

**Министерство образования Республики Беларусь**

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

**Кафедра «Металлургия и литейное производство»**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**ПРАКТИКУМ  
по одноименному курсу  
для студентов специализации 1-42 01 01-01 02  
«Электрометаллургия черных  
и цветных металлов»  
дневной и заочной форм обучения**

**Гомель 2016**

УДК 669.9-52(075.8)  
ББК 34.5я73  
А22

*Рекомендовано научно-методическим советом  
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 6 от 24.06.2014 г.)*

Составитель: *А. В. Ткаченко*

Рецензент: зав. каф. «Материаловедение в машиностроении» ГГТУ им. П. О. Сухого  
канд. техн. наук, доц. *И. Н. Степанкин*

**А22 Автоматизация** технологических процессов : практикум по одному курсу для студентов специализации 1-42 01 01-01 02 «Электрометаллургия черных и цветных металлов» днев. и заоч. форм обучения / сост.: А. В. Ткаченко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 77 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.

Содержит методические указания по содержанию, выполнению и оформлению лабораторных работ.

Для студентов специализации 1-42 01 01-01 02 «Электрометаллургия черных и цветных металлов» дневной формы обучения.

**УДК 669.9-52(075.8)  
ББК 34.5я73**

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2016

## Лабораторная работа №1 Датчики температуры.

Цель работы - изучение промышленных образцов первичных приборов для измерения температуры и методики их применения.

Теоретическая часть.

Температура - это условная статистическая величина, прямо пропорциональная средней кинетической энергии элементарных частиц вещества (молекул или атомов).

Для измерения температуры обычно используют изменение какого-либо физического свойства тела, однозначно зависящего от температуры и легко поддающегося измерению. К числу свойств, положенных в основу работы приборов для измерения температуры, относятся: объёмное расширение тел, изменение давления вещества в замкнутых объёмах, возникновение термоэлектродвижущей силы, изменение электрического сопротивления проводников и полупроводников, интенсивность излучения нагретых тел и т.д.

Температуру тела или системы обычно определяют по изменению одного из указанных физических свойств специального термоэлектрического элемента, находящегося в тепловом равновесии с телом или системой, температура которых определяется.

Применяются две температурные шкалы.

Абсолютная термодинамическая. Началом отсчета термодинамической шкалы выбрана точка абсолютного нуля, а в качестве единственной реперной точки принята тройная точка воды, которой соответствует значение 273,1 К. Однако термодинамическая шкала не получила широкого практического применения из-за больших трудностей ее реализации с помощью газовых термометров.

Международная практическая (более удобная при измерениях). Основана на ряде воспроизводимых температур фазового равновесия веществ (основные реперные точки), которые находятся в диапазоне температур от 259,34 °С (тройная точка равновесного водорода) до 1064,43 °С (точка плавления золота). Числовые значения температуры в этой шкале сопровождаются знаком °С (Цельсия).

Существуют контактные и бесконтактные методы измерения температуры. В первом случае имеет место надежный тепловой

контакт чувствительного элемента прибора с объектом измерения. Во втором случае нет непосредственного контакта чувствительного элемента прибора с объектом измерения.

Приборы для измерения температуры контактным методом

### 1. Термометр расширения

Принцип действия термометров расширения основан на изменении объема жидкости или линейных размеров твердых тел при изменении температуры. Применяются для местных измерений температур в пределах от  $-200$  до  $+750$  °С. Погрешность измерения  $\pm 1\%$ . Одним из представителей этой группы является жидкостный стеклянный термометр расширения.

Принцип действия термометра основан на зависимости между температурой и объемом термометрической жидкости, заключенной в стеклянной оболочке. Зафиксировать изменение положения верхней границы столбика жидкости возможно вследствие различия коэффициентов объемного теплового расширения жидкости и стекла. Из-за увеличения объема резервуара видимое изменение объема жидкости бывает ниже действительного.

Стеклянный жидкостный термометр состоит из двух основных частей: резервуара с термодинамической жидкостью и капилляра. Термометрическая жидкость заполняет резервуар и часть капилляра. При изменении температуры объём жидкости изменяется, вследствие чего столбик жидкости в капилляре поднимается или опускается на величину, пропорциональную изменению температуры. Положение верхней части столбика (мениска) определяет измеряемую температуру.

Устройство и общий вид жидкостных стеклянных термометров представлен на рис. 1.1.

В зависимости от формы нижней (рабочей) части термометры подразделяются на прямые — типа А и угловые — типа Б с углом  $90$  или  $135^\circ$ .

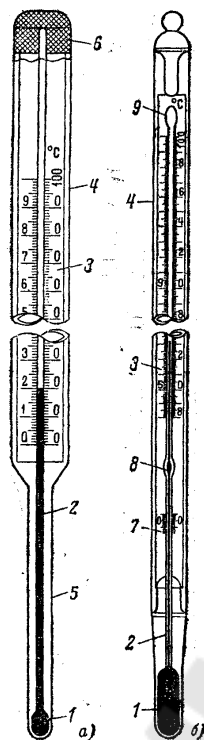


Рис. 1.1. Ртутные стеклянные термометры:

Наиболее широко в качестве термометрической жидкости используется ртуть. Применяют также органические заполнители: толуол, этиловый спирт, керосин и т.п. Ртуть по сравнению с другими жидкостями обладает следующими преимуществами:

- не смачивает стекла;
- легко получается в химически чистом виде;
- при нормальном атмосферном давлении в широком интервале температур (от  $-38,86$  до  $358,70$  °С) остаётся жидкой;
- имея малую теплоёмкость, при нагревании почти не даёт инерционных запаздываний.

## 2. Дилатометрические термометры.

Термометры линейного расширения подразделяют на биметаллические и дилатометрические. Действие биметаллических термометров основано на измерении разности линейных расширений двух пластин из разных материалов, жестко соединенных между собой по всей плоскости соприкосновения, при нагревании.

В качестве чувствительного элемента в дилатометрических термометрах применяется трубка, изготовленная из материала (латуни или меди), имеющего значительный температурный коэффициент линейного расширения. Пределы измерения составляют

от -150 до 700 °С, погрешность не превышает 1-2 %.

Чаще всего термометры линейного расширения используют в качестве датчиков в системах сигнализации и регулирования температуры.

Зависимость длины  $l$  твердого тела от его температуры  $t$  выражается равенством:

$$l = l_0 \cdot (1 + \alpha t),$$

где  $l_0$  – длина тела при температуре 0 °С;

$\alpha$  – средний температурный коэффициент линейного расширения тела,  $K^{-1}$ .

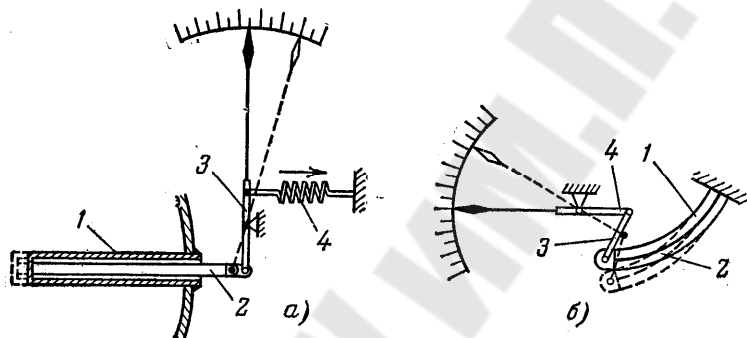


Рис.1.2. Дилатометрические термометры.  
а – стержневой; б – пластинчатый.

### 3. Манометрические термометры

Принцип действия манометрического термометра основан на использовании зависимости между температурой и давлением термометрического вещества (газа, жидкости), заполняющего герметически замкнутую термосистему термометра.

Принципиальная схема показывающего манометрического термометра приведена на рис. 1.3, а. Термосистема состоит из термобаллона 1, капилляра 2 и манометрической одно или много витковой пружины 3. Капилляр соединяет термобаллон с неподвижным концом манометрической пружины. Подвижный конец пружины запаян и через шарнирное соединение 4, поводок 5, сектор 6 связан со стрелкой прибора 7. При погружении термобаллона в среду, температура которой измеряется, изменяется давление термометрического вещества в замкнутой термосистеме, чувствительный элемент которой (манометрическая пружина) деформируется и её свободный конец перемещается. Данное изменение положения пружины преобразуется в соответствующее перемещение регистрирующей стрелки относительно шкалы прибора.

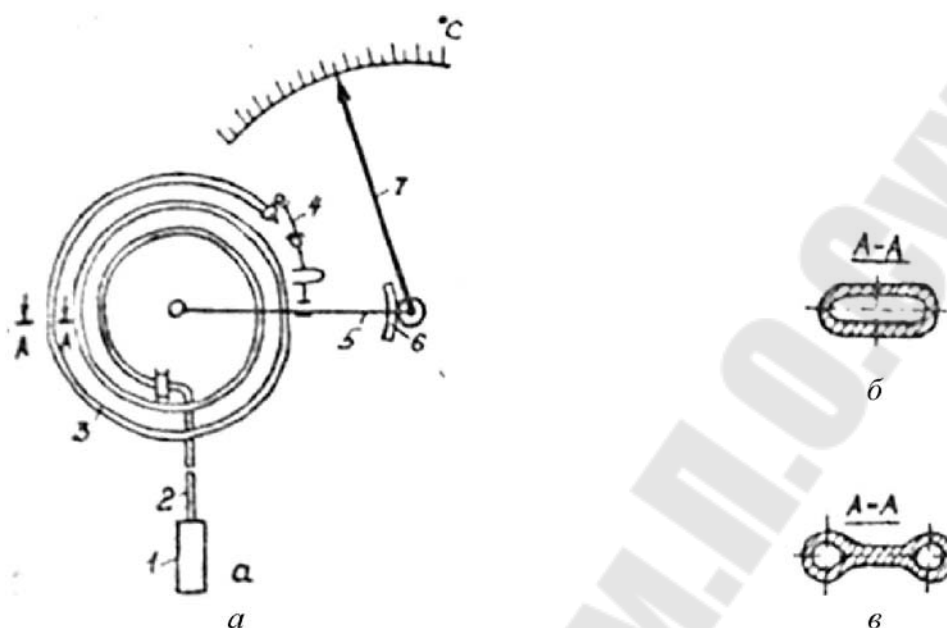


Рис. 1.3. Манометрический термометр

Поперечное сечение манометрической пружины, выполненной в виде полой металлической (сталь, латунь, бронза) изогнутой трубки, либо овальное (рис. 1.3, б), либо сложной формы с пережатым средним участком и двумя каналами каплевидной формы (рис. 1.3, в), что повышает её механическую прочность, уменьшает внутренний объём и снижает дополнительную температурную погрешность, связанную с изменением температуры окружающей среды.

Термобаллон обычно изготавливают из коррозионно-стойкой стали, а капилляр - из медной или стальной трубки с внутренним диаметром 0,15-0,5 мм. Длина капиллярной трубки может достигать 60 м.

Для защиты от механических повреждений капиллярную трубку помещают в защитную оболочку из стального плетеного рукава.

Манометрические термометры просты по устройству, надежны в работе при отсутствии электропривода диаграммы - взрыво- и пожаробезопасны. С помощью этих приборов можно измерять температуру в диапазоне от -150 до 600 °С. Класс точности - 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Для работы со вторичными приборами изготавливают манометрические термометры с электрическими или пневматическими преобразователями. Различают газовые, жидкостные и конденсационные (парожидкостные) манометрические

термометры. Устройства манометрических термометры всех типов аналогичны.

Приборы изготавливаются различных модификаций: показывающие, самопишущие, с сигнальными и регулирующими устройствами, а также с выходными унифицированными сигналами для включения в систему автоматического контроля и регулирования.

На показания манометрических термометров значительное влияние оказывают внешние условия: изменение температуры окружающего воздуха (дополнительная температурная погрешность), различная высота расположения термобаллона и пружины (гидростатическая погрешность), колебания атмосферного давления (барометрическая погрешность).

#### 4. Термопреобразователи сопротивления

Термопреобразователь сопротивления (ТС) представляет собой измерительный преобразователь с чувствительным элементом, который под воздействием температуры изменяет активное сопротивление электрическому току.

Термометры сопротивления применяют в тех случаях, когда требуется повышенная точность измерений в пределах от -200 до +650 °С. Верхний температурный предел обусловлен механической и химической стойкостью материала, из которого изготовлено сопротивление. Изменение электросопротивления данного материала при изменении температуры характеризуется температурным коэффициентом сопротивления  $\alpha$  (1/°С), который определяется по формуле

$$\alpha = (R_t - R_0) / R_0 \cdot t$$

где  $t$  - температура материала, °С;  $R_0$ ,  $R_t$  - электросопротивление при 0 °С и при температуре  $t$ , Ом.

Этот коэффициент должен быть постоянным в широком интервале температур.

В комплект ТС входят чувствительный элемент, соединительные провода, источник питания и прибор, измеряющий активное сопротивление и проградуированный в единицах измерения температуры. Чувствительный элемент ТС может быть выполнен из проводникового или полупроводникового материала.

Недостатками термометров сопротивления являются:



необходимость источника питания, значительная инерционность, измерение температуры не в точке, а в определенном объеме.

На рис. 1.4 показан чувствительный элемент платинового термометра. Он состоит из двух соединенных последовательно платиновых спиралей 1, расположенных в каналах керамического каркаса 4. К двум верхним концам этих спиралей припаяны платиновые или иридиево-родиевые (60 % родия) выводы 2, к которым приварены выводные проводники, изолированные керамическими бусами.

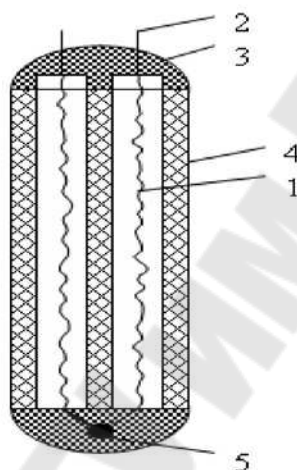


Рис. 1.4. Чувствительный элемент платинового ТС

Для крепления платиновых спиралей и выводов в керамическом каркасе используют глазурь (или термоцемент) 3 на основе окисей алюминия и кремния. Пространство между платиновыми спиральями и стенками каналов каркаса заполнено порошком окиси алюминия, который служит изолятором и улучшает тепловой контакт между спиральями и каркасом.

