

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Институт повышения квалификации
и переподготовки

Кафедра «Нефтегазоразработка и гидропневмоавтоматика»

Т. В. Атвиновская

АВТОМАТИЗАЦИЯ И АСУ ТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

ПРАКТИКУМ

**по одноименной дисциплине
для слушателей специальности переподготовки
1-70 05 75 «Трубопроводный транспорт,
хранение и реализация нефтегазопродуктов»
заочной формы обучения**

Гомель 2021

УДК 622.276(075.8)
ББК 33.36я73
А92

*Рекомендовано кафедрой «Нефтегазозаработка и гидронневноавтоматика»
ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 4 от 08.11.2020 г.)*

Рецензент: заведующий ЛИК ЦИК БелНИПИнефть канд. техн. наук *И. В. Лымарь*

Атвиновская, Т. В.

А92

Автоматизация и АСУ транспортного предприятия : практикум по одной дисциплине для слушателей специальности переподготовки 1-70 05 75 «Трубопроводный транспорт, хранение и реализация нефтегазопродуктов» заоч. формы обучения / Т. В. Атвиновская. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – 40 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Изложены основные сведения об автоматизации в нефтяной промышленности.

Для слушателей специальности переподготовки 1-70 05 75 «Трубопроводный транспорт, хранение и реализация нефтегазопродуктов» заочной формы обучения ИПКиП.

УДК 622.276(075.8)
ББК 33.36я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2021

ВВЕДЕНИЕ

Учебная программа дисциплины «Автоматизация производственных процессов» предназначена для реализации государственных требований к минимуму содержания и уровню подготовки слушателей по специальности 1-70 05 75 «Трубопроводный транспорт, хранение и реализация нефтегазопродуктов».

Учебная дисциплина «Автоматизация производственных процессов» является специальной, устанавливающей базовые знания для усвоения других дисциплин и получения практических навыков и умений при работе со средствами автоматизации.

Изучение дисциплины основывается на знаниях, полученных студентами при изучении дисциплин: «Физика», «Математика», «Информатика», «Электротехника и электроника», «Гидравлика», «Техническая механика», «Термодинамика».

Полученные знания и умения по дисциплине являются необходимыми для изучения дисциплин: «Эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», «Сбор и подготовка скважинной продукции», «Оборудование для добычи нефти и газа», «Трубопроводный транспорт нефти и газа».

Программой дисциплины предусматривается изучение конструкции, принципа действия, применения средств измерений и автоматизации, основ теории автоматического регулирования, автоматизации производственных процессов добычи, подготовки газа, газоконденсата, нефти, структуры, обеспечения и режимов работы АСУ ТП. Материал программы необходимо систематически пополнять сведениями о новых средствах измерений и автоматизации, о достижениях в области автоматизации производства.

Цель учебно-методического документа – оказать помощь слушателям в изучении теоретического курса дисциплины. По учебному плану изучение данной дисциплины предусматривает проведение лекций и практических работ.

Практические работы предназначены для углубленного изучения теоретического материала и получения практических навыков и умения при работе со средствами измерения и автоматизации.

В качестве итогового контроля знаний предусматривается зачёт.

В результате изучения дисциплины студент должен *знать*:

- конструкцию, принцип действия и применение средств измерений и автоматизации;
- назначение и функции каждого элемента в системе автоматического регулирования;
- типовые схемы автоматизации технологических процессов;
- использование ЭВМ в АСУ ТП.

уметь:

- выбирать по заданным условиям, справочной литературе, каталогам средства измерений и автоматизации;
- работать с приборами и производить основные технические измерения;
- составлять и читать функциональные схемы автоматизации.

Практическая работа 1

«Измерение расхода жидкости и газа»

Цель занятия: изучение способов измерения расхода жидкости и газа.

1. Теоретическая часть

Расход – величина, которая определяется для равномерно перемещаемого вещества отношением массы (массовый расход), количества (молярный расход) или объема (объемный расход) вещества, проходящего через определенное сечение (перпендикулярное к направлению скорости потока), к промежутку времени, за который это перемещение происходит. Расход выражают соответственно в кг/с, моль/с и м³/с, иногда – в т/ч, кмоль/с, л/мин.

Количество – это масса или объем вещества, перемещаемого за некоторый промежуток времени, измеряется в мз и кг.

Приборы для определения расхода называются **расходомерами**, а количества – **счетчиками**.

Для измерения расхода используют ряд физических явлений, на основе которых по принципу действия расходомеры и счетчики количества делят на следующие группы: *расходомеры переменного и постоянного перепада давления, тахометрические, ультразвуковые, электромагнитные, вихревые и кориолисовы*.

В зависимости от условий применения приборы могут быть разделены на *наземные и скважинные*.

1. Измерение расхода методом переменного перепада давления

Расходоизмерительная система состоит из сужающего устройства (диафрагма, сопло), устанавливаемого в трубопроводе, импульсных трубок и дифманометров.

Действие расходомеров этого типа основано на измерении перепада давления потока на сужающем устройстве. Объемный расход газов и жидкостей Q_V , м³/с через сужающее устройство определяется по формуле:

$$Q_V = \alpha_Q \cdot \varepsilon_C \cdot m_Q^2 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_V}},$$

(1.1)

где α_Q - коэффициент расхода (приложение А); ε_C - коэффициент сжимаемости (для жидкости $\varepsilon_C = 1$); ρ_V - плотность жидкости или газа, кг/м³; ΔP - перепад давления, Па; m_Q - d/D – характеристический коэффициент ($0,05 \leq m_Q \leq 0,6$); d - диаметр сужающего устройства, м; D - диаметр трубопровода, м.

При измерении расхода с помощью сужающих устройств требуются нормированные условия среды (температура и атмосферное давление).

2. Турбинные расходомеры

В турбинных расходомерах основным элементом служит турбинка (крыльчатка), вращающаяся в потоке жидкости. Вращение передается через специальный механизм к счетному устройству.

Частота вращения турбинки ω , рад/с определяется по формуле (1.2):

$$\omega = \frac{Kv_{cp}}{l} = \frac{KQ_V}{S \cdot l}, \quad (1.2)$$

где K – постоянный коэффициент для данного типа счетчика; l - шаг лопастей турбинки, м; S - площадь поперечного сечения трубы, м²; Q_V – объемный расход, м³/с; v_{cp} – средняя скорость потока, м/с.

3. Объемные расходомеры

В объемных расходомерах вращаются два подвижных элемента (шестерни), отмеривающие при своем движении определенные объемы жидкости (измерительный объем). Объемный расход определяется по формуле:

$$Q_V = \frac{q \cdot n}{t_1 - t_2}, \quad (1.3)$$

где q – измерительный объем, м³; n – количество измеренных объемов; $(t_1 - t_2)$ – промежуток времени, с.

Контроль и учет расхода жидкости проводится по результатам подсчета числа оборотов шестерен.

4. Индукционные (электромагнитные) расходомеры

Индукционные расходомеры служат для непосредственного преобразования расхода в электрический сигнал. Они предназначены для измерения расхода проводящих жидкостей. Действие индукционных расходомеров основано на возникновении ЭДС в

трубопроводе между полюсами электромагнита, которая снимается с помощью электродов.

ЭДС определяется по формуле:

$$E = B \cdot D \cdot v_{cp} = \frac{B \cdot D \cdot Q}{S}, \quad (1.4)$$

где B – магнитная индукция между полюсами, Тл; D – внешний диаметр трубы, равный расстоянию между электродами, м; S – площадь поперечного сечения трубы, м².

Для тонкостенных трубопроводов ЭДС определяется по формуле:

$$E = \frac{4B \cdot Q}{\pi D}. \quad (1.5)$$

2. Практическая часть

Задача 1.1

При измерении расхода воды в трубопроводе диаметром $D=100$ мм с помощью нормальной диафрагмы $d=50$ мм перепад давления составляет 100кПа. Найти значения объёмного расхода.

Решение

Расходоизмерительная система состоит из сужающего устройства (диафрагма, сопло), устанавливаемого в трубопроводе, импульсных трубок и дифманометров.

Действие расходомеров этого типа основано на измерении перепада давления потока на сужающем устройстве. Объёмный расход газов и жидкостей Q_V , м³/с через сужающее устройство определяется по формуле:

$$Q_V = \alpha_Q \cdot \varepsilon_C \cdot m_Q^2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot \Delta P}}{\rho_V},$$

где α_Q – коэффициент расхода (приложение А); ε_C – коэффициент сжимаемости (для жидкости $\varepsilon_C = 1$); ρ_V – плотность жидкости или газа, кг/м³; ΔP – перепад давления, Па; $m_Q = d/D$ – характеристический коэффициент ($0,05 \leq m_Q \leq 0,6$); d – диаметр сужающего устройства, м; D – диаметр трубопровода, м.

При измерении расхода с помощью сужающих устройств требуются нормированные условия среды (температура и атмосферное давление).

$$Q_V = 0,737 \cdot 1 \cdot \frac{50^2 \cdot 10^{-6}}{100^2 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{3,14 \cdot 50^2 \cdot 10^{-6}}{4} \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot 100 \cdot 10^3}}{1000} \approx 163 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Значения объёмного расхода $Q_V \approx 163 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

Задачи для самостоятельного решения

1. По трубопроводу диаметром $D=100$ мм движется поток жидкости со средней скоростью 5 м/с. Определить объёмный и массовый расходы жидкости, если её плотность $\rho_V=955 \text{ кг/м}^3$.

2. Какие диаметры отверстий должны быть у сужающих устройств для измерения расхода в трубах диаметром $D=80$ мм?

3. При измерении расхода воды в трубопроводе диаметром $D=100$ мм с помощью нормальной диафрагмы $d=50$ мм перепад давления составляет 100 кПа. Найти значения объёмного расхода.

4. Расход воздуха в трубопроводе диаметром $D=300$ мм меняется от 140 до 200 м³/ч. Определить, на какие перепады давления должен быть рассчитан дифманометр, устанавливаемый в нормальную диафрагму $d=30$ мм. Плотность воздуха 1,033 кг/м³, коэффициент сжимаемости $\varepsilon=0,87$.

