технологического цикла подготовки топлива к заправке и заправку баков двигательной установки, входят:

- Вакуумное оборудование;

- Системы сбора промстоков и централизации дренажных паров компонент топлива. В эту систему входят агрегаты сжигания промстоков и дренажных паров;

- Системы нейтрализации заправочного оборудования;
- Системы термостатирования;
- Система дистанционного управления термостатированием топлива;
- Системы хроматографического анализа содержания растворенных в топливе газов.

Системы, обеспечивающие безопасность проведения работ:

- Системы газового контроля. Обеспечивает контроль наличия паров топлива в воздухе;
- Системы газового контроля паров амидола в воздухе;
- Системы контроля недостаточного содержания кислорода в помещениях;
- Системы контроля превышения содержания кислорода в помещениях;
- Системы технологического пожаротушения.

Оборудование для приема, хранения и подготовки компонентов ракетных топлив.

Заправочно-нейтрализационная станция решает задачи по заправке космических аппаратов и разгонных блоков согласно годовой программе запусков космических аппаратов. Если заправки космических аппаратов и разгонных блоков следуют друг за другом, на станции необходимо обеспечить запасы компонентов топлива и сжатых газов. Это позволит подготовить оборудование и компоненты ракетного топлива для заправки различных типов космических аппаратов и разгонных блоков. Для выполнения этой задачи в состав станции входит оборудование, обеспечивающее прием, хранение и подготовку топлива к заправке.

Не все компоненты топлива могут длительное время сохранять свои первоначальные свойства после выпуска с завода-изготовителя. Так, пероксид водорода высококонцентрированный склонен к ухудшению показателя термостабильности в процессе хранения. Горючее амидол склонен к химической нестабильности. Поэтому доставку некоторых компонентов топлива на станцию производят непосредственно перед заправкой космического аппарата.

При проектировании станции так же могут на космодроме построить хранилища компонентов ракетного топлива. Доставка топлива для заправки будет осуществляться в транспортных контейнерах и транспортно-заправочных контейнерах. Станция имеет в своем составе хранилища горючего и окислителя, расположенные по разные стороны заправочного корпуса и удаленные друг от друга на расстояние в соответствии со строительными нормами и для безопасности.

На сливноналивном фронте установлены приемные колонки для приема в емкости хранилищ топлива из железнодорожных цистерн и автомобильных цистерн. Хранилища обеспечивают прием и хранение окислителей, горючих и выполнены по одинаковой схеме.

В состав оборудования хранилищ входят технологические и технические системы.

Технологические системы хранилища станции состоят из оборудования:

- Заправочной системы;
- Системы газоснабжения;
- Системы сбора промстоков;
- Системы нейтрализации заправочного оборудования;
- Система дистанционного управления;

- Системы газового контроля паров топлива в воздухе производственных помещений;
- Системы термостатирования компонентов ракетного топлива;
- Технологической системы пожаротушения.

Работу технологического оборудования обеспечивает ряд технических систем:

- Электроснабжения;
- Отопления и вентиляции;
- Технического и оборотного водоснабжения;
- Проводной связи и др.

Рассмотрим на примере состав системы заправки окислителя. Система заправки окислителя и горючего будет одинакова.

Оборудование системы смонтировано в сооружении хранилища окислителя и заправочном корпусе.

В помещении хранилища установлены две емкости объемом по 20 м³ и две емкости объемом 10 м³ для хранения амила, меланжа 27И, меланжа 20Ф. Для визуального контроля количества, хранящегося топлива, емкости оборудованы уровнемерами. Для периодического контроля качества хранящегося топлива предусмотрены щиты для отбора проб из емкостей для химического анализа в физико-химических лабораториях.

В помещении насосной установлены:

- Сливные емкости с запорной арматурой;
- Насос для перекачивания окислителя при термостатировании;
- Блок фильтров для фильтрации топлива при заполнении рабочих емкостей хранилища.

Сливные емкости предназначены для сбора окислителя из трубопроводов. После продувки и опорожнения трубопроводов окислитель из сливной емкости перекачивается в рабочую емкость хранилища.

Расположенные в заправочном корпусе, каждая из рабочих емкостей хранилища связана трубопроводами с заправочным оборудованием.

В других помещениях хранилища системы заправки окислителем размещено оборудование технологических и технических систем. С помощью пультовой системы дистанционного управления, расположенной в хранилище, осуществляется:

- Управление пневмоклапанами рабочих емкостей;
- Контроль температуры окислителя;
- Давления в рабочих емкостях;
- Количества окислителей в емкостях.

Термостатирование окислителя возможно в одной из рабочих емкостей хранилища. Термостатирование окислителей, хранящихся в других рабочих емкостях хранилища, производится в теплообменниках заправочных линий, которые находятся в помещении дозаторной окислителя заправочного корпуса. В этих теплообменниках производится подготовка окислителей по газосодержанию (удаление азота, гелия из окислителей либо насыщение окислителей азотом или гелием).

Система заправки окислителем станции состоит из четырех заправочных линий:

- Линии I заправки амилином (или амилром);
- Линии II заправки меланжем 27И;
- Линии III заправки меланжем 20Ф;
- Линии IV заправки большими дозами любого из перечисленных окислителей с использованием весов грузоподъемностью 15 т.

При этом космический аппарат или разгонный блок может находиться на транспортно-заправочном агрегате или быть установлен на платформу весов и заправляться до перелива с последующим сливом заданной дозы в емкость, установленную на весах 15 т.

В состав каждой заправочной линии входят:

- Дозирующие устройства;
- Теплообменник;
- Сливная емкость.

Оборудование заправочных линий размещено в помещении дозаторной окислителя. Каждая из линий состоит из теплоизолирующей емкости, в которой размещен теплообменник, предназначенный для нагревания или охлаждения окислителя с помощью теплоносителя, подаваемого от внешней системы термостатирования, и кольцевого коллектора (барботера) для продувки через окислитель азота или гелия при насыщении окислителя или его дегазировании по отработанным технологиям.

Контроль температуры и давления в теплообменнике осуществляют:

- Термометрам;
- Манометрам;
- Вакуумметрам.

Для контроля качества подготовленного окислителя из теплообменника отбираются пробы на химический анализ и на газосодержание. Пробы отбираются в пробоотборные банки, устанавливаемые на щите отбора проб.

Запасные части, инструменты и принадлежности заправочной системы состоят из комплекта переносных емкостей объемом 100, 250, 500, 1000 и 4200 литров и специальных переносных весов грузоподъемностью 250 и 1250 кг, для того чтобы улучшить заправочную систему по заправке конструкций

космического аппарата (количество заправляемых баков, содержащих один компонент топлива, может достигать восьми).

При этом, переносные емкости теплоизолированы и оснащены теплообменником, кольцевым коллектором, контрольно-измерительными приборами для замера температуры, давления. В них так же, как и в теплообменнике, можно подготовить компоненты топлива по температуре и газосодержанию. Будучи установленными на весы, они выполняют еще и функции дозирующей емкости при заправке космических аппаратов и разгонных блоков.

Качество подготовленного топлива должно быть достоверно подтверждено. Химическая лаборатория после проведения анализа выдает паспорт на соответствие топлива заданным требованиям.

Данные по содержанию растворенных в топливе газов в том случае, когда их может быть несколько, получают в результате хроматографического анализа. Когда известно, что в топливе растворен один газ, используют пробоотборные банки (сосуды малого объема) для больших и малых концентраций растворенного газа и расчетные методы определения газосодержания. На станции находятся в обращении два типа банок отбора проб компонентов ракетного топлива на газосодержание: прибор контроля газосодержания и прибор контроля газосодержания малых концентраций.

Банка отбора проб прибора контроля газосодержания позволяет отбирать и анализировать пробы для одного растворенного газа в газонасыщенных топливах в пределах от 0,1 до 5,0 кг/м³ и неглубоко дегазированных топлив. Помимо этого, прибор контроля газосодержания служит для отбора проб, глубоко дегазированных топлив и для проведения анализа газосодержания на хроматографе.

Пробы на газосодержание отбираются в отвакуумированную пробоотборную банку. Операции по вакуумированию, отбору проб и получению результатов для проведения расчетов производятся на столе

отбора проб. Прибор контроля газосодержания оснащен термометрами для замера температуры жидкой и паровой фазы топлива, мановакуумметром, вентилями. Показания давления и температуры снимаются с приборов при равновесном состоянии жидкой и паровой фаз (когда оба термометра показывают одну температуру). Конструкция стола позволяет достигать равновесного состояния путем встряхивания пробоотборной банки. Далее расчетным путем по парциальному давлению растворенного в топливе газа рассчитывается газосодержание.



Рисунок 7 — Мановакуумметр

Банка отбора проб прибора контроля газосодержания малых концентраций позволяет непосредственно замерить парциальное давление газа по уровнемеру, так как конструкция банки позволяет скомпенсировать парциальное давление паров топлива. В приборе контроля газосодержания малых концентраций имеются также внутренний сосуд или ампула, вертикальная уровнемерная трубка для замера парциального давления растворенного газа, термометр, мановакуумметр, вентили. Пределы измерения прибора составляют от 0,005 до 0,1 кг/м³.

Пробоотборные банки прибора контроля газосодержания и прибора контроля газосодержания малых концентраций позволяют анализировать пробы, когда заранее известно, что в топливе растворен один газ (азот или гелий). При наличии в топливе нескольких растворенных газов проба анализируется на хроматографе. Пределы измерения содержания растворенных газов системой хроматографического анализа от 0,2 до 0,001 кг³.

В состав системы хроматографического анализа входят:

- Хроматограф;
- Программно-аппаратный комплекс;
- Компьютер;
- Принтер;
- Система отбора проб и установка с замкнутым контуром;
- Измерительный блок вакуумметра;
- Микрокомпрессор;
- Вакуумный насос;
- Баллоны (с аргоном, гелием, азотом);
- Подставка для размещения банки отбора проб при проведении анализа газосодержания топлива.

Принцип действия системы заключается в выдаче дозы определенного объема топлива в хроматограф, с помощью которого определяют массовую концентрацию гелия и азота, растворенных в топливе. Перед проведением анализа хроматограф калибруется по гелию и азоту, которые находятся в баллонах. Баллон с аргоном (газом-носителем) используется для вдувания отобранной пробы в хроматограф. Проба паров топлива отбирается системой отбора проб при равновесном состоянии жидкой и паровой фаз топлива. Равновесное состояние создается микрокомпрессором, прокачивающим

жидкую фазу компонентов ракетного топлива пробоотборной банки по кольцу. Вакуумный насос служит для вакуумирования системы отбора проб перед проведением анализа. Результаты анализа топлива на газосодержание обрабатываются программно-аппаратным комплексом, компьютером и выдаются принтером в виде распечатки.

Оборудование для приема, хранения и выдачи сжатых газов

Оборудование для приема, хранения и выдачи сжатых газов на заправочно-нейтрализационной станции состоит:

- Системы газоснабжения;
- Системы заправки ксеноном;
- Системы заправки пропаном.

Оборудование системы газоснабжения размещено в заправочном корпусе:

- В помещениях ресиверной;
- В зале сжатых газов;
- В пневмоцистовые окислителя и горючего;
- В зале окислителя;
- В зале горючего;
- В пневмоцистовой хранилища окислителя;
- В пневмоцистовой хранилища горючего.

Оборудование системы связано между собой трубопроводами, проложенными в технологических каналах и вдоль стен помещений.

В заправочном корпусе в ресиверной системы газоснабжения на опорных плитах установлены баллоны объемом 400 литров с сжатыми газами — азотом, гелием. У противоположной стены ресиверной па стойках установлены щиты зарядки баллонов и распределительные щиты. Баллоны

ресиверной заполняют по магистралям централизованного газоснабжения, а также от передвижных агрегатов.

Шесть воздушных баллонов установлены на опорных плитах у наружной стены заправочного корпуса. Сверху баллоны защищены козырьком. Заряжают их компрессорной установкой или централизованно.

От баллонов проложены трубопроводы к различным щитам и колонкам, размещенным в щитовых окислителя и горючего в заправочном корпусе, в заправочных залах окислителя, горючего и сжатых газов. В щитах сжатых газов редуцируются до необходимого давления и выдаются через колонки потребителю. Дренажные магистрали закреплены скобами под потолком помещений и выведены через крышу в атмосферу. Выводы закрыты дренажными оголовками.

Установленные в щитовых электрообогреватели, которые входят в состав системы газоснабжения.

В заправочном зале сжатых газов имеются блоки отбора проб сжатых газов, щиты зарядки газов, колонки выдачи газов, распределительные щиты. На сливноналивном фронте около приемных колонок установлены щитки наддува железнодорожной цистерны. Трубопроводы к колонкам проложены в непроходных каналах.

Система заправки ксеноном.

Система состоит из оборудования для приема, выдачи, а также хранения ксенона, которое размещено в одном из помещений заправочного корпуса рядом с залом сжатых газов и в самом зале сжатых газов. Оборудование связано трубопроводами в стационарную систему.

В зале сжатых газов установлено оборудование для выдачи ксенона в космический аппарат. Это колонка выдачи, блоки вентиля, редукторы, вакуумная установка и переносной азотный блок с рамой для размещения азотных баллонов.

В помещении за стеной зала сжатых газов установлено оборудование для приема ксенона и подготовки к выдаче его в зал сжатых газов. В этом же помещении размещены:

- Баллоны для приема ксенона;
- Баллоны на весах для выдачи ксенона;
- Компрессорная установка;
- Блоки подогрева ксенона;
- Блоки охлаждения ксенона;
- Арматура и приборы, скомпонованные в щиты и блоки.

Все оборудование связано между собой трубопроводами.

Система заправки пропаном.

Система состоит из оборудования для приема, хранения и выдачи пропана, которое представлено отдельными переносными частями. Переносное оборудование системы заправки пропаном хранится в помещении запасных частей, инструментов и принадлежностей рядом с ресиверной системы газоснабжения, имеющем выход в зал горючего. В составе системы заправки пропаном имеются:

- Баллон для пропана объемом 40 литров;
- Две емкости по 5 литров;
- Монтажный стенд;
- Двое рычажных весов.

Оборудование для работы устанавливают в указанном месте и состыковывают между собой рукавами и переходниками из комплекта запасных частей, инструментов и принадлежностей системы.

Оборудование для термостатирования компонентов ракетных топлив

Оборудование для термостатирования компонентов топлива на станции состоит из двух стационарных систем:

- Системы термостатирования;
- Системы управления.

Все основное оборудование этих систем размещено в помещениях корпуса термостатирования, который является холодильным центром.

Система термостатирования состоит:

- Три холодильные машины, предназначенных для захолаживания теплоносителя;
- Два бака объемом 20 м³ и 5 м³, в которых теплоноситель захолаживается;
- Бак объемом 20 м³, обеспечивающего подогрев теплоносителя;
- Насосы для перекачки теплоносителя в теплообменные аппараты.

От холодильного центра проложены трубопроводы в непроходных каналах к теплообменникам систем заправки окислителем и горючим.

Система управления предназначена для автоматического управления компрессорами холодильных машин, подогревом и охлаждением теплоносителя. Для управления системой термостатирования и контроля за ее работой служит пульт управления и контрольно-регулирующие приборы, соединенные между собой в единый комплекс кабельной сетью.

Вакуумное оборудование

Это оборудование предназначено для выполнения операций вакуумирования:

- Баков космических аппаратов, разгонных блоков перед заправкой топлива;

- Заправочных коммуникаций перед заполнением их топливом;
- Теплообменников, переносных емкостей при дегазировании топлива;
- Банок для отбора проб, дегазированных топлива.

Вакуумное оборудование станции представляет собой пять передвижных вакуумных установок с пультами управления, предназначенных для откачки из замкнутых объемов воздуха (азота, гелия) и насыщенных паров окислителя, горючего и пероксида водорода.

Две вакуумные установки размещены в зале окислителя, две - в зале горючего и одна — в дозаторной системы заправки пероксидом водорода высококонцентрированным.

Каждая вакуумная установка смонтирована на тележке, установлена на домкратах и соединена стационарными трубопроводами с соответствующими системами заправки окислителем, горючим, пероксидом водорода, а также с системой обратного водоснабжения и системой газоснабжения. Пульты управления вакуумных установок передвижные, смонтированы на тележках. Они установлены в пультовых окислителя и горючего и в дозаторной системе заправки пероксидом водорода.

Пульты соединены с вакуумными установками кабелями. Принцип действия вакуумной установки заключается в откачке вакуумным насосом через вакуумную магистраль газов и паров для создания заданного разрежения в откачиваемых объемах, конденсации откачиваемых паров в азотной ловушке и отвода выхлопных газов из вакуумных насосов через магистрали в систему нейтрализации.

Оборудование для заправки компонентов ракетных типов

В состав каждой из заправочных систем помимо оборудования, обеспечивающего прием, хранение и подготовку топлива к заправке, входит оборудование, позволяющее выдать топливо заданной массы в баки двигательной установки:

- Дозирующие устройства;
- Заправочные пульта;
- Элементы для стыковки двигательной установки космических аппаратов и разгонных блоков с заправочной системой.

Дозирующее устройство может состоять из весового устройства (рычажные коромысловые весы или платформенные тензометрические весы) и емкости дозатора, установленной на платформе весового устройства, или из объемного дозирующего устройства, которое дозирует топливо в потоке по объему прошедшей через него жидкости. В процессе дозирования элементы объемного дозирующего устройства непрерывно ведут пересчет объема в массу с учетом поправки на изменяющуюся плотность жидкости в зависимости от температуры.



Рисунок 8 — Емкость дозатора, установленная на платформе весового устройства

К дозирующим устройствам предъявляются высокие требования по точности (погрешности) выдачи заданной дозы, которая обеспечивается точностью взвешивания, объемным или массовым дозированием и точностью отсечки дозы в нужный момент. Наибольшую точность взвешивания дозы обеспечивают специальные рычажные коромысловые весы.

В состав дозирующих устройств заправочных систем входят специальные рычажные коромысловые весы, настроенные на различные диапазоны нагрузки. Диапазон нагрузок весов в зависимости от назначения систем составляет от 15 до 15 000 кг, а погрешность взвешивания — 0,05 и 0,1 % от массы груза на платформе весов.

Точность отсечки дозы обеспечивается элементами дозирующего устройства, выдающими сигналы в систему дистанционного управления заправкой на закрытие клапана большого расхода (переход на малый расход) и закрытие клапана малого расхода (отсечка дозы). Такими элементами являются вторичные указательные приборы дозирующего устройства, непрерывно показывающие количество выданного топлива, и бесконтактные датчики, фиксирующие момент прихода коромыслового указательного прибора рычажных весов в положение равновесия. На станции дозирующие устройства для окислителей и горючих, как правило, размещаются в отдельно выделенных помещениях заправочного корпуса - дозаторных окислителя и горючего. Исключением из этого правила является заправка баков двигательной установки из транспортно-заправочного контейнера. В этом случае весовое устройство с установленным на нем транспортно-заправочного контейнера размещается в заправочном зале, и выдача компонентов топлива в баки двигательной установки осуществляется через рукав, входящий в состав транспортно-заправочного контейнера, минуя оборудование заправочных систем. Выдача топлива в баки двигательной установки из дозирующего устройства осуществляется через заправочные пульта, находящиеся в заправочном зале и оснащенные контрольно-

измерительными приборами. Эти приборы позволяют контролировать параметры заправки, давления в топливных и газовых полостях баков, температуру топлива на входе в баки (и т. д.), вакуум, запорную арматуру, фильтры с заданной тонкостью фильтрации топлива.

Для обеспечения заправки топливом многобаковых конструкций двигательной установки используются передвижные заправочные пульта, которые позволяют увеличить количество заправочных штуцеров стационарного пульта, соответствующее количеству баков двигательной установки.

Элементами для стыковки баков двигательной установки космических аппаратов или разгонных блоков с заправочной системой служат гибкие рукава (металлорукава или фторопластовые в металлической оплетке). Для выполнения технологических операций по заправке всех баков двигательной установки без перестыковки коммуникаций осуществляется предварительная сборка коммуникаций. При сборке коммуникаций из-за различия типов уплотнений стыков и резьб стыковочных элементов используются переходники. Вспомогательные элементы, из которых собираются коммуникации для заправки двигательной установки, обычно входят в состав запасных частей, инструментов и принадлежностей заправочной системы.