Для подгонки сопротивления при 0 °С изменяют длину нижних концов платиновых спиралей с последующей пайкой 5.

Для защиты от воздействия химически агрессивных сред и механических повреждений чувствительные элементы помещают в кожух, выполненный из алюминия или нержавеющей стали.

Недостаток платиновых термометров - разрушаемость при вибрации.

## 5. Термоэлектрические преобразователи

Термоэлектрический преобразователь (ТЭП) состоит из термоэлемента (термопары) и подключенного к нему

электроизмерительного прибора.

Принцип действия термоэлектрического термометра основан на явлении термоэлектрического эффекта, открытом в 1821 г. Зеебеком и Томпсоном заключающемся в том, что в месте соединения двух проводников А и В (рис. 1.5) из разных металлов или сплавов возникает термоэлектродвижущая сила (термо-ЭДС), величина которой зависит от температуры. В замкнутой цепи, состоящей из двух или нескольких разнородных проводников, возникает электрический ток в том случае, когда температуры мест их соединений не одинаковы  $t$  и  $t_0$ . Спай, имеющий температуру  $t$ , называется рабочим спаем, а спай, имеющий постоянную температуру  $t_0$  - свободным.

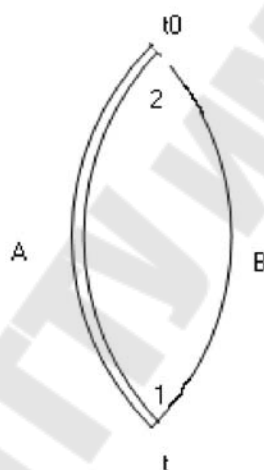


Рис. 1.5. Термоэлектрическая цепь из двух разнородных проводников

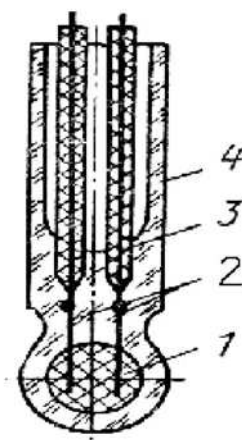


Рис. 1.6. Бусинковый полупроводниковый терморезистор

Во всех проводниках имеются свободные электроны, число которых для различных металлов и сплавов на единицу объема различно и зависит от природы металлов и температуры. Обычно число свободных электронов в металлах возрастает с повышением температуры. Предположим, что в спае с температурой  $t$  электроны из электрода А диффундируют в электрода В в большем количестве, чем в обратном направлении, поэтому электрода А заряжается положительно, а электрода В - отрицательно. Электрическое поле, возникающее в месте соприкосновения проводников, препятствует этой диффузии, и когда скорость диффузии электронов станет равна скорости их обратного перехода под влиянием установившегося электрического поля, наступает состояние подвижного равновесия. При таком состоянии между проводниками А и В в точках 1 и 2 возникнут разности потенциалов  $E_{AB}(t)$  и  $E_{AB}(t_0)$ , величина которых зависит от материала проводников и от температуры спаев.

Суммарная электродвижущая сила термопары равна разности ЭДС, развивающихся в нагретом и холодном концах термопары, т.е.

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t) - E_{AB}(t_0)$$

При этих условиях суммарная термо-ЭДС термопары зависит от температуры  $t$ . Следовательно, зная зависимость  $E_{AB}(t, t_0)$ , от  $t$  и поддерживая  $t_0$  постоянной, можно, измеряя величину  $E_{AB}(t, t_0)$ , определять значение  $t$ .

Если поддерживать температуру  $t_0$  постоянной, то величина  $E_{AB}(t_0)$  будет также постоянной и равной  $C$ , а уравнение для  $E_{AB}(t, t_0)$  примет вид

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t) - C$$

ТЭП состоит из изолированных друг от друга керамическими изоляторами термоэлектродов. Концы их сварены между собой и образуют горячий спай. Свободные концы термоэлектродов подсоединены к контактам специальной колодки. Термоэлектроды и контактные зажимы помещены в защитную арматуру.

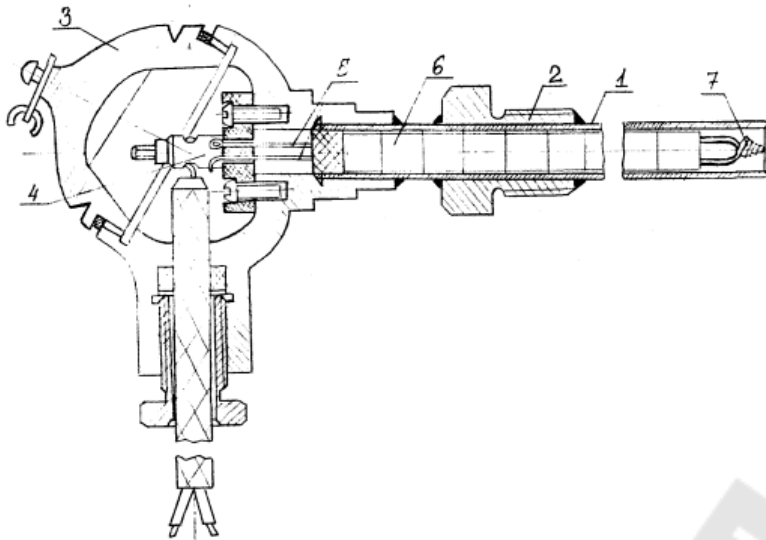


Рис. 1.7 Устройство термоэлектрического термометра

Приборы для измерения температуры бесконтактным методом

#### 6. Пирометры

Приборы, измеряющие температуру физических тел по их тепловому излучению, называют пирометрами излучения или просто пирометрами. Пирометры излучения относятся к группе бесконтактных приборов. Тепловое излучение представляет собой электромагнитное излучение, испускаемое веществом за счет его внутренней энергии. Интенсивность теплового излучения резко убывает с уменьшением температуры тел, поэтому пирометры используют в основном для измерения температуры до  $6000\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше. Преимуществом этих приборов является то, что измерение температуры осуществляется без непосредственного контакта с измеряемой средой, следовательно, сам процесс измерения не искажает температурного поля объекта измерения.

Лучистая энергия выделяется нагретым телом в виде электромагнитных волн различной длины. При температурах до  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  нагретое тело излучает инфракрасные лучи, не воспринимаемые человеческим глазом. По мере повышения температуры цвет тела от темнокрасного доходит до белого, содержащего волны всех воспринимаемых глазом длин. Одновременно с повышением температуры тела и изменением его цвета возрастает интенсивность монохроматического излучения (яркость), т.е. энергия излучения при определенной длине волны, а также увеличивается суммарная энергия излучения. Монохроматическое и суммарное (полное) излучения используются для измерения температуры нагретых тел и в

соответствии с этим пирометры излучения делятся на пирометры частичного и полного излучения (радиационные).

Интенсивность монохроматического и суммарного излучений, кроме температуры, зависит от физических свойств веществ. Поэтому шкалы приборов, работающих в комплекте с пирометрами, градуируются по излучению абсолютно черного тела, степень черноты которого постоянна и равна единице ( $\epsilon_0 = 1$ ). Реальные физические тела излучают энергию менее интенсивно, чем абсолютно черные, т.к. у них  $0 < \epsilon < 1$ . В связи с этим пирометры излучения показывают так называемую кажущуюся температуру, т.е. показания пирометров обычно занижены относительно действительной температуры контролируемого тела. Следовательно, необходимо использовать соответствующие поправки на степень черноты реального тела.

#### 7. Пирометры частичного излучения

В пирометрах частичного излучения используется зависимость между интенсивностью монохроматического излучения абсолютно черного тела и его температурой, выражаемая законом Планка:

$$E_{\lambda} = c_1 \cdot \lambda^{-5} \left( e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1}$$

где  $\lambda$  - длина волны, м;  $c_1$ ,  $c_2$  - постоянные;  $T$  - абсолютная температура, К.

К пирометрам частичного излучения относятся оптические (квазимонохроматические), фотоэлектрические и цветовые (спектрального отношения) пирометры.

#### 8. Оптические (квазимонохроматические) пирометры

Принцип действия квазимонохроматического пирометра основан на сравнении спектральных энергетических яркостей нагретого тела и эталонной пирометрической лампы накаливания.

Для выделения узкой области спектра в этих пирометрах используют красный светофильтр из стекла типа КС-15 толщиной 2 мм. Такой светофильтр пропускает излучение длиной волны 0,63-0,68 мкм.

На рис. 1.8 представлена схема оптического пирометра типа ОППИР-017. Он состоит из объектива, окуляра, красного светофильтра, пирометрической лампы, диафрагм (входной и выходной), реостата, затемняющего светофильтра, измерительного прибора (милливольтметра) и источника питания. Объектив и окуляр

прибора могут перемещаться вдоль оси в телескопической трубке, что позволяет получить четкое изображение раскаленного тела и нити пирометрической лампы. Перемещая движок реостата, оператор изменяет силу тока, проходящего через лампу, и добивается совпадения яркостей объекта измерения и нити лампы, изображение нити как бы «исчезает» на фоне объекта. При этом красный светофильтр должен быть обязательно введен в поле зрения.

Диафрагмы (входная и выходная) ограничивают входной и выходной углы пирометра, оптимальные значения которых позволяют обеспечить независимость показаний прибора от изменения расстояния между объектом измерения и объективом.

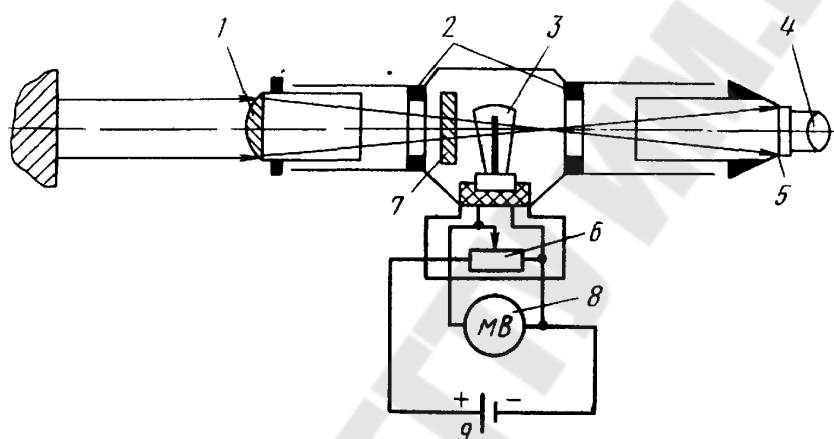


Рис. 1.8. Схема оптического пирометра ОППИР-017

1 - объектив; 2 - диафрагмы; 3 - пирометрическая лампа; 4 - окуляр; 5 - красный светофильтр; 6 - реостат; 7 - затемняющий светофильтр; 8 - измерительный прибор; 9 - источник питания

Нить пирометрической лампы выполнена из вольфрама, поэтому во избежание ее перегрева при температурах выше  $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$  перед лампой вводится затемняющий светофильтр, который в одинаковой степени поглощает излучение всех длин волн. В соответствии с этим милливольтметр имеет две шкалы: верхнюю - для измерения температур от  $800$  до  $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$  с выведенным затемняющим светофильтром и нижнюю - для температур выше  $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$  с введенным затемняющим светофильтром.

Работает данный пирометр от источника постоянного тока с напряжением  $2-2,6\text{ В}$ .

Достоинствами данного типа пирометров являются:

возможность измерения на значительном расстоянии, нечувствительность к изменениям окружающей среды, независимость точности измерения от расстояния до объекта измерения.

К недостаткам относятся: обязательное участие наблюдателя в измерении, невозможность дистанционной передачи показаний, влияние загрязнения атмосферы между источником излучения и пирометром.

### 9. Пирометры полного излучения (радиационные)

Радиационный метод измерения температуры основан на зависимости интенсивности полного излучения от температуры тела.

Для абсолютно черного тела зависимость количества излучаемой энергии  $E_0$  от температуры характеризуется законом Стефана-Больцмана:

$$E_0 = \sigma_0 T^4$$

где  $\sigma_0$  - постоянная, равная  $5.6704 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>)

Преобразователь пирометрический полного излучения ППТ-121 предназначен для бесконтактного измерения и контроля радиационной температуры поверхностей от 100 до 2500 °С. Работает преобразователь в комплекте с вторичным измерительным преобразователем ПВВ-0 и вторичным показывающим прибором, в качестве которого используется милливольтметр или потенциометр.

Преобразователь (рис. 1.9) состоит из двух основных узлов - объектива и приемного устройства. Объектив предназначен для передачи энергии излучения от объекта измерения в устройство приемное. Объектив собран на кронштейне 1 и состоит из объективной линзы 2, полевой диафрагмы 3, апертурной диафрагмы 4 и конденсора 5.

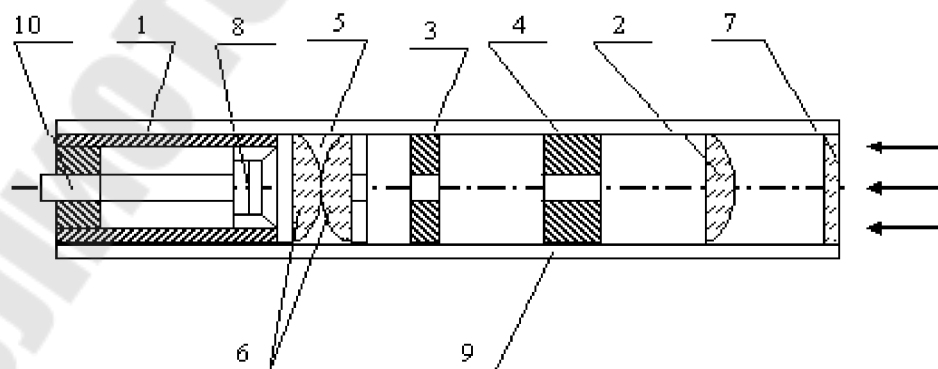


Рис. 1.9. Пирометр полного излучения

Объективная линза 2 служит для получения изображения объекта в плоскости полевой диафрагмы 3, предназначенной для получения заданного показателя визирования. Конденсор 5 предназначен для передачи изображения от полевой диафрагмы в плоскость приемного элемента и состоит из двух одинаковых линз 6. Устройство приемное, служащее для преобразования энергии излучения в электрический сигнал (термоЭДС), состоит из приемного элемента 8 и медного шунта. Приемный элемент 8 представляет собой 10-спайную термобатарейку из хромель-копелевых фольговых термоэлектрических преобразователей.