5. При изменении расхода в 1,5 раза перепад давления в сужающем устройстве увеличился на 10 кПа. Определить первоначальное значение перепада давления.

6. Наибольший расход воды в трубопроводе диаметром $D=250$ мм равен 240 м³/ч. К сужающему устройству подключён дифманометр с верхним пределом шкалы $\Delta p=20$ кПа. Подобрать параметры нормальных диафрагмы или сопла для измерения расхода в данном случае.

7. Для измерения расхода воздуха с нормальными значениями плотности $\rho_V=1,035 \text{ кг/м}^3$ и коэффициента сжимаемости $\varepsilon_C=0,91$ в трубопроводе диаметром $D=100$ мм используется нормальное сопло с $m^2_Q=0,31$. Номинальное значение расхода $Q_H=150 \text{ м}^3/\text{ч}$. Найти погрешность определения расхода, если в результате изменения температуры и влажности воздуха его параметры стали равны $\rho_V=1,08 \text{ кг/м}^3$ и $\varepsilon_C=0,85$.

8. Расход в турбинном тахометрическом расходомере меняется от 30 до 70 м³/ч. Каким оборотам турбинки соответствуют эти значения расхода, если проходной диаметр 50 мм, а шаг лопастей турбинки 40 мм? Коэффициент K принять равным 0,6.

9. Частота вращения турбинки тахометрического расходомера равна 900 об/мин. Найти значение расхода, если проходной диаметр 60 мм, а на турбинке диаметром 40 мм установлено восемь лопастей. Коэффициент $K=0,75$.

10. При изменении расхода в 1,2 раза частота вращения турбины увеличилась на 100 об/мин. Найти первоначальное число оборотов и чувствительность тахометрического расходомера, если первоначальный расход был 10 м³/ч.

11. В турбинном расходомере с индуктивным преобразователем в диапазоне частоты вращения 500...800 об/мин значение ЭДС меняется от 20 до 40 В. Определить частоту вращения и расход при напряжении 25 В, если шкала отградуирована от 20 до 80 м³/ч. Шкала прибора равномерная

12. В турбинном расходомере с индуктивным преобразователем измерительным прибором служит вольтметр с диапазоном измерения 10 В и классом точности 1,5. Определить наибольшую абсолютную погрешность измерения расхода, если чувствительность расходомера 0,5 В·час/м³

13. Шестерни в объемном расходомере сделали в течение 20 мин 120 оборотов. Определить средний расход, если объем отсекаемой жидкости 50 см³.

14. Расход воды в тонкостенном трубопроводе диаметром 40 мм изменяется от 50 до 100 м³/ч. Его измеряют с помощью индукционного расходомера, в магнитной цепи которого создается индукция $B=1,2$ Тл. Определить изменения ЭДС в измерительной обмотке.

15. В индукционном расходомере значения ЭДС 0,8 В. Определить расход жидкости в трубопроводе с внутренним диаметром $d_{\text{вн}} = 30$ мм и внешним $D = 40$ мм, если создаваемая магнитной цепью индукция $B=1$ Тл.

16. При градуировке индукционного расходомера верхнему пределу 500 м³/ч соответствует значение ЭДС 6 В для трубопровода $d_{\text{вн}} = 41$ мм и $D = 50$ мм. Определить индукцию в магнитной цепи и цену деления шкалы прибора.

Практическая работа 2 «Измерение уровня жидкости»

Цель занятия: изучение способов измерения уровня.

1. Теоретическая часть

Уровень – расстояние от поверхности раздела двух сред до любой произвольно выбранной отметки выше или ниже этой поверхности.

Различают уровнемеры:

- уровнемеры абсолютного значения уровня;
- сигнализаторы уровня (дают информацию о превышении или понижении уровня относительно заданной отметки);
- измерители раздела сред.

По принципу действия различают уровнемеры: механические, буйковые, гидростатические, акустические, емкостные, радарные.

В зависимости от характера показаний уровнемеры подразделяются на фиксирующие значения уровня непрерывно, дискретно с изменением уровня на заданную глубину и фиксирующие максимальное и минимальное значение уровня.

В зависимости от целей наблюдения за уровнем уровнемеры подразделяются на уровнемеры разовых замеров, периодических замеров (измеряющие уровень через заданное время) и уровнемеры непрерывного наблюдения.

По виду предоставляемой информации уровнемеры подразделяются на уровнемеры индикации (звуковые, световые, электрические сигналы), с измерительными приборами и графической записью – самописцы; более сложные комплексы включают измерительные показывающие приборы и регистраторы.

В зависимости от расстояния передачи информации уровнемеры подразделяются на уровнемеры местного и дистанционного измерения, а в зависимости от вида чувствительного элемента – на поплавковые, с электрическим чувствительным элементом, упругим чувствительным элементом.

В зависимости от способа измерения уровнемеры подразделяются на две группы: уровнемеры, непосредственно измеряющие уровень, т. е. следящие за изменением положения

зеркала жидкости (контактные и бесконтактные), и уровнемеры, косвенно измеряющие уровень.

Поплавковые уровнемеры действуют по принципу перемещения поплавка на поверхности жидкости. Это перемещение затем с помощью механической или электрической передачи поступает на прибор. Уравнение равновесия систем имеет вид:

$$\rho_V V + m_{\text{пр}} = m_{\text{п}} \pm m_{\text{тр}}, \quad (2.1)$$

где V - объем вытесняемой поплавком жидкости, м^3 ; ρ_V - плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; $m_{\text{пр}}$, $m_{\text{п}}$, $m_{\text{тр}}$ - соответственно масса противовеса, поплавок, неуравновешенной части троса.

Пьезометрические (гидростатические) уровнемеры основаны на принципе продувания воздуха через пневматическую трубку, опущенную в резервуар и измерения гидростатического давления P , Па, по формуле:

$$P = \rho gh, \quad (2.2)$$

где ρ - плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; g - ускорение силы тяжести, $\text{м}/\text{с}^2$; h - высота столба жидкости, м.

Принцип работы **уровнемеров-дифманометров** основан на измерении разности давлений жидкости в резервуаре и уравнительном сосуде. Дифманометры-уровнемеры следует градуировать при определенной плотности жидкости.

Разность давления в уровнемерах-дифманометрах равна гидростатическому давлению столба жидкости и определяется по формуле

$$\Delta P = \rho gh. \quad (2.3)$$

Электрические преобразователи уровня (емкостные) основаны на использовании емкостного метода, т.е. зависимости конденсаторного устройства от уровня заполняющей его жидкости. Устройство емкостного уровнемера представляет собой параллельно соединенные цилиндрические конденсаторы C_1 (образован частью электродов и жидкостью, уровень которой изменяется) и C_0 (образован частью электродов и воздухом).

Емкость уровнемера определяется по формуле:

$$C = C_1 + C_0 = (l \cdot \varepsilon_{a2} + (l_0 - l) \varepsilon_{a1}) \frac{2\pi}{\ln \frac{D_1}{D_2}}, \quad (2.4)$$

где l_0 и l – полная длина цилиндра (резервуара) и длина его, заполненная жидкостью, м; ϵ_{a1} и ϵ_{a2} – абсолютные диэлектрические проницаемость воздуха и жидкости, Ф/м; D_1 и D_2 – диаметры внешнего цилиндра (резервуара) и внутреннего цилиндра (электрода), м.

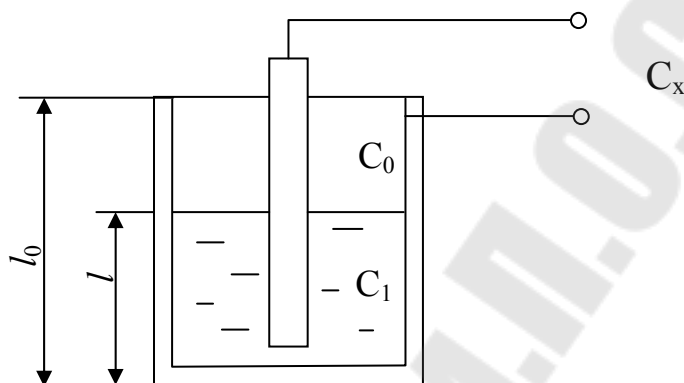


Рис. 2.1. Емкостной уровнемер

Волновые уровнемеры действуют по принципу отражения звуковых или электромагнитных волн от поверхности измеряемой жидкости. Обычно в волновых уровнемерах измеряется время запаздывания отраженного сигнала относительно излучаемого по формуле

$$\tau = \frac{2h}{v}, \quad (2.5)$$

где h – расстояние от излучателя до поверхности, м; v – скорость распространения волны в среде над измеряемой поверхностью, м/с;

Скорость распространения электромагнитной волны v , м/с зависит от свойств среды и определяется по формуле:

$$v = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_a \mu_a}}, \quad (2.6)$$

где ϵ_a , μ_a – абсолютная диэлектрическая (Ф/м) и магнитная (Гн/м) проницаемость среды.

Чаще всего в расчётах применяется скорость распространения электромагнитных волн в воздухе, которая совпадает со скоростью света и составляет $299 \cdot 10^6$ м/с.

Скорость звуковой волны v , м/с в воздухе определяется по формуле

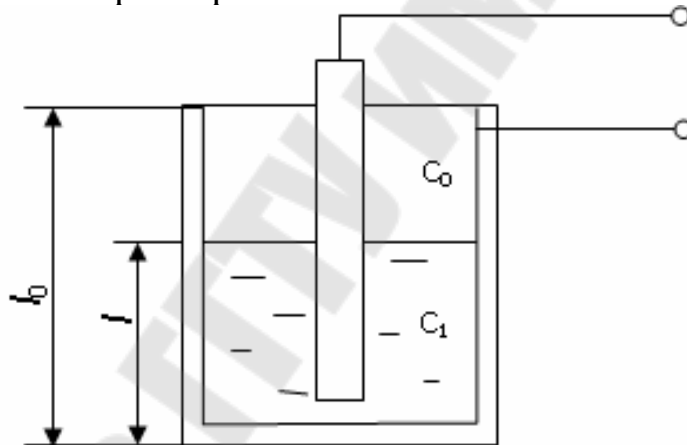
$$v = \sqrt{\frac{\varepsilon_C \cdot P}{\rho}} = \sqrt{\varepsilon_C \cdot K_R \cdot T}, \quad (2.7)$$

где ε_C - коэффициент сжимаемости газов, м²/Н; K_R - универсальная газовая постоянная, равная 8314 Дж/кмоль · К); P , T - давление, Па и температура среды, К; ρ - плотность среды, кг/м³.