Рисунок 9 — Металлорукава высокого давления

Оборудование для заправки окислителем обеспечивает дозирование топлива, выдаваемых по четырем заправочным линиям:

- I, II и III заправочные линии осуществляют заправку баков двигательной установки космических аппаратов или разгонных блоков заданными дозами из дозирующих устройств этих линий;
- IV заправочная линия осуществляет заправку баков двигательной установки разгонных блоков до перелива (бак заправляется полностью из рабочей емкости хранилища) с последующим сливом заданной дозы из бака двигательной установки в емкость, установленную на платформе весов.

Дозирующее устройство представляет собой рычажные коромысловые весы с установленной на весовой платформе емкостью. Весовая платформа с емкостью расположена в помещении дозаторной окислителя, а коромысловый указательный прибор размещен в весовом шкафу в помещении пультной окислителя на втором этаже. Коромысловый указательный прибор оснащен бесконтактными датчиками отсечки дозы.

В тягу весов, проходящую от весовой платформы в весовой шкаф, вмонтирован тензометрический датчик, выдающий сигнал о текущем значении массы топлива в дозирующей емкости на вторичный указательный прибор. Вторичный указательный прибор имеет задатчик предварения дозы, который выдает сигнал на предварительное (за несколько минут до окончания выдачи дозы) закрытие клапана большого расхода топлива. Бесконтактные датчики отсечки дозы выдают сигнал на закрытие клапана малого расхода.

В помещении дозаторной помимо дозирующих устройств расположены блоки клапанов, входящие в состав заправочных линий.

Заправочные пульты расположены в зале окислителя непосредственно в зоне размещения космических аппаратов. В пультной окислителя размещается система дистанционного управления заправкой, имеющая в своем составе четыре пульта управления (по числу заправочных линий).

Оборудование для заправки пероксидом водорода расположено в дозаторной пероксида водорода и зале окислителя.

В его состав входят:

- Дозирующее устройство;
- Заправочный пульт;
- Система дистанционного управления;
- Элементы (рукава, фильтры, переходники), позволяющие состыковать баки двигательной установки с заправочной системой.

Дозирующее устройство состоит из рычажных коромысловых весов с емкостью, размещенной на весовой платформе. Это оборудование также установлено в дозаторной пероксида водорода. Заправочный пульт находится в зале окислителя и связан трубопроводами с дозирующим устройством. Пульт обеспечивает поочередную заправку до пяти баков двигательной установки. В состав пульта входят запорная арматура, мановакуумметры, смотровое устройство, позволяющее контролировать заполнение коммуникаций продуктом и отсутствие пероксида водорода в коммуникациях после их продувки по окончании заправки баков двигательной установки. Управление заправкой обеспечивается система дистанционного управления, которая состоит из заправочного пульта переносного типа, устанавливаемого на столе в помещении дозаторной или в заправочном зале окислителя вблизи заправочного пульта. Выдача пероксида водорода высококонцентрированного в баки двигательной установки от заправочного пульта осуществляется через гибкие фторопластовые рукава в металлической оплетке.

Оборудование для заправки ксеноном размещается в зале сжатый газов и примыкающем к нему помещении дозаторной. Заправка шаробаллонов двигательной установки газообразным ксеноном имеет свои особенности по сравнению с зарядкой шаробаллоном другими сжатыми

газами (азотом, гелием), которые обусловлены физическим свойством ксенона резко изменять плотность и фазовое состояние при определенных значениях температуры и давления. Критическая точка ксенона находится вблизи рабочей температуры и давления при заправке.

Обычно зарядку шаробаллонов двигательной установки изделий сжатый газ проводят перепуском газа из баллонов ресиверной, заряжая шаробаллон до определённого давления в зависимости от температуры газа в шаробаллоне. Однако заправить шаробаллон заданной массой (дозой) ксенона методом перепуска не представляется возможным в связи с указанным физическим свойством ксенона. Поэтому заправку шаробаллонов ксеноном осуществляют с использованием весового дозирующего устройства. В тех случаях, когда шаробаллон двигательной установки допускается заправить автономно (не в составе космического аппарата), их устанавливают на весы, что позволяет более точно выдать заданную массу ксенона.

При заправке шаробаллонов в составе космического аппарата выдачу ксенона проводят из баллонов, размещенных на весовой платформе весов. В обоих случаях заправку ксенона осуществляют с помощью компрессорного агрегата.

Для того чтобы определить массу ксенона при выдаче его из баллонов, установленных на весах (с учетом создания условий, при которых масса ксенона в магистралях до и после выдачи в шаробаллонов одинаковая), производят заполнение магистралей непосредственно перед выдачей дозы ксенона в шаробаллон до давления, ожидаемого в конце выдачи. Давление определяется в процессе предварительных испытаний. Отклонение температуры воздуха в помещении в конце дозирования от начальной приводит к изменению температуры ксенона в магистралях и к дополнительной погрешности дозирования.

В состав оборудования для заправки ксеноном входят установленные в помещении дозаторной:

- Компрессорный агрегат с пультом управления и блоками подогрева и охлаждения ксенона;
- Дозирующее устройство;
- Транспортные баллоны для хранения ксенона.

В зале сжатых газов для обеспечения заправки двигательной установки ксеноном размещены колонка для выдачи ксенона и вакуумная установка.

Компрессорный агрегат предназначен для перекачивания ксенона из весового дозирующего устройства в заправляемые шаробаллоны, заполнения баллонов весового дозирующего устройства из транспортных баллонов, в которых ксенон поставляется с завода-изготовителя, а также для перекачивания ксенона из шаробаллонов двигательной установки в транспортные баллоны в случае несостоявшегося его применения.

Блок подогрева ксенона предназначен для повышения температуры ксенона с целью исключения попадания жидкой фазы ксенона в компрессорный агрегат. Он представляет собой теплообменный аппарат, заполненный водой, в нижней части которого размещен блок трубчатых электронагревателей с автоматическим регулированием температуры ксенона. Ксенон подается по трубчатому змеевику, расположенному внутри теплообменного аппарата.

Блок охлаждения ксенона предназначен для снижения температуры ксенона, выходящего из компрессорного агрегата. Он представляет собой кожух отрубный теплообменный аппарат, в межтрубное пространство которого подается вода для охлаждения ксенона, проходящего по трубной решетке. Температура ксенона на выходе регулируется с помощью реле температуры.

Пульт управления предназначен для дистанционного управления технологическими операциями и для контроля за выполняемыми операциями. На лицевой стороне пульта размещены панели контроля, мнемосхемы управления. Дозирующее устройство состоит из рычажных коромысловых весов, на весовой платформе которых установлены два баллона, из которых выдается доза ксенона при заправке шаробаллонов космического аппарата. Отсечка дозы ксенона при заправке шаробаллонов и при заполнении баллонов, установленных на весовой платформе, проводится автоматически бесконтактными датчиками при равновесном положении коромысла весов. Задание дозы осуществляется по коромыслу весов передвижной гирей.

Транспортные баллоны, входящие в систему, возвращаются заводу-поставщику ксенона в обмен на баллоны, в которых производится поставка ксенона. Объем баллона 40 литров, рабочее давление 15 МПа (150 кгс/см²).

Комплект металлорукавов, фильтров, переходников предназначен для сборки коммуникаций, по которым проводится заправка шаробаллонов космического аппарата ксеноном из колонки выдачи.

Колонка выдачи предназначена для удобства стыковки заправочных коммуникаций с горловинами баллонов и для размещения запорной арматуры, контрольно-измерительных приборов.

Вакуумная установка предназначена для вакуумирования баллонов двигательной установки перед заправкой их ксеноном, для вакуумирования коммуникаций перед заполнением ксеноном, а также используется при подготовке системы к работе с ксеноном. Подготовка системы заключается в вакуумировании и вентиляции ксеноном трубопроводов, запорной арматуры, манометров, вакуумметров.

Оборудование для заправки пропаном состоит из отдельных переносных составных частей. Для заправки газовой полости топливного бака двигательной установки пропаном составные части системы

состыковываются между собой в зале горючего согласно пневмогидросхеме заправки. Система предназначена для приема и хранения жидкого пропана, для заправки двигательной установки пропаном и для приема жидкого пропана при сливе его из двигательной установки в случае несостоявшегося применения. Принцип действия системы основан на возможности вытеснения пропана из баллона в откакумированную емкость давлением насыщенных паров пропана.

В состав оборудования системы заправки пропаном входят:

- Баллон для хранения пропана;
- Две дозаторные емкости;
- Весы рычажные коромысловые;
- Монтажный стенд;
- Одиночный комплект запасных частей, инструментов и принадлежностей системы.

Баллон для хранения пропана объемом 40 литров с рабочим давлением 15 МПа (150 кгс/см²) предназначен для транспортировки, хранения жидкого пропана и служит в качестве обменной тары при поставке пропана с завода-поставщика.

Емкость дозатора предназначена для термостатирования и выдачи дозы пропана в бак двигательной установки, а также для приема пропана из бака при несостоявшемся применении и представляет собой сосуд цилиндрической формы, внутри которого вмонтирован змеевиковый теплообменник для нагревания пропана горячим воздухом или охлаждения его жидким азотом. Наружная поверхность емкости покрыта теплоизоляцией. Емкость оснащена запорным вентилем, термометром, штуцерами для подачи и отвода горячего воздуха.

Весы рычажные коромысловые служат для взвешивания расположенной на них емкости при выдаче дозы пропана в бак двигательной установки и при ее заполнении из баллона, в котором хранится пропан.

Монтажный стенд представляет собой рамную конструкцию и предназначен для размещения на нем баллона с пропаном при заполнении из него дозаторной емкости. Одиночный комплект запасных частей, инструментов и принадлежностей системы служит для сборки пневмогидросхемы заправки (слива) пропана из бака двигательной установки и для заполнения дозаторной емкости. В состав комплекта запасных частей, инструментов и принадлежностей входят: металлорукава, переходники, манометры, смотровые устройства.

Перед заполнением дозаторную емкость устанавливают на весы и вакуумируют. Баллон для хранения пропана помещают на монтажный стенд горловиной вниз. Сосуды сообщаются между собой по заранее собранным коммуникациям. Заполнение емкости контролируют по коромысловому указательному прибору весов.

При заправке бака двигательной установки пропаном дозаторная емкость устанавливается на весы, бак двигательной установки вакуумируется. Пропан в дозаторной емкости нагревается горячим воздухом на 10... 15°C выше температуры бака двигательной установки. Выдачу дозы пропана контролируют по коромысловому указательному прибору весов.

Оборудование для заправки сжатыми газами шаробаллоновых изделий входит в состав системы газоснабжения. Щиты зарядные расположены в зале сжатых газов. Баллоны, из которых выдаются сжатые газы, находятся в ресиверной системе. Оборудование предназначено для заправки шаробаллонов азотом, гелием, воздухом путем перепуска сжатых газов из баллонов ресиверной.

В состав зарядных щитов входят щиты высокого давления, позволяющие заряжать шаробаллоны до давления газов:

- 35 МПа (350 кгс/см²);
- 5... 7 МПа (50... 70 кгс/см²);
- 20 МПа (200 кгс/см²).

Щиты высокого давления не имеют в своем составе газовых редукторов. В щитах низкого давления установлены редукторы.

В состав зарядных щитов входят блоки отбора проб газов на влагосодержание с приборами контроля, которые позволяют контролировать подготовку собранных магистралей для зарядки баллонов сжатыми газами при точке росы не выше -55 градусов при атмосферном давлении.

В состав оборудования заправки сжатых газов входят также два передвижных щита, каждый из которых может обеспечить зарядку до пяти заправочных горловин баллонов. Через эти щиты можно вести параллельно зарядку шаробаллонов гелием и азотом.

Стационарные и передвижные щиты оснащены манометрами образцовыми и вентилями запорно-регулирующими игольчатыми. В состав стационарных щитов входят фильтры для очистки сжатых газов с тонкостью фильтрации 20 и 5 мкм. Фильтры установлены последовательно.

Поддержание заданного темпа зарядки баллонов осуществляется посредством установки в выдающую магистраль сужающего устройства (дюзы), которое, как правило, рассчитывается на зарядку баллонов определенного объема для каждого космического аппарата и разгонного блока.

Манометры образцовые обеспечивают контроль давления до сужающего устройства и за ним. Зарядка сжатых газов ведется до заданного давления в зависимости от температуры окружающей среды согласно графику после выравнивания температуры стенок баллонов с окружающей средой. Коммуникации для зарядки баллонов собираются из металлорукавов высокого давления с использованием переходников, тройников.

Оборудование для сбора промстоков и нейтрализации паров и промстоков, нейтрализации заправочного оборудования

На станции обращается большое количество компонентов ракетного топлива, которые являются токсичными веществами, пагубно воздействующими на организм человека и окружающую среду, поэтому очень важно иметь в структуре станции систему сбора и нейтрализации промстоков и паров топлива.

Попадание топлива или их паров в окружающую среду может происходить вследствие негерметичности заправочного оборудования, образования случайных проливов топлива (каплевидное падение) при расстыковке коммуникаций, а также в результате образования дренажных выбросов паров топлива при проведении технологических операций, при нейтрализации заправочного оборудования после заправки космических аппаратов, нейтрализации заправочного оборудования перед проведением ремонтных работ или очередным переосвидетельствованием при нейтрализации баков двигательной установки космических аппаратов после слива из них топлива.

Сбор растворов топлива, дренажных паров и их нейтрализация осуществляется системой сбора и нейтрализации паров и промстоков.

Система сбора промстоков и нейтрализации паров и промстоков, состоит из двух автономных стационарных частей, размещенных в различных помещениях заправочного корпуса, в хранилищах топлива, на сливноналивном фронте, а также в двух отдельно стоящих сооружениях.

В заправочном корпусе, в хранилищах, на сливноналивном фронте смонтировано оборудование для приема паров и промстоков топлива. Оно состоит из сливных трапов, прямков, сливных колонок. Трапы и прямки забетонированы в полах, сливные колонки закреплены на стенах. Трубопроводы от трапов, прямков и колонок проходят в технологические

колодцы, в которых они присоединяются к общим сливным линиям, самотечным и напорным. Далее промстоки поступают в два отдельно стоящих сооружения. Одно из них предназначено для работы с промстоками окислителя, другое — с промстоками горючего. Рядом с сооружениями имеются площадки, на которых установлены передвижные агрегаты для нейтрализации паров и промстоков методом термического разложения (сжигания). Планировка сооружений сбора промстоков окислителей и горючего одинакова.

На первом заглубленном этаже сооружения установлена емкость объемом 16 м^3 для сбора промстоков и насос выдачи промстоков для нейтрализации. На втором этаже размещены система вентиляции и электрощитовая. Агрегаты для нейтрализации паров и промстоков соединены со стационарным оборудованием металлорукавами. Агрегаты подобны друг другу. Агрегат для нейтрализации паров и промстоков горючего имеет дополнительно систему автоматического пламегашения, а также обратные клапаны и огневые преградители на магистралях паров.

Система нейтрализации заправочного оборудования предназначена для выполнения следующих операций:

- Получения дистиллированной воды и приготовления нейтрализующего раствора;
- Подачи дистиллированной воды или нейтрализующего раствора к оборудованию заправочных систем;
- Нейтрализации рукавов и съёмного оборудования, бывших в контакте с топливом;
- Подачи дистиллированной воды в баки двигательной установки разгонного блока при их нейтрализации.

Оборудование системы размещено в двух пристройках заправочного корпуса. В боксе нейтрализации окислителя имеется емкость объемом 10 м^3

для накопления дистиллированной воды, получаемой в электродистилляторах, растворитель для приготовления моющего раствора. В боксах окислителя и горючего имеются ванны для нейтрализации съемных узлов и рукавов. Оборудование связано трубопроводами, которые подведены к выдающим колонкам в помещения заправочных залов, дозаторных и хранилищ.

Технологическая система пожаротушения

Технологическая система пожаротушения предназначена для обнаружения и ликвидации очагов пожара, возникающих при возгорании пролитого горючего, а также для оповещения обслуживающего персонала о возникновении пожара.

Система пожаротушения системы состоит из резервуара объемом 100 м³ с раствором пенообразователя, насосной станции, всасывающих, байпасных и напорных трубопроводов, соединяющих резервуар и насосную станцию с защищаемыми помещениями, из оросительных коммуникаций в защищаемых сооружениях и аппаратуры средств управления и сигнализации. Пожарные датчики системы пожаротушения установлены в защищаемых помещениях: в хранилище горючего, насосной, дозаторной горючего и в заправочном зале горючего. Насосные установки системы пожаротушения размещены в помещении насосной станции в заправочном корпусе.

При возникновении пожара в помещения, контролируемые системой пожаротушения, из резервуара подается водный раствор пенообразователя. Раствор подается насосной станцией автоматически по сигналам пожарных датчиков или вручную дистанционно из помещения насосной станции со щита управления, расположенного в пультовой горючего, со станций дистанционного пуска, размещенных в помещениях заправочного корпуса и в хранилище горючего. В зал горючего заправочного корпуса раствор пенообразователя подается только вручную, так как при нахождении в заправочном корпусе космического аппарата или разгонного блока должно быть принято обоснованное решение о включении системы пожаротушения.

Системы газового контроля паров компонентов ракетных топлив в воздухе производственных помещений

Степень вредного воздействия на организм обслуживающего персонала топлива характеризуется предельно допустимой концентрацией их паров в воздухе производственного помещения. При содержании паров топлива ниже предельно допустимой концентрации обслуживающий персонал работает без использования средств защиты (противогазы различных типов, изолирующие гермошлемы и т. д.). Для обнаружения порога, когда концентрация паров топлива превышает допустимых значений, для замера концентрации паров топлива используются системы газового контроля.

Уровни предельно допустимой концентрации по различным топливам, следующие:

- По амилину, амилу — $2 \cdot 10^{-6}$ кг/м³ (в пересчете на NO₂);
- По меланжу 20Ф и меланжу 27И — $2 \cdot 10^{-6}$ кг/м³ (в пересчете на NO₂);
- По кислороду — менее 19 % и более 23 % объемной доли кислорода;
- По гептилу — $0,1 \cdot 10^{-6}$ кг/м³;
- По амидолу — $0,1 \cdot 10^{-6}$ кг/м³;
- По нафтилу — $300 \cdot 10^{-6}$ кг/м³;
- По синтину — $1 \cdot 10^{-6}$ кг/м³;
- По пероксиду водорода — $0,3 \cdot 10^{-6}$ кг/м³.

Инертные газы (азот, гелий, ксенон) по недостатку содержания кислорода в воздухе составляют менее 19 % объемной доли кислорода.

На станции имеются система дистанционного автоматического контроля паров амилина, амила, гептила, превышения содержания кислорода, система

дистанционного автоматического контроля паров амидола, система дистанционного автоматического контроля недостатка кислорода.

Система дистанционного автоматического контроля паров амилина, амила, гептила, превышения содержания кислорода обеспечивает контроль в помещениях: 1 предельно допустимая концентрация по парам амилина, амила, гептила; до 100 предельно допустимой концентрации по парам амилина, амила, гептила; до взрывоопасной концентрации по парам гептила; до объемной доли кислорода более 23 %.

Система представляет собой автоматическое устройство непрерывного действия, которое работает в режиме параллельного опроса датчиков системы. Датчики системы установлены в контролируемых помещениях. Сигналы от датчиков поступают на стойки (щиты) системы, установленные в пультовых помещениях заправочного корпуса и хранилищ окислителя и горючего. Информация о норме (менее 1 предельно допустимой концентрации), не норме (более 1 предельно допустимой концентрации) со стоек системы поступает на световую сигнализацию и на сирены, расположенные в контролируемых помещениях. Принцип действия системы основан на определении с помощью датчиков состояния анализируемого воздуха в контролируемых помещениях, на преобразовании и обработке электрических сигналов, поступающих с датчиков, приборами системы и на выдаче информации в виде световых и звуковых сигналов.

Датчики системы, контролирующие пары топлива, установлены в помещениях хранилищ окислителя и горючего, в проходных каналах между хранилищами и заправочным корпусом, в помещениях дозаторных и в залах окислителя и горючего. Датчики контроля кислорода размещены в помещениях системы заправки пероксида водорода.

