

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего
и профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. директора - проректора
Института кибернетики
по учебной работе

_____ С. А. Гайворонский

« ____ » _____ 2011 г.

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ

методические указания к выполнению лабораторной работы № 505
по курсу «Элементы и устройства систем управления»
для студентов направления 220200 «Автоматизация и управление»
и специальности 220201 «Управление и информатика в технических системах»

Издательство
Томского политехнического университета
Томск 2011

УДК 681.3

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ

Методические указания к выполнению лабораторной работы № 505 по курсу «Элементы и устройства систем управления» для студентов направления 220200 «Автоматизация и управление» и специальности 220201 «Управление и информатика в технических системах»/ Составитель В. В. Курганов. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. - 31 с.

Рецензент доцент кафедры АиКС, к.т.н. В. И. Коновалов

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изучению методическим семинаром кафедры автоматике и компьютерных систем
Протокол № «___» от «___» _____ 2011 г.

Зав. кафедрой,
профессор, д.т.н.

Г. П. Цапко

СОДЕРЖАНИЕ

1. Краткие теоретические сведения	4
2 Измерение уровня. Методы и средства	4
2.1 Визуальные средства измерения уровня	4
2.2 Поплавковые средства измерения уровня	4
2.3 Буйковые средства измерения уровня	5
2.4 Гидростатические средства измерения уровня	6
2.5 Электрические средства измерения уровня	9
2.6 Ультразвуковые уровнемеры	11
2.7 Радиоактивные уровнемеры	11
3 Аппаратура лабораторной установки	12
4 Задание и методические указания по выполнению работы.	13
5 Содержание отчёта	14
6 Контрольные вопросы	15
7 Литература.	15
Приложение 1	16
Приложение 2	17

1 Цель лабораторной работы

Целью лабораторной работы является изучение средств и способов измерения, использование измерений уровня для управления технологическим процессом.

2 Измерение уровня. Методы и средства

Уровнем называют высоту заполнения технологического аппарата рабочей средой – жидкостью или сыпучим материалом. Уровень рабочей среды является важным технологическим параметром, информация о котором необходима для контроля режима работы технологического аппарата, а в ряде случаев для управления производственным процессом [1].

Уровень измеряется в единицах длины (мм, см, м). Технические средства для измерения уровня называют уровнемерами.

Информация, полученная путём измерения уровня, используется для учетных операций и для управления технологическими процессами. В первом случае используются уровнемеры с широким диапазоном измерения (от 0,5 до 20 м), в втором с более узким диапазоном (от 0 до 500 мм).

В настоящее время в различных отраслях промышленности нашли применение различные способы измерения уровня, но к наиболее распространённым относятся следующие:

- визуальные;
- поплавковые;
- буйковые;
- гидростатические;
- электрические;
- ультразвуковые;
- радиоизотопные.

2.1 Визуальные средства измерения уровня

К визуальным средствам измерения уровня относятся мерные линейки, рейки, рулетки с лотами (цилиндрическими стержнями) и уровнемерные стёкла. Способы визуального измерения уровня относятся к неавтоматизированным способам, но на практике получили большое распространение за счет простоты их реализации и достаточно высокой точности измерений. Наибольшее распространение среди визуальных средств получили уровнемерные стёкла, принцип действия которых основан на законе сообщающихся сосудов (см. рисунок 2.1)

Из-за низкой механической прочности уровнемерные стёкла изготавливают длиной не более 0,5 м до давлений 2,5 ... 3,0 МПа и до температуры 300 °С.

2.2 Поплавковые средства измерения уровня

Поплавковые уровнемеры относятся к разряду наиболее простых уровнемеров. Получили распространение поплавковые уровнемеры широкого и узкого диапазонов.

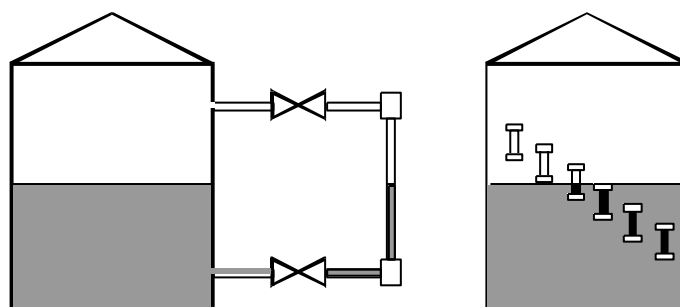


Рисунок 2.1 – Схемы установки уровнемерных стёкл на технологических аппаратах

Поплавковые уровнемеры узкого диапазона представляют собой поплавков диаметром от 80 до 200 мм из нержавеющей стали, плавающий на поверхности жидкости. Через специальное сальниковое уплотнение поплавков соединён с измерительной системой (см. рисунок 2.2а). Дальнейшее преобразование положения поплавка в зависимости от вида измерительного преобразователя может производиться как в положение стрелки измерительного прибора, так и в электрический или пневматический сигнал для последующей дистанционной передачи. Диапазон измерения подобных уровнемеров невелик и составляет $-200 \dots 0 \dots 200$ мм.

Поплавковые уровнемеры широкого диапазона представляют собой поплавков, связанный гибким тросом с противовесом (см. рисунок 2.2б). Роль противовеса может выполнять пружина.