2. Практическая часть

Задача 2.1

Чувствительность ёмкостного уровнемера 10 нФ/м. Определить изменение реактивного сопротивления конденсатора при измерении уровня от 0,5 до 1 м, если измерительная цепь подключается к источнику переменного ток напряжения частотой 10 кГц. Ёмкостью соединительных линий пренебречь.



Решение

Ёмкость уровнемера определяется по формуле:

$$C = C_1 + C_0 = (l \cdot \varepsilon_{a2} + (l_0 - l) \cdot \varepsilon_{a1}) \cdot \frac{2\pi}{\ln\left(\frac{D_1}{D_2}\right)}$$

Используя значение чувствительности, определим ёмкость конденсатора для 0,5 и 1 метра:

$$C_{0,5} = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ нФ}, C_1 = 1 \cdot 10 = 10 \text{ нФ}.$$

Определим реактивное сопротивление по формуле:

$$X_{C1} = \frac{1}{2\pi\nu C} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^4 \cdot 5 \cdot 10^{-9}} = 3184 \text{ Ом};$$

$$X_{C2} = \frac{1}{2\pi\nu C} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^4 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 1592,3 \text{ Ом},$$

где ν – частота, Гц.

Таким образом изменение сопротивления составит от 1592 до 318 Ом.

Задача 2.2

Начальная ёмкость конденсатора ёмкостного уровнемера при отсутствии жидкости в нём 50 пФ. Определить значения ёмкости при значениях уровня $0,5l_0$ для жидкости с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 8$, $l_0 = 4$ м, $D_1/D_2=5$.

Решение

Электрические преобразователи уровня (ёмкостные) основаны на использовании ёмкостного метода, т.е. зависимости конденсаторного устройства от уровня заполняющей его жидкости. Устройство ёмкостного уровнемера представляет собой параллельно соединенные цилиндрические конденсаторы C_1 (образован частью электродов и жидкостью, уровень которой изменяется) и C_0 (образован частью электродов и воздухом). Ёмкость уровнемера определяется по формуле:

$$C = C_1 + C_0 = (l \cdot \epsilon_{a2} + (l_0 - l)\epsilon_{a1}) \frac{2\pi}{\ln \frac{D_1}{D_2}},$$

где l_0 и l – полная длина цилиндра (резервуара) и длина его, заполненная жидкостью, м; ϵ_{a1} и ϵ_{a2} – абсолютные диэлектрические проницаемость воздуха и жидкости, Ф/м; D_1 и D_2 - диаметры внешнего цилиндра (резервуара) и внутреннего цилиндра (электрода), м.

$$C_0 = (l_0 - l) \cdot \epsilon_{a1} \cdot \frac{2\pi}{\ln \left(\frac{D_1}{D_2} \right)} = \frac{2\pi}{\ln \left(\frac{D_1}{D_2} \right)} \cdot l_0;$$

$$C_1 = (l_0 - l) \cdot \epsilon_{a2} \cdot \frac{2\pi}{\ln \left(\frac{D_1}{D_2} \right)} = \frac{2\pi}{\ln \left(\frac{D_1}{D_2} \right)} \cdot (l_0 - 0,5l_0) \cdot 8 = \frac{2\pi}{\ln \left(\frac{D_1}{D_2} \right)} \cdot 4l_0;$$

$$C = C_1 + C_0 = \frac{2\pi}{\ln\left(\frac{D_1}{D_2}\right)} \cdot (l_0 + 4l_0) = \frac{2\pi}{\ln\left(\frac{D_1}{D_2}\right)} 5l_0 = \frac{10\pi}{\ln\left(\frac{D_1}{D_2}\right)} \cdot l_0;$$

$$C = \frac{10\pi}{\ln(5)} \cdot 4 = 78 \text{ пФ}$$

Задачи для самостоятельного решения

1. В поплавковом уровнемере масса поплавок 2,8 кг, объём 420 см³, масса противовеса 2 кг. При измерении верхнего уровня поплавок находится на расстоянии 5 м от дна резервуара, а противовес – на расстоянии 2 м, масса троса 0,2 кг на погонный метр. Определить, какая часть объема поплавок будет погружена, если плотность измеряемой жидкости 950 кг/м³.

2. Масса поплавок уровнемера 3 кг. При измерении нижнего уровня он находится на расстоянии 0,2 м от дна резервуара, а противовес массой 2 кг – на высоте 3,5 м. Масса троса 0,2 кг на погонный метр. Определить наименьший объём, который должен иметь поплавок, если плотность жидкости 1000 кг/м³.

3. Определить передаточное число редуктора поплавкового уровнемера, одно из колёс которого связано с барабаном, наматывающим трос, другое – со стрелкой указателя, если при перемещении поплавок от 0 до 1,5 м угол поворота указателя равен 270°. Диаметр барабана 100 мм.

4. Контактно-механический уровнемер рассчитан на измерение уровня до 5 м. Сколько оборотов сделает электромеханическая лебёдка диаметром 0,5 м? Выбрать коэффициент передачи редуктора, связывающего лебёдку с сельсином-датчиком, если его поворот должен быть не более 180°.

5. Мембранный сигнализатор (рис. 2.2) используется для сигнализации верхнего уровня жидкости плотностью $\rho_f = 950 \text{ кг/м}^3$. При какой толщине слоя над осью мембраны включится сигнализатор, если давление срабатывания мембраны 500 Па.

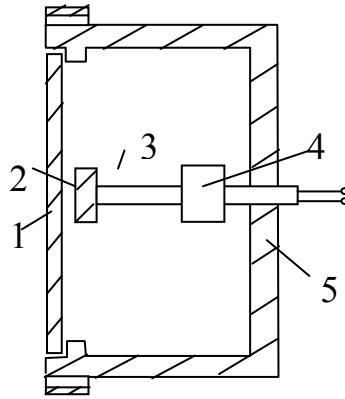


Рис. 2.2. Мембранный сигнализатор уровня: 1 – мембрана; 2 – диск; 3 – возвратная пружина; 4 – микропереключатель; 5 – корпус.

6. Показания дифманометра пьезометрического уровнемера 5 кПа. Определить значения уровня жидкости номинальной плотностью $\rho_f=880 \text{ кг/м}^3$ в резервуаре.

7. Для измерения уровня жидкости в закрытом резервуаре используют дифференциальный манометр. Определить показания прибора при изменении уровня от 1 до 3 м, если плотность жидкости $\rho_f=1050 \text{ кг/м}^3$, давление воздуха в резервуаре 0,2 МПа. Найти давления в плюсовой и минусовой трубках манометра.

8. Для измерения уровня жидкости плотностью $\rho_f=1050 \text{ кг/м}^3$ в открытом резервуаре используют дифференциальный манометр, минусовая трубка которого соединена с атмосферным воздухом. Определить показания манометра при нулевом уровне и максимальном уровне воды 5 м, если он расположен ниже нулевого уровня резервуара на 3 м.

9. Для измерения уровня воды используют емкостной уровнемер. Длина цилиндра 1,5 м, диаметры 40 мм и 5 мм. Определить наибольший диапазон изменения емкости конденсатора. Абсолютная диэлектрическая проницаемость воздуха $8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл/В·м, воды $274,4 \cdot 10^{-12}$ Кл/В·м.

10. Начальная ёмкость конденсатора ёмкостного уровнемера при отсутствии жидкости в нём 60 пФ. Определить значения ёмкости при значениях уровня $0,75l_0$ для жидкости с относительной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 5$, $l_0 = 2$ м, $D_1/D_2=3$.

11. Чувствительность ёмкостного уровнемера 20 нФ/м. Определить изменение реактивного сопротивления конденсатора при измерении уровня от 0,7 до 1,5 м, если измерительная цепь подключается к источнику переменного ток напряжения частотой 14 кГц. Ёмкостью соединительных линий пренебречь.

Практическая работа 3

«Расчет органа регулирования расхода воды»

Цель: рассчитать регулирующий орган для регулирования расхода воды.

1. Теоретическая часть

Регулирующий орган (РО) – элемент в цепи воздействий, оказывающий непосредственное влияние на управляемый объект. Это воздействие может осуществляться изменением количества энергии (вещества), проходящего через объект, либо путем изменения характеристик (режима) объекта. В первом случае на объект влияют распределительные органы, во втором – регулирующие устройства.

Функциональные и конструктивные признаки регулирующих органов зависят от вида рабочей среды (жидкость, газ, электроэнергия и т. п.) и назначения объекта.

Основные характеристики регулирующих органов:

- условный проход D_y – номинальный внутренний диаметр входного патрубка;
- условное давление P_y – наибольшее рабочее давление, допускаемое при заданных температуре рабочей среды и материале арматуры;
- условный ход S_y – ход затвора РО от полного открытия до полного закрытия (для поворотных РО – угол поворота α_y);
- коэффициент местного сопротивления при полном открытии ζ ;
- степень открытия m – отношение текущего значения хода s или угла поворота α к условному: $m = s/s_y = \alpha/\alpha_y$;
- пропускная способность K – массовый расход жидкости с плотностью $\rho = 1 \text{ т/м}^3$ при перепаде давления $\Delta p = 0,1 \text{ МПа}$;
- расходная характеристика $G = f(s)$ или $G = f(m)$ – зависимость расхода от положения затвора регулирующего органа. На рис. 3.1 показаны типичные формы расходных характеристик (Р – равнопроцентная, П – параболическая и Л – линейная), из которых наилучшее качество регулирования обеспечивают линейная и равнопроцентная. В ряде случаев используется пропускная характеристика $K = f(m)$;

- конструктивная характеристика $F = f(m)$ – зависимость площади проходного сечения от степени открытия, которая определяет форму расходной характеристики. Выбор вида конструктивной характеристики называют *профилированием* регулирующего органа.