Система дистанционного автоматического контроля паров амидола обеспечивает контроль превышения установленного уровня концентраций (порогов) паров амидола в помещениях дозаторной горючего и зала

горючего заправочного корпуса. Анализируемые концентрации в помещениях «Порог-1» составляют от 0 до 2 предельно допустимой концентрации; «Порог-2» — до 10 предельно допустимой концентрации.

Система представляет собой автоматическое устройство непрерывного действия, которое работает в режиме параллельного опроса датчиков системы. Датчики установлены в контролируемых помещениях. Сигналы от датчиков поступают на пульт системы, где происходит их обработка. Информация о концентрации паров амидола в помещениях «Порог-1», «Порог-2» выводится на табло световой индикации, а также поступает на световые сигналы и на сирены, расположенные в контролируемых помещениях.

Принцип контроля микроконцентраций паров амидола основан на аэрозольно-ионизационном методе, который обеспечивает перевод анализируемого продукта в аэрозоль при взаимодействии с вспомогательным химическим реагентом и последующее детектирование аэрозольных частиц в ионизационной камере. Аналоговый электрический сигнал, вырабатываемый датчиком, поступает на пульт системы.

Система состоит из датчиков, пульта, светового табло, щита электропитания, световых сигнальных устройств и сирен.

Система дистанционного автоматического контроля недостатка кислорода представляет собой стационарную автоматическую установку непрерывного действия.

Система предназначена:

- Для автоматического дистанционного непрерывного определения и указания объемного процентного содержания кислорода в воздухе производственного помещения;

- Для выдачи световой и звуковой сигнализации при понижении содержания кислорода в воздухе помещения до значения сигнальной концентрации (19% кислорода).

В систему входят следующие составные части:

- Датчик;
- Стойка газового контроля;
- Световые сигнальные устройства и сирены.

Принцип действия системы основан на терромагнитном методе измерения, использующем парамагнитные свойства кислорода (способность атома кислорода намагничиваться за счет ориентации при попадании во внешнее магнитное поле). Для парамагнитных веществ также характерна зависимость их магнитных свойств от температуры (при нагревании магнитные свойства уменьшаются, а при охлаждении — увеличиваются).

Вследствие парамагнитных свойств кислорода анализируемый воздух из помещения, поступая в измерительную камеру датчика, изменяет температуру секций чувствительных элементов камеры, которые включены в схему неуравновешенного электрического моста. Величина разбаланса электрического моста является той величиной, которая зависит от содержания кислорода в анализируемом воздухе. Сигнал от датчика поступает в стойку газового контроля, где формируется сигнал «Норма» и «Не норма» (кислорода менее 19 %). Эти сигналы высвечиваются на световых табло стойки газового контроля и на сигнальных лампах (зеленых или красных) в контролируемом помещении. Сигнал «Не норма» дублируется звуковым сигналом на стойке газового контроля и сиреной в контролируемом помещении. Датчик системы установлен в помещении ресиверной системы газоснабжения, а стойка газового контроля в пультовой горючего.

Оборудование системы дистанционного управления

Система дистанционного управления предназначена для управления работой оборудования заправочных систем окислителя и горючего и состоит из двух одинаковых частей:

- Из оборудования для управления системой заправки окислителя;
- Из оборудования для управления системой заправки горючего.

Каждой заправочной линии системы заправки (а их по четыре для окислителя и горючего) в составе системы дистанционного управления заправки соответствует свой пульт управления.

С помощью системы дистанционного управления осуществляется блокировка, исключающая одновременную работу с другими заправочными линиями при включении какой-либо одной. Это исключает попадание топлива из одной заправочной линии в другие.

Система выполняет следующие функции:

- Управляет работой исполнительных механизмов (пневмоклапанами) заправочной системы;
- Контролирует состояние исполнительных механизмов («открыт», «закрыт»);
- Контролирует температуру, давление, наличие топлива, верхние и нижние уровни топлива в емкостях заправочной системы;
- Формирует и выдает сигналы, запрещающие срабатывание исполнительных механизмов, если их открытие может привести к нежелательным последствиям.

Система функционирует в следующих режимах:

- Операционного управления;
- Ручного управления;

- Проверки работоспособности оборудования системы дистанционного управления (проверка па функционирование).

В основу операционного режима управления положена диодная матрица, обеспечивающая срабатывание исполнительных механизмов (пневмоклапанов) в определенном наборе и определенной последовательности после выбора операции па пульте управления и ее включении. В электрические цепи прохождения операции включены блокировочные сигналы от первичных датчиков (давления, уровня и т. д.) и конечных выключателей исполнительных механизмов. Режим ручного (дистанционного) управления позволяет управлять каждым из исполнительных механизмов.

В режиме проверки на функционирование системы дистанционного управления проверяет правильность стыковки штепсельных разъемов кабелей системы, сопротивление изоляции электропроводников, целостность обмоток электромагнитных клапанов и правильность работы самой системы дистанционного управления при срабатывании первичных датчиков давления, уровня и т. д.

В состав оборудования системы дистанционного управления входят:

- Пульты управления;
- Блочные и клеммные стойки;
- Пульт руководителя работ;
- Кабельная сеть системы дистанционного управления.

На пульте управления имеются ключи выбора режима работ, выбора операций, выбора допустимого давления в заправочной магистрали, кнопки «ПУСК», «СТОП» операции, мнемосхема заправочной линии, панель для ручной работы, вторичные показывающие приборы температуры, давления и т. д., приборы для проверки функционирования системы.

Пульт руководителя работ предназначен для контроля за работой оператора на пульте управления. Выбор режима работы, выбор операции, выбор допустимого давления в заправочной магистрали производится одновременно на пульте руководителя работ и пульте управления. При несовпадении положения ключей включение операции исключено.

Оборудование системы дистанционного управления установлено в пультовых окислителя и горючего на втором этаже заправочного корпуса и в помещениях пультовых хранилищ окислителя и горючего. Электропитание системы дистанционного управления осуществляется постоянным током с напряжением 29 В от статических преобразователей, установленных в пультовых помещениях.

Управление исполнительными механизмами (клапанами) заправочных систем осуществляется электропневмоклапанами, которые входят в состав системы газоснабжения.

Оборудование системы спецтоков

Основная составная часть системы спецтоков — это три статических стабилизированных преобразователя. Два преобразователя установлены в операторских окислителя и горючего, один — на входе в зал окислителя заправочного корпуса. С помощью кабельной сети к преобразователям статическим стабилизированным подводится переменный ток напряжением 380/220 В.

В преобразователе статическом стабилизированном переменный ток преобразуется в постоянный ток напряжением 29 В и затем с помощью кабелей и электропроводов разводится потребителям. На заправочно-нейтрализационной станции система спецтоков входит в состав системы дистанционного управления заправкой окислителем и горючим.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Конструкции стенда представлены на рисунках 1 и 2. Учебный стенд представляет собой рамную металлическую конструкцию.

Стенд содержит:

Таблица 2 – Основы систем топливозаправочных станций вид спереди

№ п/п	Название
1.	Колеса, позволяющие перемещать стенд по ровному полу
2.	Несущая рама
3.	Резервуар, разделенный перегородкой с отверстием на два бака – питание и приемный, обозначение на гидросхеме Б1 и Б2 соответственно, на верхней крышке резервуара расположена заливная горловина, на дне резервуара расположены два крана КР6 и КР7 для слива жидкости из баков
4.	Поддон, на котором установлены насосы Н1 и Н2
5.	Панель с установленной на ней контрольно-измерительной аппаратурой
6.	Электрический блок выбора режимов управления регулирующей аппаратурой
7.	Блок индикации показаний датчиков
8.	Панель управления преобразователем частоты (преобразователь частоты установлен на тыльной стороне стенда)
9.	Измеритель-регулятор (измеритель-регулятор микропроцессорный одноканальный "Овен" ТРМГ), подключенный к датчику ДД9 гидростатического давления жидкости в емкости ЕМ1 и отображающий уровень жидкости в емкости в миллиметрах
10.	Измеритель-регулятор (измеритель-регулятор микропроцессорный одноканальный "Овен" ТРМГ), подключенный к расходомеру Р1 и отображающий расход жидкости в литрах в минуту
11.	Измеритель-регулятор (измеритель-регулятор микропроцессорный одноканальный "Овен" ТРМГ), подключенный к датчику ДД6 давления жидкости перед потребителями и отображающий давление в килопаскалях
12.	Полку для установки ноутбука
Б1	Питательного бака
Б2	Приемного бака
ЕМ1	Емкость
Т1	Изучаемый трубопровод

ЗД1	Клиновaя задвижка для регулировки сопротивления линии всасывания насоса Н1
ЗД2	Клиновой задвижки для регулировки сопротивления линии всасывания насоса Н2
Ф1	Фильтр грубой очистки жидкости от механических загрязнений
Ф2	Фильтр грубой очистки жидкости от механических загрязнений
Н1	Насоса 1 типа СЕ А 70/33 с питанием от однофазной сети переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 220 В, давление в линии всасывания насоса Н1 измеряется датчиком давления ДД1, в линии нагнетания - ДД2
ДД1	Датчик давления
ДД2	Датчик давления
Н2	Насос Н2 типа СЕ А 70/33 с питанием от трехфазной сети переменного тока напряжением 220 В и подключенным через преобразователь частоты, давление в линии всасывания насоса Н2 измеряется датчиком давления ДД3, в линии нагнетания - ДД4
ДД3	Датчик давления
ДД4	Датчик давления
Д1	Измерительная диафрагма, установленной в линии нагнетания насоса Н1, перепад давления на диафрагме измеряется дифференциальным датчиком давления ДД7
ДД7	Датчик давления
Д2	Измерительная диафрагма, установленной в линии нагнетания насоса Н2, перепад давления на диафрагме измеряется дифференциальным датчиком давления ДД8
ДД8	Датчик давления
Р1	Расходомер, установленного на выходе насосов Н1 и Н2
КР1	Шаровый кран КР1, обеспечивающих последовательное и параллельное соединение насосов Н1 и Н2
КР2	Шаровый кран КР1, обеспечивающих последовательное и параллельное соединение насосов Н1 и Н2
ЗД3	Пропорциональная задвижка с электромагнитным управлением
КР3	Шаровый кран для подачи жидкости в емкость ЕМ1
КР4	Шаровый кран для подачи жидкости в грубопровод Т1
КР5	Шаровый кран для слива жидкости из емкости ЕМ1 в приемный бак Б2
КР8	Шаровый кран для подачи жидкости с выходов насосов Н1 и Н2 на слив в приемный бак Б2
ДД5	Датчик давления на выходе насосной станции
ДД6	Датчик давления на входе в потребителя
13	Плата АЦП-ЦАП с USB разъемом для подключения к ПЭВМ
14	Автоматический выключатель

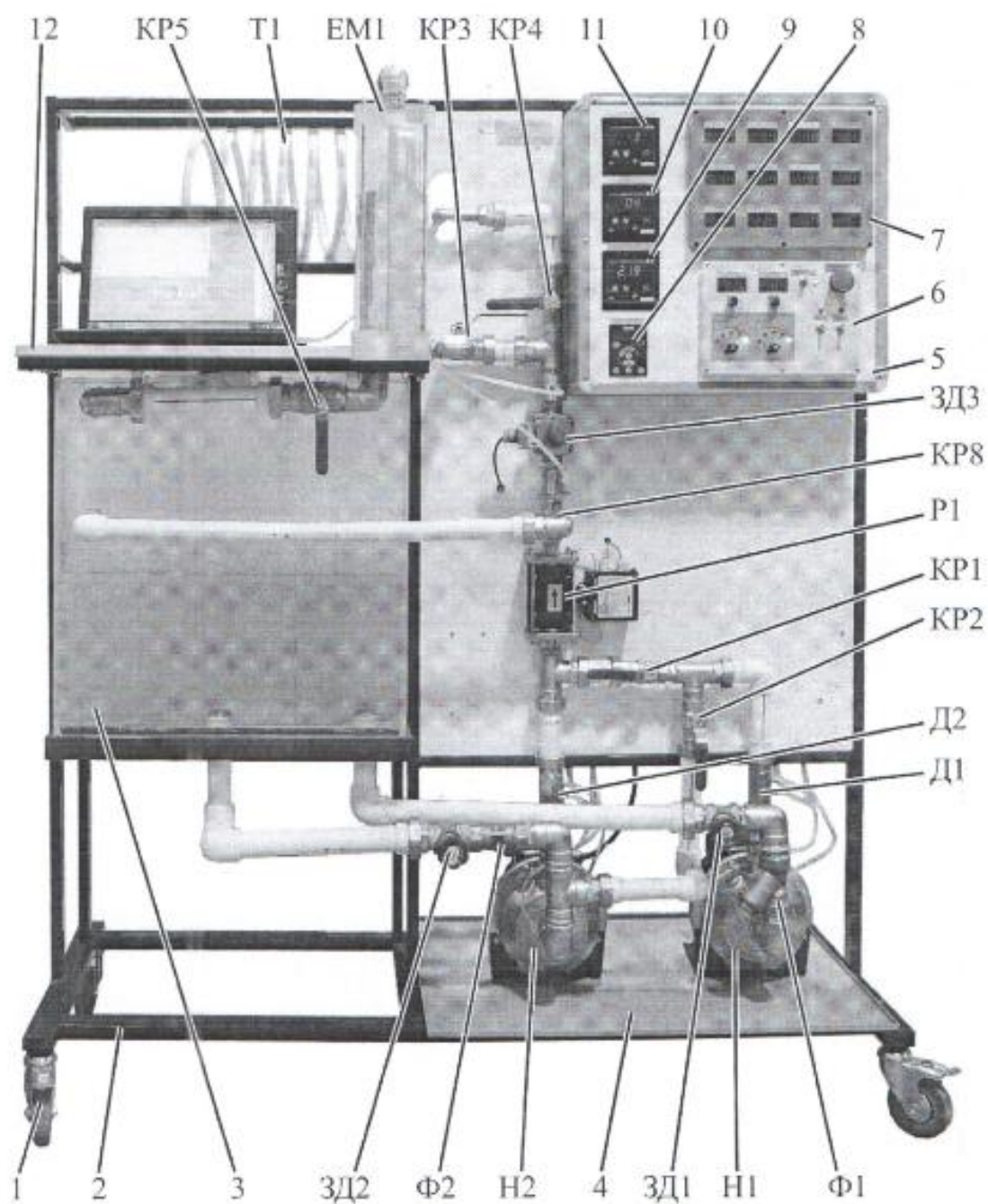


Рисунок 10 – Стенд «Автоматика насосных станций систем заправки»,
вид спереди

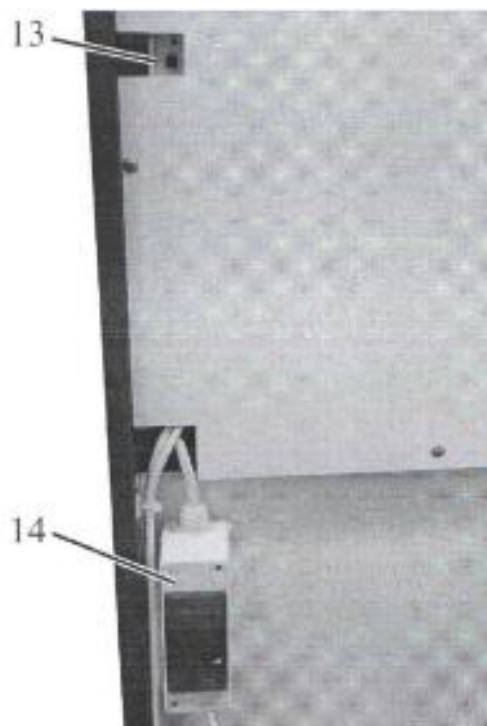


Рисунок 11 – Стенд «Автоматика насосных станций систем заправки»,
вид сзади

Таблица 3 – Блок управления и индикации измеряемых параметров

Блок управления и индикации измеряемых параметров	
15.	Ручной регулятор входного сигнала на преобразователь частоты
16.	Цифровой индикатор входного сигнала на преобразователь частоты, индикация от 0 до 100 пропорционально соответствует сигналу от 0 до 10 В, что соответствует частоте от 0 до 50 Гц
17.	Тумблер для включения электропитания системы управления стендом
18.	Светодиодный индикатор, светящийся, когда включено электропитание стенда
19.	Светодиодный индикатор, светящийся, когда включено электропитание приводного двигателя насоса Н1
20.	Светодиодный индикатор, светящийся, когда включено электропитание приводного двигателя насоса Н2
21.	Кнопка «Аварийный стоп», отключающая электропитание всех устройств стенда
22.	Тумблер, включающий электропитание преобразователя частоты приводного двигателя насоса Н2
23.	Тумблер, включающий электропитание приводного двигателя насоса Н1
24.	Светодиодный индикатор, светящийся, когда управление преобразователем частоты осуществляется от ручного регулятора

25.	Светодиодный индикатор, светящийся, когда управление преобразователем частоты осуществляется от измерителя-регулятора
26.	Светодиодный индикатор, светящийся, когда управление преобразователем частоты осуществляется от измерителя-регулятора
27.	Переключатель для выбора вида управления преобразователем частоты
28.	Светодиодный индикатор, светящийся, когда управление преобразователем частоты осуществляется от измерителя-регулятора
29.	Светодиодный индикатор, светящийся, когда управление преобразователем частоты осуществляется от ноутбука
30.	Светодиодный индикатор, светящийся, когда управление пропорциональной задвижкой осуществляется от ручного регулятора
31.	Переключатель для выбора вида управления пропорциональной задвижкой
32.	Светодиодный индикатор, светящийся, когда управление пропорциональной задвижкой осуществляется от ноутбука
33.	Светодиодный индикатор, светящийся, когда управление пропорциональной задвижкой осуществляется от измерителя-регулятора
34.	Светодиодный индикатор, светящийся, когда управление пропорциональной задвижкой осуществляется от измерителя-регулятора
35.	Светодиодный индикатор, светящийся, когда управление пропорциональной задвижкой осуществляется от измерителя-регулятора
36.	Ручной регулятор входного сигнала на привод задвижки
37.	Цифровой индикатор входного сигнала на электромагнит пропорциональной задвижки, индикация от 0 до 100 пропорционального соответствует сигналу от 0 до 10 в.

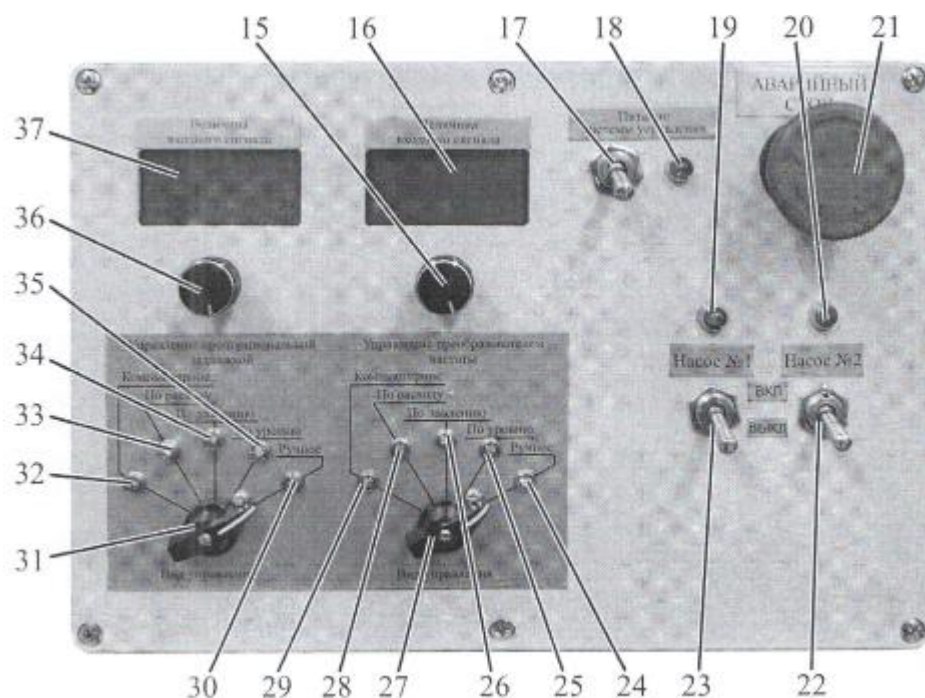


Рисунок 12 – Блок выбора режимов управления

Обозначения элементов гидросистемы на рисунках соответствуют обозначениям на схеме гидравлической, приведенной на рисунке 4.