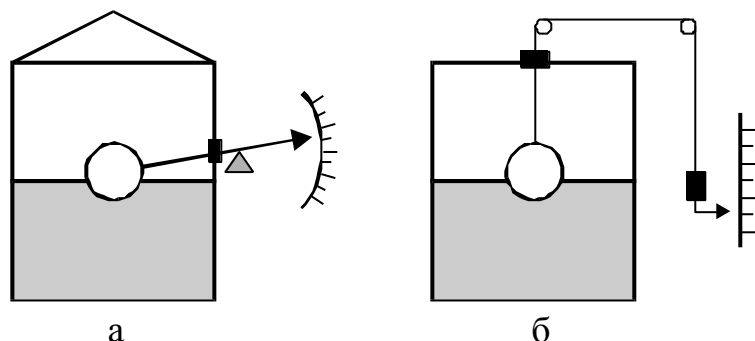


Рисунок 2.2 – Схемы поплавковых уровнемеров

Конструкцию поплавков - противовес выбирают таким образом, чтобы в состоянии покоя поплавков находился на поверхности жидкости. Изменение погружения поплавка в результате изменения уровня приведёт к нарушению равновесия. Конструкция начнёт движение в сторону изменения уровня до тех пор, пока вновь не наступит равновесие.

Уровеньмеры с плавающим поплавком изготавливаются на пределы измерения до 12-20 м. Абсолютная погрешность измерений для максимальных диапазонов достигает 10 мм, что является очень хорошим результатом.

2.3 Буйковые средства измерения уровня

Действие буйковых уровнемеров основано на изменения выталкивающей (архимедовой) силы, действующей на погруженный в жидкость поплавков (буйёк). Буйёк

представляет из себя металлический цилиндр с плотностью значительно выше, чем плотность жидкости. Буйёк подвешивается в вертикальном положении и частично погружается в жидкость. Максимальный вес буйка P соответствует минимальному уровню (буйёк не погружен в жидкость) и определяется только конструкцией и материалом буйка.

$$P=mg.$$

При погружении буйка в жидкость на него действует выталкивающая сила P_1 , пропорциональная объёму вытесненной жидкости и своего максимального значения сила достигает при полностью погруженном в жидкость буйке

$$P_1=V\rho g,$$

где ρ - плотность жидкости;
 V – объём вытесненной жидкости.

В этом положении вес буйка минимален и составляет

$$P_2=P-P_1=P-dL\rho g,$$

где d – диаметр буйка;
 L – длина буйка.

Из этого выражения следует

$$L=(P-P_2)/d\rho g=k(P-P_2),$$

где k – постоянный коэффициент, определяемый конструкцией буйка и свойствами жидкости.

Последнее выражение, полученное для буйковых уровнемеров, позволяет градуировать их весовым способом.

На рисунке 2.3 представлен буйковый уровнемер, в котором в качестве чувствительного элемента используется мембрана.

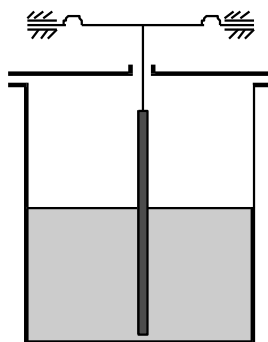


Рисунок 2.3 – Измерение уровня буйковым уровнемером

Буйковые уровнемеры имеют диапазон измерений до 16 м при температуре рабочей среды до 400 °С и давлении до 16 МПа. Класс точности составляет 1,0 и 1,5. Причём класс точности ограничивается не измерительной системой, а поведением измеряемой среды – изменением плотности среды при изменении внешних условий.

2.4 Гидростатические средства измерения уровня

Измерение уровня гидростатическими уровнемерами сводится к измерению гидростатического давления P , создаваемого столбом h жидкости постоянной плотности ρ в соответствии с известным выражением

$$P=\rho gh.$$

Измерение давления осуществляется:

- манометром, подключаемым на высоте, соответствующей нижнему предельному значению уровня (см. рисунок 2.4а,б) в случае, если жидкость находится под атмосферным давлением;
- дифференциальным манометром, подключаемым на высоте, соответствующей нижнему предельному значению уровня (см. рисунок 2.4в) в случае, если жидкость находится под избыточным давлением.

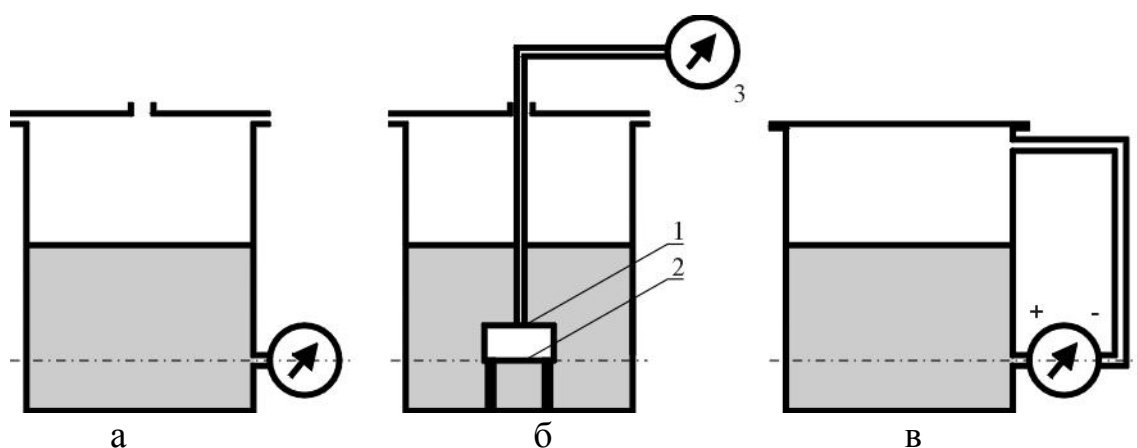


Рисунок 2.4 – Измерение уровня гидростатическими уровнемерами

На рисунке 2.4б представлен способ измерения уровня по давлению в манометрической системе. На нулевой отметке размещается колокол 1, отверстие которого перекрыто тонкой эластичной мембраной 2. Давление внутри системы измеряется манометром 3. Применение мембраны исключает растворение воздуха в жидкости, но вносит дополнительную погрешность за счет жесткости мембраны. Основное преимущество данной схемы заключается в независимости показаний манометра от его размещения относительно уровня жидкости.