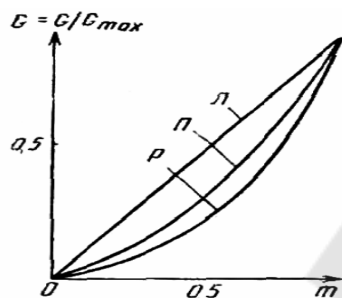


Рис. 3.1. Формы расходных характеристик

Конструктивная характеристика выражает только особенности конструкции данного регулирующего органа, не связывая их с особенностями потока, протекающего через него, а также с особенностями самого вещества и регулируемого объекта.

В САР работа регулирующего органа эквивалентна обычному усилительному звену, где входом является перемещение штока регулирующего органа, а выходом – изменение расхода через орган. Такая статическая характеристика регулирующего органа называется расходной характеристикой дроссельных регулирующих органов.

Расходная характеристика строится при следующих условиях:

- перепад давления в регулируемом участке является величиной постоянной;
- регулируемая среда несжимаема;
- регулируемая среда невязкая;
- условный коэффициент сопротивления линии и коэффициенты сопротивления регулирующего органа не зависят от расходов.

В зависимости от конструкции затвора РО принято классифицировать **по характеру перемещения подвижных элементов** затвора на *арматуру с перемещением затвора параллельно потоку* (клапаны и золотники), *перпендикулярно к потоку* (шиберные задвижки), *с вращением затвора* (поворотные заслонки, краны) и *со сжатием проходного канала* (шланговые и диафрагмовые клапаны).

Двухседельные или двухпоточные конструкции обладают меньшим сопротивлением и почти разгружены от перепада давлений

на затвор, чем уменьшается требуемое перестановочное усилие. Регулирующий орган может работать по схеме НО (нормально открытый) и НЗ (нормально закрытый), критерием служит отсутствие управляющего воздействия.

Для газов при статических давлениях до 10 000 Па применяются шиберы, поворотные заслонки и многостворчатые жалюзийные клапаны. Шибера находят меньшее применение по сравнению с поворотными заслонками из-за значительных усилий, требуемых для их перемещения, а также из-за больших перемещений штока, необходимых для перестановки шибера из одного крайнего положения в другое.

Шибера, кроме того, как регулирующий орган менее надежен в работе вследствие трудностей, возникающих при уплотнениях сальника. Обычно с течением времени сальники теряют герметичность, что весьма нежелательно, особенно при транспортировании вредных веществ.

Поворотные заслонки в отличие от шиберов не имеют указанных недостатков: силы трения в осях при вращательном движении незначительны, легко осуществляется уплотнение осей, и перепад давлений, действующий на поворотные лопасти, в значительной степени уравнивается. Необходимое усилие для их перестановки существенно меньше, чем у шиберов. Однолопастные поворотные заслонки находят все большее применение, их начинают использовать уже при давлениях среды в несколько десятков атмосфер. Отмечаются еще и такие преимущества поворотных заслонок, как малое сопротивление при открытом положении, большая пропускная способность, чем у клапанов того же условного прохода, отсутствие вибрации и шума при работе, малая чувствительность к засорениям, небольшие масса и размеры заслонок по сравнению с клапанами.

Существенным преимуществом поворотных заслонок оказывается и то, что расходная характеристика их при регулировании подачи горячей воды в теплообменные аппараты значительно лучше, чем у выпускных клапанов.

Многостворчатые жалюзийные клапаны, применяемые для регулирования расходов в вентиляции, по существу, представляют собой многолопастные поворотные заслонки. Они имеют практически те же преимущества, что и однолопастные поворотные заслонки.

Для регулирования потоков пара, воды и воздуха при статических давлениях выше 10 000 Па применяются в основном клапаны и краны. Регулирующие краны не нашли широкого распространения, более часто применяются клапаны. Они бывают односедельными либо двухседельными. Недостатком односедельных клапанов является возникающее усилие от перепада давлений среды, обычно выталкивающее шток клапана при его закрытии.

Это выталкивающее усилие при закрытом клапане определяется как произведение площади плунжера на разность давлений среды до и после клапана. Оно может достигать очень больших величин и требует дополнительных затрат энергии на работу исполнительного механизма. Обычно односедельные клапаны изготавливаются только размером до 50 мм. Выпускаемые двухседельные клапаны более уравновешены, так как перепад давления среды воздействует в равной степени на верхнюю и нижнюю части плунжера.

Клапаны всех типов делятся на клапаны прямого и обратного действия. В клапанах прямого действия при движении плунжера вниз закрывается проходное отверстие, а в клапанах обратного действия – наоборот. Конструкция клапанов предусматривает возможность путем перевертывания плунжера при сборке, не меняя деталей, собрать клапан любого действия.

Необходимо отметить, что регулирующие органы должны устанавливаться на прямолинейных участках трубопровода с таким условием, чтобы местные сопротивления, искажающие поток, были расположены не ближе 10...15 диаметров. При меньшей длине прямолинейного участка рекомендуется перед дроссельными регулирующими органами ставить успокоители потока: сетки, трубчатые струевыпрямители и т. п. Особенно трудно, но необходимо предусматривать такие меры в установках кондиционирования воздуха, где потоки смешиваются, разделяются и количественно регулируются (регулирование расходов).

2. Практическая часть

Данные для расчета: среда – вода; максимальный объемный расход – $Q_{\max} = 140 \text{ м}^3/\text{ч}$, перепад давлений при максимальном расходе – $\Delta P_{p.o} = 16 \text{ кгс/см}^2$, температура – $\theta = 90^\circ\text{C}$; плотность – $\rho = 1 \text{ г/см}^3$, абсолютное давление до регулирующего органа – $P_1 = 18 \text{ кгс/см}^2$;

абсолютное давление насыщенных паров – $P_n = 0,7 \text{ кгс/см}^3$ при $90 \text{ }^\circ\text{C}$;
 кинематическая вязкость – $\nu = 0,00328 \text{ см}^2/\text{с}$ при $90 \text{ }^\circ\text{C}$.

Методика расчета

1. По уравнению определяем максимальную пропускную способность $K_{v\max}$, в зависимости от Q_{\max} и $\Delta P_{p.o}$:

$$K_{v\max} = Q_{\max} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P_{p.o}}} = 140 \cdot \sqrt{\frac{1}{16}} = 35 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$K_{v\max} = Q_{\max} \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a},$$

где Q_{\max} – максимальный объемный расход, $\text{м}^3/\text{ч}$; ρ – плотность жидкости, г/см^3 ; $\Delta P_{p.o}$ – перепад давления на регулирующем органе, кгс/см^2 .

2. Предварительно по каталогу (табл. 3.1) выбираем двухседельный регулирующий орган, с условным проходом:

$$K_{vy} = 40 \approx 1,2 K_{v\max} = 42 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Таблица 3.1

Условные пропускные способности регулирующих органов

| Диаметр условного прохода, D_y , мм | Значение K_{vy} , $\text{м}^3/\text{ч}$, регулирующего органа | | |
|---------------------------------------|--|------------------|-------------|
| | клапанных | | заслоночных |
| | односедельных | двухседельных | |
| 6 | 0,25 | - | - |
| 10 | 1,5 | - | - |
| 15 | 0,16; 0,4; 1,0; 3,2 | 3,2; 4; 5; 6,3 | - |
| 20 | 1,6; 2,5; 4,0; 5,0 | 6,3; 8; 10 | - |
| 25 | 5; 6,3; 8; 10 | 6,3; 8; 10; 16 | - |
| 32 | 12 | 16; 25 | - |
| 40 | 20 | 25; 32; 40 | - |
| 50 | 32 | 25; 32; 40; 63 | 60 |
| 65 | 50 | 63; 100 | 100 |
| 80 | 80 | 63; 80; 100; 160 | 160 |
| 100 | 125 | 160; 250 | 250 |
| 125 | 200 | 250; 400 | 400 |
| 150 | 320 | 400; 630 | 600 |
| 200 | 500 | 630; 1000 | 1000 |
| 250 | - | 1000; 1600 | 1600 |

3. Выбранный регулирующий орган проверяют на влияние вязкости протекающей через него жидкости. Для этого рассчитывают критерий Рейнольдса (R_e) по формуле:

$$R_e = 3530 \frac{Q_{\max}}{\nu D_y} = \frac{3530 \cdot 140}{0,00328 \cdot 50} = 3 \cdot 10^6,$$

где Q_{\max} – максимальный объемный расход, м³/ч; ν - коэффициент кинематической вязкости, м²/с; D_y – условный проход регулирующего органа, мм.

Так как полученное значение $R_e > 2000$, то влияние вязкости на расход не учитывается и выбранный регулирующий орган проверяется на возможность возникновения кавитации.

4. Для проверки регулирующего органа на возможность возникновения кавитации определяем:

а) коэффициент сопротивления выбранного регулирующего органа:

$$\zeta_y = \frac{25,4 F_y^2}{K_{vy}^2} = \frac{25,4 \cdot 3,14^2 \cdot 5^4}{4^2 \cdot 40^2} = 6,12,$$

где $F_y = \pi D_y^2 / 4$ – площадь сечения входного патрубка регулирующего органа, см²;

б) по кривой 1, изображенной на рис. 3.2, находим коэффициент кавитации $K_c = 0,51$;

в) определяем перепад давлений, при котором возникает кавитация:

$$\Delta P_{\text{кав}} = K_c (P_1 - P_n) = 0,51(18 - 0,7) = 8,8 \text{ кгс/см}^2.$$

5. Заданный перепад давлений $\Delta P_{\text{р.о.}}$ больше $\Delta P_{\text{кав}}$, следовательно, выбранный регулирующий орган будет работать в кавитационном режиме и не обеспечит заданный расход жидкости.