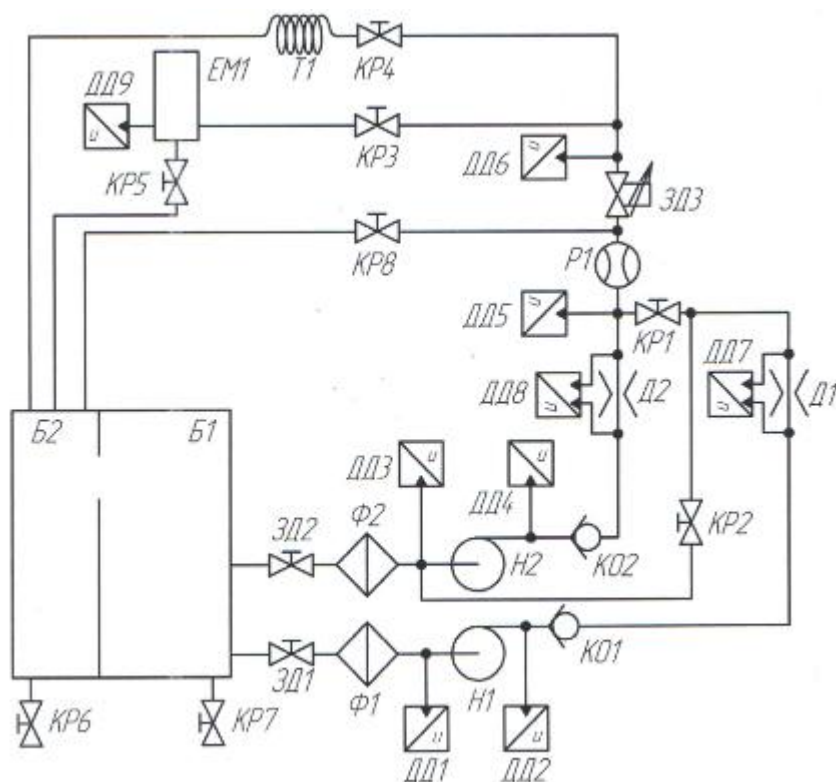


Рисунок 13 – Схема гидравлическая

Рабочая жидкость (вода) центробежными насосами Н1 и Н2 нагнетается в систему из бака Б1. На всасывании насосов установлены задвижки ЗД1 и ЗД2, позволяющие создать дополнительное сопротивление на всасывании насосов. Запрещается включение насосов с закрытыми задвижками ЗД1 и ЗД2. Для измерения расхода жидкости в системе установлены измерительные диафрагмы Д1 и Д2 и расходомер Р1. Краны КР1 и КР2, а также задвижка ЗД2 позволяют изменить схему соединения насосов (параллельное и последовательное). Кран КР3 позволяет перекрыть поступление рабочей жидкости в емкость ЕМ1. Кран КР5 позволяет слить рабочую жидкость из емкости ЕМ1 в бак Б2. На входе трубопровода Т1 установлен кран КР4. Задвижка с пропорциональным электромагнитным управлением (регулирующий клапан) ЗД3 позволяет реализовать различные схемы автоматического управления.

Лабораторная работа №1. Элементы и аппаратура автоматических (автоматизированных) систем управления насосными станциями

Целью работы является: изучение принципов работы элементов автоматических (автоматизированных) систем управления насосными станциями: преобразователя частоты, измерителя-регулятора.

В общем случае система автоматического управления может состоять из следующих элементов:

- **объект управления** (регулирования), представляющий собой машину, аппарат или установку, требуемый режим работы которых должен поддерживаться;

- **регулятор**, или управляющая часть САУ, поддерживает требуемый режим работы объекта управления либо изменяет этот режим в соответствии с заданным законом или программой управления.

Регулятор, в свою очередь, включает в себя следующие устройства:

- **датчики**, предназначенные для измерения и преобразования регулируемых величин или возмущающих воздействий разнообразного физического происхождения в сигналы, передаваемые и используемые в САУ;

- **программные, или задающие устройства**, предназначенные для выработки сигналов, меняющихся по заранее определенному закону;

- **усилительно-преобразующие устройства**, предназначенные для усиления сигналов, проходящих в регуляторах. Эти устройства преобразуют сигналы и управляют энергией, поступающей от внешнего источника в управляющие воздействия различного физического происхождения (электрические, гидравлические, пневматические и др.).

- **корректирующие устройства** служат для обеспечения требуемых характеристик по устойчивости, качеству и точности управления (регулирования). Эти устройства также могут иметь различное физическое

происхождение (электронные микропроцессоры, электрические цепи, электромеханические преобразователи, гидравлические и пневматические контуры);

- **исполнительные устройства** осуществляют непосредственное воздействие на объект управления (механическое, электрическое, гидравлическое, пневматическое и т. п.).

В данной лабораторной работе рассмотрено устройство и принцип работы двух элементов АСУ насосными станциями: исполнительного устройства - преобразователя частоты и корректирующего устройства - измерителя-регулятора ТРМ1.

Преобразователь частоты

Большинство современных преобразователей частоты построено по схеме двойного преобразования. Они состоят из следующих основных частей: звена постоянного тока (неуправляемого выпрямителя), силового импульсного инвертора и системы управления. Звено постоянного тока состоит из неуправляемого выпрямителя и фильтра. Переменное напряжение питающей сети преобразуется в нем в напряжение постоянного тока.

Силовой трехфазный импульсный инвертор состоит из шести транзисторных ключей. Каждая обмотка электродвигателя подключается через соответствующий ключ к положительному и отрицательному выводам выпрямителя. Инвертор осуществляет преобразование выпрямленного напряжения в трехфазное переменное напряжение нужной частоты и амплитуды, которое прикладывается к обмоткам статора электродвигателя.

В выходных каскадах инвертора в качестве ключей используются силовые IGBT-транзисторы. По сравнению с тиристорами они имеют более высокую частоту переключения, что позволяет вырабатывать выходной сигнал синусоидальной формы с минимальными искажениями.

Преобразователь частоты состоит из неуправляемого диодного силового выпрямителя, автономного инвертора, системы управления ШИМ, системы автоматического регулирования. Регулирование выходной частоты $f_{\text{вых.}}$ и напряжения $U_{\text{вых}}$ осуществляется в инверторе за счет высокочастотного

широтно-импульсного управления. Широтно-импульсное управление характеризуется периодом модуляции, внутри которого обмотка статора электродвигателя подключается поочередно к положительному и отрицательному полюсам выпрямителя. Длительность этих состояний внутри периода ШИМ модулируется по синусоидальному закону. При высоких (обычно 2... 15 кГц) тактовых частотах ШИМ, в обмотках электродвигателя, вследствие их фильтрующих свойств, текут синусоидальные токи.

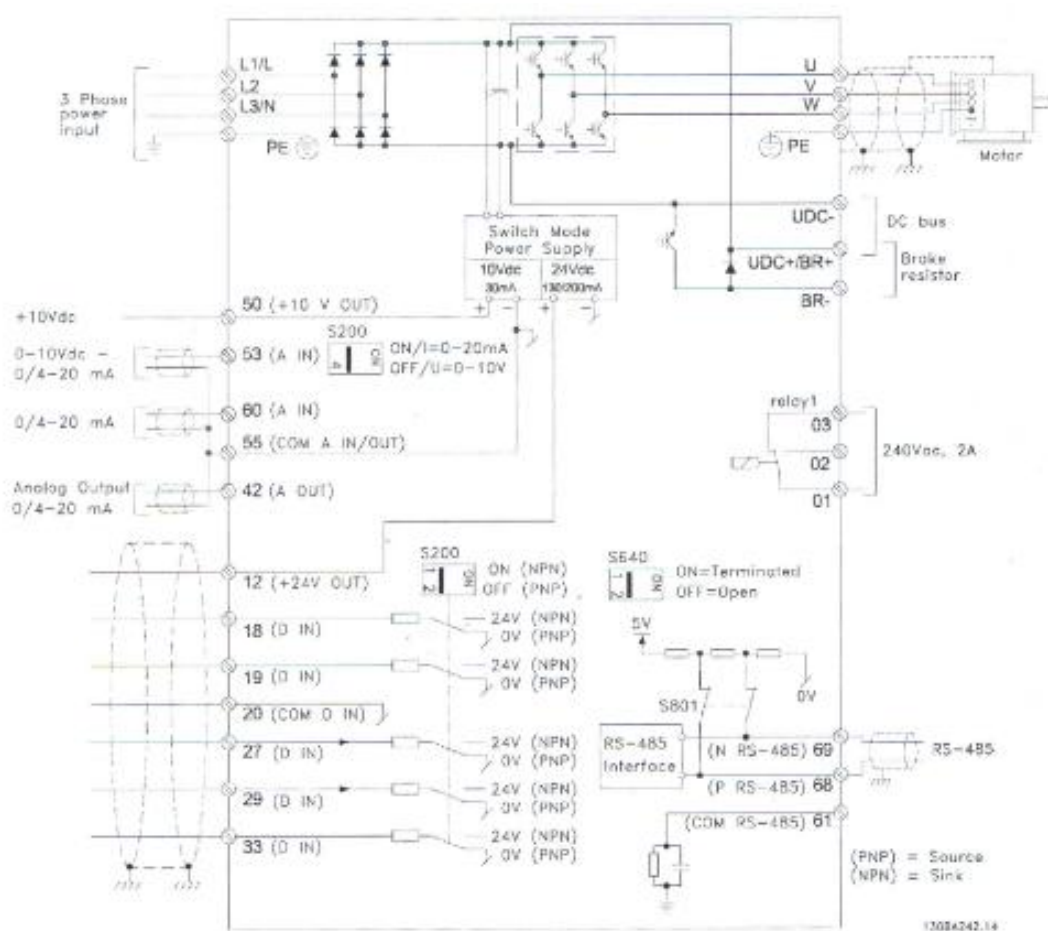


Рисунок 14 – Схема частотного преобразователя.

Регулирование скорости при этом не сопровождается увеличением скольжения асинхронного двигателя, поэтому потери мощности при регулировании невелики. Для получения высоких энергетических показателей асинхронного двигателя - коэффициентов мощности, полезного

действия, перегрузочной способности - необходимо одновременно с частотой изменять и подводимое напряжение.

На рисунке 6 показана панель местного управления LCP, которая разделена на четыре функциональные зоны:

1. Цифровой дисплей
2. Кнопка меню
3. Навигационные кнопки.
4. Кнопки управления и световые индикаторы (светодиоды).

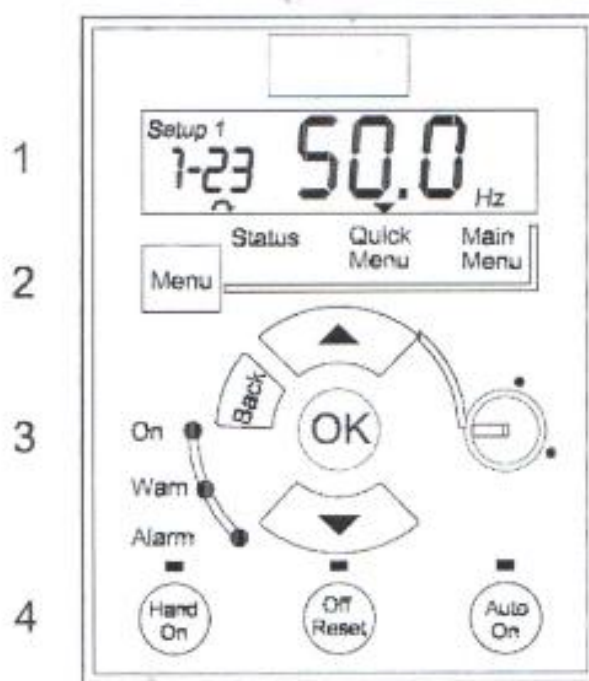


Рисунок 15 – Панель местного управления LCP.

Измеритель-регулятор микропроцессорный одноканальный

Измеритель-регулятор микропроцессорный одноканальный ТРМ1 совместно с первичным преобразователем (датчиком) предназначен для измерения и регулирования давления и других физических параметров, значение которых внешним датчиком может быть преобразовано в сигналы постоянного тока или напряжения.

Прибор может быть использован для измерения и регулирования технологических процессов в различных отраслях промышленности, коммунального и сельского хозяйства.

Прибор позволяет осуществлять следующие функции:

- измерение температуры или других физических величин (давления, влажности, расхода, уровня и т.п.) в одной точке с помощью стандартных датчиков, подключаемых к универсальному входу прибора;
- регулирование измеряемой величины по двухпозиционному (релейному) закону;
- отображение текущего измерения на встроенном светодиодном цифровом индикаторе;
- формирование выходного тока 4...20 мА или напряжения 0... 10 В для регистрации или управления исполнительными механизмами по П-закону (при использовании в качестве выходного устройства цифро-аналогового преобразователя (ЦАП)).

Структурная схема прибора приведена на рисунке 7.



Рисунок 16 – Функциональная схема прибора ТРМ-1.

Прибор содержит канал универсального входа для подключения первичных преобразователей (датчиков), блок обработки данных,

четырёхразрядный светодиодный цифровой индикатор и выходное устройство (ВУ), предназначенное для управления внешним оборудованием. Блок обработки данных включает в себя цифровой фильтр, вычислитель квадратного корня и логическое устройство (ЛУ).

Логическое устройство в соответствии с запрограммированными пользователем функциональными параметрами формирует сигналы управления выходным устройством.

Для ослабления влияния внешних импульсных помех на эксплуатационные характеристики прибора в программу его работы введена цифровая фильтрация результатов измерений.

Прибор конструктивно выполнен в пластмассовом корпусе, предназначенном для щитового или настенного крепления.

На лицевой панели расположены клавиатура управления прибором, цифровой индикатор и светодиоды:

- светодиод «К» сигнализирует о включении выходного устройства;
- светодиод «Т» сигнализирует о включенном режиме ввода значения уставки регулируемой величины;
- светодиод «А» сигнализирует о включенном режиме ввода значения гистерезиса компаратора или полосы пропорциональности П-регулятора;
- светодиод «I» сигнализирует о выводе на индикацию текущего измерения (непрерывная засветка) и об аварии по входу (мигающая засветка).

Кнопка «Прог» предназначена для входа в режим ПРОГРАММИРОВАНИЕ, а также для записи новых установленных значений в энергонезависимую память прибора.

Кнопка  предназначена для:

- просмотра заданного значения уставки ЛУ;
- выбора программируемого параметра и увеличения его значения. При удержании кнопки скорость изменения возрастает.

Кнопка  предназначена для выбора программируемого параметра и уменьшения его значения. При удержании кнопки скорость изменения возрастает.

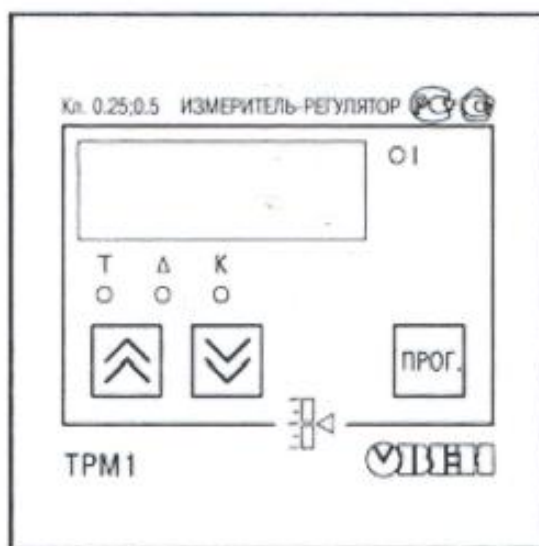


Рисунок 17 – Лицевая панель прибора ТРМ-1

Измеритель — регулятор с аналоговым выходным сигналом позволяет использовать его в режиме пропорционального регулятора (режим П-регулятора, по паспорту на ТРМ1). Принцип формирования выходного сигнала показан на рисунках ниже.

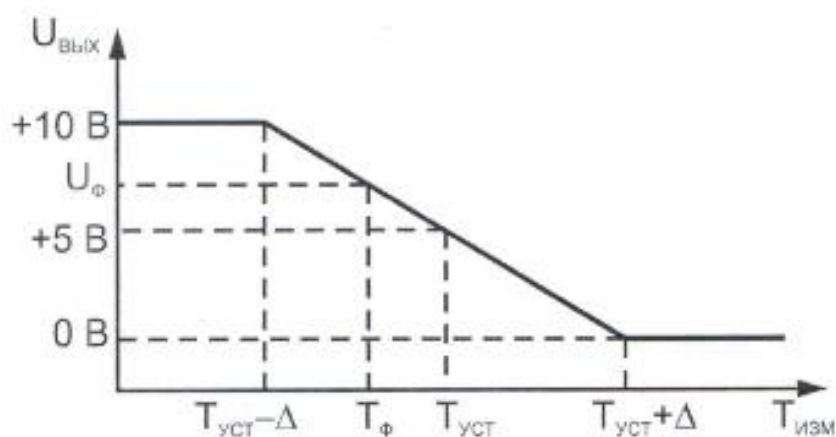


Рисунок 18 – Зависимость выходного сигнала при
прямо-пропорциональном регулировании

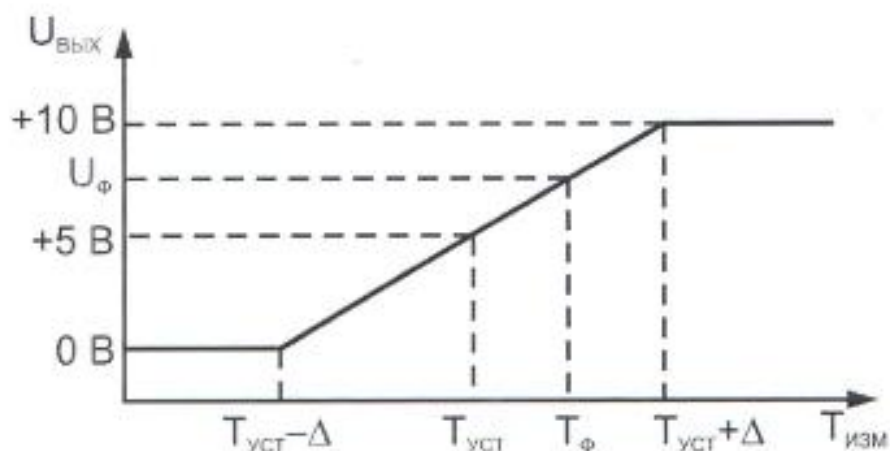


Рисунок 19 – Зависимость выходного сигнала при обратно-
пропорциональном регулировании

$T_{уст}$ - значение параметра, к которому регулирование должно привести систему; Δ - значение зоны пропорциональности при регулировании; $T_{ф}$ - фактическое значение регулируемого параметра; $U_{ф}$ - выходное напряжение, соответствующее $T_{ф}$.

Регулирование происходит следующим образом: в измеритель - регулятор ТРМ1 вводятся значения параметров $T_{уст}$ и Δ , определяющие середину и длину участка пропорционального регулирования, после чего измеритель-регулятор переходит в режим измерения регулируемой величины $T_{изм}$. При этом выходной сигнал формируется по кривой рисунка 9 или рисунка 10 в зависимости от вида регулирования. В результате регулирования системы устанавливается какое-то значение регулируемого параметра $T_{ф}$, соответствующее входному сигналу в систему $U_{ф}$. Таким образом, чем меньше параметр Δ , тем меньше отклонение фактического значения $T_{ф}$ регулируемой величины от установленного $T_{уст}$. Однако, при малых значениях параметра Δ регулируемая система может перестать быть устойчивой и войти в режим колебаний регулируемого параметра.

Лабораторная работа №2. Регулирующие клапаны.

Целью работы является: изучение принципов работы и устройства пропорциональных регулирующих клапанов.