Для измерения уровня жидкости в технологических аппаратах, работающих под давлением, широко применяются дифференциальные манометры. С помощью дифференциальных манометров возможно измерение уровня жидкости и в открытых резервуарах (рисунок 2.5а). При этом измерительный прибор должен находиться ниже нулевого уровня. Для компенсации давления, создаваемого дополнительным столбом жидкости высотой $h1$, используется уравнительный сосуд 1. В процессе измерения уровень жидкости в уравнительном сосуде должен быть постоянным. В случае если дифференциальный манометр расположен на нулевом уровне, то потребность в уравнительном сосуде отпадает.

При измерении уровня в аппаратах, находящихся под давлением, применяют схему, приведённую на рисунке 2.5б. Уравнительный сосуд в этом случае устанавливают на высоту, соответствующую максимальному значению уровня, и соединяют с аппаратом. Соединение выполняют трубкой с наклоном 1:10 в сторону аппарата.

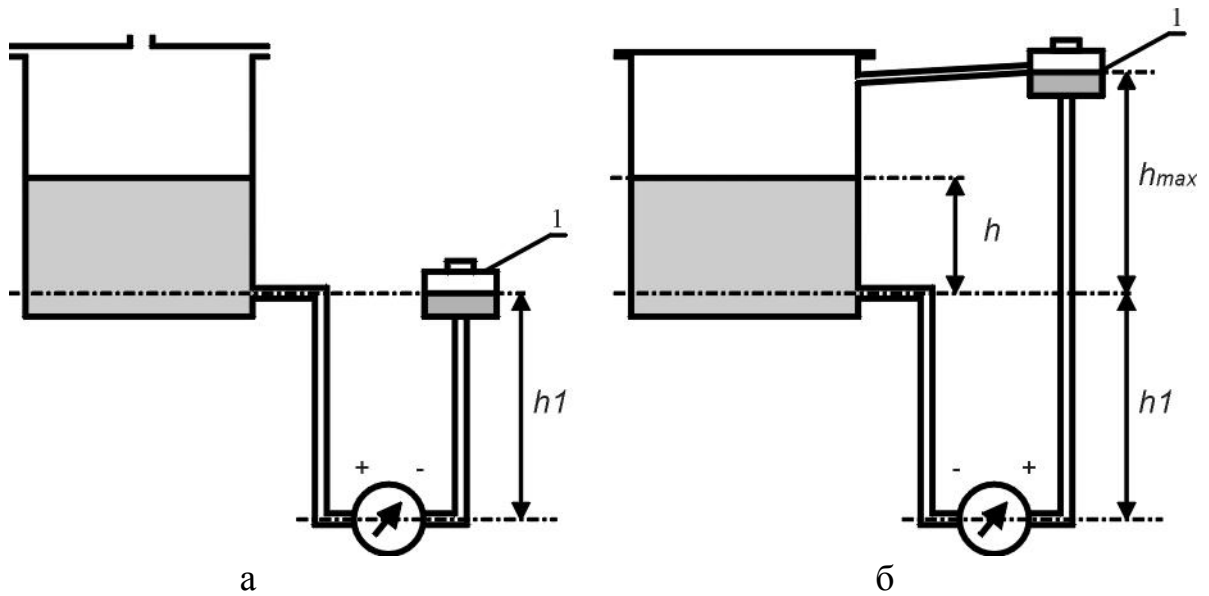


Рисунок 5 - Измерение уровня с помощью дифференциальных манометров

Статическое давление газовой фазы поступает на оба ввода дифференциального манометра и компенсируется. Поэтому измеряемый перепад давления ΔP можно представить в следующем виде:

$$\Delta P = \rho_{ж} g h_{max} - \rho_{ж} g h.$$

При $h=0$ $\Delta P = \Delta P_{max}$, а при $h=h_{max}$ $\Delta P=0$.

Из последних выводов следует, что шкала прибора будет обратной.

Широкое применение подобные схемы нашли в аппаратах, в газовой фазе которых находятся пары жидкостей. Поступая в уравнительный сосуд, пары жидкости охлаждаются и конденсируются, что автоматически обеспечивает поддержание h_{max} . Излишки жидкости за счет наклона соединительной трубки сливаются в аппарат.

На рисунке 2.6 представлен способ измерения уровня воды в барабане парового котла 1, работающего под высоким давлением.