Пирометр градуируют при температуре свободных концов термобатарейки  $20 \pm 5$  °С. Для компенсации погрешности, возникающей при отклонении температуры свободных концов от градуировочной, используют шунт, выполненный в виде катушки из медного провода, имеющего большой температурный коэффициент сопротивления. Термобатарейка имеет некоторый разброс чувствительности, поэтому для получения стандартной градуировки предусмотрена апертурная диафрагма 4, перемещением которой осуществляется подгонка градуировочной характеристики. Наружная труба 9 одевается на объектив с кронштейном и закрепляется крышкой с защитным стеклом 7. Стекло служит для защиты объектива от загрязнения. Подключение преобразователя в измерительную схему производится при помощи разъема 10.

К достоинствам пирометров полного излучения относятся: независимость показаний от освещенности объекта измерения посторонними источниками; возможность дистанционной передачи показаний.

К недостаткам - невозможность измерения истинной температуры; трудность измерения на больших расстояниях; влияние атмосферы между источником излучения и пирометром; сравнительно большая температурная погрешность.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с датчиками и приборами стенда и внести в протокол их паспортные данные. Тип датчика указывается на головке датчика. В работе используются термометры сопротивления с W100



=1,3910 и  $W100 = 1,428$

2. Измерить с помощью термометра сопротивления (ТС) температуру окружающего воздуха. Рассчитать погрешность измерения температуры с учетом погрешности ТС и цифрового мультиметра (ЦМ).

3. Поместить ТС в термостат, включить нагрев и провести ряд измерений температуры. Рассчитать погрешность измерения температуры.

4. Поместить в нагретый термостат термопару (ТП), дождаться установившегося режима и провести измерение температуры. Выключить термостат и в течение его остывания провести ряд измерений температуры. Найти результаты с поправкой на температуру соединительного спая. Рассчитать погрешность измерения температуры с учетом погрешности ТП, погрешности измерения температуры соединительного спая ТП и погрешности ЦМ.

Таблица 1.1. – НСХ преобразователи типа ТХА. Температура соединительного спая – 0 °С

| $t, ^\circ\text{C}$ | $E_m, \text{мВ}$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $E_m, \text{мВ}$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $E_m, \text{мВ}$ |
|---------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|
| 0                   | 0                | 50                  | 2,022            | 100                 | 4,095            |
| 5                   | 0,198            | 55                  | 2,229            | 105                 | 4,302            |
| 10                  | 0,397            | 60                  | 2,436            | 110                 | 4,508            |
| 15                  | 0,597            | 65                  | 2,643            | 115                 | 4,714            |
| 20                  | 0,798            | 70                  | 2,850            | 120                 | 4,919            |
| 25                  | 1,000            | 75                  | 3,058            | 125                 | 5,124            |
| 30                  | 1,203            | 80                  | 3,266            | 130                 | 5,327            |
| 35                  | 1,407            | 85                  | 3,473            | 135                 | 5,531            |
| 40                  | 1,611            | 90                  | 3,681            | 140                 | 5,733            |
| 45                  | 1,817            | 95                  | 3,888            | 145                 | 5,936            |

Таблица 1.2. – НСХ преобразователя типа ТХК. Температура свободных концов – 0 °С

| $t, ^\circ\text{C}$ | $E_m, \text{мВ}$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $E_m, \text{мВ}$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $E_m, \text{мВ}$ |
|---------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|
| 0                   | 0                | 50                  | 3,299            | 100                 | 6,842            |
| 5                   | 0,318            | 55                  | 3,643            | 105                 | 7,208            |
| 10                  | 0,638            | 60                  | 3,989            | 110                 | 7,576            |
| 15                  | 0,961            | 65                  | 4,338            | 115                 | 7,946            |

|    |       |     |       |     |        |
|----|-------|-----|-------|-----|--------|
| 20 | 1,287 | 70  | 4,689 | 120 | 8,318  |
| 25 | 1,616 | 75  | 5,042 | 125 | 8,693  |
| 30 | 1,947 | 80  | 5,398 | 130 | 9,069  |
| 35 | 2,282 | 85  | 5,756 | 135 | 9,446  |
| 40 | 2,618 | 90  | 6,116 | 140 | 9,826  |
| 45 | 2,957 | 95  | 6,478 | 145 | 10,208 |
| 50 | 3,299 | 100 | 6,842 | 150 | 10,591 |

Таблица 1.3.– НСХ преобразователя типа ТСМ

| $t, ^\circ C$ | $W_t$  | $t, ^\circ C$ | $W_t$  | $t, ^\circ C$ | $W_t$  |
|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|
| 0             | 1,0000 | 50            | 1,2140 | 100           | 1,4280 |
| 5             | 1,0214 | 55            | 1,2354 | 105           | 1,4922 |
| 10            | 1,0428 | 60            | 1,2568 | 110           | 1,4708 |
| 15            | 1,0642 | 65            | 1,2782 | 115           | 1,4922 |
| 20            | 1,0856 | 70            | 1,2996 | 120           | 1,5136 |
| 25            | 1,1070 | 75            | 1,3210 | 125           | 1,5350 |
| 30            | 1,1284 | 80            | 1,3424 | 130           | 1,5564 |
| 35            | 1,1498 | 85            | 1,3638 | 135           | 1,5777 |
| 40            | 1,1712 | 90            | 1,3852 | 140           | 1,5991 |
| 45            | 1,1926 | 95            | 1,4066 | 145           | 1,6205 |
| 50            | 1,2140 | 100           | 1,4280 | 150           | 1,6419 |

Таблица 1.4. – Отношения сопротивлений  $W_t$  для платиновых ТС с  $W_{100} = 1,3910$

| $t, ^\circ C$ | $W_t$  | $t, ^\circ C$ | $W_t$  |
|---------------|--------|---------------|--------|
| 0             | 1,0000 | 80            | 1,3139 |
| 5             | 1,0198 | 85            | 1,3332 |
| 10            | 1,0396 | 90            | 1,3526 |
| 15            | 1,0594 | 95            | 1,3719 |
| 20            | 1,0792 | 100           | 1,3910 |
| 25            | 1,0989 | 105           | 1,4104 |
| 30            | 1,1186 | 110           | 1,4296 |
| 35            | 1,1343 | 115           | 1,4488 |
| 40            | 1,1579 | 120           | 1,4679 |
| 45            | 1,1775 | 125           | 1,4870 |
| 50            | 1,1971 | 130           | 1,5061 |
| 55            | 1,2166 | 135           | 1,5252 |

|    |        |     |        |
|----|--------|-----|--------|
| 60 | 1,2361 | 140 | 1,5442 |
| 65 | 1,2556 | 145 | 1,5632 |
| 70 | 1,2751 | 150 | 1,5822 |

Контрольные вопросы.

1. Назовите принципы измерения температуры.
2. Какие из них применяются для автоматизации процесса измерения?
3. Что характеризует температура? Каковы основные принципы термометрии?
4. Опишите устройство жидкостных термометров? Каковы их достоинства и недостатки?
5. Каков принцип действия твердотельных термометров?
6. Как использовать термопары и терморезисторы для измерения температуры?
7. Принцип действия радиационного пирометра.
8. Необходимость применения бесконтактных методов измерения температуры.

## Лабораторная работа №2 Датчики расхода материала.

Цель работы: ознакомление с устройством и работой приборов и их применением в промышленных условиях.

Теоретическая часть.

### 1. Основные сведения об измерении расхода и массы веществ

Измерение расхода и массы веществ (жидких, газообразных, сыпучих, твердых, паров и т. п.) широко применяется как в товароучетных и отчетных операциях, так и при контроле, регулировании и управлении технологическими процессами. В промышленности оптимальное управление многими технологическими процессами основывается на смешивании различных компонентов и ингредиентов, входящих в состав изготавливаемого целевого продукта, в строго определенных соотношениях, изменение которых может привести к нарушению хода процессов и получению некачественного готового продукта.

Расход вещества — это масса или объем вещества, проходящего через данное сечение канала средства измерения расхода в единицу времени. В зависимости от того, в каких единицах измеряется расход, различают объемный расход или массовый расход. Объемный расход измеряется в м<sup>3</sup>/с (м<sup>3</sup>/ч и т. д.), а массовый — в кг/с (кг/ч, т/ч и т. д.).

Расход вещества измеряется с помощью расходомеров, представляющих собой средства измерений или измерительные приборы расхода. Многие расходомеры предназначены не только для измерения расхода, но и для измерения массы или объема вещества, проходящего через средство измерения в течение любого, произвольно взятого промежутка времени. В этом случае они называются расходомерами со счетчиками или просто счетчиками. Масса или объем вещества, прошедшего через счетчик, определяется по разности двух последовательных во времени показаний отсчетного устройства или интегратора. Расходомеры, наиболее широко распространенные в промышленности, по принципу действия разделяются на следующие основные группы: переменного перепада давления; обтекания — постоянного перепада давления; тахометрические; электромагнитные; переменного уровня; тепловые;

вихревые; акустические. Кроме того, известны расходомеры, основанные на других принципах действия: резонансные, оптические, ионизационные, меточные и др. Однако многие из них находятся в стадии разработки и широкого применения пока не получили.

В промышленности большое распространение получают также измерительные устройства, предназначенные для счета единиц готовой продукции, выпускаемой в виде отдельных изделий (булок, батончиков), упаковок (бутылок, коробок, ящиков) и т. п. Кроме того, очень широко используются различные автоматические весы и весовые дозаторы.

## 2. Расходомеры переменного перепада давления

Одним из наиболее распространенных средств измерений расхода жидкостей и газов (паров), протекающих по трубопроводам, являются расходомеры переменного перепада давления, состоящие из стандартного сужающего устройства, дифманометра, приборов для измерения параметров среды и соединительных линий. В комплект расходомерного устройства также входят прямые участки трубопроводов до и после сужающего устройства с местными сопротивлениями.

Сужающее устройство расходомера является первичным измерительным преобразователем расхода, в котором в результате сужения сечения потока измеряемой среды (жидкости, газа, пара) образуется перепад (разность) давления, зависящий от расхода. В качестве стандартных (нормализованных) сужающих устройств применяются измерительные диафрагмы, сопла, сопла Вентури и трубы Вентури. В качестве измерительных приборов применяются различные дифференциальные манометры, снабженные показывающими, записывающими, интегрирующими, сигнализирующими и другими устройствами, обеспечивающими выдачу измерительной информации о расходе в соответствующей форме и виде.

Измерительная диафрагма представляет собой диск, установленный так, что центр его лежит на оси трубопровода (рис. 2.1). При протекании потока жидкости или газа (пара) в трубопроводе с диафрагмой сужение его начинается до диафрагмы. На некотором расстоянии за ней под действием сил инерции поток сужается до минимального сечения, а далее постепенно расширяется до полного

сечения трубопровода. Перед диафрагмой и после нее образуются зоны завихрения. Давление струи около стенки вначале возрастает из-за подпора перед диафрагмой. За диафрагмой оно снижается до минимума, затем снова повышается, но не достигает прежнего значения, так как вследствие трения и завихрений происходит потеря давления  $p_{\text{пот}}$ .

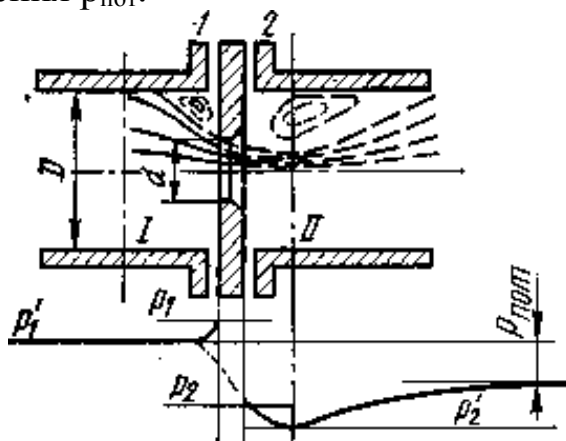


Рис. 2.1 – Схема распределения статического давления в потоке при установке в трубопроводе сужающего устройства – диафрагмы

Таким образом, часть потенциальной энергии давления потока переходит в кинетическую. В результате средняя скорость потока в суженном сечении повышается, а статическое давление в этом сечении становится меньше статического давления перед сужающим устройством. Разность этих давлений (перепад давления) служит мерой расхода протекающей через сужающее устройство жидкости, газа или пара.

Из рис. 2.1 видно, что давление по оси трубопровода, показанное штрихпунктирной линией, несколько отличается от давления вдоль стенки трубопровода только в средней части графика. Через отверстия 1 и 2 производится измерение статических давлений до и после сужающего устройства.

### 3. Расходомеры обтекания

Принцип действия расходомеров обтекания основан на зависимости перемещения тела, находящегося в потоке и воспринимающего динамическое давление обтекающего его потока, от расхода вещества. Широко распространенными расходомерами обтекания являются расходомеры постоянного перепада давления — ротаметры,

поплавковые и поршневые. Принцип действия расходомеров постоянного перепада давления основан на зависимости от расхода вещества вертикального перемещения тела — поплавка, находящегося в потоке и изменяющего при этом площадь проходного отверстия прибора таким образом, что перепад давления по обе стороны поплавка остается постоянным.

В некоторых расходомерах обтекания, называемых расходомерами обтекания компенсационного типа, перемещение тела обтекания измеряется по величине давления, создающего усилие, приложенное к телу и уравнивающее динамическое давление потока на него.

### Ротаметры

Расходомеры постоянного перепада давления — ротаметры — применяются для измерения расходов однородных потоков чистых и слабозагрязненных жидкостей и газов, протекающих по трубопроводам и не подверженных значительным колебаниям. Особенно широко они используются в винодельческом, спиртовом, ликерно-водочном и других производствах. Ротаметр (рис. 2.2) представляет собой длинную коническую трубку 1, располагаемую вертикально, вдоль которой под действием движущегося снизу вверх потока перемещается поплавок 2. Поплавок перемещается до тех пор, пока площадь кольцевого отверстия между поплавком и внутренней поверхностью конусной трубки не достигнет такого размера, при котором перепад давления по обе стороны поплавка не станет равным расчетному. При этом действующие на поплавок силы уравниваются, а поплавок устанавливается на высоте, соответствующей определенному значению расхода.