Пропорциональные нормально закрытые электромагнитные клапаны типа EV260B с электромагнитной катушкой предназначены для бесступенчатого регулирования расхода жидкости.

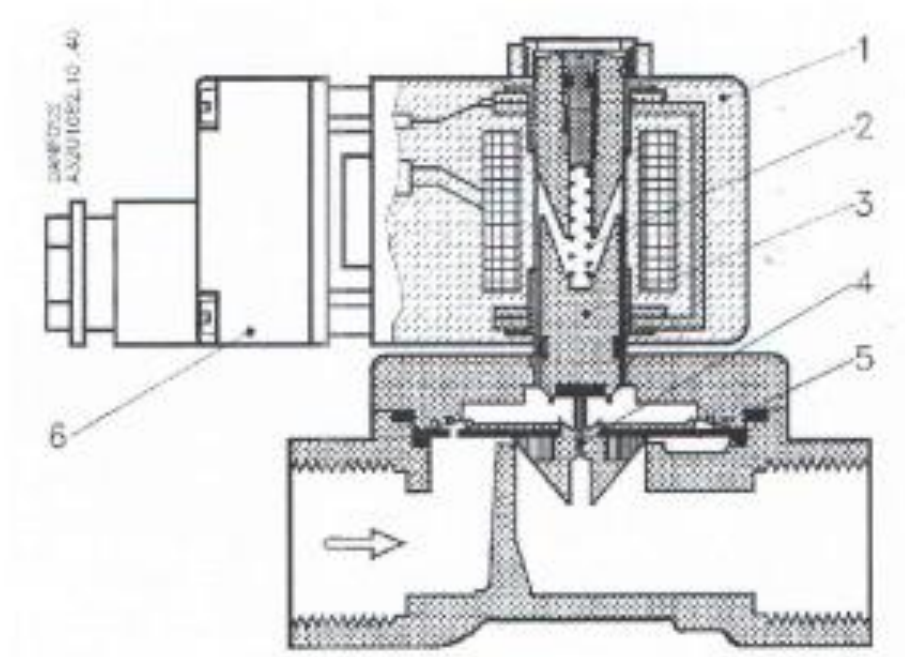


Рисунок 201 – Пропорциональные электромагнитные клапаны

1. Катушка;
2. Закрывающая пружина;
3. Якорь;
4. Регулирующее отверстие;
5. Диафрагма;

6. Клеммная коробка.

Пропорциональное бесступенчатое регулирование расхода среды в клапане EV 260B достигается посредством плавного изменения тока обмоток катушки, которое обеспечивает регулирование вытягивающей силы электромагнитной системы. Когда ток обмоток увеличивается, вытягивающая сила электромагнитной системы становится больше прижимающей силы закрывающей пружины и якорь поднимается, открывая регулирующее отверстие в диафрагме. Давление в полости над диафрагмой снижается, диафрагма начинает подниматься вверх, увеличивая проходное сечение клапана. Клапан будет полностью открытым, когда ток достигнет максимальной величины.

На пропорциональном клапане установлена катушка типа ВМ с преобразованием сигнала. Этот тип катушек предназначен для работы с нормированным сигналом по напряжению 0 - 10В. Зависимость между величиной управляющего напряжения и степенью открытия клапана линейная.



Рисунок 21 – Зависимость между величиной расхода степенью открытия клапана

На рисунке ниже показана диаграмма пропускной способности регулируемого клапана при полном открытии в зависимости от перепада давления.

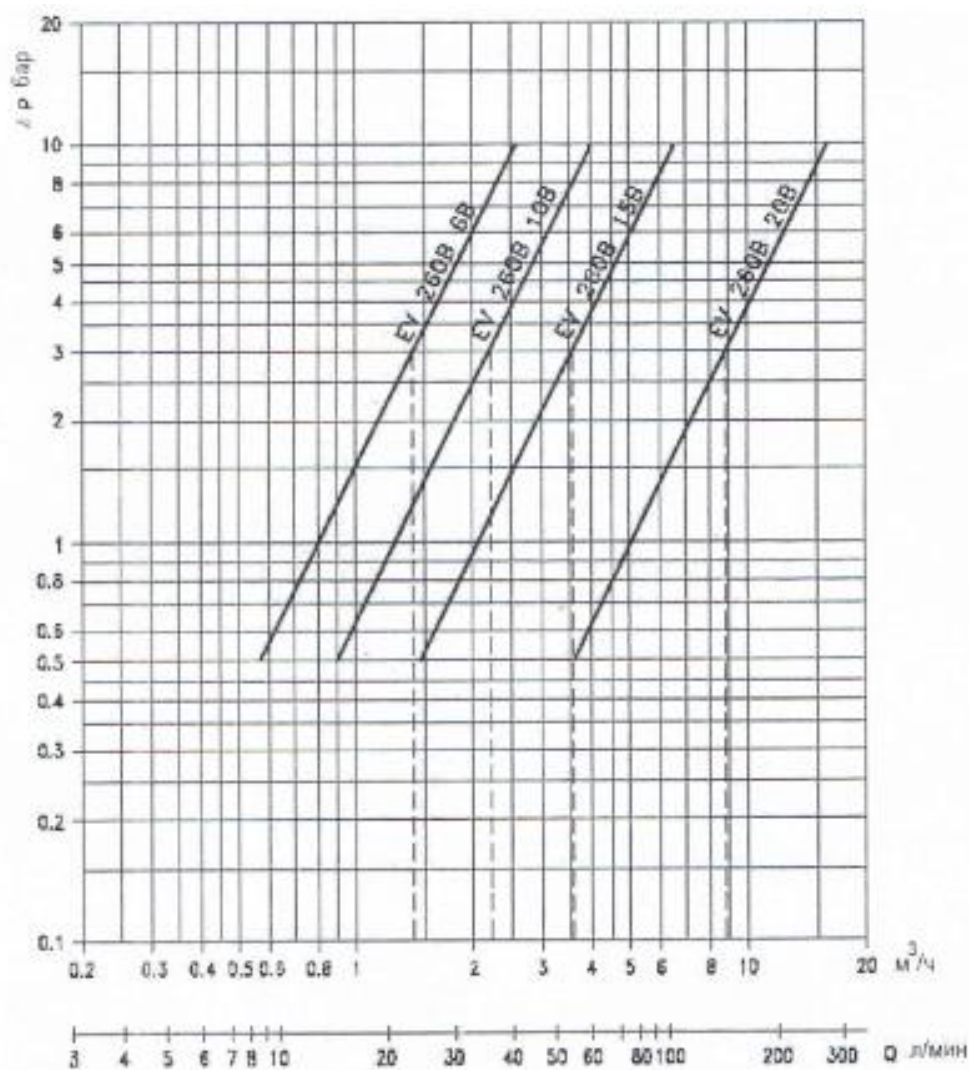


Рисунок 22 – Диаграмма пропускной способности регулируемого клапана

Лабораторная работа №3. Первичные преобразователи.
Изучение приборов и методов определения давления и расхода

Целью работы является: изучение приборов для измерения давления и расхода, методов измерения давления и расхода.

Датчик давления

Пьезорезистивный датчик давления с встроенной электронной частью и получившего из-за этого название преобразователя давления показан на рисунке ниже.

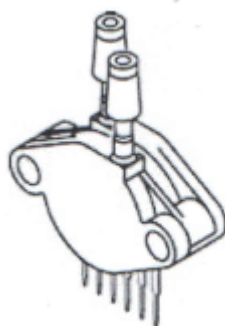


Рисунок 23 – Внешний вид дифференциального преобразователя давлений

Внутреннее устройство датчика показано на рисунке 15.

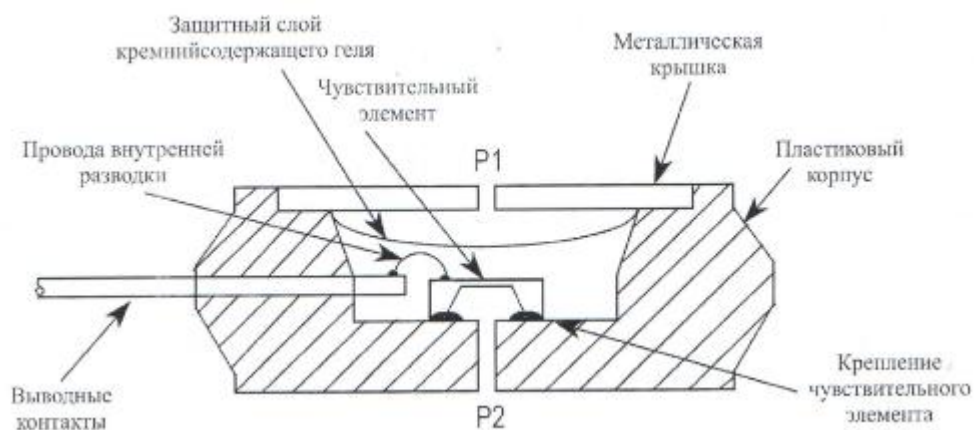


Рисунок 24 – Конструкция преобразователя давления

Работает датчик следующим образом: давление через защитный слой кремний содержащего геля передается на чувствительный элемент датчика - кремниевый интегральный преобразователь давления (ИПД), представляющий собой мембрану из монокристаллического кремния с диффузионными пьезорезисторами, подключенными в мост Уинстона. Чувствительным элементом служит кристалл ИПД, установленный на диэлектрическое основание с использованием легкоплавкого стекла или методом анодного срачивания. На этом же кристалле выполнена интегральная микросхема усилителя сигнала с пьезорезисторов.

Провода внутренней разводки также находятся в слое кремний содержащего геля, обеспечивающего их изоляцию, и предназначены для электропитания усилителя сигнала и передачи выходного сигнала.

В случае, если датчики предназначены для измерения давления агрессивных сред, то вместо защитного геля применяется металлическая мембрана, пространство между которой и датчиком заполняется силиконовым маслом.

К преобразователю давления присоединяется вторичный электронный прибор, измеряющий сигнал с преобразователя и переводящий его в значения давления.

Приборы могут быть смонтированы в едином корпусе или смонтированы по отдельности.

Расходомер-счетчик

Расход — это физическая величина, определяемая количеством жидкости или газа, проходящих через трубу в единицу времени. Различают объемный расход Q , когда количество вещества измеряется в объемных единицах, и массовый M , когда оно измеряется в единицах массы.

Расходомер-счетчик электромагнитный «ВЗЛЕТ ЭР» предназначен для измерения среднего объемного расхода и объема горячей и холодной воды, а также других электропроводящих жидкостей в широких диапазонах температур и проводимостей.



Рисунок 25 – Расходомер-счетчик электромагнитный «ВЗЛЕТ ЭР»

Расходомер состоит из электромагнитного первичного преобразователя расхода (ППР) и вторичного преобразователя - микропроцессорного измерительного блока (ИБ).

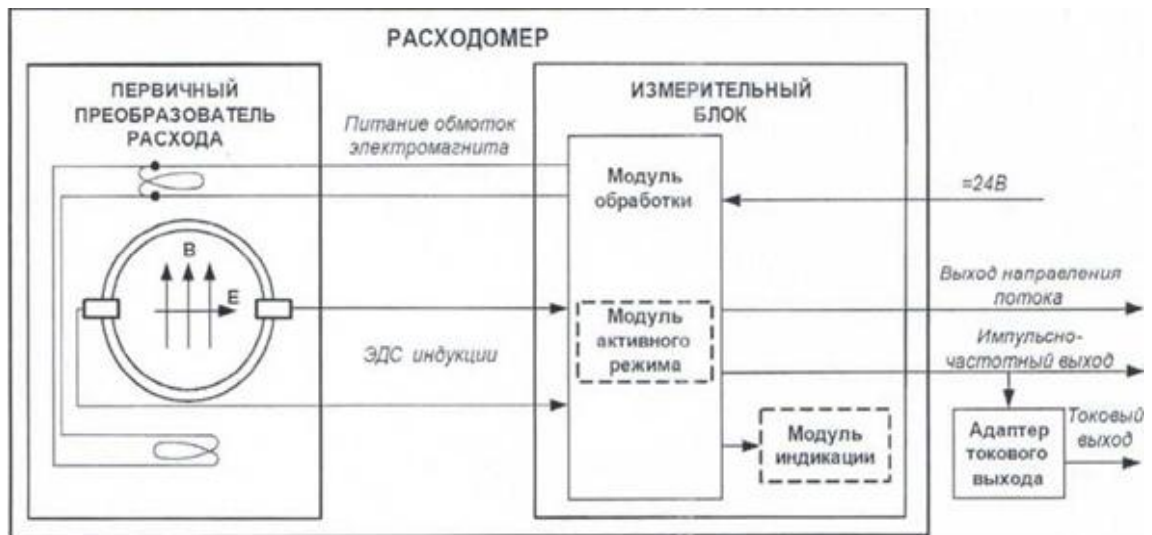


Рисунок 26 – Структурная схема расходомера

Принцип работы электромагнитного расходомера (ЭМР) основан на измерении электродвижущей силы (ЭДС) индукции, возникающей в объеме электропроводящей жидкости, движущейся в магнитном поле, создаваемом электромагнитной системой во внутренней полости проточной части первичного преобразователя расхода.

Первичный преобразователь расхода (ППР) представляет собой полый магнитопроницаемый цилиндр, внутри которого протекает контролируемая жидкость. Снаружи цилиндра располагаются обмотки электромагнита.

Изнутри цилиндр покрыт электроизоляционным материалом или выполнен целиком из него. Для съема измерительного сигнала в стенках цилиндра диаметрально расположены два электрода, контактирующие с контролируемой жидкостью.

ЭДС индукции E пропорциональна средней скорости потока жидкости v , расстоянию между электродами d (внутреннему диаметру первичного преобразователя) и магнитной индукции B :

$$E = k \cdot B \cdot d \cdot v,$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Измеряемое значение ЭДС индукции поступает на микропроцессорный измерительный блок, в котором происходит

формирование унифицированного выходного сигнала - импульсного либо токового.

Измерительная диафрагма

Одним из распространенных методов измерения расхода в трубах является метод его измерения по переменному перепаду давления на сужающем устройстве. Схема расходомера показана на рисунке 18. В трубу вставляется устройство, сужающее поток, например диафрагма - диск с отверстием. В месте сужения скорость потока возрастает, и его кинетическая энергия увеличивается. Это вызывает уменьшение потенциальной энергии, которая определяется статическим давлением. Давление в суженном потоке меньше, чем давление в потоке до сужения. Разность давлений возрастает с увеличением скорости среды и служит мерой расхода. Сужающее устройство является преобразователем потока (или его расхода) в разность давлений. Разность давлений измеряется дифференциальным датчиком давления.

В качестве сужающего устройства обычно используют диафрагмы (рисунок 18).

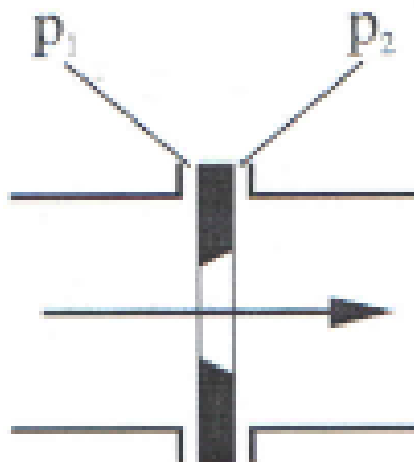


Рисунок 27 – Сужающее устройство – диафрагма

Достоинства расходомеров с сужающими устройствами заключаются в их универсальности. Этими расходомерами можно измерять расход любых однофазных, а в ряде случаев и двухфазных сред. Они пригодны для измерения расхода в трубах практически любого диаметра и при любом давлении. Расходомер состоит из сужающего устройства, соединительных трубок и серийно выпускаемого дифференциального датчика давления, конструкция которого не зависит от измеряемой среды и расхода.

Основными недостатками расходомеров с сужающими устройствами являются нелинейная функция преобразования, малое отношение $\frac{Q_{Max}}{Q_{Min}}$, обычно не превышающее 5, и затруднения при измерении пульсирующих расходов. Основная приведенная погрешность расходомеров этого типа не превышает 1-3%.

Плотность жидкости можно считать постоянной, тогда расход через диафрагму связан с перепадом давления на диафрагме ($P_1 - P_2$) следующим соотношением:

$$Q_d = K \sqrt{P_1 - P_2},$$

Коэффициент K определяется на основе экспериментальной тарировки диафрагмы.

Лабораторная работа №4. Понятие о статических и динамических характеристиках элементов систем автоматического управления

Целью работы является: экспериментальное изучение статической и динамической характеристик различных элементов САУ.

Статической характеристикой элемента называют зависимость установившегося значения выходного сигнала элемента от значения постоянного входного сигнала $y = F(x)$.

Динамической характеристикой элемента называют зависимость выходного сигнала от величины входного сигнала и времени $y = F(t, x)$. Экспериментальная динамическая характеристика, как правило, используется для формирования математической модели объекта в виде набора стандартных динамических звеньев. Для этой цели экспериментально регистрируют реакцию элемента на ступенчатое входное воздействие и/или на гармоническое входное воздействие.

В лабораторной работе экспериментально измеряется статическая характеристика измерительной диафрагмы и динамическая характеристика расходомера.

Ход выполнения работы:

Статическая характеристика измерительной диафрагмы

1. Включить электропитание стенда тумблером «Питание системы управления»;
2. Включить ноутбук, дождаться загрузки операционной системы, запустить программу;
3. В диалоговом окне программы выбрать пункт меню «Режим работы» - «Тарировка диафрагмы». Выбрать тарируемую диафрагму Д2;
4. Установить переключатели «Управление пропорциональной задвижкой» и «Управление преобразователем частоты» в положение «Ручное». Установить потенциометрами управляющий сигнал величиной 100;
5. Открыть краны КР3, КР4, КР5, задвижку ЗД2. Закрыть краны КР1, КР8;
6. Включить тумблером «Насос №2» питание частотного преобразователя. На панели частотного преобразователя нажать кнопку «*Auto On*»;
7. Дождаться установившихся значений расхода по расходомеру Р1 и перепада давления на диафрагме (может занять 40-60 с), после чего нажать кнопку «Добавить точку»;
8. Уменьшить управляющий сигнал на пропорциональную задвижку на 8-10 единиц;
9. Повторить действия по пунктам 7-8 до управляющего сигнала 5-7 единиц;
10. Полностью открыть пропорциональную задвижку установив ручным регулятором сигнал управления равным 100;

11. Выключить приводной электродвигатель насоса Н2 нажав на панели частотного преобразователя нажать кнопку «Off/Reset»;

12. Нажать в диалоговом окне программы кнопку «Вычислить коэффициент». В текстовом поле появиться значение тарировочного коэффициента диафрагмы и на графическом поле будет нарисована зависимость расхода через диафрагму от перепада давления, соответствующая этому коэффициенту;

13. Проанализировать полученные экспериментальные точки и их расположение относительно непрерывной кривой. Сделать выводы.

Динамическая характеристика расходомера

1. В диалоговом окне программы выбрать пункт меню «Режим работы» - «Управление и регистрация»;

2. Установить переключатели «Управление пропорциональной задвижкой» и «Управление преобразователем частоты» в положение «Ручное». Установить потенциометрами управляющий сигнал величиной 100;

3. Открыть краны КР3, КР5, задвижку ЗД2. Закрыть краны КР1, КР4, КР8;

4. На панели частотного преобразователя нажать кнопку «Auto On»;

5. Уменьшая ручным регулятором, управляющий сигнал на пропорциональную задвижку, установить значение расхода по диафрагме 12-15 л/мин (отображается в диалоговом окне программы);

6. В диалоговом окне программы выбрать построение зависимости расхода по Р1 и расхода по диафрагме Д2 от времени;

7. Выбрать динамический режим измерений, шаг сбора данным установить равным 0,4 с;

8. Дождаться установившегося значения расхода по расходомеру Р1 (может занять 40-60 с);

9. Нажать кнопку «Запуск измерения»;

10. Плавно и быстро закрыть кран КР3;

11. Дождаться установившегося значения расхода по расходомеру P1 (может занять 40-60 с);
12. Плавно и быстро открыть кран КРЗ;
13. Дождаться установившегося значения расхода по расходомеру P1 (может занять 40-60 с);
14. Нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить график и данные в файл на жесткий диск;
15. Увеличить ручным регулятором, управляющий сигнал на пропорциональную задвижку, установить значение расхода по диафрагме на 5-7 л/мин больше (отображается в диалоговом окне программы);
16. Повторить пункты 10-17 до полного открытия пропорциональной задвижки;
17. Выключить приводной электродвигатель насоса Н2 нажав на панели частотного преобразователя нажать кнопку «*Off/Reset*»;
18. Выключить питание преобразователя частоты «Насос №2»;
19. Выключить питание системы управления стенда;
20. Проанализировать полученные экспериментальные данные по расходу, измеряемому по диафрагме и по расходомеру. Сделать выводы.