Если по условиям технологического процесса невозможно снизить $\Delta P_{\text{р.о.}}$ до $\Delta P_{\text{кав}}$ или увеличить $\Delta P_{\text{кав}}$ до $\Delta P_{\text{р.о.}}$, то необходимо выбрать ближайший больший регулирующий орган, для которого вновь определяется ζ_y , K_c и $\Delta P_{\text{кав}}$.

В данном случае выбираем двухседельный регулирующий орган с условным проходом $D_y=80$ мм и $K_{vy}=63$ м³/ч, для которого

$$\zeta_y = \frac{25,4 F_y^2}{K_{vy}^2} = \frac{25,4 \cdot 3,14^2 \cdot 8^4}{16^2 \cdot 63^2} = 16,2.$$

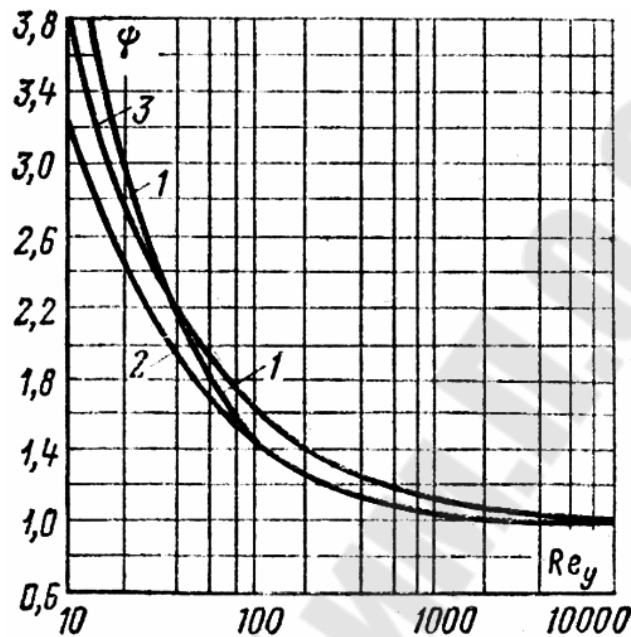


Рис. 3.2. Зависимость коэффициента кавитации K_c и K_{cmax} от ζ_y : 1 – K_c для односедельных и двухседельных регулирующих органов при подаче жидкости на затвор; 2 – K_c и K_{cmax} для односедельных регулирующих органов при подаче жидкости под затвор; 3 – K_{cmax} для односедельных и двухседельных регулирующих органов при подаче жидкости на затвор

По кривой 3, изображенной на рис. 3.2, определяем коэффициент кавитации, соответствующий максимальному расходу – $K_{cmax} = 0,52$:

$$\Delta P_{\text{кав. max}} = K_{cmax} (P_1 - P_H) = 0,52(18 - 0,7) = 9 \text{ кгс/см}^2.$$

Определяем минимальную пропускную способность:

$$K_{vmax} = Q_{max} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P_{p.o}}} = 140 \cdot \sqrt{\frac{1}{9}} = 46,7 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Так как $1,2 \cdot K_{vmax} = 1,2 \cdot 46,7 = 56 \text{ м}^3/\text{ч}$ меньше $K_{vy} = 63 \text{ м}^3/\text{ч}$, то вновь выбранный регулирующий орган обеспечит заданный максимальный расход в условиях кавитации, и выбор регулирующего органа по пропускной способности считается законченным.

Таблица 3.2

Исходные данные по вариантам

| Номер варианта | $Q_{\text{макс}}$ | ρ | D_y | P_1 | P_n | v |
|-------------------|-----------------------|------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| | $\text{м}^3/\text{ч}$ | $\text{г}/\text{см}^3$ | см | $\text{кгс}/\text{см}^3$ | $\text{кгс}/\text{см}^3$ | $\text{см}/\text{с} \cdot 10^{-3}$ |
| 0 | 140 | 1 | 5 | 18 | 7 | 3.28 |
| 1 | 188.1 | 1.15 | 5.30 | 19.67 | 4.64 | 1.87 |
| 2 | 177.3 | 0.97 | 4.51 | 11.94 | 8.61 | 3.12 |
| 3 | 193.8 | 0.91 | 6.15 | 24.92 | 10.28 | 4.41 |
| 4 | 126.4 | 1.18 | 6.92 | 25.66 | 8.11 | 3.28 |
| 5 | 148.5 | 0.83 | 5.30 | 17.10 | 8.61 | 2.41 |
| 6 | 79.6 | 0.81 | 7.34 | 21.49 | 5.42 | 2.07 |
| 7 | 120.0 | 1.03 | 4.51 | 23.49 | 5.42 | 4.54 |
| 8 | 153.0 | 0.91 | 2.84 | 20.26 | 4.89 | 4.54 |
| 9 | 157.6 | 0.94 | 5.00 | 13.23 | 6.00 | 3.58 |
| 10 | 140.0 | 0.74 | 5.63 | 25.66 | 7.88 | 2.96 |
| 11 | 108.3 | 0.76 | 6.72 | 14.66 | 8.61 | 4.68 |
| 12 | 92.9 | 1.03 | 2.84 | 22.14 | 7.65 | 4.68 |
| 13 | 205.6 | 1.13 | 2.99 | 11.34 | 9.41 | 3.69 |
| 14 | 182.7 | 1.04 | 5.46 | 12.57 | 5.70 | 4.68 |
| 15 | 120.0 | 0.78 | 5.97 | 15.43 | 8.61 | 3.58 |
| 16 | 153.0 | 1.01 | 6.15 | 20.26 | 4.41 | 4.28 |
| 17 | 88.2 | 0.94 | 2.99 | 18.54 | 8.87 | 3.69 |
| 18 | 144.2 | 0.91 | 5.30 | 19.67 | 6.00 | 4.16 |
| 19 | 188.1 | 1.03 | 4.75 | 13.23 | 9.13 | 4.03 |
| 20 | 153.0 | 0.83 | 2.84 | 13.93 | 8.11 | 4.68 |
| 21 | 162.3 | 1.00 | 2.84 | 24.19 | 9.13 | 3.80 |
| 22 | 108.3 | 1.20 | 2.99 | 18.00 | 8.36 | 3.58 |
| 23 | 102.9 | 0.89 | 5.15 | 16.25 | 7.88 | 4.54 |
| 24 | 120.0 | 1.08 | 2.99 | 25.66 | 4.89 | 4.82 |
| 25 | 193.8 | 0.74 | 6.72 | 17.10 | 8.36 | 3.92 |

Практическая работа 4 «Выбор регулятора температуры на основании расчетов»

Цель: освоить методику расчета и выбора автоматического регулятора.

1. Теоретическая часть

Для обеспечения нормального хода технологических процессов, поддержания или изменения по заданным законам таких величин, как температура, давление, расход, уровень и другие применяют автоматические регуляторы или системы автоматического регулирования (управления).

Автоматический регулятор – это прибор или совокупность приборов, которые сравнивают текущее значение регулируемой величины с заданным значением, воздействуют на технологический процесс для поддержания текущего значения регулируемой величины равным заданному.

Регулирование представляет собой процесс, в ходе которого воздействуя с помощью автоматического регулятора на текущее значение регулируемой величины, стремятся сделать его равным заданному, то есть свести ошибки к нулю.

Для действующего объекта при наличии кривых разгона либо частотных характеристик или для вновь проектируемого объекта, выбор регуляторов следует производить на основании расчетов.

Характер переходного процесса, то есть показатель качества регулирования, определяется динамическими свойствами объекта, выбранным законом регулирования и коэффициентами управления этого закона (параметрами). На основании уравнений объектов и характеристик регуляторов выбирают соответствующий регулятор.

Оптимальные значения параметров настройки регуляторов можно определить по специальным кривым, а также путем расчета. Однако при практической работе найденные значения параметров настроек корректируются при наладке регулятора по кривым регистрации регулируемой величины.

Позиционный регулятор – регулятор, у которого воздействие на исполнительный механизм может иметь только определенное число значений, соответствующих числу позиций отклонения регулируемой

величины от заданного значения, а его знак зависит от знака отклонения. Наибольшее применение получили двух- и трехпозиционные регуляторы.

Чем больше предел пропорциональности, тем больше остаточное отклонение величины. Чем меньше предел пропорциональности, тем больше амплитуда затухающих колебаний и больше время переходного процесса, но остаточное отклонение величины становится меньше.

Для пропорциональных регуляторов увеличение емкости объекта благоприятно влияет на качество регулирования, при этом следует уменьшить пределы пропорциональности. При наличии запаздывания надо увеличить пределы пропорциональности. Чем больше скорость перемещения регулирующего органа, тем выше устойчивость и более высокое качество регулирования.

Двухпозиционный регулятор – регулятор, который при переходе регулируемой величины через заданное значение переводит регулирующий орган из одного крайнего положения в другое, типа «открыто – закрыто». Иногда двухпозиционный регулятор настраивают так, чтобы проходное отверстие регулирующего органа было частично открыто или закрыто в пределах фиксированных положений (в целях уменьшения возможного перерегулирования при двухпозиционном регулировании допускается частичное приоткрывание байпасного вентиля).

В *трехпозиционном регуляторе*, кроме крайних положений регулирующего органа, существует еще промежуточное положение (нейтральная зона).

В многопозиционном регуляторе таких промежуточных положений регулирующего органа несколько.

Пропорциональный регулятор (статический или регулятор с жесткой обратной связью) или сокращенно *П-регулятор* работает по такому принципу, когда регулирующий орган изменяет свое положение по такой же закономерности, по какой изменяется регулируемая величина; скорость перемещения регулирующего органа пропорциональна скорости изменения регулируемой величины.

Действие пропорционального регулятора заключается в том, чтобы «догнать» отклонившуюся величину и остановить ее, то есть прекратить ее дальнейшее изменение.

Для пропорционального регулятора диапазон регулируемой величины, в пределах которого происходит перемещение регулирующего органа из одного крайнего положения в другое, является *пределом пропорциональности*.

Пределом пропорциональности регулятора называется участок шкалы, выраженный в процентах длины всей шкалы, и в пределах которого изменения регулируемой величины вызывают перемещение регулирующего органа из одного крайнего положения в другое (предел пропорциональности также называют пределом дросселирования или степенью обратной связи).