Рассмотрим силы, действующие на поплавок. Масса поплавка в рабочем состоянии, т. е. при полном погружении в измеряемую среду (в кг),

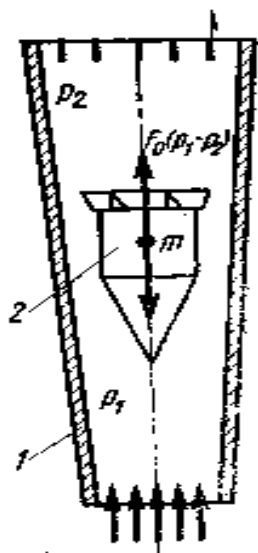


Рис. 2.2 – Функциональная схема ротаметра

#### Поплавковые и поршневые расходомеры

Поплавковый расходомер постоянного перепада давления (рис. 2.3) состоит из поплавка 1 и конического седла 2, расположенных в корпусе прибора (отсчетное устройство на схеме не показано). Коническое седло выполняет ту же роль, что и коническая трубка ротаметра. Различие заключается в том, что длина и диаметр седла примерно равны, а у ротаметров длина конической трубки значительно больше ее диаметра.

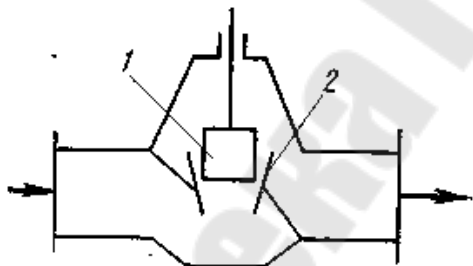


Рис. 2.3 – Структурная схема поплавкового расходомера

В поршневом расходомере (рис. 2.4) чувствительным элементом является поршень 1, перемещающийся внутри втулки 2.

Втулка имеет входное отверстие 5 и выходное отверстие 4, которое является диафрагмой переменного сечения. Поршень с помощью штока соединен с сердечником передающего преобразователя 3. Протекающая через расходомер жидкость поступает под поршень и поднимает его. При этом открывается в большей или меньшей степени отверстие выходной диафрагмы.



Жидкость, протекающая через диафрагму, одновременно 'заполняет также пространство над поршнем, что создает противодействующее усилие.

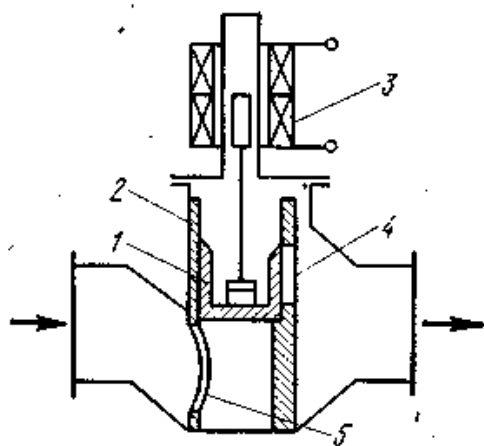


Рис. 2.4 – Структурная схема поршневого расходомера

#### 4. Тахометрические расходомеры

Расходомеры этой группы широко применяются практически во всех отраслях промышленности. Принцип их действия основан на использовании зависимостей скорости движения тел — чувствительных элементов, помещаемых в поток, от расхода веществ, протекающих через эти расходомеры. Известно большое число разновидностей тахометрических расходомеров, однако в практике для измерения расхода самых разнообразных жидкостей и газов широко распространены турбинные, шариковые и камерные расходомеры.

Камерные тахометрические расходомеры представляют собой один или несколько подвижных элементов, отмеривающих или отсекающих при своем движении 'определенные объемы жидкости или газа. Существует большое число конструкций, камерных расходомеров жидкостей и газов. Овально-шестеренчатый счетчик жидкостей (рис. 2.5) состоит из двух одинаковых овальных шестерен, вращающихся под действием перепада давления жидкости, протекающей через его корпус. В положении I правая шестерня отсекает некоторый объем жидкости 1; так как на эту шестерню действует крутящий момент, она поворачивается по часовой стрелке, вращая при этом левую шестерню против часовой стрелки. В положении II левая шестерня заканчивает отсекаание новой порции жидкости 2, а правая выталкивает ранее отсеченный объем 1 в

выходной патрубков счетчика. В это время вращающий момент действует на обе шестерни. В положении III ведущей является левая шестерня, отсекающая объем 2. В положении IV правая шестерня заканчивает отсекаание объема 3, а левая выталкивает объем 2. В положении V полностью отсекается объем 3; обе шестерни сделали по пол-оборота, и ведущей стала опять правая шестерня. Вторая половина оборота шестерен протекает аналогично. Таким образом, за один полный оборот шестерен отсекается четыре дозирующих объема. Учет жидкости основан на отсчете числа оборотов шестерен. Выпускаются счетчики, обеспечивающие измерение в диапазоне от 0,8 до 36 м<sup>3</sup>/ч. Диаметры условных проходов 15 – 50 мм; класс точности 0,5; 1,0.

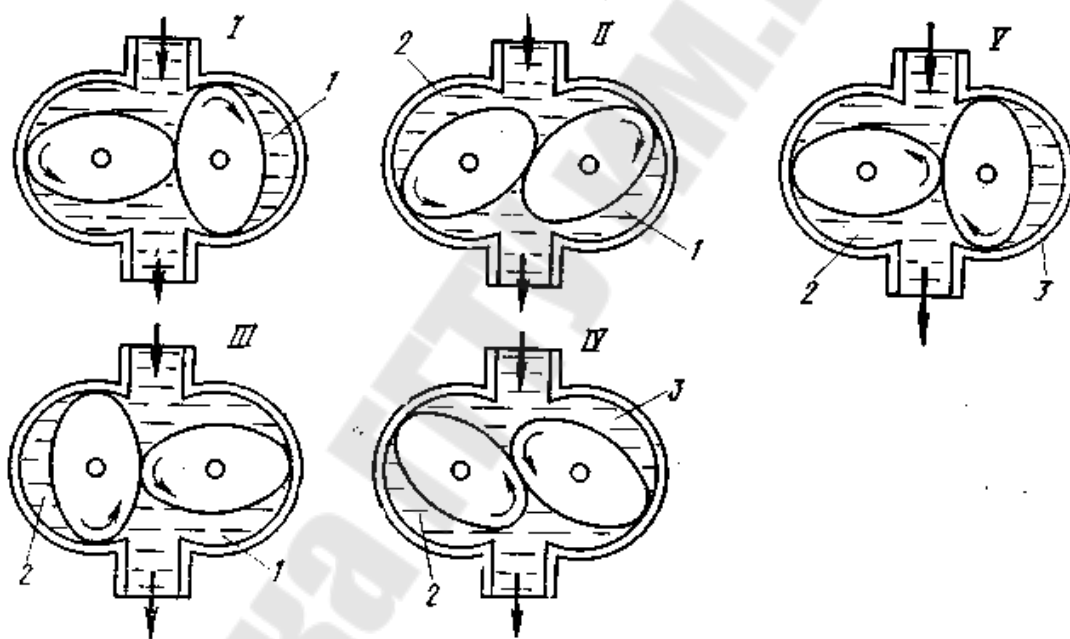


Рис. 2.5 – Схема работы счетчика жидкости с овальными шестернями

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Лабораторная установка (рис. 2.6) состоит из крыльчатого счетчика 1, ротаметра РС-3 с утяжеленным поплавком 2, трубки Вентури 3 соединенной с жидкостным дифманометром 4. Расходомеры установлены на стальной трубе 7, которая присоединена к питателю воды 6. На трубе имеются вентили 8 и 12 для регулирования расхода воды. Количество прошедшей через

расходомеры воды, определяется с помощью мерного бака 5. Время необходимое для нахождения расхода определяется секундомером.

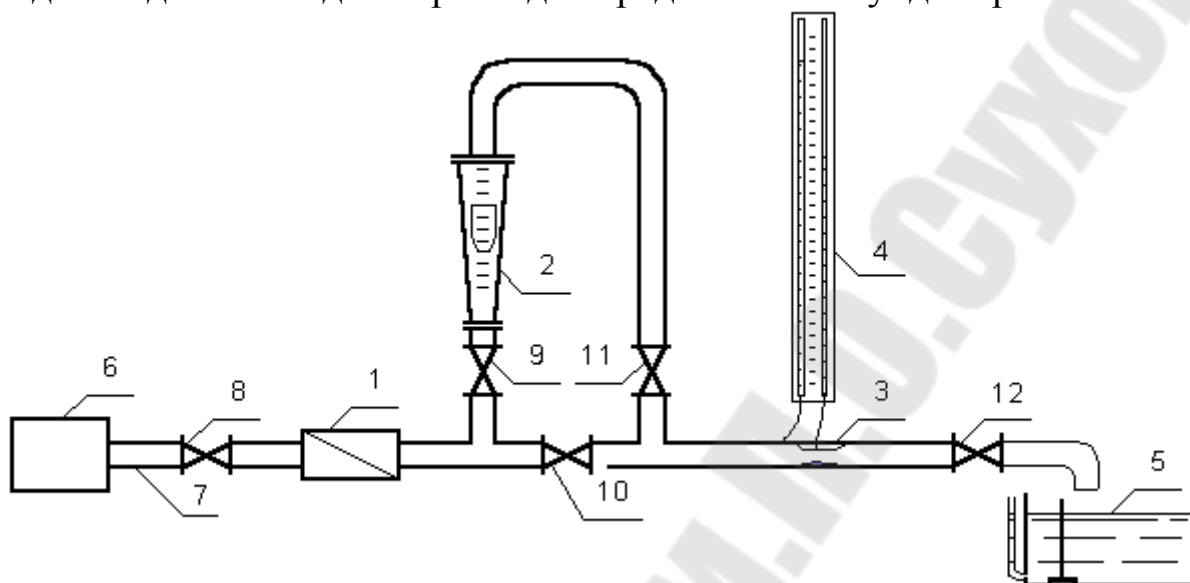


Рис. 2.6. – Схема лабораторной установки

1. Открыть вентили 8, 9 и с помощью вентиля 11, 12 установить расход, при котором наблюдается медленное, непрерывное вращение звездочки крыльчатого счетчика 1 и обеспечивается минимальный (до 2 мм) перепад уровней в пьезометрах жидкостного дифманометра 4.

2. Определить объём воды  $W_{\text{МБ}}$ , поступившей в мерный бак 5 за время опыта  $T$ . Время проведения опыта не менее одной минуты.

3. Определить объём воды  $W_{\text{С}}$ , прошедшей через счетчик за время проведения опыта  $T$ .

4. Определить показания пьезометров  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$

5. По верхней кромке поплавка определить среднее показание ротаметра 2 за время проведения опыта.

6. С помощью вентиля 11 и 12 изменить расход воды и измерения повторить

#### Обработка результатов

1. Определить расход воды в трубопроводе по показанию мерного бака

$$Q_{\text{МБ}} = W_{\text{МБ}}/T$$

2. Определить расход воды проходящей через счетчик, по показанию счетчика

$$Q_{\text{С}} = W_{\text{С}}/T$$

3. Определить относительную погрешность измерения расхода скоростным счетчиком

$$\delta = \frac{Q_{\text{МБ}} - Q_{\text{С}}}{Q_{\text{МБ}}} \cdot 100 (\%)$$

4. Определить потери пьезометрического напора на трубке Вентури

$$\Delta h = P_1 - P_2$$

5. Вычислить значение коэффициента расхода А для каждого расхода

$$A = \frac{Q_{\text{МБ}}}{\sqrt{\Delta h}}$$

6. Определить среднее значение коэффициента расхода

$$A_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} A_i}{N}$$

7. Найти значения расхода для построения тарировочного графика

$$Q_{\text{T}} = A_{\text{ср}} \cdot \sqrt{\Delta h}$$

8. Экспериментальные данные и полученные результаты обработки занести в табл. 2/1.

Таблица 2.1 – Экспериментальные данные и результаты обработки

| № | Мерный бак      |      |      |                       | Скоростной счетчик |      |                      |      | Трубка Вентури |            |                 |    |                 | Ротаметр             |    |
|---|-----------------|------|------|-----------------------|--------------------|------|----------------------|------|----------------|------------|-----------------|----|-----------------|----------------------|----|
|   | $\Delta h$ , см | W, л | T, с | $Q_{\text{МБ}}$ , л/с | $W_{\text{С}}$ , л | T, с | $Q_{\text{С}}$ , л/с | d, % | $P_1$ , см     | $P_2$ , см | $\Delta h$ , см | A  | $A_{\text{ср}}$ | $Q_{\text{T}}$ , л/с | n  |
| 1 | 2               | 3    | 4    | 5                     | 6                  | 7    | 8                    | 9    | 10             | 11         | 12              | 13 | 14              | 15                   | 16 |
| 1 |                 |      |      |                       |                    |      |                      |      |                |            |                 |    |                 |                      |    |
| : |                 |      |      |                       |                    |      |                      |      |                |            |                 |    |                 |                      |    |
| N |                 |      |      |                       |                    |      |                      |      |                |            |                 |    |                 |                      |    |

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите принципы измерения давления, перепада и вакуума.
2. Как измеряют расход и количество?
3. Назовите принципы измерения уровня.
4. Каков принцип действия расходомера переменного перепада давления на сужающем устройстве?
5. Покажите распределение статического давления при установке в трубопроводе диафрагмы, сопла и сопла Вентури.
6. Каковы назначения, устройство и принцип действия автоматического потенциометра (любого)?
7. Приведите принципиальную схему потенциометра.
8. Классификация приборов для измерения расхода.

## Лабораторная работа №3 Датчики давления газов и жидкостей.

Цель работы: ознакомление с устройством и работой приборов и их применением в промышленных условиях.

Теоретическая часть.

1. Классификация приборов для измерения давления по типу чувствительного элемента

По виду упругого чувствительного элемента пружинные приборы делятся на следующие группы:

- 1) приборы с трубчатой пружиной, или собственно пружинные (рис. 3.1а,б);
- 2) мембранные приборы, у которых упругим элементом служит мембрана (рис. 3.1в), анероидная или мембранная коробка (рис. 3.1г,д), блок анероидных или мембранных коробок (рис. 3.1е,ж);
- 3) пружинно-мембранные с гибкой мембраной (рис. 3.1з);
- 4) приборы с упругой гармониковой мембраной (сильфоном) (рис. 3.1к);
- 5) пружинно-сильфонные (рис. 3.1и).