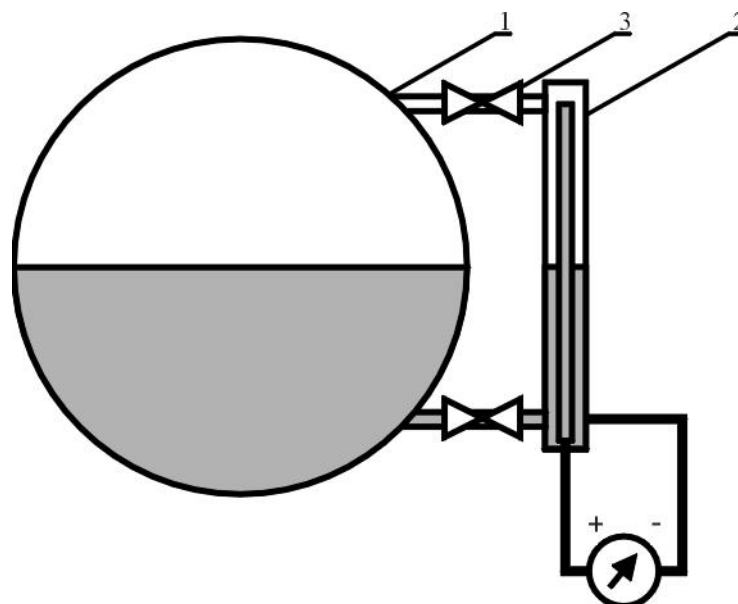


Рисунок 2.6 – Измерение уровня воды в барабане парового котла

Измерение выполняется с помощью уровнемерной колонки 2. Конструктивно колонка выполняется в виде двух труб разного диаметра. Труба с меньшим диаметром помещается в трубу с большим диаметром, которая герметизируется с помощью фланцев сверху и снизу. Верхнее отверстие меньшей трубы свободно, к нижней подключена «плюсовая» импульсная трубка прибора. «Минусовая» импульсная трубка подключена к нулевому уровню колонки. С помощью специальных отборов 3 колонка подключается к барабану котла. Уровень в большей трубе как в сообщающемся сосуде устанавливается равным уровню в барабане котла, в то время как внутренняя труба колонки заполняется полностью. Заполнение трубки происходит сконденсировавшимися парами воды, либо в режиме переполнения котла. Измерение перепада, обратнопропорционального уровню выполняется дифференциальным манометром аналогично рисунку 2.5б.

2.5 Электрические средства измерения уровня

Принцип действия электрических уровнемеров основан на изменении электрических параметров чувствительного элемента, связанных с измерением уровня измеряемой жидкости.

По виду чувствительного элемента электрические уровнемеры подразделяются на емкостные и кондуктометрические (омические).

Ёмкостные уровнемеры

Принцип действия основан на зависимости электрической ёмкости чувствительного элемента от уровня жидкости. Конструктивно емкостные чувствительные элементы выполняются в виде коаксиально расположенных цилиндрических электродов или параллельно расположенных плоских электродов.

Для обеспечения постоянства характеристик преобразователя и повышения точности измерения уровня целесообразно применять преобразователи со стержнем или тросом, располагаемым в стальной трубе, являющейся вторым электродом преобразователя.

На рисунке 2.7 представлена схема устройства емкостного уровнемера для неэлектропроводящих (диэлектрических) жидкостей с удельной проводимостью менее 10^{-6} См/м (Сименс на метр). Уровнемер выполнен в виде цилиндрического конденсатора из двух коаксиально расположенных стальных труб 2 в 3. Преобразователь погружен в резервуар 1, в котором измеряется уровень жидкости.

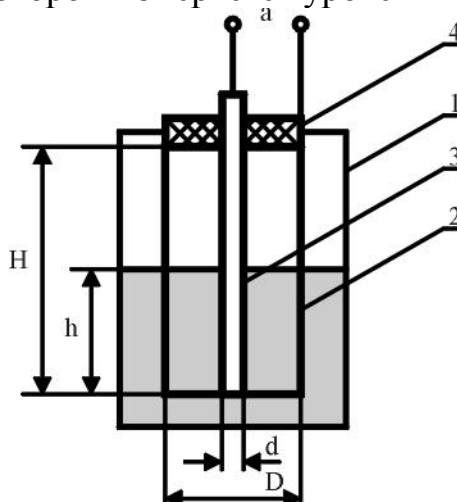


Рисунок 2.7 – Схема емкостного уровнемера

Емкость преобразователя C_{oa} , измеренная на зажимах а, когда между электродами 2 и 3 находится воздух, определяется выражением

$$C_{oa} = C_1 + C_{o.n},$$

где C_1 - емкость проходного изолятора 4 и соединительного кабеля, значение которой не зависят от среды, находящейся между электродами 2 и 3;

C_{on} - начальная емкость, преобразователя на рабочем его участке высотой H , заполненном воздухом, для которого можно принять относительную диэлектрическую проницаемость $\epsilon_e = 1$,

$$C_{on} = (2\pi\epsilon_o H) / [\ln(D/d)]$$

где ϵ_o - электрическая постоянная или абсолютная диэлектрическая проницаемость свободного пространства ($\epsilon_o = 8,85 \times 10^{-12}$ Ф/м);

D и d - соответственно радиусы электродов 3 и 2, м.