**Лабораторная работа №5. Исследование напорной
характеристики центробежного насоса при различных частотах
вращения вала насоса**

Целью работы является: экспериментальное построение характеристик центробежного насоса для различных частот вращения приводного вала.

Данная лабораторная работа может выполняться с использованием ноутбука, или без него, измеряемые данные дублируются на электронных табло. Описание лабораторных работ приведено для выполнения работ с регистрацией измеряемых величин на ноутбуке. Для дальнейшего выполнения лабораторных работ по параллельному и последовательному соединению насосов, кроме напорной характеристики насоса следует также построить зависимость давления на выходе насосной станции, создаваемого одним насосом, от расхода.

Ход выполнения работы:

1. Включить электропитание стенда тумблером «Питание системы управления»;
2. Включить ноутбук, дождаться загрузки операционной системы, запустить программу;
3. В диалоговом окне программы выбрать пункт меню «Режим работы» - «Управление и регистрация»;
4. Установить переключатели «Управление пропорциональной задвижкой» и «Управление преобразователем частоты» в положение «Ручное». Установить ручными регуляторами управляющий сигнал величиной 100;
5. Открыть краны КР3, КР4, КР5, КР8, задвижку ЗД2. Закрывать кран КР1;
6. Включить тумблером «Насос №2» питание частотного преобразователя. На панели частотного преобразователя нажать кнопку «Auto On»;
7. В диалоговом окне программы выбрать «Статический режим измерений». Выбрать построение зависимости перепада давления на насосе №2, давления на выходе насосной станции, потребляемой электрической мощности и КПД насоса от расхода по Р1;
8. Дождаться установившихся значений расхода по расходомеру Р1 (может занять 40-60 с), после чего нажать кнопку «Добавить точку»;
9. Частично закрыть кран КР8 (повернуть ручку в сторону закрытия на 15-20°);
10. Повторить действия по пунктам 8-9 до полного закрытия КР8;
11. Уменьшить управляющий сигнал на пропорциональную задвижку на 8-10 единиц;
12. Дождаться установившихся значений расхода по расходомеру Р1 (может занять 40-60 с), после чего нажать кнопку «Добавить точку»;
13. Повторить действия по пунктам 11-12 до управляющего сигнала 5-7 единиц;

14. Полностью открыть пропорциональную задвижку установив ручным регулятором сигнал управления равным 100. Открыть кран КР8;
15. Сохранить данные и график на жесткий диск компьютера. Нажать кнопку «Удалить все точки»;
16. Установить значение сигнала управления на преобразователь частоты равным 80 (частота, отображаемая на панели преобразователя частоты, должна равняться 40 Гц);
17. Повторить действия по пунктам 8 - 16 для значений управляющего сигнала 80, 60 и 40 (частота вращения вала насоса 40 Гц, 30 Гц, 20 Гц);
18. Выключить приводной электродвигатель насоса Н2 нажав на панели частотного преобразователя нажать кнопку «Off/Reset»;
19. Выключить питание преобразователя частоты тумблером «Насос №2»;
20. Выключить питание системы управления стенда;
21. По полученным данным построить зависимость максимального напора насоса от частоты вращения вала приводного двигателя;
22. Проанализировать полученные экспериментальные данные. Сделать выводы.

Лабораторная работа №6. Исследование напорной характеристики центробежного насоса без регулирования частоты вращения приводного вала.

Целью работы является: экспериментальное построение характеристики центробежного насоса.

Данная лабораторная работа может выполняться с использованием ноутбука, или без него, измеряемые данные дублируются на электронных табло. Описание лабораторных работ приведено для выполнения работ с регистрацией измеряемых величин на ноутбуке. Для дальнейшего выполнения лабораторных работ по параллельному и последовательному соединению насосов, кроме напорной характеристики насоса следует также построить зависимость давления на выходе насосной станции, создаваемого одним насосом, от расхода.

Ход выполнения работы:

1. Включить электропитание стенда тумблером «Питание системы управления»;
2. Включить ноутбук, дождаться загрузки операционной системы, запустить программу;
3. В диалоговом окне программы выбрать пункт меню «Режим работы» - «Управление и регистрация»;
4. Установить переключатели «Управление пропорциональной задвижкой» в положение «Ручное». Установить ручным регулятором управляющий сигнал величиной 100;
5. Открыть краны КР1, КР3, КР4, КР5, КР8, задвижку ЗД1. Закрыть кран КР2;
6. Включить тумблером «Насос №1» питание электродвигателя насоса Н1;
7. В диалоговом окне программы выбрать «Статический режим

измерений». Выбрать построение зависимости перепада давления на насосе № 1, давления на выходе насосной станции, потребляемой электрической мощности и КПД насоса от расхода по Р1;

8. Дождаться установившихся значений расхода по расходомеру Р1 (может занять 40-60 с), после чего нажать кнопку «Добавить точку»;

9. Частично закрыть кран КР8 (повернуть ручку в сторону закрытия на 15-20°);

10. Повторить действия по пунктам 8-9 до полного закрытия КР8;

11. Уменьшить управляющий сигнал на пропорциональную задвижку на 8-10 единиц;

12. Дождаться установившихся значений расхода по расходомеру Р1 (может занять 40-60 с), после чего нажать кнопку «Добавить точку»;

13. Повторить действия по пунктам 11-12 до управляющего сигнала 5-7 единиц;

11. Полностью открыть пропорциональную задвижку установив ручным регулятором сигнал управления равным 100. Открыть кран КР8;

12. Выключить приводной электродвигатель насоса Н1 тумблером «Насос №1»;

13. Выключить питание системы управления стенда.

Сравнить полученные зависимости напора, КПД и давления на выходе насосной станции от расхода, для насоса Н1 с аналогичными зависимостями для насоса Н2, полученными при настройке преобразователя частоты на 50 Гц. Сделать выводы.

Лабораторная работа №7. Исследование кавитационной характеристики центробежного насоса при различных частотах вращения вала насоса

Целью работы является: экспериментальное построение кавитационных характеристик центробежного насоса для различных частот вращения приводного вала.

Данная лабораторная работа может выполняться с использованием ноутбука, или без него, измеряемые данные дублируются на электронных табло. Описание лабораторных работ приведено для выполнения работ с регистрацией измеряемых величин на ноутбуке.

Ход выполнения работы:

1. Включить электропитание стенда тумблером «Питание системы управления»;
2. Включить ноутбук, дождаться загрузки операционной системы, запустить программу;
3. В диалоговом окне программы выбрать пункт меню «Режим работы» - «Управление и регистрация»;
4. Установить переключатели «Управление пропорциональной задвижкой» и «Управление преобразователем частоты» в положение «Ручное». Установить ручными регуляторами управляющий сигнал величиной 100;
5. Открыть краны КР3, КР4, КР5, задвижку ЗД2. Закрыть кран КР1, КР8;
6. Включить тумблером «Насос №2» питание частотного преобразователя. На панели частотного преобразователя нажать кнопку «Auto On»;
7. В диалоговом окне программы выбрать «Статический режим измерений». Выбрать построение зависимости давления нагнетания насоса

№2 от давления всасывания;

8. Уменьшая ручным регулятором сигнал на пропорциональную задвижку, установить расход на выходе насоса 2 равным 30 ± 1 л/мин (для экономии времени при проведении лабораторной работы расход рекомендуется контролировать по измерительной диафрагме). Нажать кнопку «Добавить точку»;

9. Плавно закрывая задвижку ЗД2 уменьшить давление (увеличить разрежение) на всасывании насоса Н2 на 8-10 кПа;

10. Изменяя ручным регулятором сигнал на пропорциональную задвижку, установить расход на выходе насоса 2 равным 30 ± 1 л/мин. Нажать кнопку «Добавить точку»;

11. Повторить действия по пунктам 7-10 до давления всасывания -95... - 90 кПа или невозможности поддержания расхода;

12. Полностью открыть задвижку ЗД2. Полностью открыть пропорциональную задвижку установив ручным регулятором сигнал управления равным 100;

13. Сохранить полученные данные и график в файлы на жесткий диск. Нажать кнопку «Удалить все точки»;

14. Повторить действия по пунктам 7-13 для расходов 20 л/мин и 10 л/мин;

15. Установить значение сигнала управления на преобразователь частоты равным 80 (частота, отображаемая на панели преобразователя частоты, должна равняться 40 Гц);

16. Повторить действия по пунктам 7 - 15 для значений управляющего сигнала 80, 60 и 40 (частота вращения вала насоса 40 Гц, 30 Гц, 20 Гц);

17. Выключить приводной электродвигатель насоса Н2 нажав на панели частотного преобразователя кнопку «Off/Reset»;

18. Выключить питание преобразователя частоты тумблером «Насос №2»;

19. Выключить питание системы управления стенда;

20. По полученным данным построить зависимость минимального давления всасывания от частоты вращения вала приводного двигателя для каждого значения расхода;

21. Проанализировать полученные экспериментальные данные. Сделать выводы.

Лабораторная работа №8. Исследование способов повышения КПД насосной станции с целью энергосбережения.

Целью работы является: сравнение двух способов регулирования расхода потребителя - пропорциональной задвижкой и преобразователем частоты, определение зависимости КПД насосной станции от расхода для обоих случаев.

В качестве потребителя в данной работе рассмотрен трубопровод Т1.

Ход выполнения работы:

1. Включить электропитание стенда тумблером «Питание системы управления»;
2. Включить ноутбук, дождаться загрузки операционной системы, запустить программу;
3. В диалоговом окне программы выбрать пункт меню «Режим работы» - «Управление и регистрация»;
4. Установить переключатели «Управление пропорциональной задвижкой» и «Управление преобразователем частоты» в положение «Ручное». Установить ручными регуляторами управляющий сигнал величиной 100;
5. Открыть кран КР4, задвижку ЗД2. Закрыть краны КР1, КР3, КР8;
6. Включить тумблером «Насос №2» питание частотного преобразователя. На панели частотного преобразователя нажать кнопку «Auto On»;
7. В диалоговом окне программы выбрать «Статический режим измерений». Выбрать построение зависимости мощности ЭД2 и давления перед потребителем от расхода по Р2 (Q насоса 2);
8. Дождаться установившихся значений расхода по расходомеру Р1 (может занять 40-60 с), после чего нажать кнопку «Добавить точку»;

9. Уменьшить управляющий сигнал на пропорциональную задвижку на 8-10 единиц;

10. Повторить действия по пунктам 8-9 до управляющего сигнала 5-7 единиц;

11. Полностью открыть пропорциональную задвижку установив ручным регулятором сигнал управления равным 100;

12. Сохранить данные и график на жесткий диск компьютера. Нажать кнопку «Удалить все точки»;

13. Установить значение сигнала управления на преобразователь частоты равным 90 (частота, отображаемая на панели преобразователя частоты, должна равняться 45 Гц);

14. Дождаться установившихся значений расхода по расходомеру P1 (может занять 40-60 с), после чего нажать кнопку «Добавить точку»;

15. Уменьшить управляющий сигнал на преобразователь частоты на 8- 10 единиц;

16. Повторить действия по пунктам 14-15 до управляющего сигнала 20-25 единиц;

17. Установить ручным регулятором сигнал управления на преобразователь частоты равным 100;

18. Сохранить данные и график на жесткий диск компьютера;

19. Выключить приводной электродвигатель насоса Н2 нажав на панели частотного преобразователя нажать кнопку «Off/Reset»;

20. Выключить питание преобразователя частоты тумблером «Насос №2»;

21. Выключить питание системы управления стенда;

22. По полученным данным построить зависимость КПД насосной станции для двух случаев регулирования расхода. КПД насосной станции

$$\eta = \frac{P_{\text{ПОТР}} \cdot Q_2}{N_{\text{ЭД2}} \cdot 60},$$

где $P_{\text{Потр}}$ - давление перед потребителем в кПа,

Q_2 - расход по Р2 в л/мин,

$N_{\text{эд2}}$ - электрическая мощность, потребляемая приводным электродвигателем в Вт.

23. Проанализировать полученные зависимости. Сделать выводы.

**Лабораторная работа №9. Исследование характеристик
центробежных насосов при параллельном соединении с учетом
изменяемой частоты вращения одного из них**

Целью работы является: экспериментальное построение семейства совместных характеристик двух параллельно соединенных центробежных насосов для различных частот вращения приводного вала одного из них.

Данная лабораторная работа может выполняться с использованием ноутбука, или без него, измеряемые данные дублируются на электронных табло. Описание лабораторных работ приведено для выполнения работ с регистрацией измеряемых величин из ноутбука.

Ход выполнения работы:

1. Включить электропитание стенда тумблером «Питание системы управления»;
2. Включить ноутбук, дождаться загрузки операционной системы, запустить программу;
3. В диалоговом окне программы выбрать пункт меню «Режим работы» — «Управление и регистрация»;
4. Установить переключатели «Управление пропорциональной задвижкой» и «Управление преобразователем частоты» в положение «Ручное». Установить ручными регуляторами управляющий сигнал величиной 100;
5. Открыть краны КР1, КР3, КР4, КР5, КР8 задвижки ЗД1, ЗД2. Закрыть кран КР2;

6. Включить тумблером «Насос №2» питание частотного преобразователя. На панели частотного преобразователя нажать кнопку «Auto On»;
7. Включить тумблером «Насос №1» приводной двигатель насоса Н1;
8. В диалоговом окне программы выбрать «Статический режим измерений». Выбрать построение зависимости давления на выходе насосной станции от расхода по Р1;
9. Дождаться установившихся значений расхода по расходомеру Р1 (может занять 40-60 с), после чего нажать кнопку «Добавить точку»;
10. Частично закрыть кран КР8 (повернуть ручку в сторону закрытия на 15-20°);
11. Повторить действия по пунктам 9-10 до полного закрытия КР8;
12. Уменьшить управляющий сигнал на пропорциональную задвижку на 8-10 единиц;
13. Дождаться установившихся значений расхода по расходомеру Р1 (может занять 40-60 с), после чего нажать кнопку «Добавить точку»;
14. Повторить действия по пунктам 12-13 до управляющего сигнала 5-7 единиц;
15. Полностью открыть пропорциональную задвижку установив ручным регулятором сигнал управления равным 100. Открыть кран КР8;
16. Сохранить данные и график на жесткий диск компьютера. Нажать кнопку «Удалить все точки»;
17. Установить значение сигнала управления на преобразователь частоты равным 80 (частота, отображаемая на панели преобразователя частоты, должна равняться 40 Гц);

18. Повторить действия по пунктам 9-17 для значений управляющего сигнала 80, 60 и 40 (частота вращения вала насоса 40 Гц, 30 Гц, 20 Гц).

19. Выключить приводной электродвигатель насоса Н2 нажав на панели частотного преобразователя кнопку «Off/Reset»;

20. Выключить питание преобразователя частоты тумблером «Насос №2»;

21. Выключить тумблером «Насос №1» приводной двигатель насоса Н1;

22. Выключить питание системы управления стенда;

23. По данным, полученным в лабораторных работах №5 и 6, — графикам зависимостей давления на выходе насосной станции от расхода. $P_{Н1}=f_1(Q_{Н1})$; $P_{Н2}=f_2(Q_{Н2})$, для каждой частоты вращения графическим суммированием построить характеристики параллельно соединенных насосов $P_{Н\text{ ПАР}}=f(Q_{Н1}+Q_{Н2})$, пример суммирования показан на рисунке 19;

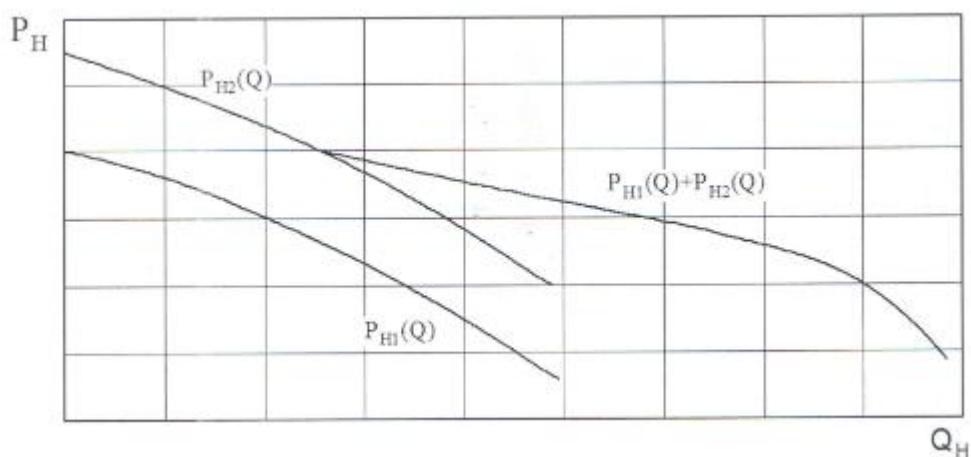


Рисунок 28 – Пример построения экспериментальной характеристики при параллельной работе насосов.

24. Сравнить характеристики, полученные суммированием и полученные экспериментально. Сделать выводы.

**Лабораторная работа №10. Исследование характеристик
центробежных насосов при последовательном соединении с учетом
изменяемой частоты вращения вала одного из них.**

Целью работы является: экспериментальное построение семейства совместных характеристик двух последовательно соединенных центробежных насосов для различных частот вращения приводного вала одного из них.

Данная лабораторная работа может выполняться с использованием ноутбука, или без него, измеряемые данные дублируются на электронных табло. Описание лабораторных работ приведено для выполнения работ с регистрацией измеряемых величин на ноутбуке.