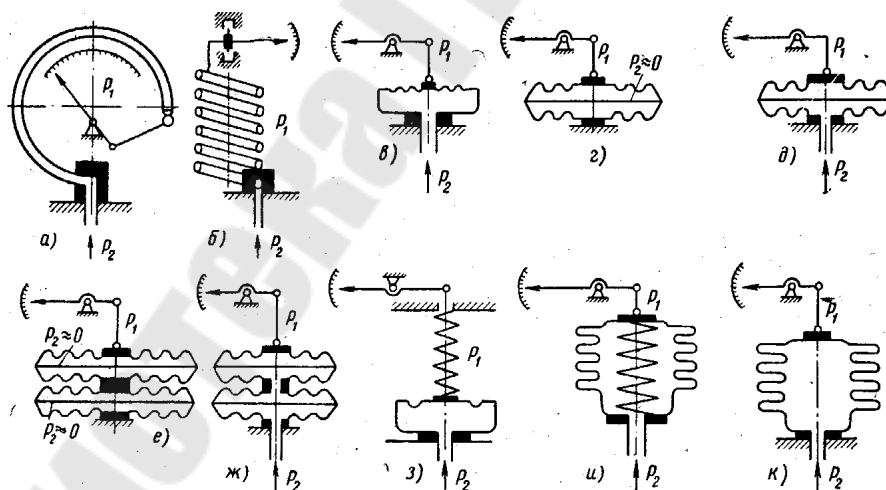


Рис. 3.1. Типы пружинных устройств

2. Определение понятия «давление», точное измерение давления и соотношение между ними

Давление является одним из важнейших параметров химико-технологических процессов. От величины давления часто зависит правильность протекания процесса химического производства. Под давлением в общем случае понимают предел отношения нормальной составляющей силы к площади, на которую действует сила. При равномерном распределении сил давление равно частному от деления нормальной составляющей силы давления на площадь, на которую эта сила действует. Величина единицы давления зависит от выбранной системы единиц (табл. 3.1).

Различают абсолютное и избыточное давление. Абсолютное давление  $P_a$  — параметр состояния вещества (жидкостей, газов и паров). Избыточное давление  $p_{и}$  представляет собой разность между абсолютным давлением  $P_a$  и барометрическим давлением  $P_б$  (т. е. давлением окружающей среды):

$$P_{и} = P_a - P_б,$$

Если абсолютное давление ниже барометрического, то

$$P_в = P_б - P_a,$$

где  $P_в$  — разряжение.

Единицы измерения давления: Па ( $\text{Н/м}^2$ );  $\text{кгс/см}^2$ ; мм вод. ст.; мм рт.ст.

Таблица 3.1 – Соотношение между единицами давления:

| Единицы давления                                      | $\text{кгс/м}^2$<br>или<br>мм вод. ст. | $\text{кгс/см}^2$<br>или<br>атм.<br>(техническая атмосфера) | атм.<br>(физическая атмосфера) | 1 мм рт. ст.           | $\text{Н/м}^2$ |
|---|--|---|--------------------------------|------------------------|----------------|
| 1 $\text{кгс/м}^2$<br>или<br>1 мм вод. ст.            | 1                                      | $10^{-4}$   | $0,0968 \cdot 10^{-3}$         | $73,556 \cdot 10^{-3}$ | 9,80665        |
| 1 $\text{кгс/см}^2$<br>или<br>1 атм.<br>(техническая) | $10^4$                                 | 1   | 0,9678                         | 735,56                 | 98066,5        |
| 1 атм.<br>(физическая атмосфера)                      | 10332                                  | 1,0332  | 1                              | 760,00                 | 101 325        |

|                    |       |                      |                       |                      |         |
|--------------------|-------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------|
| 1 мм рт. ст.       | 13,6  | $1,36 \cdot 10^{-3}$ | $1,316 \cdot 10^{-3}$ | 1                    | 133,322 |
| 1 Н/м <sup>2</sup> | 0,102 | $10,2 \cdot 10^{-6}$ | $10,13 \cdot 10^{-6}$ | $7,50 \cdot 10^{-3}$ | 1       |

### 3. Классификация приборов для измерения давления и разрежения

Приборы для измерения давления подразделяются на:

- а) манометры – для измерения абсолютного и избыточного давления;
- б) вакуумметры – для измерения разрежения (вакуума);
- в) мановакуумметры – для измерения избыточного давления и вакуума;
- г) напорометры – для измерения малых избыточных давлений (верхний предел измерения не более 0,04 МПа);
- д) тягомеры – для измерения малых разрежений (верхний предел измерения до 0,004 МПа);
- е) тягонапорометры – для измерения разрежений и малых избыточных давлений;
- ж) дифференциальные манометры – для измерения разности давлений;
- з) барометры - для измерения барометрического давления атмосферного воздуха.

### 4. Устройство и принцип действия, и область применения приборов с упругими пружинными чувствительными элементами

Действие пружинных приборов основано на измерении величины деформации различного вида упругих элементов. Деформация упругого чувствительного элемента преобразуется передаточными механизмами того или иного вида в угловое или линейное перемещение указателя по шкале прибора.

Наиболее широко применяются приборы (манометры, вакуумметры, мановакуумметры и дифманометры) с одновитковой трубчатой пружиной. Основная деталь прибора с одновитковой трубчатой пружиной — согнутая по дуге окружности трубка эллиптического или плоскоовального сечения (рис. 3.2). Одним концом трубка заделана в держатель, оканчивающийся ниппелем с резьбой для присоединения к полости, в которой измеряется



давление. Внутри держателя есть канал, соединяющийся с внутренней полостью трубки (рис. 3.2).

Если в трубку подать жидкость, газ или пар под избыточным давлением, то кривизна трубки уменьшится, и она распрямляется; при создании разрежения внутри трубки кривизна ее возрастает, и трубка скручивается. Так как один конец трубки закреплен, то при изменении кривизны трубки ее свободный конец перемещается по траектории, близкой к прямой, и при этом воздействует на передаточный механизм, который поворачивает стрелку показывающего прибора.

Свойство изогнутой трубки некруглого сечения изменять величину изгиба при изменении давления в ее полости является следствием изменения формы сечения. Под действием измеряемого давления внутри трубки эллиптическое или плоскоовальное сечение, деформируясь под действием силы  $F=P \times S$ , где  $S$ —площадь воздействия давления, приближается к круговому сечению (малая ось эллипса или овала увеличивается, а большая уменьшается).

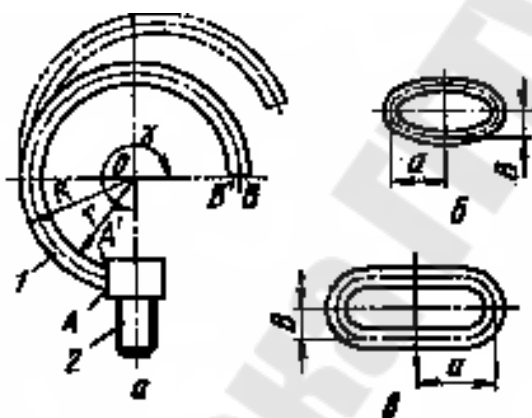


Рис .3.2. Схема трубчатой пружины (а) и ее эллиптическое (б), плоскоовальное (в) поперечные сечения:  
1 — трубка; 2 — держатель

## 5. Устройство и принцип действия грузопоршневого манометра МП -60

Грузопоршневые манометры в основном применяются для градуировки и поверки различных видов пружинных манометров, так

как отличаются высокой точностью и широким диапазоном измерений — от 0,098 до 980 МН/м<sup>2</sup> (1—10000 кгс/см<sup>2</sup>).

Принцип действия грузопоршневых манометров следующий. На поршень, свободно движущийся в цилиндре, действуют две силы: сила от давления жидкости, с одной стороны, и сила тяжести положенных на поршень грузов - с другой.

Образцовый грузопоршневой манометр (рис. 3.3) состоит из колонки, укрепленной на станине прибора. В колонке имеется вертикальный цилиндрический канал, в котором движется пришлифованный поршень, несущий на верхнем конце тарелку для установки грузов. Верхняя часть колонки снабжена воронкой для сбора масла, просачивающегося через зазор между поршнем и цилиндром.

В станине высверлен горизонтальный канал, в расширенной части которого движется посредством винтового штока поршень 7, уплотненный манжетами. Канал в станине соединяется с каналом колонки и каналами двух бобышек, предназначенных для укрепления поверяемых манометров. Кроме того, с каналом станины соединен канал воронки 8, которая служит для заполнения системы маслом.

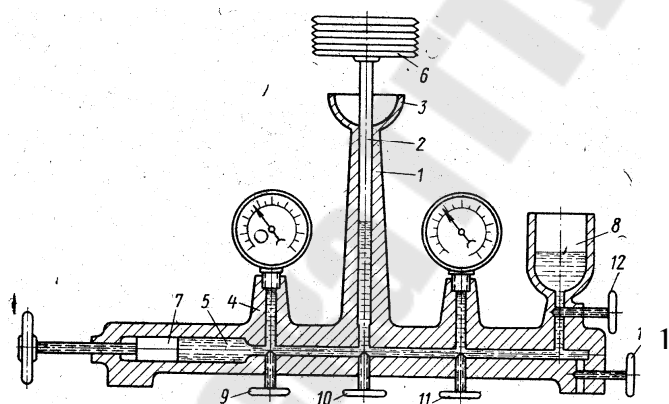


Рис. 3.3. Схема образцового поршневого манометра:

1 — колонка; 2 — поршень; 3 и 5 — воронки; 4 — бобышки;  
5 — канал; 6 — тарелка; 7 — поршень; 9 и 13 — вентили

Каналы для отсоединения их от канала станины снабжены игольчатыми вентилями 9—12. Назначение вентиля 13 — спуск масла из прибора. Максимальное давление, создаваемое грузами, 4,90 МН/м<sup>2</sup> (50 кгс/см<sup>2</sup>). Для проверки манометров на большее давление пользуются поршневым прессом, отсоединив от прибора поршневую колонку 1 вентилем 10. В качестве прибора сравнения применяют

образцовый пружинный манометр: его присоединят к одной из бобышек 4, а поверяемый прибор — к другой бобышке.

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ.

Оборудование: две стеклянные трубки (одна из них с пробкой), соединённые шлангом, штатив, вода, линейки демонстрационная ( $\pm 5$  мм) и ученическая ( $\pm 1$  мм).

1. Ознакомиться с лабораторной установкой.
2. Установить равенство уровней воды в трубках 1 и 2. Измерить линейкой длину воздушного столба ( $l$ ) (см. рис. 3.4, а).
3. Поднять трубку 2 на большую высоту. Измерить разницу высот уровней воды в трубках ( $h$ ) и измерить высоту воздушного столба в трубке 1 ( $l-l_1$ ).
4. Прodelать пункт 3 при разных высотах. Далее опустить трубку ниже уровня воды в трубке 1 и измерить высоту столба в трубке 1 ( $l+l_1$ ) (см. рис. 3.4, б).
5. Занести все измерения в таблицу.
6. Используя полученные результаты измерений  $l+l_1$ ,  $l-l_1$  и  $h$  вычислить атмосферное давление воздуха ( $p$ ). Сравнить полученные результаты с показаниями барометра ( $p_0$ ).
7. Построить график, вычислить погрешности измерений, сделать вывод.

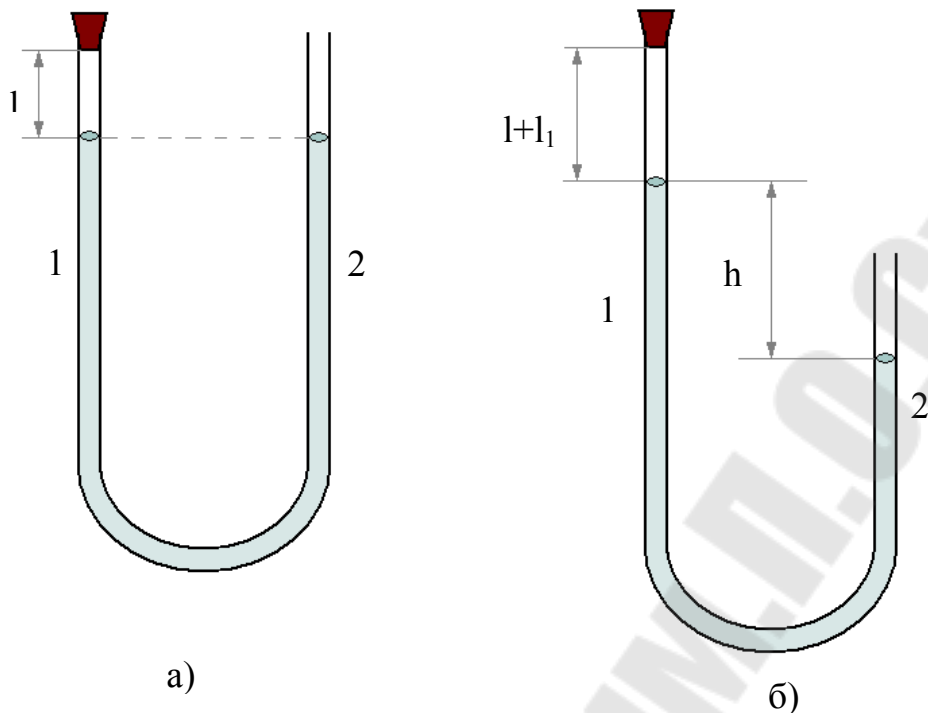


Рис. 3.4 – Схема лабораторной установки

При проведении замеров и расчетах принимаем:  $l = 0.31 \text{ м}$ ,  
 $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$

Формулы для расчетов:

Если уровень воды в трубке 1 **больше**, чем в трубке 2:

$$pV = (p - \Delta p)(V + V_1)$$

$$p = \frac{\Delta p(V + V_1)}{V_1}$$

$$p = \frac{\rho g h(l + l_1)}{l_1}$$

$$l_1 = (l + l_1) - l$$

Если уровень воды в трубке 1 **меньше**, чем в трубке 2:

$$pV = (p + \Delta p)(V - V_1)$$

$$p = \frac{\Delta p(V - V_1)}{V_1}$$

$$p = \frac{\rho g h(l - l_1)}{l_1}$$

$$l_1 = l - (l - l_1)$$

Экспериментальные данные и полученные результаты обработки занести в табл. 3.1.