Если конденсатор преобразователя на участке высотой h заполнен жидкостью, а на участке $H - h$ - воздухом и парами этой жидкости, то емкость преобразователя определяется выражением:

$$C_{na} = C_1 + C_n = C_1 + C_2 + C_3,$$

где $C_n = C_2 + C_3$ - полная емкость преобразователя;

C_2 - емкость преобразователя на участке высотой $H-h$, заполненном воздухом и парами жидкости с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ_2

$$C_2 = 2\pi\epsilon_o\epsilon_2(H-h) / [\ln(D/d)];$$

C_3 - ёмкость преобразователя на участке высотой h , заполненном жидкостью с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{жс}$,

$$C_3 = \pi\epsilon_o\epsilon_{жс}h / [\ln(D/d)].$$

Учитывая это уравнение для C_{na} можно представить в виде

$$C_{na} = C_1 + C_{on}(\epsilon_2 + (\epsilon_{жс} - \epsilon_2)h/H)$$

из чего следует, что при нормальных условиях измерения

$$C_{na} = f(h/H).$$

Следует также отметить, что для большинства газов и паров жидкостей относительная диэлектрическая проницаемость ϵ_2 незначительно отличается от единицы, и поэтому можно принять $\epsilon_2 = 1$. Тогда

$$C_{na} = C_1 + C_{on}(1 + (\epsilon_{жс} - 1)h/H).$$

Если конденсатор уровнемера включить в одно из плеч моста переменного тока и предварительно уравновесить его на «пустом» конденсаторе, то по величине тока в измерительной диагонали моста можно судить о величине уровня, заполняющей конденсатор.

Конструкции емкостных уровнемеров могут быть различными. Возможен вариант, когда одной обкладкой конденсатора является электрод, помещаемый в аппарат с измеряемым уровнем жидкости, а другой - стенки аппарата.

В случае если жидкость электропроводящая, удельная проводимостью более 10^{-4} См/м, применяют уровнемеры с изолированными друг от друга электродами чувствительного элемента.

Емкостные уровнемеры выпускаются классов точности 0,5; 1,0; 2,5. Основным источником погрешности является изменение диэлектрической проницаемости среды, заполняющей конденсатор.

Кондуктометрические уровнемеры

Уровнемеры этого типа предназначены для сигнализации уровня электропроводящих жидких и сыпучих сред с удельной проводимостью более 10^{-3} См/м. Принцип действия сигнализаторов основан на замыкании электрической цепи электрод – корпус или электрод – электрод при их касании жидкостью или сыпучей средой.

Изменение сопротивления цепи электрод – корпус при касании их жидкостью или сыпучей средой происходит скачкообразно и при дальнейшем увеличении уровня изменяется незначительно. Именно поэтому кондуктометрические уровнемеры выпускаются только как сигнализаторы уровня.

Электроды кондуктометрических уровнемеров изготавливают из специальных марок стали или угля. Угольные электроды используются только для жидких сред.

2.6 Ультразвуковые уровнемеры

В основу функционирования ультразвуковых уровнемеров положен принцип локации. В соответствии с этим принципом измерение уровня осуществляют по времени прохождения ультразвуковых колебаний расстояния от излучателя 1 (рисунок 2.8) до границы раздела двух сред и обратно до приёмника излучения 4. Локация границы раздела двух сред выполняется либо со стороны газа 2, либо со стороны рабочей среды 3. Уровнемеры, в которых локация границы раздела фаз осуществляется через газ, называют акустическими, а уровнемеры с локацией границы раздела двух сред через слой рабочей среды – ультразвуковыми.

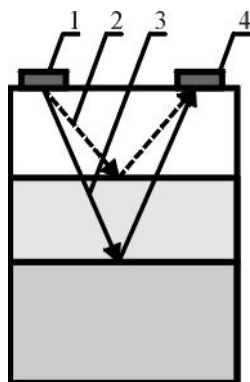


Рисунок 2.8 – Схема локации уровня

2.7 Радиоактивные уровнемеры

В радиоактивных уровнемерах измерение уровня жидкости основано на изменении интенсивности радиоактивного излучения при прохождении его через слой жидкости. Источник и приемник излучения располагаются снаружи, с противоположных сторон аппарата, уровень жидкости в котором измеряется. Если уровень жидкости ниже линии, соединяющей источник и приемник излучения, то последний фиксирует большую интенсивность излучения, и наоборот. Изменение интенсивности излучения преобразуется в электронном блоке в электрический сигнал, который измеряется вторичным прибором.

Радиоактивные уровнемеры применяются в закрытых резервуарах при измерении уровня агрессивных, легковоспламеняющихся жидкостей, а также жидкостей, находящихся под высоким давлением или при высокой температуре (расплавленные металлы).

3 Аппаратура лабораторной установки

Структурная схема лабораторной установки представлена на рисунке 3.1.

Установка включает:

- коммутационное поле 1;
- две ёмкости 2 и 3;
- четырёхканальный сигнализатор уровня 4;
- отсечной клапан 5;
- насос 6;
- гидростатический уровнемер 7.

В таблице 3.1 приведены характеристики элементов лабораторной установки.