Ход выполнения работы:

1. Включить электропитание стенда тумблером «Питание системы управления»;
2. Включить ноутбук, дождаться загрузки операционной системы, запустить программу;
3. В диалоговом окне программы выбрать пункт меню «Режим работы» — «Управление и регистрация»;
4. Установить переключатели «Управление пропорциональной задвижкой» и «Управление преобразователем частоты» в положение «Ручное». Установить ручными регуляторами управляющий сигнал величиной 100;

5. Открыть краны КР2, КР3, КР4, КР5, задвижку ЗД1. Закрывать кран КР1, задвижку ЗД2;
6. Включить тумблером «Насос №1» приводной двигатель насоса Н1;
7. Включить тумблером «Насос №2» питание частотного преобразователя. На панели частотного преобразователя нажать кнопку «Auto On»;
8. В диалоговом окне программы выбрать «Статический режим измерений». Выбрать построение зависимости давления на выходе насосной станции от расхода по Р1;
9. Дождаться установившихся значений расхода по расходомеру Р1 (может занять 40-60 с), после чего нажать кнопку «Добавить точку»;
10. Частично закрыть кран КР8 (повернуть ручку в сторону закрытия на 15-20°);
11. Повторить действия по пунктам 8-9 до полного закрытия КР8;
12. Уменьшить управляющий сигнал на пропорциональную задвижку на 8-10 единиц;
13. Дождаться установившихся значений расхода по расходомеру Р1 (может занять 40-60 с), после чего нажать кнопку «Добавить точку»;
14. Повторить действия по пунктам 11-12 до управляющего сигнала 5-7 единиц;
15. Полностью открыть пропорциональную задвижку установив ручным регулятором сигнал управления равным 100. Открыть кран КР8;
16. Сохранить данные и график на жесткий диск компьютера. Нажать кнопку «Удалить все точки»;

17. Установить значение сигнала управления на преобразователь частоты равным 80 (частота, отображаемая на панели преобразователя частоты, должна равняться 40 Гц);

18. Повторить действия по пунктам 9-17 для значений управляющего сигнала 80, 60 и 40 (частота вращения вала насоса 40 Гц, 30 Гц, 20 Гц);

19. Выключить приводной электродвигатель насоса Н2 нажав на панели частотного преобразователя кнопку «Off/Reset»;

20. Выключить питание преобразователя частоты тумблером «Насос №2»;

21. Выключить тумблером «Насос №1» приводной двигатель насоса Н1;

22. Выключить питание системы управления стенда;

23. По данным, полученным в лабораторных работах №5 и 6, — графикам зависимостей давления на выходе насосной станции от расхода. $P_{H1}=f_1(Q_{H1})$; $P_{H2}=f_2(Q_{H2})$, для каждой частоты вращения графическим суммированием построить характеристики последовательно соединенных насосов $P_{H12}=f(Q_{H1}+Q_{H2})$, пример суммирования показан на рисунке 20;

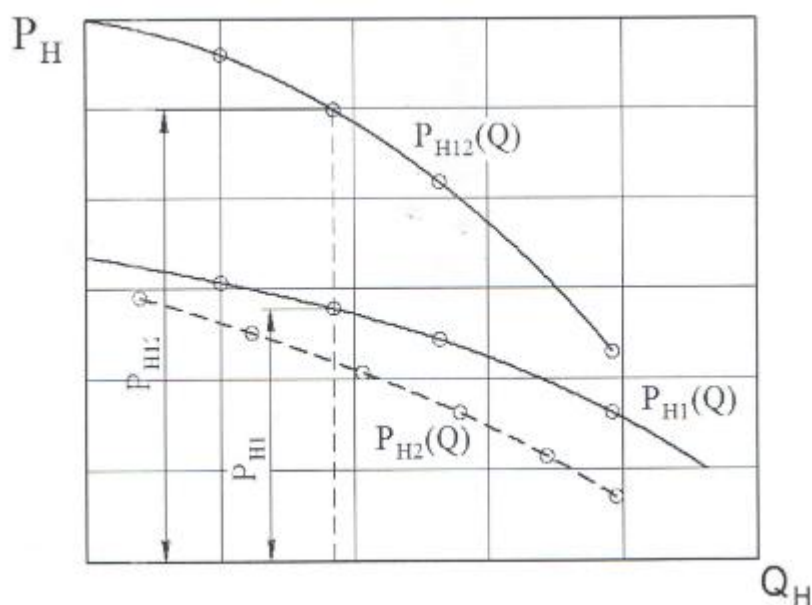


Рисунок 29 – Пример построения экспериментальной характеристики при последовательной работе насосов.

24. Сравнить характеристики, полученные суммированием и полученные экспериментально. Сделать выводы.

Лабораторная работа №11. Исследование расходно-перепадной характеристики задвижки

Целью работы является: экспериментальное построение предельной расходно-перепадной характеристики пропорциональной задвижки, изучение зависимости расхода через задвижку от сигнала управления при постоянном перепаде давления.

Данная лабораторная работа может выполняться с использованием ноутбука, или без него, измеряемые данные дублируются на электронных табло. Описание лабораторных работ приведено для выполнения работ с регистрацией измеряемых величин на ноутбуке.

Ход выполнения работы:

1. Включить электропитание стенда тумблером «Питание системы управления»;
2. Включить ноутбук, дождаться загрузки операционной системы, запустить программу;
3. В диалоговом окне программы выбрать пункт меню «Режим работы» - «Управление и регистрация»;
4. Установить переключатели «Управление пропорциональной задвижкой» и «Управление преобразователем частоты» в положение «Ручное». Установить ручными регуляторами управляющий сигнал величиной 100;

5. Открыть краны КР3, КР5, задвижку ЗД2. Закрыть краны КР1, КР4, КР8;
6. Включить тумблером «Насос №2» питание частотного преобразователя. На панели частотного преобразователя нажать кнопку «Auto On»;
7. В диалоговом окне программы выбрать «Статический режим измерений». Выбрать построение зависимости перепада давления на задвижке от расхода по расходомеру Р1;
8. Дождаться установившихся значений расхода по расходомеру Р1 (может занять 40-60 с), после чего кнопку «Добавить точку»;
9. Частично закрывая кран КР3 уменьшить расход через задвижку на 4-5 л/мин;
10. Повторить действие по пунктам 8-9 до значений расхода 3-5 л/мин;
11. Сохранить данные и график на жесткий диск компьютера. Нажать кнопку «Удалить все точки»;
12. В диалоговом окне программы выбрать «Статический режим измерений». Выбрать построение зависимости расхода по расходомеру Р1 от управляющего сигнала на задвижку;
13. Изменяя открытие крана КР3 добиться перепада давления на задвижке равным 50 ± 2 кПа;
14. Дождаться установившихся значений расхода по расходомеру Р1 (может занять 40-60 с), после чего нажать кнопку «Добавить точку»;
15. Уменьшить управляющий сигнал на пропорциональную задвижку на 8-10 единиц;
16. Повторить действия по пунктам 13-15 до управляющего сигнала 5-7 единиц;

17. Полностью открыть пропорциональную задвижку установив ручным регулятором сигнал управления равным 100;
18. Выключить приводной электродвигатель насоса Н2 нажав на панели частотного преобразователя кнопку «Off/Reset»;
19. Выключить питание преобразователя частоты тумблером «Насос №2»;
20. Выключить питание системы управления стенда;
21. Сравнить полученные экспериментальные данные с паспортными данными, приведенными в описании лабораторной работы №2. Сделать вывод.

Лабораторная работа №12. Автоматический контроль параметров среды. Управление насосной станцией для поддержания постоянного уровня в резервуаре с использованием ТРМ1 ОВЕН.

Целью работы является: экспериментальная настройка измерителя-регулятора типа ТРМ1 для управления пропорциональной задвижкой или частотным преобразователем с целью поддержания постоянного уровня жидкости в емкости; анализ переходных процессов.

Данную лабораторную работу следует выполнять с использованием ноутбука для регистрации параметров переходного процесса.

Ход выполнения работы:

Управление пропорциональной задвижкой

1. Включить электропитание стенда тумблером «Питание системы управления»;
2. Включить ноутбук, дождаться загрузки операционной системы, запустить программу;
3. В диалоговом окне программы выбрать пункт меню «Режим работы» - «Управление и регистрация»;
4. Установить переключатели «Управление пропорциональной задвижкой» и «Управление преобразователем частоты» в положение «Ручное». Установить ручными регуляторами управляющий сигнал величиной 100;

5. Открыть краны КР3, КР5, задвижку ЗД2. Закрыть краны КР1, КР4, КР8;
6. Включить тумблером «Насос №2» питание частотного преобразователя. На панели частотного преобразователя нажать кнопку «Auto On»;
7. Частично закрывать краны КР3 установить уровень жидкости в емкости ЕМ1 на высоте 250 ± 10 мм;
8. В диалоговом окне программы выбрать «Динамический режим измерений», шаг сбора данных установить равным 0,4 с. Выбрать построение зависимости уровня жидкости в емкости и сигнала управления на пропорциональную задвижку от времени;
9. Ввести в ТРМ1, отвечающий за измерение и регулировку уровня жидкости, следующие параметры:
 - тип закона регулирования – параметр А1-1 (5 – прямо пропорциональный закон, 6 – обратно пропорциональный закон),
 - значение установки уровня $H_{уст}$ из диапазона 100-200,
 - величину зоны пропорциональности $\Delta=30$,Записать значения параметров в таблицу;
10. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения»;
11. Перевести переключатель вида управления пропорциональной задвижкой в режим «По уровню». При этом начнется регулирование сигнала на пропорциональную задвижку от ТРМ1;
12. Дождаться установившегося значения уровня $H_{ф}$ жидкости в емкости, записать в таблицу. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл;
13. Определить величину статического $e_{ст}$ и динамической $e_{дин}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{уст}$ и записать в таблицу;

14. В окне программы нажать кнопку «Запуск измерения»;
15. Повернуть рукоятку крана КР5 примерно на 45° , внося, таким образом, возмущение в регулируемую систему;
16. Дождаться установившегося значения уровня $H_{\text{ф}}$ жидкости в емкости, записать в таблицу. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл;
17. Определить величину статической $e_{\text{СТ}}$ и динамической $e_{\text{дин}}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{\text{УСТ}}$ и записать, а таблицу;
18. Открыть кран КР5;
19. Повторить действия по пунктам 9-18 для значения величины зоны пропорциональности $\Delta = 20; 15; 10$ (установившийся режим может получиться не для всех настроек);
20. Перевести переключатель вида управления пропорциональной задвижкой в режим «Ручной».

Управление преобразователем частоты

В случае, если вторая часть лабораторной работы выполняется не сразу после первой, то необходимо выполнить действия по пунктам 1-8.

1. В диалоговом окне программы выбрать «Динамический режим измерений», шаг сбора данных установить равным 0,4 с. Выбрать построение зависимости уровня жидкости в емкости и сигнала управления на преобразователь частоты от времени;
2. Ввести в ТРМ1, отвечающий за измерение и регулировку уровня жидкости, следующие параметры;
 - тип закона регулирования – параметр А1-1 (5 – прямо пропорциональный закон, 6 – обратно пропорциональный закон),
 - значение установки уровня $H_{\text{УСТ}}$ из диапазона 100-200,

- величину зоны пропорциональности $\Delta=30$,

Записать значения параметров в таблицу;

3. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения»;

4. Перевести переключатель вида управления пропорциональной задвижкой в режим «По уровню». При этом начнется регулирование сигнала на пропорциональную задвижку от ТРМ1;

5. Дождаться установившегося значения уровня $H_{\text{ф}}$ жидкости в емкости, записать в таблицу. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл;

6. Определить величину статического $e_{\text{ст}}$ и динамической $e_{\text{дин}}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{\text{уст}}$ и записать в таблицу;

7. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения»;

8. Повернуть рукоятку крана КР5 примерно на 45° , внося, таким образом, возмущение в регулируемую систему;

9. Дождаться установившегося значения уровня $H_{\text{ф}}$ жидкости в емкости, записать в таблицу. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл;

10. Определить величину статической $e_{\text{ст}}$ и динамической $e_{\text{дин}}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{\text{уст}}$ и записать, а таблицу;

11. Открыть кран КР5;

12. Повторить действия по пунктам 2-11 для значения величины зоны пропорциональности $\Delta = 20; 15; 10$ (установившийся режим может получиться не для всех настроек);

13. Перевести переключатель вида управления пропорциональной задвижкой в режим «Ручной»;
 14. Выключить приводной электродвигатель насоса Н2 нажав на панели частотного преобразователя нажать кнопку «Off/Reset»;
 15. Выключить питание преобразователя частоты тумблером «Насос №2»;
 16. Выключить питание системы управления стенда;
 17. Проанализировать полученные экспериментальные данные.
- Сделать выводы.

Таблица 4 - Результаты измерений лабораторной работы №12

КРЗ	Н _{уст} , мм	Δ, мм	Н _ф , мм	Е _{ст} , мм	Е _{дин} , мм	Т _{уст} , с
Управление пропорциональной задвижкой						
0						
45°						
0						
45°						
0						
45°						
0						
45°						
Управление преобразователем частоты						
0						
45°						
0						
45°						
0						
45°						

0						
45°						

Лабораторная работа №13.

Автоматическое регулирование процессов по давлению перед потребителем с использованием ТРМ1 ОВЕН.

Целью работы является: экспериментальная настройка измерителя-регулятора типа ТРМ1 для управления пропорциональной задвижкой или частотным преобразователем с целью поддержания постоянного уровня давления перед потребителем; анализ переходных процессов.

Данную лабораторную работу следует выполнять с использованием ноутбука для регистрации параметров переходного процесса.

Ход выполнения работы:

Управление пропорциональной задвижкой

1. Включить электропитание стенда тумблером «Питание системы управления»;
2. Включить ноутбук, дождаться загрузки операционной системы, запустить программу;
3. В диалоговом окне программы выбрать пункт меню «Режим работы» - «Управление и регистрация»;
4. Установить переключатели «Управление пропорциональной задвижкой» и «Управление преобразователем частоты» в положение «Ручное». Установить ручными регуляторами управляющий сигнал величиной 100;

5. Открыть краны КР4, КР5, задвижку ЗД2. Закрывать краны КР1, КР3, КР8;
6. Включить тумблером «Насос №2» питание частотного преобразователя. На панели частотного преобразователя нажать кнопку «Auto On»;
7. В диалоговом окне программы выбрать «Динамический режим измерений», шаг сбора данных установить равным 0,4 с. Выбрать построение зависимости давления перед потребителем и сигнала управления на пропорциональную задвижку от времени;
8. Частично открывая кран КР3 установить давление перед потребителем равным 120 ± 10 кПа;
9. Ввести в ТРМ1, отвечающий за измерение и регулировку давления жидкости, следующие параметры:
 - тип закона регулирования - параметр А1-1 (5 - прямо пропорциональный закон, 6 - обратно пропорциональный закон),
 - значение установки давления $P_{уст}$ из диапазона 70-100,
 - величину зоны пропорциональности $\Delta = 90$,Записать значения параметров в таблицу;
10. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения»;
11. Перевести переключатель вида управления пропорциональной задвижкой в режим «По давлению». При этом начнется регулирование сигнала на пропорциональную задвижку от ТРМ1;
12. Дождаться установившегося значения давления $P_{ф}$ перед потребителем, записать в таблицу. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл;

13. Определить величину статической $e_{ст}$ и динамической $e_{дин}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{вст}$ и записать в таблицу;

14. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения»;

15. Полностью закрыть кран КРЗ, внося, таким образом, возмущение регулируемую систему;

16. Дождаться установившегося значения давления P_f перед потребителем, записать в таблицу. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл;

17. Определить величину статической $e_{ст}$ и динамической $e_{дин}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{уст}$ и записать в таблицу;

18. Перевести переключатель вида управления пропорциональной-здвижкой в режим «Ручное»;

19. Повторить действия по пунктам 8-18 для значений величины зоны пропорциональности $A = 75; 60; 50$ (установившийся режим может получиться не для всех настроек);

20. Перевести переключатель вида управления пропорциональной задвижкой в режим «Ручной».

Управление преобразователем частоты

В случае, если вторая часть лабораторной работы выполняется не сразу после первой, то необходимо выполнить действия по пунктам 1—7.

1. В диалоговом окне программы выбрать «Динамический режим измерений», шаг сбора данных установить равным 0,4 с. Выбрать построение зависимости давления перед потребителем и сигнала управления на преобразователь частоты от времени;

2. Частично открывая кран КРЗ установить давление перед потребителем равным 120 ± 10 кПа;

3. Ввести в ТРМ1, отвечающий за измерение и регулировку давления жидкости, следующие параметры:

- тип закона регулирования - параметр А1-1 (5 - прямо пропорциональный закон, 6 - обратно пропорциональный закон),

- значение установки давления Ру_{ст} из диапазона 70—100,

- величину зоны пропорциональности А — 150,

Записать значения параметров в таблицу;

4. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения»;

5. Перевести переключатель вида управления преобразователем частоты в режим «По давлению». При этом начнется регулирование сигнала на преобразователь частоты от ТРМ1;

6. Дождаться установившегося значения давления Р_ф перед потребителем, записать в таблицу. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл;

7. Определить величину статической $e_{ст}$ и динамической $e_{дин}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{уст}$ и записать в таблицу;

8. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения»;

9. Полностью закрыть кран КРЗ, внеся, таким образом, возмущение в регулируемую систему;

10. Дождаться установившегося значения давления Р_ф перед потребителем, записать в таблицу. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл;

11. Определить величину статической $e_{ст}$ и динамической $e_{дин}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{уст}$ и записать в таблицу;
12. Перевести переключатель вида управления преобразователем частоты в режим «Ручное»;
13. Повторить действия по пунктам 2-12 для значений величины зоны пропорциональности $\Delta = 120; 90; 60$ (установившийся режим может получиться не для всех настроек);
14. Перевести переключатель вида управления преобразователем частоты в режим «Ручной»;
15. Выключить приводной электродвигатель насоса Н2 нажав на панели частотного преобразователя нажать кнопку «Off/Reset»;
16. Выключить питание преобразователя частоты «Насос №2»;
17. Выключить питание системы управления стенда;
18. Проанализировать полученные экспериментальные данные. Сделать выводы.

Таблица 5 - Результаты измерений лабораторной работы №13

КРЗ	$P_{уст},$ кПа	$\Delta,$ кПа	$P_{ф},$ кПа	$e_{ст},$ кПа	$e_{дин},$ кПа	$t_{уст},$ с
Управление пропорциональной задвижкой						
Настр.						
Закр.						
Настр.						
Закр.						
Настр.						
Закр.						
Настр.						

Закр.						
Управление преобразователем частоты						
Настр.						
Закр.						
Настр.						
Закр.						
Настр.						

Продолжение таблицы 5

Закр.						
Настр.						
Закр.						

Лабораторная работа №14.

Автоматическое регулирование процессов по расходу потребителей с использованием ТРМ1 ОВЕН.

Целью работы является: экспериментальная настройка измерителя-регулятора типа ТРМ1 для управления пропорциональной задвижкой или частотным преобразователем с целью поддержания постоянного расхода потребителей, анализ переходных процессов.

Данную лабораторную работу следует выполнять с использованием ноутбука для регистрации параметров переходного процесса.

Ход выполнения работы:

Управление пропорциональной задвижкой

1. Включить электропитание стенда тумблером «Питание системы управления»;
2. Включить ноутбук, дождаться загрузки операционной системы, запустить программу;
3. В диалоговом окне программы выбрать пункт меню «Режим работы» - «Управление и регистрация»;

4. Установить переключатели «Управление пропорциональной задвижкой» и «Управление преобразователем частоты» в положение «Ручное». Установить ручными регуляторами управляющий сигнал величиной 100;

5. Открыть краны КР4, КР5, задвижку ЗД2. Закрыть краны КР1, КР3, КР8;

6. Включить тумблером «Насос №2» питание частотного преобразователя. На панели частотного преобразователя нажать кнопку «Auto On»;

7. В диалоговом окне программы выбрать «Динамический режим измерений», шаг сбора данных установить равным 0,4 с. Выбрать построение зависимости расхода по Р1 и сигнала управления на пропорциональную задвижку от времени;

8. Частично открывая кран КР3 установить расход по расходомеру Р1 равным 40 ± 1 л/мин;

9. Ввести в ТРМ1, отвечающий за измерение и регулировку расхода жидкости, следующие параметры;

- тип закона регулирования - параметр А1-1 (5 - прямо пропорциональный закон, 6 - обратно пропорциональный закон),
- значение установки расхода $Q_{уст}$ из диапазона 12—18,
- величину зоны пропорциональности $\Delta = 12$,

Записать значения параметров в таблицу;

10. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения»;

11. Перевести переключатель вида управления пропорциональной задвижкой в режим «По расходу». При этом начнется регулирование сигнала на пропорциональную задвижку от ТРМ1;

12. Дождаться установившегося значения расхода $Q_{ф}$, записать в таблицу. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл;

13. Определить величину статической $e_{\text{СТ}}$ и динамической $e_{\text{ДИН}}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{\text{УСТ}}$ и записать в таблицу;
14. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения»;
15. Полностью закрыть кран КРЗ, внося, таким образом, возмущение в регулируемую систему;
16. Дождаться установившегося значения расхода $Q_{\text{Ф}}$, записать в таблицу. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл;
17. Определить величину статической $e_{\text{СТ}}$ и динамической $e_{\text{ДИН}}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{\text{УСТ}}$ и записать в таблицу;
18. Перевести переключатель вида управления пропорциональной завдвижкой в режим «Ручное»;
19. Повторить действия по пунктам 8-18 для значений величины зоны пропорциональности $\Delta = 10; 8; 6$ (установившийся режим может получиться не для всех настроек);
20. Перевести переключатель вида управления пропорциональной завдвижкой в режим «Ручной».

Управление преобразователем частоты

В случае, если вторая часть лабораторной работы выполняется не сразу после первой, то необходимо выполнить действия по пунктам 1—7.