Таблица 3.2 – Экспериментальные данные и результаты обработки

| № | $l+l_1$ , м | $l-l_1$ , м | $l_1$ , м | $h$ , м | $p$ , Па | $p_6$ , Па                  |
|---|-------------|-------------|-----------|---------|----------|-----------------------------|
| 1 |             |             |           |         |          | $10^5$<br>(756 мм. рт. ст.) |
| 2 |             |             |           |         |          |                             |
| 3 |             |             |           |         |          |                             |
| 4 |             |             |           |         |          |                             |
| 5 |             |             |           |         |          |                             |
| 6 |             |             |           |         |          |                             |

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется избыточным (манометрическим) давлением, как оно выражается через абсолютное?
2. Что называется вакууметрическим давлением, как оно выражается через абсолютное?
3. Перечислите наиболее распространенные единицы измерения давления и укажите какая связь существует между ними.
4. Какие принципы действия приборов для измерения давления вам известны?
5. В чем заключается принцип действия жидкостных приборов? Их достоинства и недостатки.
6. Какие из них применяются для автоматизации процесса измерения?
7. Назовите принципы измерения давления, перепада и вакуума.

## Лабораторная работа №4 Автоматизация процессов плавки металла

Цель работы - изучение методов автоматизации производства стали в электродуговых сталеплавильных.

Теоретическая часть.

1. Электродуговая сталеплавильная печь как объект автоматизации

В настоящее время более 30% стали выплавляется в электродуговых печах. Это к настоящему времени самый экологически чистый металлургический агрегат, так как процесс идет в замкнутом герметичном пространстве и печи одновременно снабжаются высокопроизводительными очистными установками.

Есть тенденция использования ДСП как высокопроизводительного агрегата для расплавления шихты с одновременным переносом продолжительных технологических периодов в установки внепечной обработки стали (печь-ковш, установка вакууммирования стали порционного или циркуляционного типа).

Важная особенность электросталеплавильного производства: это производство может функционировать в местности при отсутствии производства чугуна.

В основном в ДСП выплавляется качественная сталь. Но современные мощные электропечи по производительности и сортаменту не уступают мартеновским печам.

Недостатки ДСП:

- нельзя выплавить низкоуглеродистые марки стали;
- большой удельный расход электроэнергии.

По конструкции дуговые сталеплавильные печи делятся на печи переменного тока (ДСП) и дуговые печи постоянного тока (ДСППТ).

В ДСП дуга горит между тремя электродами и шихтой. В ДСППТ дуга горит между катодом и анодом.

В ДСППТ в подине устанавливается водоохлаждаемый электрод, устройство которого довольно сложно.

Технологический процесс выплавки стали в ДСП делится на четыре технологических периода:

1. Межплавочный простой.

2. Расплавление или плавление шихты.
3. Окислительный период.
4. Восстановительный период.

В межплавочный простой происходит ремонт (заправка) подины и откосов, завалка шихты (сыпучих и металлического лома).

Завалка осуществляется специальными корзинами при отводе свода в сторону. После завалки крышка печи закрывается и в специальные амбразуры вводятся электроды.

После зажигания дуги по схеме соединения электродов «звезда» происходит плавление шихты.

Плавление шихты, которое является полностью энергетическим периодом плавки, имеет три стадии, каждая из которых характеризуется определенным значением подводимой к печи мощности.

Первая стадия - зажигание дуг. Дуги горят в верхнем слое шихты и для предотвращения перегрева свода печи от близко горящих дуг подводимая мощность снижается.

Вторая стадия - проплавление колодцев. По мере расплавления верхних слоев шихты электроды погружаются в шихту. Нормальным считается, если проплаваемый колодец примерно на 20-30% больше диаметра электрода. Это условие не дает возможности подвести к электродам максимальную мощность. Если в этот период подвести максимальную мощность, то колодцы будут узкими и при обвалке шихты электрод может сломаться.

Третья стадия - наведение жидкой ванны. После проплавления колодцев электроды оказываются в нижнем положении, то есть очень близко к подине. Так как слой жидкого металла незначителен, в эту стадию также нельзя подавать максимальную мощность из-за опасности прожога подины.

И только когда электроды пойдут вверх, то есть уровень жидкого металла будет достаточным, к печи подключается максимальная мощность. На этой мощности ведут дальнейшее расплавление металла.

После расплавления шихты уровень металла повышается, электроды поднимают вверх и дуги обнажаются. В это время кладка печи начинает интенсивно разогреваться.

Одновременно с расплавлением в ДСП подается кислород для окисления примесей (С, Mn, Si). Тепла экзотермических реакций окисления достаточно для разогрева ванны и подводимая

электрическая мощность снижается до 40-50% от максимальной.

После нагрева металла и окисления основных примесей скачивается шлак, наводится новый и начинаются процессы восстановительного периода, то есть периода рафинирования, легирования и раскисления стали.

При достижении заданного состава сталь выпускается из печи.

Окислительный и восстановительный периоды называются технологическими и их продолжительность во многом определяется организационными факторами.

С точки зрения автоматизации процесса задачи системы в окислительные период заключаются в выполнении следующих функций:

1. Расчет и подача в печь необходимого количества окислителя - кислорода.
2. Контроль химического состава металла.
3. Расчет количества, набор, взвешивание и подача в печь шлакообразующих.
4. Контроль температуры огнеупорной кладки и ограничение подводимой мощности в зависимости от температурного состояния этих параметров.
5. Рациональное управление электрическим режимом.

В восстановительный период задачей автоматической системы является выполнение функций:

1. Расчет, взвешивание и регламентированный во времени ввод в печь легирующих добавок и раскислителей.
2. Контроль и регулирование температуры металла и огнеупорной кладки печи.
3. Регулирование электрического режима печи по ограничениям температурой металла или огнеупорной кладки.

Очевидно, что для автоматизированного управления процессом электроплавки нужны математические модели.

Детерминированной модели для описания электродугового процесс пока не существует. Поэтому для управления используются экспериментально-статистические модели и в последнее время (Германия, США) созданы нейросетевые модели процесса, способные в интервале 0,1с предсказать ход электроплавки.

## 2. Контроль температурных параметров ДСП

При автоматизации технологического процесса выплавки стали



в ДСП решающее значение имеет контроль за температурным состоянием металла и огнеупорной футеровки. У металла теплопроводность больше, чем у кладки, и он быстрее проводит тепло внутрь.

В результате каждой плавки повреждается внутренний слой кладки от 5 до 15 мм из-за высокотемпературного разрушения, поэтому за температурой кладки необходим тщательный контроль.

К сожалению, непрерывного метода замеры температуры огнеупорной футеровки и кладки не существует. Поэтому используются способы разовых замеров (3-5 за плавку) стандартной термопарой погружения со сменными наконечниками из платиновых термопар (или ПП).

В настоящее время в различных организациях (НПО «Черметавтоматика») разработана следующая система (рис.4.1).

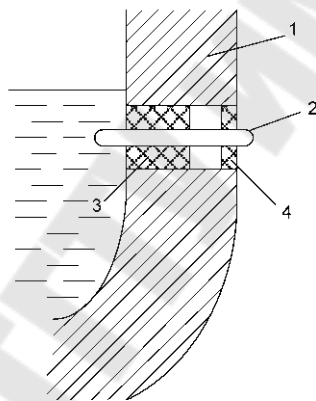


Рис. 4.1. – Метод измерения температуры огнеупорной футеровки

Термопара вставляется в специальное отверстие, при окончании плавки она убирается.

В качестве термопар используются вольфрам-рениевые термопары 5×20.

Существует другая разновидность данного метода (рис.4.2).

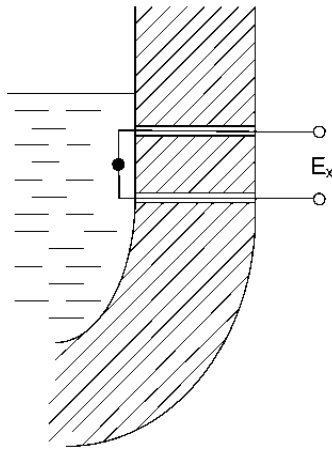


Рис. 4.2. – Непрерывный метод измерения температуры огнеупорной футеровки

Существуют также способы косвенного измерения температуры с помощью сопротивления (рис. 4.3).

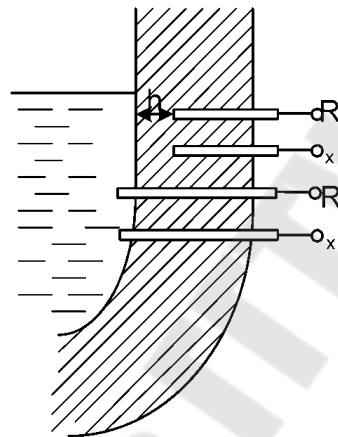


Рис. 4.3. – Косвенный способ измерения температуры с помощью сопротивления.

Два силитовых стержня из карбида Si могут помещаться на различных участках огнеупорной кладки. Измеряется сопротивление, величина которого зависит от температуры.

Если стержни расположить на некотором расстоянии  $h$ , то можно оценить степень разгара кладки.

Существует также метод косвенного определения температуры жидкого металла с помощью составления уравнения теплопроводности (рис. 4.4).

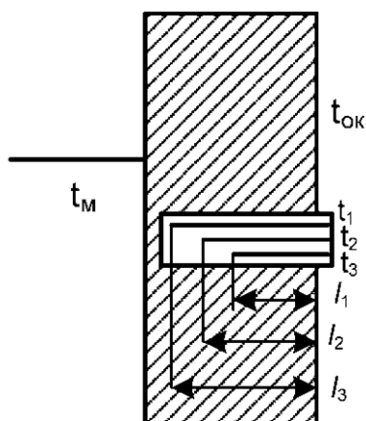


Рис. 4.4. – Косвенный метод измерения температуры жидкого металла.

Есть несколько термопар, которые замурованы в трубу и расположены на фиксированном расстоянии от среды и от друг друга.

Составляется уравнение теплопроводности для стенки определенной толщины. Вначале  $t_M$  берут произвольно и рассчитываются значения  $t_1, t_2, t_3$ . На величину разности с фактическими значениями корректируют расчетные, пока расчетные  $t_1, t_2, t_3$  не совпадут с фактическими. Полученная  $t_M$  будет верной.

Этот метод позволяет обеспечить непрерывный контроль температуры металла в процессе плавки. Надежность метода соизмерима с продолжительностью кампании огнеупорной кладки.

### 3. Управление технологическим процессом плавки в ДСП

Управление технологическим процессом плавки в ДСП осуществляется двумя подсистемами: управление электрическим режимом плавки и управление температурным режимом.

Главным источником тепловой энергии в ДСП является энергия, выделяемая в горящих дугах.

Электрические дуги представляют собой активные нагрузки, соединенные по схеме «звезда», где общей точкой является металлическая шихта или расплавленный металл.

Современные печи по удельной мощности печного трансформатора делятся на:

- печи низкой мощности до 250 кВт/т;
- печи средней мощности 400-600 кВт/т;
- печи сверхвысокой мощности более 600 кВт/т.

В печах низкой и средней мощности дуги проплавляют три

колодца.

В печах высокой и сверхвысокой мощности проплавляется один колодец.

Самым энергетически емким периодом плавки, когда потребляется до 65% всей потребляемой энергии, является период расплавления.

Управление энергетическим режимом в этот период имеет решающее значение.

Существуют следующие методы управления.

В ДСП для прямого контроля доступна только потребляемая дуговой печью (активная) мощность (рис. 4.5).

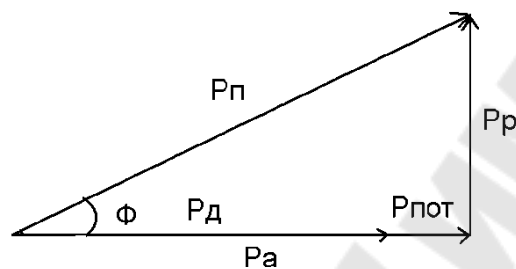


Рис. 4.5. – Векторная диаграмма мощности.

Активная мощность, усваиваемая печью, делится на:  $P_d$  - мощность, выделяемая в дуге;  $P_{\text{эл}}$  - мощность электрических потерь.

Мощность дуги делится на полезную мощность и мощность тепловых потерь.

Прямое измерение активной мощности не дает возможность управления электрическим режимом, так как существует экстремальная зависимость (рис.4.6).

В результате этого прямое контролируемое значение мощности дуги не используется при управлении, так как стабилизирующая система будет поддерживать затратный режим  $P_v$  (а не  $P_A$ ).

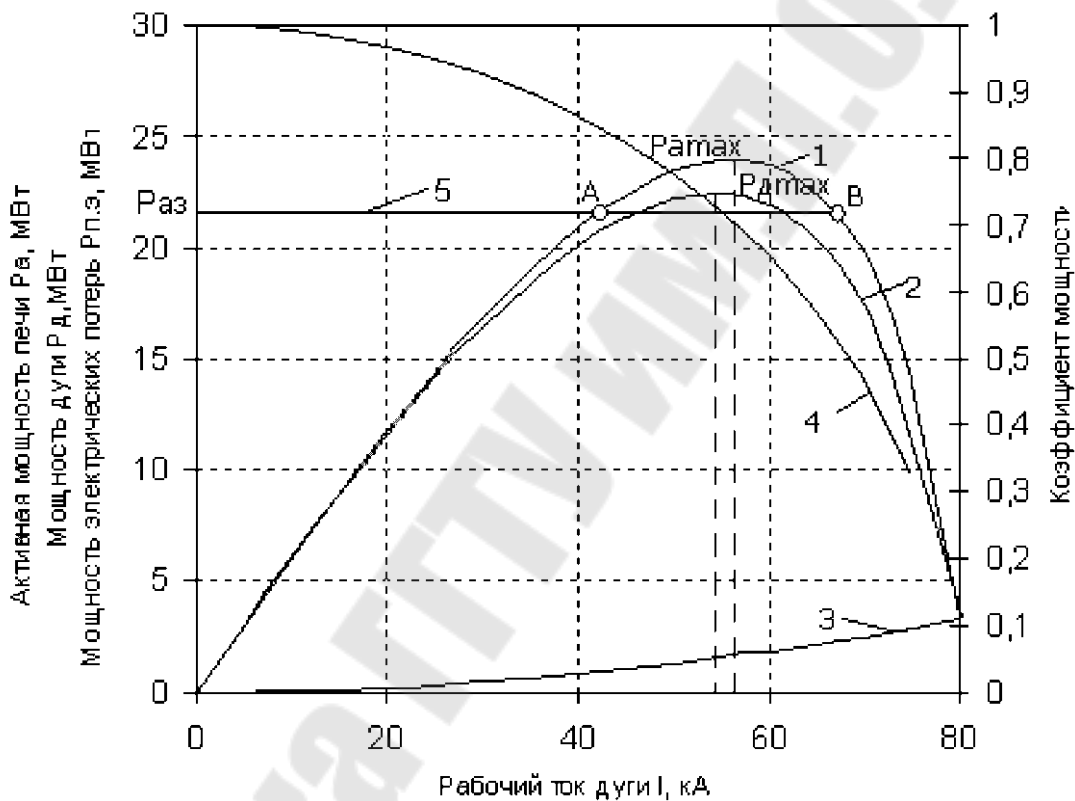
Поэтому на практике существует два способа управления энергетическим режимом: с помощью токового регулятора или с помощью дифференциального регулятора.