Предел пропорциональности регулятора является величиной, обратной его чувствительности.

Чувствительность регулятора рассчитывается по формуле:

$$S = \frac{h_0 \cdot 100}{D \cdot L}, \quad (4.1)$$

где h_0 – полный ход регулирующего органа в мм; D – предел пропорциональности в %; L – длина шкалы регулятора в мм.

Необходимая величина пределов пропорциональности для П-регулятора:

$$D = \frac{V \cdot \tau \cdot 100}{\Delta P}, \quad (4.2)$$

где V – скорость изменения величины, выраженная в процентах приращения в единицу времени; τ – время запаздывания; ΔP – перемещение регулирующего органа в процентах полного хода, вызвавшего возмущение.

Интегральный регулятор (астатический или регулятор без обратной связи) или сокращенно **И-регулятор**. Регулирующий орган при отклонении регулируемой величины от заданного значения перемещается более или менее медленно и все время в одном направлении до тех пор, пока регулируемая величина не придет к заданному значению. Такие регуляторы бывают с постоянной или переменной скоростью перемещения регулирующего органа.

Положительной особенностью интегрального регулятора является то, что при поддержании величины на заданном значении регулирующий орган может занимать любое положение в пределах своего хода.

Недостатком регулятора является его замедленное действие.

Необходимая величина предела пропорциональности определяется по формуле:

$$D = \frac{V \cdot \tau \cdot 110}{\Delta P}. \quad (4.3)$$

Пропорционально-интегральный регулятор или сокращенно **ПИ-регулятор** (их также называют изодромными регуляторами или регуляторами с упругой обратной связью). Совмещают свойства пропорционального (статического) и интегрального (астатического) регуляторов и обеспечивают поддержание заданного значения регулируемой величины без остаточного отклонения. Регулирующий орган может занимать любое положение в пределах своего рабочего хода. Регулятор при поддержании величин на заданном значении может устанавливать регулируемый орган в любом положении в пределах его хода.

В регуляторах пропорциональное действие осуществляется жесткой обратной связью, а изодромное действие – упругой обратной связью.

Упругая обратная связь (изодром) – обратная связь, которая характеризуется тем, что передаваемое ею воздействие существует только в переходном процессе и по его окончании исчезает.

Действие изодрома характеризуется скоростью и временем изодрома.

Скорость изодрома – это скорость, с которой регулируемый орган перемещается под действием астатической составляющей регулятора и которая определяется перемещением регулирующего органа и выражается в процентах его хода в минуту после предварительного начального мгновенного перемещения регулирующего органа, вызванного действием изменения величины (пропорциональной составляющей):

$$r_a = \frac{\Delta h_{из}}{t_{из}},$$

(4.4)

где $\Delta h_{из}$ – изодромное перемещение регулирующего органа в процентах полного хода; $t_{из}$ – время, в течение которого произошло это перемещение, в мин.

Параметром, характеризующим изодромное действие, является время изодрома – время, в течение которого происходит изодромное перемещение регулирующего органа на 1 % его хода при

предварительном мгновенном перемещении его на 1 % за счет изменения величины:

$$t_i = \frac{\Delta h_{\text{из}}}{t_{\text{из}}}. \quad (4.5)$$

Пропорционально-дифференциальный и пропорционально интегрально-дифференциальный регуляторы или сокращенно соответственно **ПД- и ПИД-регуляторы** (или регуляторы с предварением). Эти регуляторы имеют дополнительное устройство, благодаря которому процесс регулирования протекает с учетом скорости изменения регулируемой величины. В этих регуляторах к пропорциональному действию добавляется дополнительное воздействие от скорости изменения регулируемой величины, которое заставляет перемещаться регулирующий орган с некоторым опережением, возрастающим с увеличением скорости изменения регулируемой величины. С уменьшением скорости изменения регулируемой величины это опережающее перемещение также уменьшается и полностью прекращается, когда регулируемая величина перестает изменяться.

Поскольку скорость изменения величины есть первая производная её по времени, то такие регуляторы еще называют регуляторами по первой производной.

Приставка предварения дает воздействие на регулирующее устройство, которое заставляет регулирующий орган перемещаться с некоторым временным опережением, возрастающим с увеличением скорости изменения величины. С уменьшением скорости изменения величины уменьшается воздействие предварения и прекращается с прекращением изменения величины.

Время предварения равно:

$$t_{\text{пр}} = t_2 - t_1. \quad (4.6)$$

Обычно время предварения равно 0,1...10 мин.

Необходимую величину предела пропорциональности для этих регуляторов приблизительно вычисляют по формуле:

$$D = \frac{V \cdot \tau \cdot 83}{\Delta P}. \quad (4.7)$$

Выбор типа регулятора необходимо всегда решать только для конкретного регулируемого объекта и совместно с учетом характеристик объекта.

Тот или иной регулятор выбирается по принципу от наиболее простого к более сложному. При этом следует всегда иметь в виду, что сложные автоматические регуляторы имеют более высокую стоимость и менее надежны в работе, чем простые.

Простоту и надежность регуляторов во многом определяют их динамические характеристики и вид потребляемой энергии на привод регулирующего органа. При выборе типа регулятора можно рекомендовать сначала подобрать необходимую и допустимую динамическую характеристику регулятора, а затем уже источник посторонней энергии, если он действительно нужен.

При отсутствии сведений о динамических свойствах проектируемого объекта выбор регуляторов следует производить по аналогии с действующими объектами или же на основании предположительных соображений о свойствах данного объекта, учитывая при этом критерии по выбору регуляторов.

И-регуляторы применяются в объектах с самовыравниванием, обладающих как малой, так и большой емкостью, с небольшим запаздыванием и при медленных изменениях нагрузки.

П-регуляторы применяются в объектах со средней емкостью, с небольшим запаздыванием и при небольших изменениях нагрузки. Пропорциональные регуляторы большей частью находят применение для одно- и реже двухъемкостных объектов. Для многоемкостных объектов пропорциональные регуляторы применяются ограниченно.

ПИ-регуляторы применяются в объектах с любой емкостью, с большим запаздыванием и большими, но медленными изменениями нагрузки. Эти регуляторы могут применяться для объектов со значительным запаздыванием (при $\tau > 0,1T_0$) и для объектов многоемкостных.

ПД-регуляторы применяются в объектах со средней емкостью, при большом времени запаздывания и при малых изменениях нагрузки

ПИД-регуляторы применяются в объектах с любой емкостью, с очень большим запаздыванием и при больших и резких изменениях нагрузки.

2. Практическая часть

Проведём расчет и выбора автоматического регулятора температуры воды, представленного на рисунке:

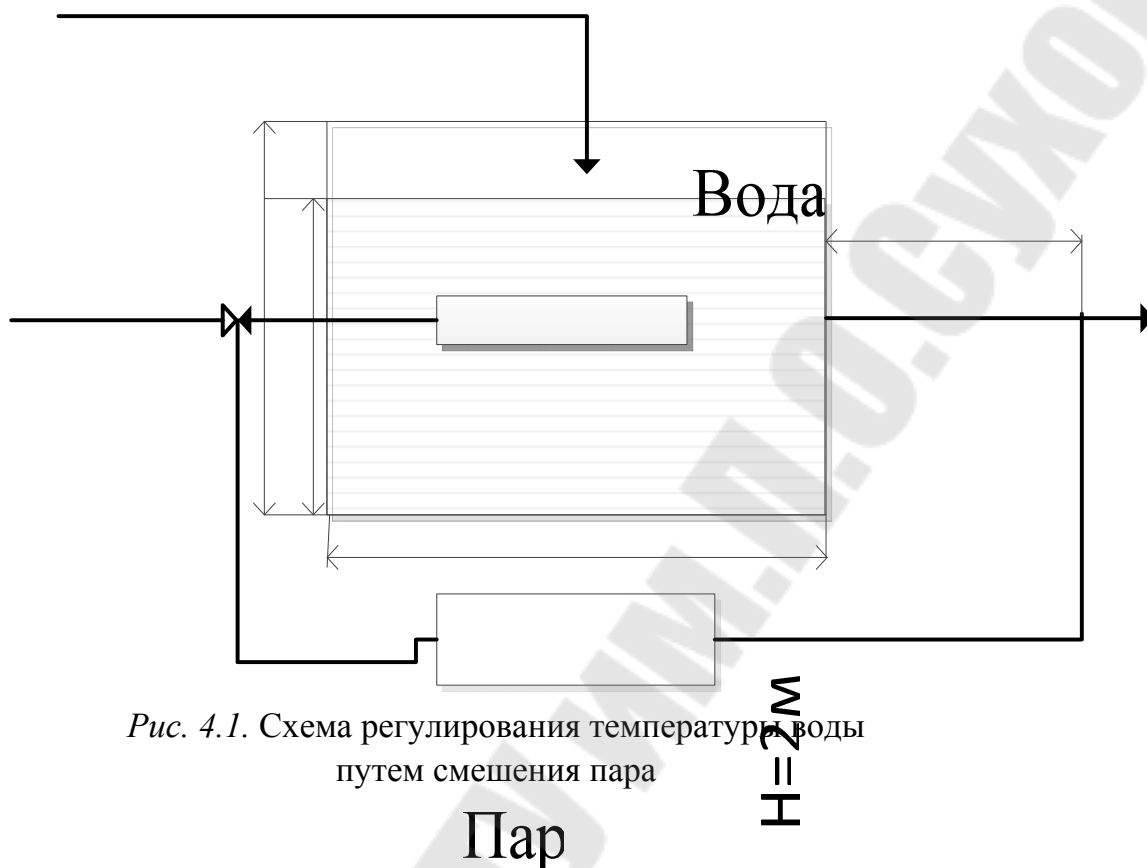


Рис. 4.1. Схема регулирования температуры воды путем смешения пара

Исходные данные:

D – диаметр резервуара, м

γ – плотность жидкости в резервуаре, кг/м³

L – расстояние от резервуара до регулятора, м

λ_1 – расход жидкости, кг/с

θ_1 – температура подаваемой в резервуар воды, °С

θ_3 – температура нагретой воды, выходящей из резервуара, °С

$H_H = 1,4\text{M}$

Для всех вариантов принять:

H_H – высота жидкости в резервуаре – 1,4 м

G_{\min} – минимальный вес жидкости в резервуаре – 10 кг

$G_1 = G_{\min} = 10$ кг

G_2 – масса пара – 0,1 кг

C_1 – коэффициент теплопотери – 0,999

v – скорость потока на выходе из резервуара – 1,5 м/с

1. Определяем вес жидкости (кг) в резервуаре:

$$G = H_n \frac{\pi D^2}{4} \gamma = 1,4 \frac{3,14 \cdot 1,3^2}{4} \cdot 958,4 = 1780.$$

2. Определяем постоянную времени объекта (с):

$$T_0 = \frac{G(i_2 - \theta_3 C_3)}{G_{\min} i_2} = \frac{1780 \cdot (663,1 - 100 \cdot 1)}{10 \cdot 661,3} = 151.$$

3. Определяем время запаздывания объекта (с):

$$\tau_0 = \frac{L}{v} = \frac{10}{1,5} = 6,7.$$

4. Постоянная регулятора $T_p = 14,8$.