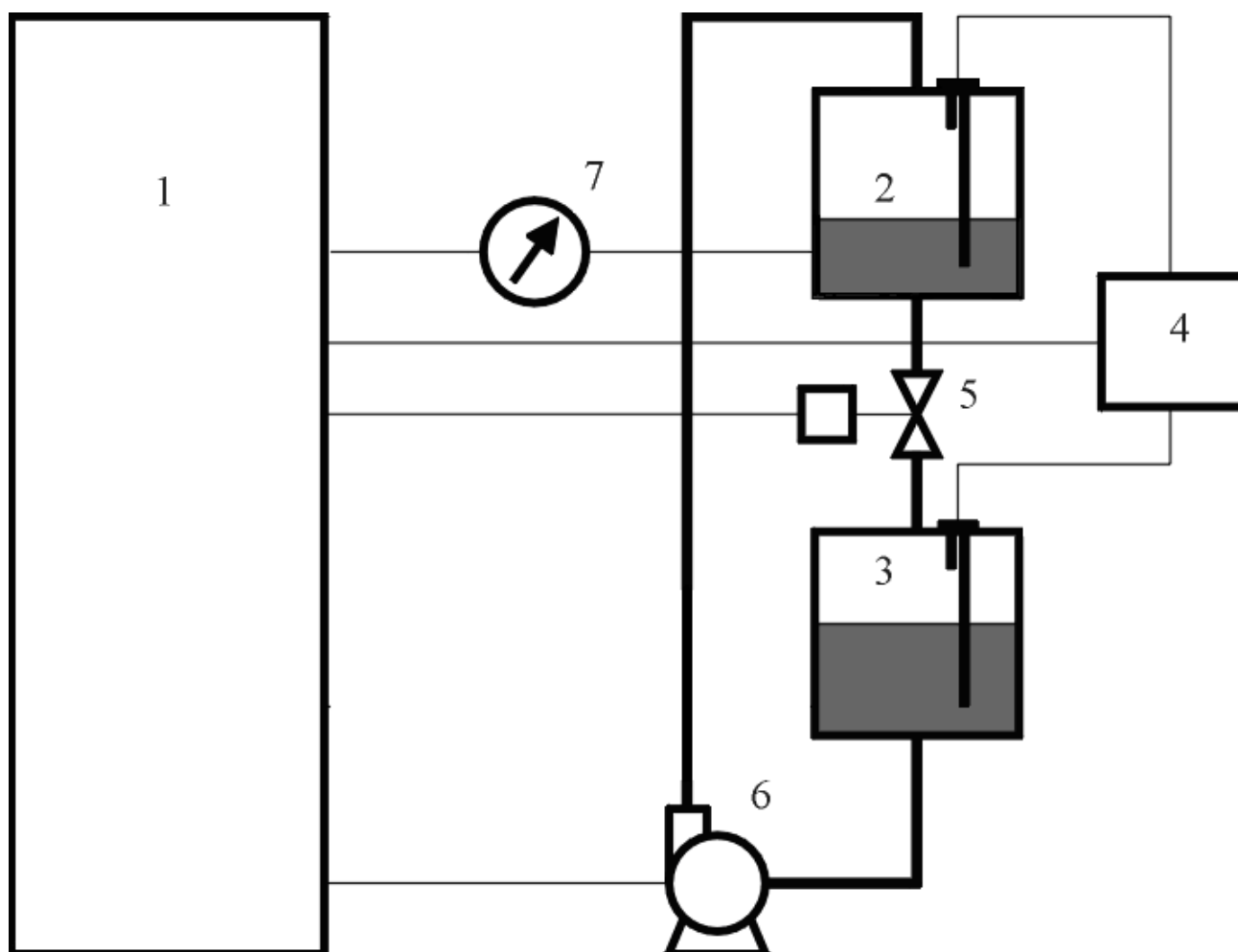


Рис.1 - Структурная схема лабораторного стенда
1 – коммутационное поле; 2, 3 – емкости (E1 и E2); 4 – сигнализатор уровня;
5 – отсечной клапан; 6 – насос; 7 - гидростатический уровнемер

Таблица 3.1 – Краткие технические характеристики приборов лабораторной установки

№ п/п	№ позиции	Прибор и его характеристики	Тип	Кол-во
1	4	Блок согласования кондуктометрических датчиков – сигнализатор уровня	БКК1-24	1
2	5	Соленоидный клапан TORK (не требует наличия минимального давления, рабочая среда – вода, $P_y=16$ кгс/см ² , температура рабочей среды от -10 до +80 °С, корпус – латунь, уплотнение – NBR)	T-GZ 103, DN=15мм, K _y =3,7 м ³ /час,	1
3	6	Насос автомобильный 12 VDC		1
4	7	Преобразователь избыточного давления	Сапфир 22-ДИ-40кПа	1

4 Задание и методические указания по выполнению работы

- 1 Изучите настоящие методические указания к выполнению лабораторной работы.
- 2 Ознакомьтесь с электрической схемой установки.
- 3 Изучите расположение элементов системы на стенде.
- 4 Изучите расположение элементов на монтажном поле и их принадлежность. Монтажное поле представлено в правой нижней части стенда и в Приложении 1 настоящих Методических указаний.
- 5 Ознакомьтесь с техническими характеристиками приборов и органами управления, расположенными на стенде.
- 6 Изучите типовые схемы управления оборудованием: клапаном и насосом (Приложение 2, рисунок а). Изучите способы блокировки (отключения) оборудования по внешним событиям (Приложение 2, рисунок б). Нормально разомкнутый контакт К1 и нормально замкнутый контакт К2 – контакты внешних устройств.
- 7 На монтажном поле соберите схемы управления насосом и клапаном.
- 8 После обязательной консультации с преподавателем опробуйте работу элементов стенда.
 - 8.1 Откройте клапан и дождитесь освобождения верхней ёмкости. Закройте клапан. В процессе освобождения верхней ёмкости следите за срабатыванием сигнализаторов уровня в верхней и нижней ёмкостях.
 - 8.2 Включите насос. Перекачайте воду в верхнюю ёмкость. Отключите насос не дожидаясь полного освобождения ёмкости. Следите за срабатыванием сигнализаторов уровня в нижней и верхней ёмкостях.