Токовый регулятор

Токовые регуляторы просты, надежны и эффективны. Так как текущее значение рабочего тока каждой фазы контролируется, то при управлении возможно использовать обычные стабилизирующие системы, в которых формирование сигнала рассогласования  $E$  пропорционально разности заданного тока и текущего тока (рис. 4.7).

Но, несмотря на простоту, данный метод обладает существенным недостатком, так как при автоматическом управлении при зажигании дуги возможна поломка электрода.

В момент включения печи в работу  $J_p^3$ , но  $J_p^{\text{тек}} = 0$ . Электроды пойдут вниз. В какой-то момент один электрод первым коснется шихты. Так как ток короткого замыкания при соединении в звезду не возникнет, пока шихты не коснется другой электрод, то первый электрод будет продолжать двигаться до поломки.



1 - активная мощность  $P_a$ ; 2 - мощность дуги  $P_d$ ; 3 - мощность электрических потерь  $P_{пэ}$ ; 4 - коэффициент мощности  $\cos \varphi$ ; 5 - заданная мощность  $P_{аз}$

Рис.4.6. График зависимостей заданной мощности  $P_{аз}$ , активной мощности  $P_a$ , мощности дуги  $P_d$ , мощности электрических потерь  $P_{пэ}$  и коэффициента мощности  $\cos \varphi$  от рабочего тока дуги для ДСП-180

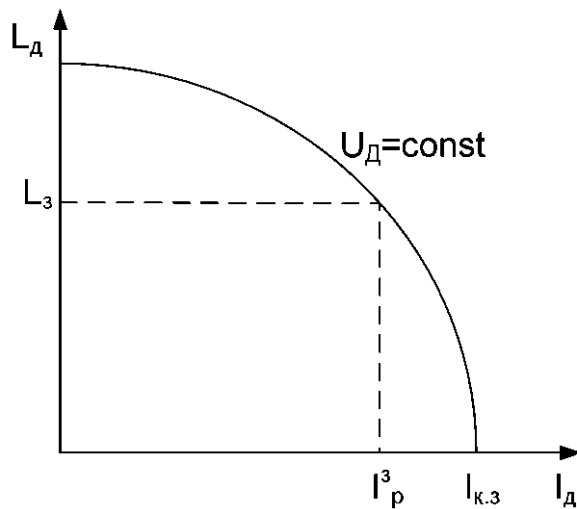


Рис. 4.7. – Зависимость длины дуги от рабочего тока дуги.

Для ликвидации недостатков токового регулятора был разработан дифференциальный регулятор.

Дифференциальный регулятор

Управление осуществляется путем поддержания определённого соотношения между величиной тока дуги и напряжением, подаваемым на электрод  $U_{\phi}$ :

$$A = a \cdot I - b \cdot U = b \cdot I(a/b - U/I) = b \cdot I(Z_0 - Z)$$

где  $Z$  - сопротивление дуги;

$a/b = Z_0$  - заданная величина сопротивления дуги.

По сути, дифференциальный регулятор регулирует импеданс (полное сопротивление) дуги, которое пропорционально величине рабочего тока.

Коэффициенты  $a$  и  $b$  определяют заданные параметры электрического режима (как бы заданное сопротивление дуги).

При выбранной степени напряжения регулирование электрического режима осуществляется и в токовом регуляторе и в дифференциальном регуляторе перемещением электрода, то есть изменением длины дуги (рис. 4.8). Но длину дуги измерить очень сложно, а ток можно мерить с любой точностью.

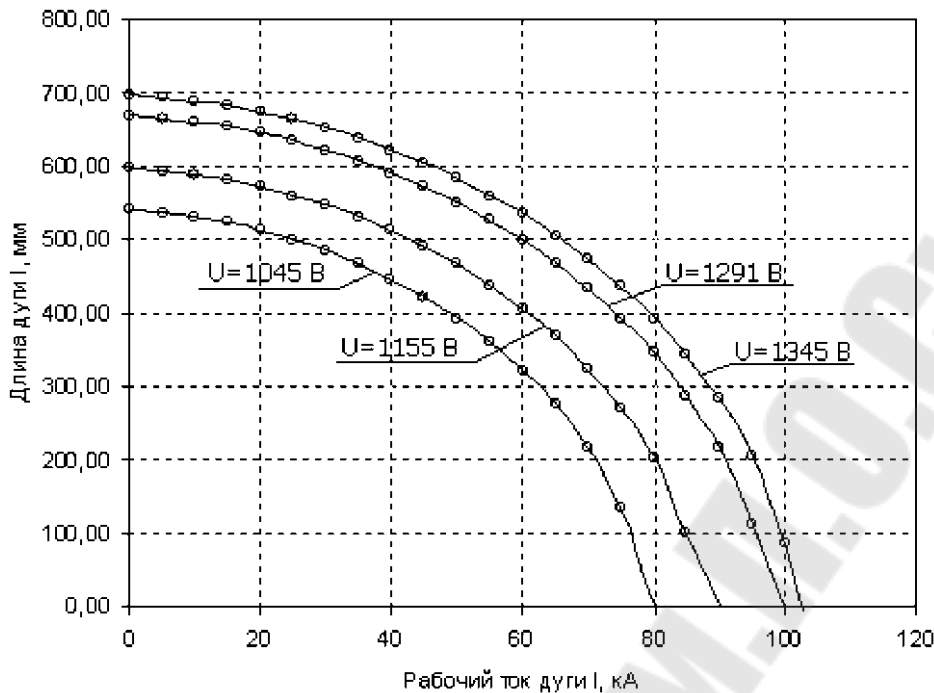


Рис. 4.8. – Зависимость длины дуги от силы при различных ступенях напряжения печного трансформатора для ДСП–180.

Существует множество способов реализации электрического режима. Наиболее простой метод управления электрическим режимом - метод с использованием электромагнитных усилителей, которые обеспечивают перемещение электродов с небольшой скоростью (до 30 мм в секунду), хотя современные тиристорные привода и электрогидравлические привода обеспечивают скорость до 300 мм/с.

Принципиальная схема управления электрическим режимом с помощью дифференциального регулятора представлена на рис. 4.9.

Сигналы, пропорциональные силе тока, с трансформатора ТТ, и напряжению с трансформатора ТН, алгебраически суммируются как падения напряжений на сопротивлениях  $R_T$  и  $R_N$ . Положение движков на этих сопротивлениях определяет заданное значение коэффициентов  $a$  и  $b$ . Сигнал, пропорциональный величине  $a$ , подается на обмотку управления ОУ электромагнитного усилителя (ЭМУ) с поперечным магнитным полем, которое вращается двигателем, при этом на выходе ЭМУ появляется сигнал, пропорциональный напряжению на обмотке ОУ. Этот сигнал подается в цепь якоря двигателя привода электрода. Обмотка возбуждения двигателя Д запитывается от постороннего источника напряжения.

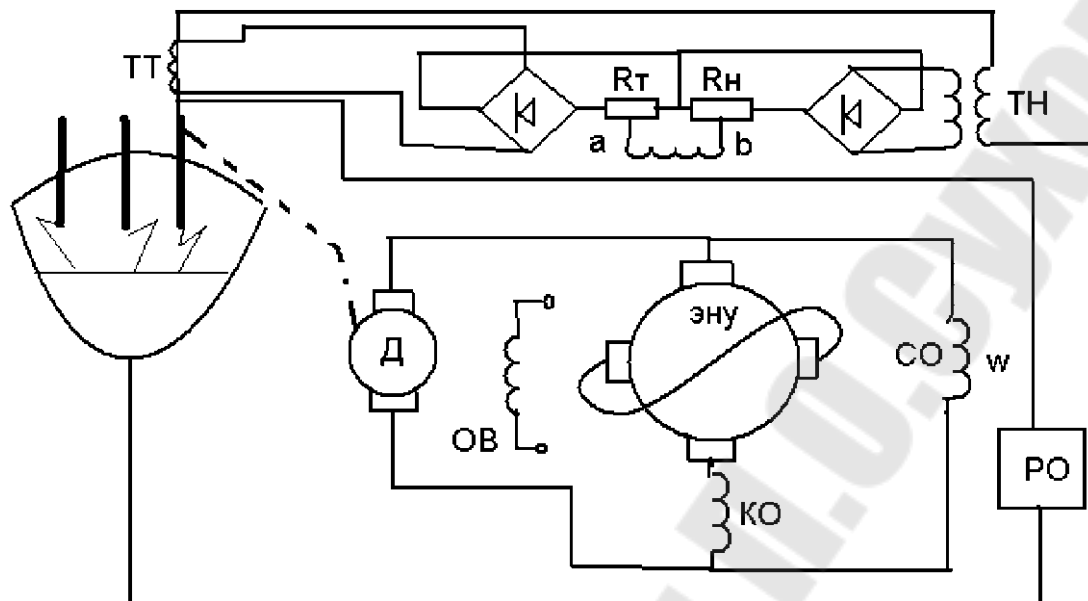


Рис. 4.9. – Принципиальная схема управления электрическим режимом с помощью дифференциального регулятора.

Компенсирующая обмотка КО и стабилизирующая обмотка СО предназначены для улучшения характеристик электромагнитного усилителя. ЭМУ обычно работают на маломощных печах и обеспечивают скорость перемещения электрода до 1,5 м/мин (25-30 мм/с).

Использование дифференциальной схемы с введением реле отключения РО позволяет осуществить автоматический пуск печи в работу. Это происходит следующим образом.

При подаче напряжения на электроды все они находятся в верхнем положении. Тока нет, а напряжение есть. Под действием этого сигнала электроды пойдут вниз. Так как длина их различна, то первый коснувшийся шихты электрод остановится, так как отключается реле РО. При касании электродов фазы шихты реле оказывается включенным параллельно цепи электрод-шихта. Переходное сопротивление электрод-шихта меньше, чем высокоомное сопротивление катушки РО, и она отключается. Электрод останавливается.

При касании вторым электродом шихты в обоих электродах возникает ток технологического короткого замыкания, и электроды начинают подниматься вверх (дуги горят). Третий электрод зажигается самостоятельно.



#### 4. Автоматизация температурного режима ДСП

В технологические периоды после расплавления шихты, определяющее значение приобретает управление электрическим режимом с учетом температурного состояния в ванне жидкого металла и огнеупорной футеровки.

Необходимые изменения температуры металла и огнеупорной кладки в процессе плавки зависят от марки выплавляемой стали. Так, температура высококачественных шарикоподшипниковых сталей может превышать 1700 °С.

Изменение температурного режима по ходу плавки регламентировано директивно (задано технологической инструкцией).

ДСП работает в нестационарном температурном режиме, при котором текущие значения температуры изменяются в очень широких пределах.

После выпуска стали огнеупорная кладка начинает интенсивно остывать (20 °С/мин). И после открытия свода для завалки шихты остывание идет с максимальной скоростью (это тепло теряется безвозвратно).

В процессе завалки значительная часть аккумулированного тепла кладки передается шихте. Поэтому продолжительность завалки оказывает существенное влияние на продолжительность плавления самого энергетически емкого периода плавки.

В первый период печь работает на пониженных ступенях напряжения из-за опасности перегрева свода печи. Затем, после того как электроды погрузятся в шихту, и шихта начнет воспринимать энергию, мощность начинает подводиться интенсивнее. При расплавлении все тепловое излучение дуги расходуется на нагрев шихты при максимально возможной эл. мощности. В окислительный период, когда в печь подается кислород, температура металла и особенно огнеупорной футеровки начинает интенсивно увеличиваться.

Скорость разогрева футеровки, особенно в районе горения дуг, можно ориентировочно определить соотношением:

$$V_t = \frac{P_{\text{под}}}{250} \cdot G$$

где  $P_{\text{под}}$  - подводимая мощность;

250-эмпирический коэффициент, [кВт мин/°С];

G-вес плавки.

Особенно тяжелые температурные условия возникают в рабочем пространстве ДСП в восстановительный период, когда дуги обнажены, металл нагрет практически до температуры выпуска, и все процессы разрушения огнеупорной футеровки (разъедания шлаком кирпичной кладки) происходят с максимальной скоростью, которая достигает до 15-25 мм/час.

Для сохранения целостности огнеупорной кладки и достижения требуемой температуры металла управление электрическим режимом как источником тепловой энергии сводится к коррекции электрического режима по температуре металла или рабочей кладки.

Существует несколько способов формирования величины корректирующего воздействия электрического режима по температурному состоянию.

В НПО "Черметавтоматика" разработан метод коррекции директивного значения подводимой к печи мощности (активной) путем расчета корректирующей поправки, которая определяется в зависимости от отклонения действительного значения температуры металла от заданного значения:

$$\Delta P = \frac{G \cdot C \cdot (t_3 - t_m(\tau))}{860 \cdot \Delta \tau \cdot h}$$

в соответствии с выражением  $P(\tau) = P_3(\tau) \pm \Delta P$ ,

где  $P_3(\tau)$  - заданное значение подводимой мощности;

$\Delta P$  - корректирующая поправка;

$G$  - вес садки металла в ДСП;

$C$  - удельная теплоемкость;

$t_3$  - заданное значение температуры;

$t_m(\tau)$  - текущее значение температуры;

860- эмпирический коэффициент;

$\Delta \tau$  – интервал времени, в течение которого температура металла должна достичь заданного значения. Этот интервал времени определяется дискретностью периодического замера температуры термопарой погружения;

$h$  - коэффициент усвоения тепловой энергии металла (определяется экспериментально).