5. Время запаздывания регулятора $\tau_p = 9,5$ (таблица).

6. Значение a (ккал/с) при возмущении по расходу вычисляется по формуле

$$a = (\theta_3 C_3 - \theta_1 C_1) \lambda_1 = (100 \cdot 1 - 35 \cdot 0,999) \cdot 2,5 = 162,6.$$

7. Значение a (ккал/с) при возмущении по температуре вычисляется по формуле

$$a = G_1 C_1 \lambda_2 = 12 \cdot 0,999 \cdot 12 \approx 144.$$

Принимаем значение a по расходу как большее из таблицы.

8. Определяем динамический коэффициент:

$$R_d = \frac{\Delta \sigma (G_{\min} - G_2) C_3}{a} = \frac{5(10 - 0,1)}{162,6} = 0,31.$$

9. Определяем общее время запаздывания (с):

$$\tau_{\text{об}} = \tau_0 + \tau_p = 6,7 + 9,5 = 16,2.$$

10. Вычислим отношение $\frac{\tau_{\text{об}}}{T_{\text{об}}}$:

$$\frac{\tau_{\text{об}}}{T_{\text{об}}} = \frac{16,2}{151} = 0,107.$$

11. На основании данных выбираем вид переходного процесса: с 20 % перерегулированием, что является рекомендуемым значением для стандартных процессов.

12. Выбираем регулятор по значениям $\frac{\tau_{об}}{T_{об}} = 0,107$ и $R_d = 0,31$,

используя рис. 4.2. На основании расчета приходим к выводу, что для данной схемы регулирования пригодны все регуляторы, кроме И-регулятора.

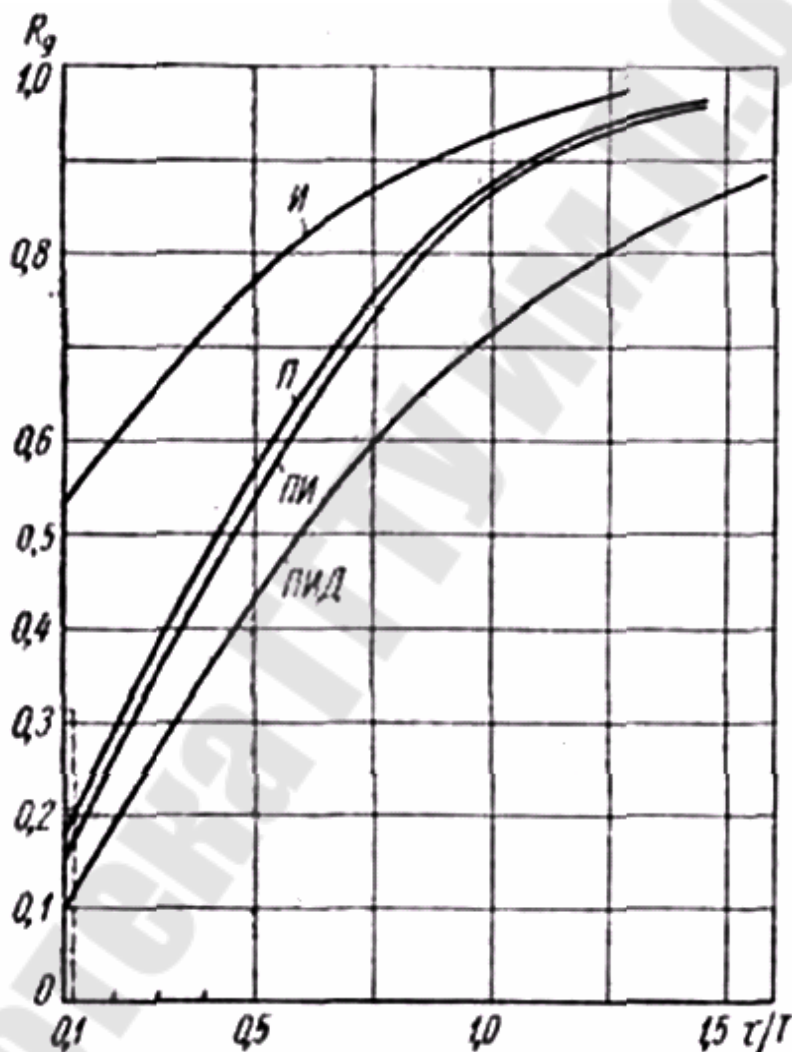


Рис. 4.2. Кривые выбора регулятора для переходного процесса с 20 % перерегулированием

Таблица 4.1

Исходные данные

| № варианта | D | γ | i_2 | θ_1 | θ_3 | C_3 | L | λ_1 | λ_2 | R_d | $T_{об}$ | $\Delta\sigma$ |
|------------|------|----------|-------|------------|------------|-------|------|-------------|-------------|-------|----------|----------------|
| 1 | 1,02 | 783 | 497 | 29,5 | 85,1 | 0,61 | 8,9 | 2,11 | 8,51 | 0,235 | 150 | 4,43 |
| 2 | 1,04 | 799 | 508 | 29,8 | 86,8 | 0,63 | 9,0 | 2,13 | 8,69 | 0,240 | 156 | 4,52 |
| 3 | 1,06 | 815 | 518 | 30,1 | 88,6 | 0,65 | 9,2 | 2,15 | 8,86 | 0,245 | 162 | 4,61 |
| 4 | 1,08 | 832 | 528 | 30,4 | 90,4 | 0,68 | 9,4 | 2,17 | 9,04 | 0,250 | 169 | 4,71 |
| 5 | 1,11 | 849 | 539 | 30,7 | 92,2 | 0,70 | 9,6 | 2,19 | 9,23 | 0,255 | 175 | 4,8 |
| 6 | 1,13 | 866 | 550 | 31 | 94,1 | 0,73 | 9,8 | 2,22 | 9,42 | 0,260 | 182 | 4,9 |
| 7 | 1,15 | 884 | 562 | 31,3 | 96,0 | 0,75 | 10,0 | 2,24 | 9,61 | 0,266 | 190 | 5 |
| 8 | 1,18 | 902 | 573 | 31,6 | 98,0 | 0,78 | 10,2 | 2,26 | 9,80 | 0,271 | 197 | 5,1 |
| 9 | 1,20 | 920 | 585 | 32 | 100,0 | 0,80 | 10,4 | 2,28 | 10,00 | 0,277 | 205 | 5,2 |
| 10 | 1,22 | 939 | 597 | 32,3 | 102,0 | 0,83 | 10,6 | 2,31 | 10,21 | 0,282 | 213 | 5,3 |
| 11 | 1,25 | 958 | 609 | 32,6 | 104,0 | 0,85 | 10,8 | 2,33 | 10,42 | 0,288 | 222 | 5,4 |
| 12 | 1,27 | 977 | 621 | 32,9 | 106,0 | 0,88 | 11,0 | 2,35 | 10,63 | 0,294 | 231 | 5,51 |
| 13 | 1,30 | 996 | 634 | 33,3 | 108,1 | 0,91 | 11,2 | 2,38 | 10,85 | 0,300 | 240 | 5,62 |
| 14 | 1,33 | 1015 | 647 | 33,6 | 110,2 | 0,93 | 11,5 | 2,40 | 11,07 | 0,306 | 250 | 5,73 |
| 15 | 1,35 | 1035 | 660 | 34,3 | 112,4 | 0,96 | 11,7 | 2,45 | 11,29 | 0,312 | 260 | 5,84 |
| 16 | 1,38 | 1056 | 673 | 35 | 114,6 | 0,99 | 11,9 | 2,50 | 11,52 | 0,318 | 270 | 5,96 |
| 17 | 1,41 | 1076 | 686 | 35,7 | 116,8 | 1,02 | 12,1 | 2,55 | 11,76 | 0,324 | 281 | 6,07 |
| 18 | 1,43 | 1098 | 700 | 36,4 | 119,1 | 1,05 | 12,4 | 2,60 | 12,00 | 0,331 | 292 | 6,19 |
| 19 | 1,46 | 1119 | 713 | 37,1 | 121,4 | 1,08 | 12,6 | 2,65 | 12,24 | 0,337 | 304 | 6,31 |
| 20 | 1,49 | 1141 | 727 | 37,9 | 123,8 | 1,11 | 12,9 | 2,71 | 12,48 | 0,344 | 316 | 6,44 |
| 21 | 1,52 | 1163 | 742 | 38,6 | 126,2 | 1,14 | 13,1 | 2,76 | 12,72 | 0,350 | 329 | 6,56 |
| 22 | 1,55 | 1186 | 756 | 39,4 | 128,7 | 1,17 | 13,4 | 2,82 | 12,97 | 0,357 | 342 | 6,69 |
| 23 | 1,58 | 1209 | 771 | 40,2 | 131,3 | 1,21 | 13,6 | 2,87 | 13,22 | 0,364 | 355 | 6,82 |
| 24 | 1,61 | 1233 | 786 | 41 | 133,8 | 1,24 | 13,9 | 2,93 | 13,48 | 0,371 | 370 | 6,96 |
| 25 | 1,64 | 1257 | 801 | 41,8 | 136,5 | 1,27 | 14,2 | 2,99 | 13,75 | 0,379 | 384 | 7,09 |