1. В диалоговом окне программы выбрать «Динамический режим измерений», шаг сбора данных установить равным 0,4 с. Выбрать построение зависимости расхода по Р1 и сигнала управления на преобразователь частоты от времени;
2. Частично открывая кран КРЗ установить расход по расходомеру Р1 равным 20 ± 1 л/мин;
3. Ввести в ТРМ1, отвечающий за измерение и регулировку расхода жидкости, следующие параметры:

- тип закона регулирования - параметр A1-1 (5 - прямо пропорциональный закон, 6 - обратно пропорциональный закон),
- значение уставки расхода $Q_{уст}$ из диапазона 12-18,
- величину зоны пропорциональности Δ — 8,

Записать значения параметров в таблицу;

4. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения»;

5. Перевести переключатель вида управления преобразователем частоты в режим «По расходу». При этом начнется регулирование сигнала на преобразователь частоты от ТРМ1;

6. Дождаться установившегося значения расхода $Q_{ф}$, записать в таблицу. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл;

7. Определить величину статической $e_{ст}$ и динамической $e_{дин}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{уст}$ и записать в таблицу;

8. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения»;

9. Полностью закрыть кран КРЗ, внося, таким образом, возмущение в регулируемую систему;

10. Дождаться установившегося значения расхода $Q_{ф}$, записать в таблицу. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл;

11. Определить величину статической $e_{ст}$ и динамической $e_{дин}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{уст}$ и записать в таблицу;

12. Перевести переключатель вида управления преобразователем частоты в режим «Ручное»;

13. Повторить действия по пунктам 2-12 для значений величины зоны пропорциональности $A = 6; 4; 2$ (установившийся режим может получиться не для всех настроек);

14. Перевести переключатель вида управления преобразователем частоты в режим «Ручной»;
15. Выключить приводной электродвигатель насоса Н2 нажав на панели частотного преобразователя нажать кнопку «Off/Reset»;
16. Выключить питание преобразователя частоты тумблером «Насос №2»;
17. Выключить питание системы управления стенда;
18. Проанализировать полученные экспериментальные данные. Сделать выводы.

Таблица 6 - Результаты измерений лабораторной работы №14

КРЗ	Q _{уст} , л/мин	Δ, л/мин	Q _ф , л/мин	ε _{ст} , л/мин	ε _{дин} , л/мин	t _{уст} , с
Управление пропорциональной задвижкой						
Настр.						
Закр.						
Настр.						
Закр.						
Настр.						
Закр.						
Настр.						
Закр.						
Управление преобразователем частоты						
Настр.						
Закр.						
Настр.						
Закр.						
Настр.						

Закр.						
Настр.						
Закр.						

Лабораторная работа №15. Автоматическое регулирование процессов по уровню в резервуаре с использованием ПЭВМ.

Целью работы является: экспериментальная настройка ПИД регулятора для управления пропорциональной задвижкой или частотным преобразователем с целью поддержания постоянного уровня жидкости в емкости; анализ переходных процессов.

Данную лабораторную работу следует выполнять с использованием ноутбука для управления и регистрации параметров переходного процесса.

Ход выполнения работы:

Управление пропорциональной задвижкой

1. Включить электропитание стенда тумблером «Питание системы управления»;
2. Включить ноутбук, дождаться загрузки операционной системы, запустить программу;
3. В диалоговом окне программы выбрать пункт меню «Режим работы» - «Управление и регистрация»;

4. Установить переключатели: «Управление пропорциональной задвижкой» в положение «Компьютерное», «Управление преобразователем частоты» в положение «Ручное». Установить регуляторами управляющий сигнал величиной 100;
5. Открыть краны КР3, КР5, задвижку ЗД2. Закрыть краны КР1, КР4, КР8;
6. Включить тумблером «Насос №2» питание частотного преобразователя. На панели частотного преобразователя нажать кнопку «Auto On»;
7. Частично закрывая кран КР3 установить уровень жидкости в емкости ЕМ1 на высоте 250 ± 10 мм;
8. В диалоговом окне программы выбрать «Динамический режим измерений», шаг сбора данных установить равным 0,4 с. Выбрать построение зависимости уровня жидкости в емкости и сигнала управления на пропорциональную задвижку от времени;
9. Ввести в диалоговом окне программы следующие параметры:
 - переменная процесса - уровень в емкости,
 - значение уставки уровня $H_{уст}$ из диапазона 100-200,
 - коэффициенты $K_P=0$; $K_D=0$; $K_I=0,005$,
 - шаг по времени $\Delta t=1$ с,Записать значения параметров в таблицу;
10. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения»;
11. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск регулирования». При этом начнется регулирование сигнала на пропорциональную задвижку от ноутбука;
12. Дождаться установившегося значения уровня H_Φ жидкости в емкости, записать в таблицу;
13. Повернуть рукоятку крана КР5 примерно на 45° , внеся, таким образом, возмущение в регулируемую систему;

14. Дождаться установившегося значения уровня H_{Φ} жидкости в емкости, записать в таблицу. В диалоговом окне программы нажать кнопки «Остановка измерения» и «Остановка регулирования». Сохранить полученные графики и данные в файл;

15. Определить величину статической $e_{\text{СТ}}$ и динамической $e_{\text{ДИН}}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{\text{УСТ}}$ и записать в таблицу;

16. Открыть кран КР5;

17. Повторить действия по пунктам 9-16 для значений:

- $K_{\Pi} = 0.0$; $K_{\text{Д}} = 0$; $K_{\text{И}} = 0,01$,

- $K_{\Pi} = 0.005$; $K_{\text{Д}} = 0$; $K_{\text{И}} = 0,005$,

- $K_{\Pi} = 0.005$; $K_{\text{Д}} = 0$; $K_{\text{И}} = 0,01$,

(установившийся режим может получиться не для всех настроек).

Управление преобразователем частоты

В случае, если вторая часть лабораторной работы выполняется не сразу после первой, то необходимо выполнить действия по пунктам 1-7.

1. Установить переключатели: «Управление пропорциональной задвижкой» в положение «Ручное», «Управление преобразователем частоты» в положение «Компьютерное». Установить регуляторами управляющий сигнал величиной 100;

2. В диалоговом окне программы выбрать «Динамический режим измерений», шаг сбора данных установить равным 0,4 с. Выбрать построение зависимости уровня жидкости в емкости и сигнала управления на преобразователь частоты от времени;

3. Ввести в диалоговом окне программы следующие параметры:

- переменная процесса - уровень в емкости,

- значение уставки уровня $H_{\text{УСТ}}$ из диапазона 100-200,

- коэффициенты $K_{\Pi} = 0$; $K_{\text{Д}} = 0$; $K_{\text{И}} = 0,005$,

- шаг по времени $\Delta t = 1$ с,

Записать значения параметров в таблицу;

4. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения»;
5. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск регулирования». При этом начнется регулирование сигнала на пропорциональную задвижку от ноутбука;
6. Дождаться установившегося значения уровня H_{Φ} жидкости в емкости, записать в таблицу;
7. Повернуть рукоятку крана КР5 примерно на 45° , внеся, таким образом, возмущение в регулируемую систему;
8. Дождаться установившегося значения уровня H_{Φ} жидкости в емкости, записать в таблицу. В диалоговом окне программы нажать кнопки «Остановка измерения» и «Остановка регулирования». Сохранить полученные графики и данные в файл;
9. Определить величину статической $e_{\text{ст}}$ и динамической $e_{\text{дин}}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{\text{уст}}$ и записать в таблицу;
10. Открыть кран КР5;
11. Повторить действия по пунктам 3-10 для значений
 - $K_{\Pi} = 0.0$; $K_{\text{д}} = 0$; $K_{\text{и}} = 0,01$;
 - $K_{\Pi} = 0.005$; $K_{\text{д}} = 0$; $K_{\text{и}} = 0,005$;
 - $K_{\Pi} = 0.005$; $K_{\text{д}} = 0$; $K_{\text{и}} = 0,01$;(установившийся режим может получиться не для всех настроек);
12. Выключить приводной электродвигатель насоса Н2 нажав на панели частотного преобразователя нажать кнопку «Off/Reset»;
13. Выключить питание преобразователя частоты тумблером «Насос №2»;
14. Выключить питание системы управления стенда;
15. Проанализировать полученные экспериментальные данные. Сделать выводы.

Таблица 7 - Результаты измерений лабораторной работы №15

КРЗ	Н _{уст}	К _п	К _д	К _и	Δt	Н _ф	е _{ст}	е _{дин}	t _{уст}
Управление пропорциональной задвижкой									
0									
45°									
0									
45°									
0									
45°									
0									
45°									
Управление преобразователем частоты									
0									
45°									
0									
45°									
0									
45°									
0									
45°									

Лабораторная работа №16. Автоматическое регулирование процессов по давлению перед потребителем с использованием ПЭВМ.

Целью работы является: экспериментальная настройка ПИД регулятора для управления пропорциональной задвижкой или частотным преобразователем с целью поддержания постоянного уровня давления перед потребителем; анализ переходных процессов.

Данную лабораторную работу следует выполнять с использованием ноутбука для управления и регистрации параметров переходного процесса.

Ход выполнения работы:

Управление пропорциональной задвижкой

1. Включить электропитание стенда тумблером «Питание системы управления»;
2. Включить ноутбук, дождаться загрузки операционной системы, запустить программу;
3. В диалоговом окне программы выбрать пункт меню «Режим работы» - «Управление и регистрация»;
4. Установить переключатели: «Управление пропорциональной задвижкой» в положение «Компьютерное», «Управление преобразователем частоты» в положение «Ручное». Установить регуляторами управляющий сигнал величиной 100;
5. Открыть краны КР4, КР5, задвижку ЗД2. Закрыть краны КР1, КР3, КР8;
6. Включить тумблером «Насос №2» питание частотного преобразователя. На панели частотного преобразователя нажать кнопку «Auto On»;
7. В диалоговом окне программы выбрать «Динамический режим измерений», шаг сбора данных установить равным 0,4 с. Выбрать построение зависимости давления перед потребителем и сигнала управления на пропорциональную задвижку от времени;

8. Частично открывая кран КРЗ установить давление перед потребителем равным 120 ± 10 кПа;
9. Ввести в диалоговом окне программы следующие параметры:
- переменная процесса - давление перед потребителем,
 - значение уставки уровня $P_{уст}$ из диапазона 60-100,
 - коэффициенты $K_P = 0$; $K_D = 0$; $K_I = 0,01$,
 - шаг по времени $\Delta t = 1$ с,
- Записать значения параметров в таблицу;
10. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения»;
11. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск регулирования».
- При этом начнется регулирование сигнала на пропорциональную задвижку от ноутбука;
12. Дождаться установившегося значения давления P_Φ перед потребителем, записать в таблицу;
13. Полностью закрыть кран КРЗ, внося, таким образом, возмущение в регулируемую систему;
14. Дождаться установившегося значения давления P_Φ перед потребителем, записать в таблицу. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения» и «Остановка регулирования». Сохранить полученные графики и данные в файл;
15. В диалоговом окне программы установить сигнал на задвижку равным 100%;
16. Определить величину статической $e_{ст}$ и динамической $e_{дин}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{уст}$ и записать в таблицу;
17. Повторить действия по пунктам 8-16 для значений
- $K_P = 0,0$; $K_D = 0$; $K_I = 0,02$,
 - $K_P = 0,005$; $K_D = 0$; $K_I = 0,01$,
 - $K_P = 0,005$; $K_D = 0$; $K_I = 0,02$,
- (установившийся режим может получиться не для всех настроек);

Управление преобразователем частоты

В случае, если вторая часть лабораторной работы выполняется не сразу после первой, то необходимо выполнить действия по пунктам 1-7.

1. Установить переключатели: «Управление пропорциональной задвижкой» в положение «Ручное», «Управление преобразователем частоты» в положение «Компьютерное». Установить регуляторами управляющий сигнал величиной 100;

2. В диалоговом окне программы выбрать «Динамический режим измерений», шаг сбора данных установить равным 0,4 с. Выбрать построение зависимости давления перед потребителем и сигнала управления на преобразователь частоты от времени;

3. Частично открывая кран КРЗ установить давление перед потребителем равным 120 ± 10 кПа;

4. Ввести в диалоговом окне программы следующие параметры:

- переменная процесса - давление перед потребителем,
- значение уставки давления $P_{уст}$ из диапазона 60-100,
- коэффициенты $K_P=0$; $K_D=0$; $K_I=0,01$,
- шаг по времени $\Delta t=1$ с,

Записать значения параметров в таблицу;

5. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения»;

6. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск регулирования». При этом начнется регулирование сигнала на пропорциональную задвижку от ноутбука;

7. Дождаться установившегося значения давления P_Φ перед потребителем, записать в таблицу;

8. Полностью закрыть кран КРЗ, внеся, таким образом, возмущение в регулируемую систему;

9. Дождаться установившегося значения давления P_Φ перед потребителем, записать в таблицу. В диалоговом окне программы нажать кнопки «Остановка измерения» и «Остановка регулирования». Сохранить полученные графики и данные в файл;

10. Определить величину статической $e_{\text{СТ}}$ и динамической $e_{\text{ДИН}}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{\text{УСТ}}$ и записать в таблицу;
11. В диалоговом окне программы установить сигнал на задвижку равным 100%;
12. Повторить действия по пунктам 3-11 для значений
 - $K_{\text{П}} = 0.0$; $K_{\text{Д}} = 0$; $K_{\text{И}} = 0,01$,
 - $K_{\text{П}} = 0.005$; $K_{\text{Д}} = 0$; $K_{\text{И}} = 0,005$,
 - $K_{\text{П}} = 0.005$; $K_{\text{Д}} = 0$; $K_{\text{И}} = 0,01$,(установившийся режим может получиться не для всех настроек);
13. Выключить приводной электродвигатель насоса Н2 нажав на панели частотного преобразователя нажать кнопку «Off/Reset»;
14. Выключить питание преобразователя частоты тумблером «Насос №2»;
15. Выключить питание системы управления стенда. Проанализировать полученные экспериментальные данные. Сделать выводы.

Таблица 8 - Результаты измерений лабораторной работы №16

КРЗ	$P_{уст}$	$K_{П}$	$K_{Д}$	$K_{И}$	Δt	$H_{Ф}$	$e_{СТ}$	$e_{дин}$	$t_{уст}$
Управление пропорциональной задвижкой									
Настр									
Закр.									
Настр									
Закр.									
Настр									
Закр.									
Настр									
Закр.									
Управление преобразователем частоты									
Настр									
Закр.									
Настр									
Закр.									
Настр									
Закр.									
Настр									
Закр.									

Лабораторная работа №17. Автоматическое регулирование процессов по расходу потребителей с использованием ПЭВМ.

Целью работы является: экспериментальная настройка ПИД регулятора для управления пропорциональной задвижкой или частотным преобразователем с целью поддержания постоянного расхода потребителей; анализ переходных процессов.

Данную лабораторную работу следует выполнять с использованием ноутбука для управления и регистрации параметров переходного процесса.

Ход выполнения работы:

Управление пропорциональной задвижкой

1. Включить электропитание стенда тумблером «Питание системы управления»;
2. Включить ноутбук, дождаться загрузки операционной системы, запустить программу;
3. В диалоговом окне программы выбрать пункт меню «Режим работы» — «Управление и регистрация»;
4. Установить переключатели: «Управление пропорциональной задвижкой» в положение «Компьютерное», «Управление преобразователем частоты» в положение «Ручное». Установить регуляторами управляющий сигнал величиной 100;
5. Открыть краны КР4, КР5, задвижку ЗД2. Закрыть краны КР1, КР3, КР8;
6. Включить тумблером «Насос №2» питание частотного преобразователя. На панели частотного преобразователя нажать кнопку «Auto On»;
7. В диалоговом окне программы выбрать «Динамический режим измерений», шаг сбора данных установить равным 0,4 с. Выбрать

построение зависимости расхода по диафрагме и сигнала управления на пропорциональную задвижку от времени;

8. Частично открывая кран КРЗ установить расход по диафрагме D_2 равным 40 ± 1 л/мин;

9. Ввести в диалоговом окне программы следующие параметры:

- переменная процесса — расход по диафрагме,
- значение уставки расхода $Q_{уст}$ из диапазона 10 - 20, — коэффициенты $K_P=0$; $K_D=0$; $K_I=0,02$,
- шаг по времени $\Delta t=1$ с,

Записать значения параметров в таблицу;

10. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения»;

11. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск регулирования». При этом начнется регулирование сигнала на пропорциональную задвижку от ноутбука;

12. Дождаться установившегося значения расхода Q_Φ , записать в таблицу;

13. Полностью закрыть кран КРЗ, внося, таким образом, возмущение в регулируемую систему;

14. Дождаться установившегося значения расхода Q_Φ , записать в таблицу. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл;

15. В диалоговом окне программы установить сигнал на задвижку равным 100%;

16. Определить величину статической $e_{ст}$ и динамической $e_{дин}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{уст}$ и записать в таблицу;

17. Повторить действия по пунктам 8—16 для значений

- $K_P=0,0$; $K_D=0$; $K_I=0,03$,
- $K_P=0,05$; $K_D=0$; $K_I=0,02$,
- $K_P=0,05$; $K_D=0$; $K_I=0,03$,

(установившийся режим может получиться не для всех настроек).

Управление преобразователем частоты

В случае, если вторая часть лабораторной работы выполняется не сразу после первой, то необходимо выполнить действия по пунктам 1—7.

1. Установить переключатели: «Управление пропорциональной задвижкой» в положение «Ручное», «Управление преобразователем частоты» в положение «Компьютерное». Установить регуляторами управляющий сигнал величиной 100;

2. В диалоговом окне программы выбрать «Динамический режим измерений», шаг сбора данных установить равным 0,4 с. Выбрать построение зависимости расхода по диафрагме и сигнала управления на преобразователь частоты от времени;

3. Частично открывая кран КРЗ установить расход по диафрагме равным 20 ± 1 л/мин;

4. Ввести в диалоговом окне программы следующие параметры:

— переменная процесса — расход по диафрагме,

— значение уставки расхода $Q_{уст}$ из диапазона 10-15,

— коэффициенты $K_P=0$; $K_D=0$; $K_I=0,01$,

— шаг по времени $\Delta t=1$ с,

Записать значения параметров в таблицу;

5. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения»;

6. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск регулирования». При этом начнется регулирование сигнала на пропорциональную задвижку от ноутбука;

7. Дождаться установившегося значения расхода Q_{Φ} , записать в таблицу;
8. Полностью закрыть кран КРЗ, внеся, таким образом, возмущение в регулируемую систему;
9. Дождаться установившегося значения расхода Q_{Φ} , записать в таблицу. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл;
10. Определить величину статической $e_{\text{ст}}$ и динамической $e_{\text{дин}}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{\text{уст}}$ и записать в таблицу;
11. В диалоговом окне программы установить сигнал на задвижку равным 100%;
12. Повторить действия по пунктам 3—11 для значений
 - $K_{\text{П}}=0,0$; $K_{\text{Д}}=0$; $K_{\text{И}}=0,02$,
 - $K_{\text{П}}=0,05$; $K_{\text{Д}}=0$; $K_{\text{И}}=0,01$,
 - $K_{\text{П}}=0,05$; $K_{\text{Д}}=0$; $K_{\text{И}}=0,02$,(установившийся режим может получиться не для всех настроек).
13. Выключить приводной электродвигатель насоса Н2 нажав на панели частотного преобразователя нажать кнопку «Off/Reset»;
14. Выключить питание преобразователя частоты тумблером «Насос №2»;
15. Выключить питание системы управления стенда;
16. Проанализировать полученные экспериментальные данные. Сделать выводы.

Таблица 9 - Результаты измерений лабораторной работы №17

КРЗ	$Q_{уст}$	K_{II}	K_d	$K_{и}$	Δt	H_{Φ}	$\epsilon_{ст}$	$\epsilon_{дин}$	$t_{уст}$
Управление пропорциональной задвижкой									
Настр.									
Закр.									
Настр.									
Закр.									
Настр.									
Закр.									
Настр.									
Закр.									
Управление преобразователем частоты									
Настр.									
Закр.									
Настр.									
Закр.									
Настр.									

Закр.									
Настр.									
Закр.									

БИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Заправочно-нейтрализационная станция. Разработка и эксплуатация: Учеб. пособие: О.Е. Денисов [и др.]; - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006 - 240