- 8.3 Вновь откройте клапан и отследите изменение уровня по изменению величины тока с манометра избыточного давления. Закройте клапан.
- 9 Соберите схемы блокировки исполнительных механизмов.
- 9.1 Для ёмкости E1:
- блокировка насоса по условию НН;
 - блокировка клапана по условию LL.
- 9.2 Для ёмкости E2:
- блокировка насоса по условию LL;
 - блокировка клапана по условию НН.
- 10 Номер ёмкости выберите в соответствии с заданным вариантом (см. таблицу 4.1). Опробуйте схему.
- 11 Для ёмкости E1 отградуируйте выходной сигнал манометра избыточного давления в единицах длины. Для этого слейте воду из ёмкости E1 до уровня LL и наберите до уровня НН. Операции останова оборудования в моменты LL и НН выполнить автоматически.
- 12 Соберите схему отсечки уровня в ёмкости E1 с помощью ТРМ202 в соответствии с заданным вариантом.
- 13 Настройте прибор на величину отсечки в соответствии с таблицей 4.1.
- 14 Продемонстрируйте работу собранной Вами схемы.

Таблица 4.1 – Варианты заданий

Вариант	Условия блокировки исполнительного механизма		Уровень отсечки в ёмкости E1, %
	Ёмкость	Условие	
1	1	НН	20
2	1	LL	30
3	2	НН	40
4	2	LL	50
5	1	НН	60
6	1	LL	70
7	2	НН	80
8	2	LL	90

5 Содержание отчёта

Отчёт должен быть оформлен в соответствии с установленными правилами и содержать следующее.

- 1 Титульный лист с указанием номера и названия работы, фамилии студентов, выполнивших работу, дату выполнения.
- 2 Цель работы.
- 3 Электрические схемы разработанных и реализованных вариантов управления исполнительными механизмами.
- 4 Результаты экспериментов в виде графиков и таблиц (если необходимо).
- 5 Необходимые расчёты и выводы по работе.
- 6 Ответы на контрольные вопросы.