Приложение А

Таблица А.1

Коэффициенты расхода для сужающих устройств

| m^2_Q | m_Q | Значение коэффициента для | | | |
|---------|-------|---------------------------|--------|-----------|--------|
| | | диафрагмы | | для сопла | |
| | | вода | воздух | вода | воздух |
| 0,0025 | 0,050 | 0,600 | 0,598 | 0,989 | 0,987 |
| 0,0050 | 0,070 | 0,603 | 0,599 | 0,995 | 0,991 |
| 0,0100 | 0,100 | 0,607 | 0,602 | 1,001 | 0,995 |
| 0,0300 | 0,173 | 0,620 | 0,610 | 1,007 | 0,999 |
| 0,0500 | 0,224 | 0,632 | 0,618 | 1,013 | 1,003 |
| 0,0700 | 0,264 | 0,643 | 0,625 | 1,019 | 1,007 |
| 0,0900 | 0,300 | 0,654 | 0,632 | 1,025 | 1,011 |
| 0,1100 | 0,332 | 0,664 | 0,640 | 1,031 | 1,015 |
| 0,1300 | 0,360 | 0,674 | 0,647 | 1,037 | 1,019 |
| 0,1500 | 0,387 | 0,685 | 0,654 | 1,044 | 1,023 |
| 0,1700 | 0,412 | 0,695 | 0,662 | 1,051 | 1,027 |
| 0,1900 | 0,436 | 0,705 | 0,669 | 1,057 | 1,031 |
| 0,2100 | 0,458 | 0,716 | 0,677 | 1,063 | 1,035 |
| 0,2300 | 0,479 | 0,726 | 0,684 | 1,071 | 1,039 |
| 0,2500 | 0,500 | 0,737 | 0,692 | 1,077 | 1,043 |
| 0,2700 | 0,520 | 0,747 | 0,700 | 1,083 | 1,047 |
| 0,2900 | 0,538 | 0,758 | 0,708 | 1,089 | 1,051 |
| 0,3100 | 0,557 | 0,769 | 0,716 | 1,095 | 1,055 |
| 0,3300 | 0,574 | 0,781 | 0,725 | 1,101 | 1,059 |
| 0,3500 | 0,592 | 0,793 | 0,734 | 1,107 | 1,061 |
| 0,3600 | 0,600 | 0,798 | 0,738 | 1,113 | 1,067 |

Приложение Б

Таблица Б.1

Максимальная масса водяного пара в воздухе

| Температура | | Масса пара | | Температура | | Масса пара | |
|-------------|----|------------|------------------|-------------|----|------------|------------------|
| -50 | °C | 0,038 | г/м ³ | 1 | °C | 5,209 | г/м ³ |
| -48 | °C | 0,048 | г/м ³ | 2 | °C | 5,57 | г/м ³ |
| -47 | °C | 0,054 | г/м ³ | 3 | °C | 5,953 | г/м ³ |
| -46 | °C | 0,06 | г/м ³ | 4 | °C | 6,395 | г/м ³ |
| -45 | °C | 0,067 | г/м ³ | 5 | °C | 6,79 | г/м ³ |
| -44 | °C | 0,075 | г/м ³ | 6 | °C | 7,246 | г/м ³ |
| -42 | °C | 0,093 | г/м ³ | 8 | °C | 8,234 | г/м ³ |
| -40 | °C | 0,117 | г/м ³ | 9 | °C | 8,784 | г/м ³ |
| -39 | °C | 0,13 | г/м ³ | 10 | °C | 9,356 | г/м ³ |
| -38 | °C | 0,144 | г/м ³ | 11 | °C | 9,961 | г/м ³ |
| -36 | °C | 0,178 | г/м ³ | 12 | °C | 10,6 | г/м ³ |
| -35 | °C | 0,198 | г/м ³ | 13 | °C | 11,276 | г/м ³ |
| -34 | °C | 0,22 | г/м ³ | 14 | °C | 11,987 | г/м ³ |
| -33 | °C | 0,244 | г/м ³ | 15 | °C | 12,739 | г/м ³ |
| -32 | °C | 0,271 | г/м ³ | 16 | °C | 13,531 | г/м ³ |
| -30 | °C | 0,33 | г/м ³ | 17 | °C | 14,367 | г/м ³ |
| -29 | °C | 0,37 | г/м ³ | 18 | °C | 15,246 | г/м ³ |
| -28 | °C | 0,41 | г/м ³ | 19 | °C | 16,172 | г/м ³ |
| -26 | °C | 0,51 | г/м ³ | 20 | °C | 17,148 | г/м ³ |
| -25 | °C | 0,55 | г/м ³ | 22 | °C | 19,252 | г/м ³ |
| -24 | °C | 0,6 | г/м ³ | 23 | °C | 20,386 | г/м ³ |
| -23 | °C | 0,66 | г/м ³ | 24 | °C | 21,578 | г/м ³ |
| -22 | °C | 0,73 | г/м ³ | 25 | °C | 22,83 | г/м ³ |
| -21 | °C | 0,8 | г/м ³ | 26 | °C | 24,143 | г/м ³ |
| -20 | °C | 0,88 | г/м ³ | 27 | °C | 25,524 | г/м ³ |
| -19 | °C | 0,96 | г/м ³ | 28 | °C | 26,97 | г/м ³ |
| -18 | °C | 1,05 | г/м ³ | 29 | °C | 28,488 | г/м ³ |
| -16 | °C | 1,27 | г/м ³ | 30 | °C | 30,078 | г/м ³ |
| -15 | °C | 1,38 | г/м ³ | 32 | °C | 33,49 | г/м ³ |
| -14 | °C | 1,51 | г/м ³ | 33 | °C | 35,317 | г/м ³ |
| -13 | °C | 1,65 | г/м ³ | 34 | °C | 37,229 | г/м ³ |
| -12 | °C | 1,8 | г/м ³ | 35 | °C | 39,286 | г/м ³ |
| -11 | °C | 1,96 | г/м ³ | 36 | °C | 41,322 | г/м ³ |
| -10 | °C | 2,156 | г/м ³ | 38 | °C | 45,593 | г/м ³ |
| -8 | °C | 2,537 | г/м ³ | 40 | °C | 50,672 | г/м ³ |
| -7 | °C | 2,751 | г/м ³ | 42 | °C | 55,989 | г/м ³ |
| -5 | °C | 3,238 | г/м ³ | 44 | °C | 61,772 | г/м ³ |
| -4 | °C | 3,513 | г/м ³ | 45 | °C | 64,848 | г/м ³ |
| -3 | °C | 3,889 | г/м ³ | 46 | °C | 68,056 | г/м ³ |

Окончание табл. Б.1

| | | | | | | | |
|----|----|-------|------------------|----|----|--------|------------------|
| -2 | °C | 4,135 | г/м ³ | 48 | °C | 74,871 | г/м ³ |
| -1 | °C | 4,487 | г/м ³ | 49 | °C | 78,497 | г/м ³ |
| 0 | °C | 4,868 | г/м ³ | 50 | °C | 82,257 | г/м ³ |

Литература

Основная:

1. Исакович Р.Я., Попадько В.Е. Контроль и автоматизация добычи нефти и газа. – М. : Недра, 1985.
2. Исакович Р. Я., Логинов В. И. Автоматизация производственных процессов в нефтяной и газовой промышленности. – М. : Недра, 1985.
3. Ключев А. С. и др. Проектирование систем автоматизации технологических процессов, М. Энергия, 1980.
4. Подкопаев А. П. Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы. – М. : Недра, 1986.
5. Болтон У. справочник инженера метролога. – М. : Додэка-XXI, 2002.
6. Андреев Е. Б. и др. Технические средства систем управления технологическими процессами в нефтяной и газовой промышленности. – М. : РГУ нефти и газа, 2004.

Дополнительная:

1. Плотников В. М. Средства контроля и автоматизации объектов транспорта газа. – М. : Недра, 1985.
2. Третьяков Э. А., Игнатова Л. А. Автоматизированные системы управления производством. – М. : Машиностроение, 1997.
3. Справочник по автоматизации в газовой промышленности, М., Недра, 1990
4. Меньшов Б. Г., Суд И. И. Электрификация предприятий нефтяной и газовой промышленности. – М. : Недра, 1984.
5. Геворкян В. Г. Основы сварочного дела. – М. : Высшая школа, 1991.
6. Ялышко Г.Ф. Сварка трубопроводов высокого давления. – М. : Стройиздат, 1993.
7. Неразрушающий контроль и техническая диагностика. Справочник / под редакцией В. Ключева. – М. : Машиностроение, 2005.
8. Неразрушающие методы контроля Т.1, 2, 3 / Под редакцией В.Я. Кершенбаума. – М. : Наука и техника, 1992.
9. Журналы «Контрольно-измерительные приборы и системы».
10. Журнал «Компьютер - пресс».

Стандарты

ГОСТ 21.404–85 СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные.

ГОСТ 8.009-84 Нормированные метрологические характеристики средств измерений.

ГОСТ Р 9.585-2001 ГСИ. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразователя.

ГОСТ 2405-88 Манометры, вакуумеры, моновакуумеры, напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры.

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение | 4 |
| Практическая работа 1 «Измерение расхода жидкости и газа» | 5 |
| Практическая работа 2 «Измерение уровня жидкости.....» | 10 |
| Практическая работа 3 «Расчет органа регулирования расхода воды» | 17 |
| Практическая работа 4 «Выбор регулятора температуры на основании расчетов» | 25 |
| Приложение А | 35 |
| Приложение Б | 36 |
| Литература | 38 |

Атвиновская Татьяна Владимировна

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И АСУ
ТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

**Практикум
по одноименной дисциплине
для слушателей специальности переподготовки
1-70 05 75 «Трубопроводный транспорт,
хранение и реализация нефтегазопродуктов»
заочной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 02.02.21.

Рег. № 89Е.

<http://www.gstu.by>