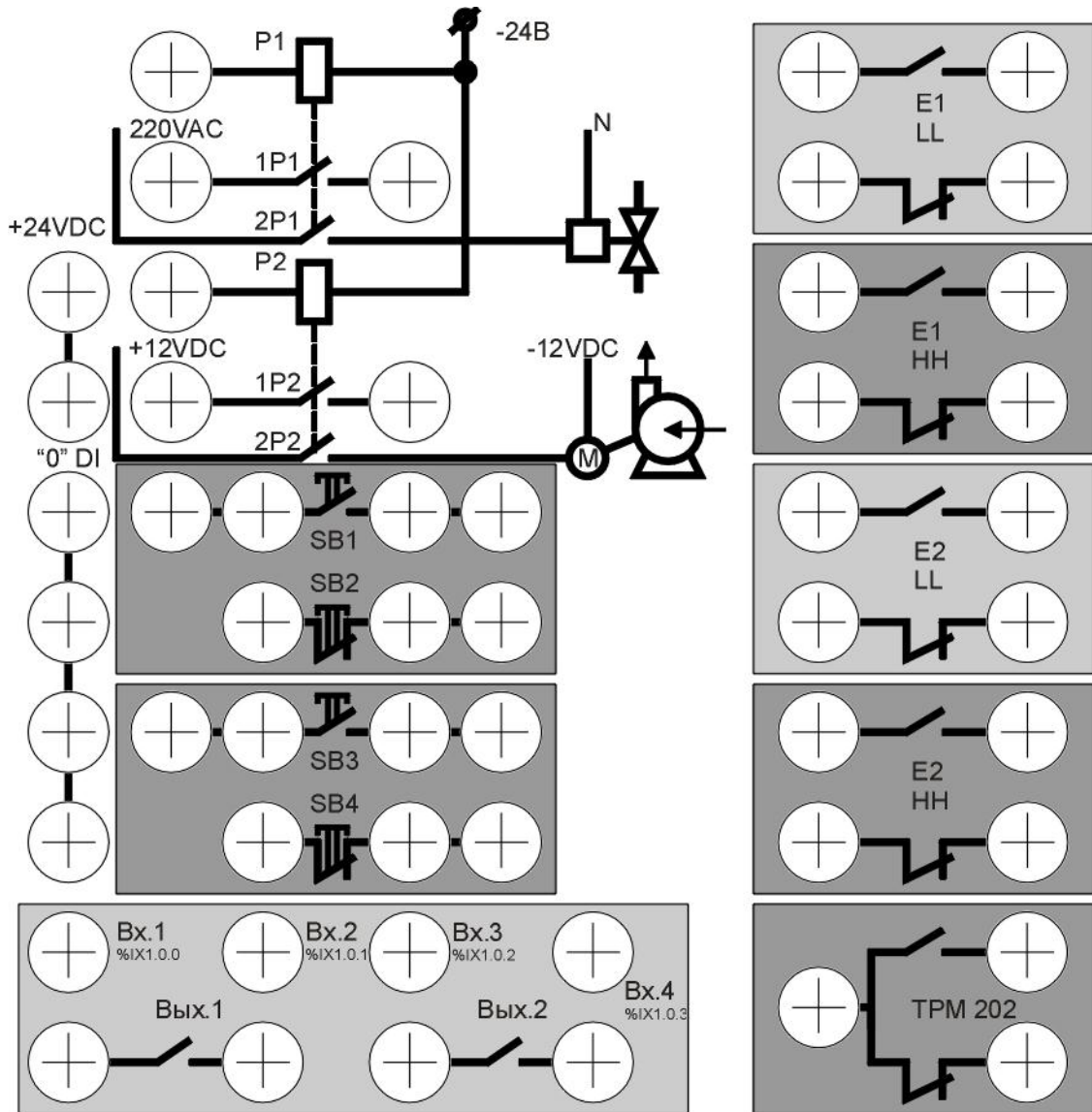
6 Контрольные вопросы

1. Назовите электрические средства измерения уровня и дайте им краткую характеристику.
2. Поясните принцип работы гидростатического уровнемера при измерении уровня в закрытом резервуаре под давлением.
3. Назовите основные источники погрешности, возникающей при гидростатическом измерении уровня.
4. Назовите причину размещения насоса ниже нижней ёмкости? Что будет если насос переместить в верхнюю точку станда?

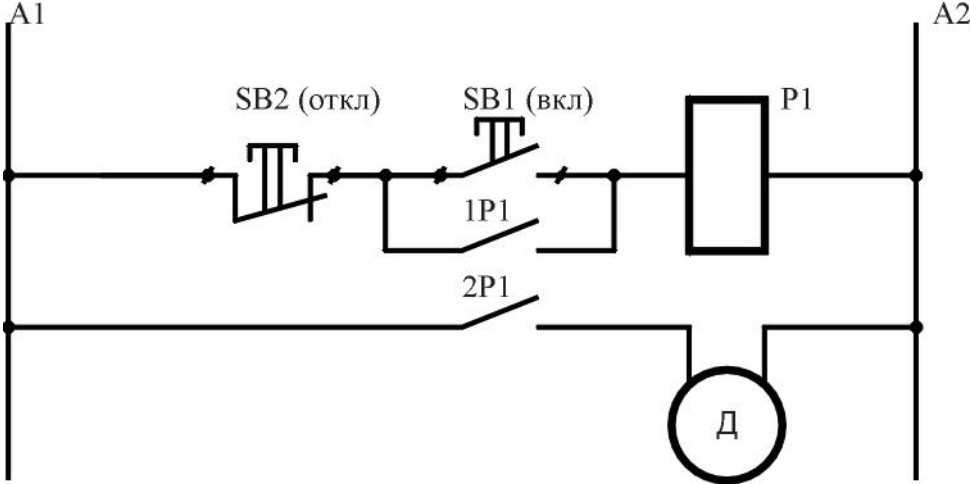
7 Литература

1. Фарзани Н. Г., Илясов Л. В., Азим-заде А. Ю. Технологические измерения и приборы: Учебник для студентов вузов по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств». – М.: Высшая школа, 1989. – 456 с.: ил.
2. Хансуваров К. И., Цейтлин В. Г. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара: Учебное пособие для техникумов. – М.: Издательство стандартов, 1990. 287 с., ил.

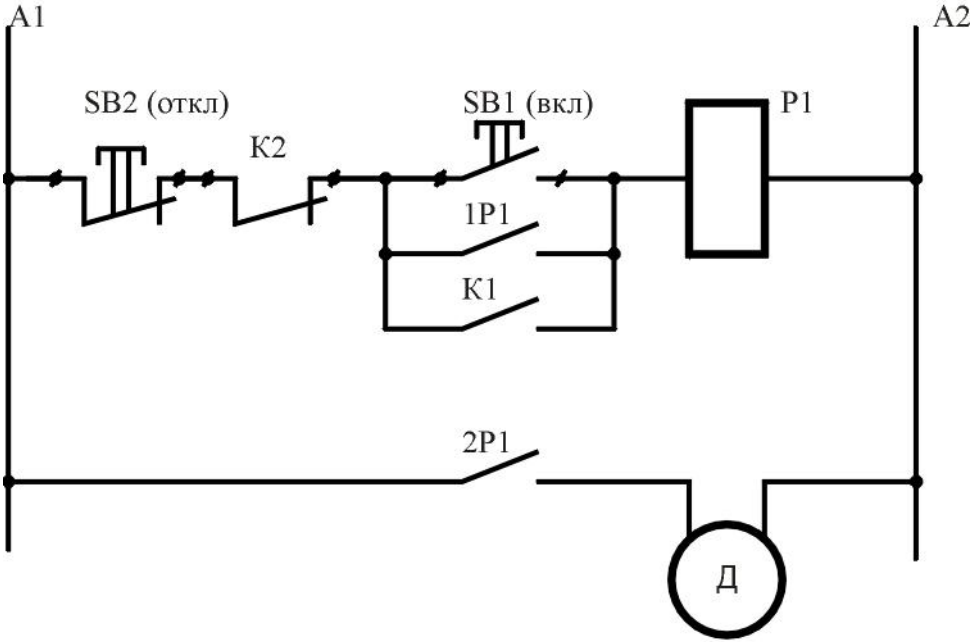
Монтажное поле станда



Типовые схемы управления насосом, отсечным клапаном



а)



б)

Для замечаний

Изучение методов и средств измерения уровня

Методические указания




Составитель Курганов Василий Васильевич

Подписано к печати 20.03.2010.

Формат 60x84-16. Бумага «Классика»

Печать RISO. Усл. печ. л. 1.16. Уч. – изд. л. 1.05.

Заказ № . Тираж 100 экз.

	<p>Томский политехнический университет Система менеджмента качества Томского политехнического университета сертифици- рована NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000</p>	
<p>ИЗДАТЕЛЬСТВО  . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.</p>		