Расчет поправки  $\Delta P$  осуществляет автоматический регулятор температурного режима, который вырабатывает корректирующий сигнал регулятору электрического режима, если поправка может быть

осуществлена в небольших пределах.

В основном корректируется степень напряжения путем воздействия на переключатель ступени напряжения.

Недостатком данного метода является то, что отсутствует связь между коэффициентом усвоения энергии металлом и подводимой электрической мощностью. Для ликвидации данного недостатка Киевским Политехническим Университетом предложен метод для расчета корректирующей поправки  $\Delta P$  с учетом изменения коэффициента усвоения в зависимости от подводимой в печь мощности.

$$h = \frac{P_{\text{усвоен}}}{P_{\text{подвод}}};$$

$$P_{\text{усвоен}} = P_{\text{акт}} - P_{\text{потерь}};$$

$$P_{\text{потерь}} = I^2 R$$

Данный метод использован при выполнении условия непрерывного измерения температуры металла в процессе плавки. Недостатком является то, что не предусмотрена корректировка по температуре кладки.

5. Функциональная схема контроля и регулирования процесса выплавки стали в ДСП

Для управления технологическими параметрами в ДСП схемой предусматривается (рис. 4.10):

1 - контроль уровня сыпучих материалов: извести, раскислителей и легирующих добавок в основных резервных и расходных бункерах.

Обычно контроль осуществляется позиционными датчиками, которые фиксируют максимальный и минимальный уровни материалов в бункерах.

2 - контроль уровня и наличия материала (веса) в загрузочном бункере для подачи материала через загрузочный люк в ДСП.

В качестве датчика используются тензометрические преобразователи. Загрузочный люк обычно закрыт, при открытии люка включается азотная завеса.

3 - измеряется вес шлакообразующих, извести, руды в расходных бункерах при подаче их в загрузочные емкости.

В качестве датчиков веса используются тензометрические устройства, которые устанавливаются на специальных опорах под бункерами (по три на каждый бункер).

4 - управление дозаторами для подачи нужного сыпучего материала в печь в определенные периоды плавки.

5 - устройство для подачи определенной массы материала в печь.

Как правило, в ДСП используются индивидуальные схемы управления дозированием материала.

Подача материалов из расходных бункеров в загрузочные осуществляется ленточными транспортерами, управление которыми заблокировано с управлением питателями для каждого компонента по схеме: выбор расходного бункера - включение питателя с контролем отбираемого веса - включение ленточного транспортера для передвижения материала в загрузочный бункер. Расходных бункеров много, загрузочный бункер только один.

6 - измерение температуры огнеупорной кладки в районе горения дуг каждой фазы.

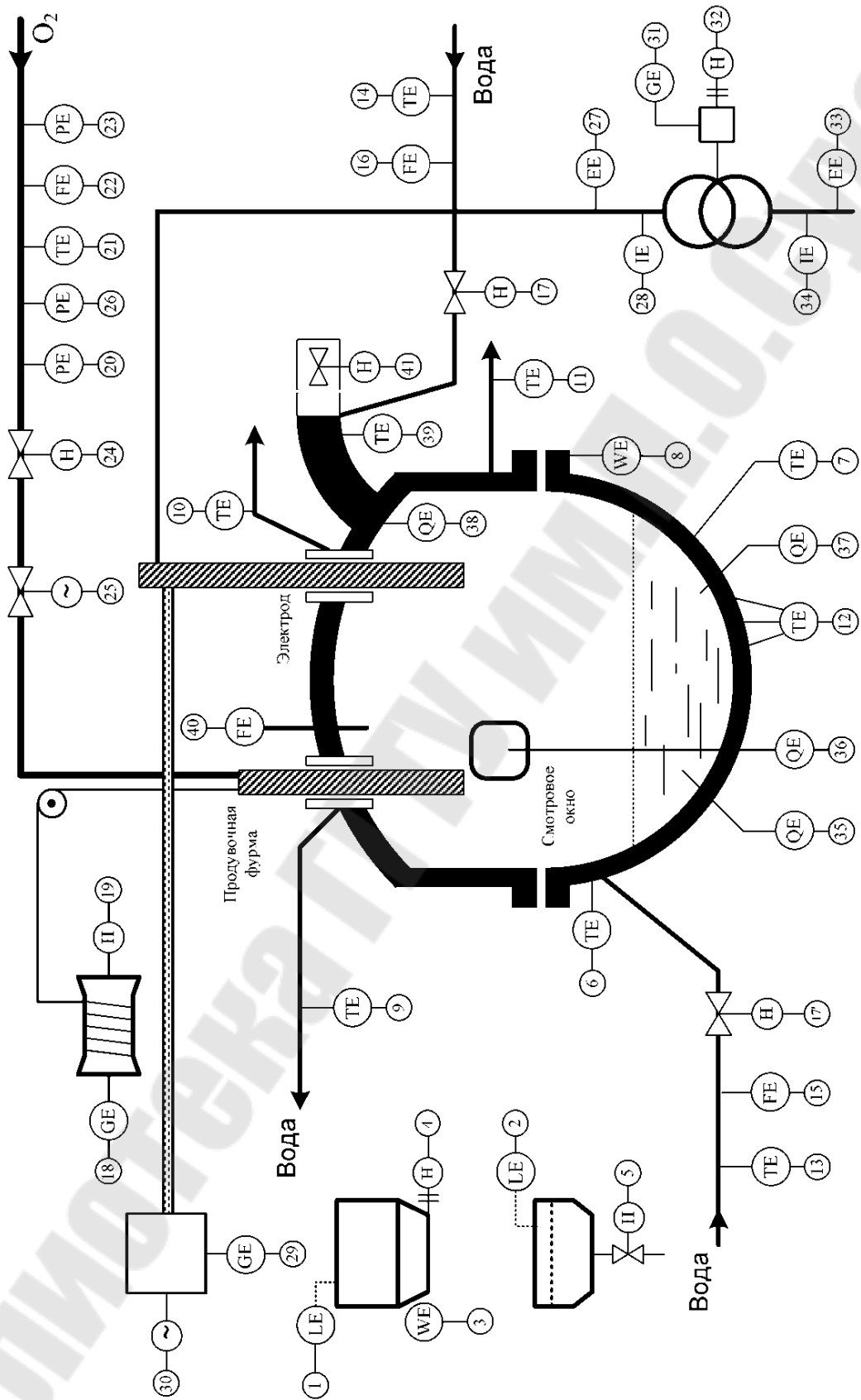


Рис. 4.10 – Функциональная схема контроля и регулирования процесса выплавки стали в ДСП

Для защиты огнеупорной кладки от перегрева в районе горения дуг устанавливаются водоохлаждаемые панели.

7 - измеряется температура жидкого металла с помощью стационарно установленной термопары одним из рассмотренных ранее методов.

Кроме данного метода, измерение температуры металла в конце расплавления и перед выпуском металла осуществляется термопарами погружения (ручным замером).

8 - измерение с помощью тензометрических устройств общей массы печи, шлака и металла.

Такой метод измерения позволяет контролировать массу первичного шлака, который удаляется из печи («скачивается») по расплавлении шихты.

9 - измеряется и регистрируется температура охлаждающей воды, используемой для охлаждения продувочной фурмы (датчик ТСМ).

Для интенсификации окислительных процессов в ДСП металл после расплавления шихты продувается кислородом.

ДСП-180 ОАО ММК дополнительно снабжены газокислородными горелками-фурмами. Через них можно подать в печь газ, сжигая который, можно обеспечить плавку металла.

10 - измеряется температура воды, используемой для охлаждения свода и амбразур для ввода электродов в печь и одновременно температуры воды, используемой для охлаждения газоотводящего патрубка для отвода плавильных газов из печи.

Для каждого из названных элементов (3-4 датчика) используются индивидуальные датчики для контроля систем охлаждения (для предотвращения выпадения солей в патрубках).

11 - измеряется температура охлаждающей воды на сливе из каждой водоохлаждаемой панели, установленной в районе горения дуг.

В качестве датчиков используются термометры сопротивления. Все температуры воды на сливе каждого элемента протоколируются (фиксируются) системой централизованного контроля и заносятся в базу данных.

12 - измеряется температура кладки днища ДСП в районе горения дуг каждой фазы.

13 - измеряется температура охлаждающей воды, используемой на охлаждение элементов нижнего строения печи.

По разности температур на входе и выходе каждого охлаждаемого элемента можно судить об интенсивности охладителя и соответственно регулировать расход охлаждающей воды.

14 - регулирование расхода охлаждающей воды.

Аналогично с этой же целью измеряется температура охлаждающей воды на входе для элементов верхней части ДСП.

Вместо температуры можно использовать датчики давления.

15, 16 - измеряется расход охлаждающей воды на элементы нижнего и верхнего уровня печи.

17, 17' - регулируется расход охлаждающей воды на элементы верхнего и нижнего строения печи.

18, 19 - измеряется и регулируется положение продувочной кислородной фурмы относительно жидкой ванны металла.

В качестве датчика первичного положения продувочной фурмы используется (аналогично для конвертерного производства) импульсный трансформатор.

Регулирование положения продувочной фурмы осуществляется по известным схемам. Рациональным положением фурмы является ее расположение на границе шлак- металл.

20, 25 - измеряется давление кислорода на продувочную фурму.

Этот технологический параметр очень важен при использовании кинетической энергии струи кислорода для перемешивания ванны. Кроме того, давление кислорода используется в системе аварийной отсечки при нарушении технологического режима.

Учитывая, что кислород является дорогостоящим продуктом, измеряемое давление используется для коррекции действительного расхода по давлению кислорода и этот параметр является хозрасчетным.

21 - измеряется и регистрируется температура кислорода, подаваемого на газокислородные фурмы.

Этот импульс используется также для коррекции расхода по температуре.

22 - измеряется и регистрируется расход кислорода на продувочную фурму.

В начале окислительного периода плавки кислород является основным источником тепла, за счет экзотермических реакций окисления примесей расплава металла. В этот период электрическая мощность, подводимая к печи, значительно (на 60- 70%) уменьшается по сравнению с максимальной мощностью периода расплавления.

23 - измеряется и регистрируется количество кислорода, подаваемое в ДСП в период плавки.

Количество кислорода, поданного в ДСП, используется для прогнозирующих расчетов содержания углерода в расплавленном металле. По количеству кислорода возможно прекращение продувки металла и переход к периоду рафинирования (к восстановительному периоду).

24 - регулируется расход кислорода на продувочные фурмы и газокислородные фурмы.

Регулирование осуществляется по пропорционально-интегральному закону с использованием контроллера.

25 - аварийная отсечка кислорода.

26 - отсечка кислорода осуществляется быстроходными исполнительными или пневматическими или гидравлическими исполнительными механизмами.

27 - измеряется напряжение питания каждого электрода с низкой стороны печного трансформатора.

Параметр используется в схеме регулирования энергетического режима в каждой фазе питающего напряжения.

Для измерения напряжения и гальванического разделения цепей питания и контроля используются измерительные трансформаторы напряжения ИТН.

28 - измеряется и регистрируется величина рабочего тока в каждой фазе печного трансформатора.

Величина рабочего тока в каждой фазе при выбранной ступени напряжения питания зависит от длины дуги. Управление величиной рабочего тока осуществляется путем перемещения электрода (изменения длины дуги).

Для гальванического разделения силовых цепей и измерительных каналов схемы управления применяются токовые трансформаторы ТТ (катушки Роговского).

29 - контролируется положение каждого электрода относительно определенного фиксированного уровня.

В процессе электроплавки электроды постепенно сгорают и разрушаются. Поэтому за положением электрододержателей установлен жесткий контроль крайних положений, ограниченных концевыми выключателями.

30 - управление перемещением каждого электрода.

Это необходимо для управления подводимой электрической



мощностью для выбранной ступени напряжения. Перемещение электрода на современных печах осуществляется с помощью реечных механизмов или гидравлическими системами.

В процессе плавки, особенно в период расплавления, дуги горят неустойчиво. Для ликвидации обрывов дуги и технологических коротких замыканий скорость перемещения электрода должна быть достаточно большой (автоматический режим 80-120 мм/мин, ручной режим - до 300 мм/мин).

31 - контролируется текущее положение переключателей ступеней печного трансформатора.

32 - управление положением переключателя ступеней печного трансформатора.

Управление осуществляется дистанционно или автоматически в зависимости от определителя стадий или периода плавки.

В технологические периоды плавки управление переключателем ступеней осуществляется в зависимости от температурного режима.

33 - измеряется напряжение, подводимое к печному трансформатору с высокой стороны (более 10кВт).

34 - измеряется величина тока печного трансформатора в каждой фазе.

35 - контролируется химический состав металла в ДСП.

Контроль осуществляется отбором проб и химическим анализом этих проб. Это связано с определенными трудностями. Поэтому разработаны несколько методов непрерывного контроля состава металла.

Во Франции на опытной лабораторной печи используется метод спектрального анализа, суть которого заключается в возбуждении дуги от специального электрода и по излучению дуги контролируется состав (Mn, Si, S, P).

В Японии для возбуждения дуги используется мощный рубиновый лазер.

Недостаток методов: так как в печной атмосфере есть CO и CO<sub>2</sub>, то углерод этих газов искажает показания приборов.

36 - контролируется методом отбора проб состав первичного (после окислительного периода) и вторичного (конечного) шлака, который обеспечивает требуемый процесс дефосфорации и десульфации.

37 - контролируется химический состав металла с использованием современных технических средств.

Для ускорения процесс определения состава металла современные квантометры устанавливаются на мобильные установки (автомобили) и размещаются непосредственно в цехе.

38 - контролируется состав отходящих плавильных газов на содержание  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2$ .

Данные анализы используются для прогнозирования содержания углерода.

39 - контролируется температура отходящих плавильных газов с использованием термопары.

По температуре отходящих газов можно косвенно определить тепловое состояние рабочего пространства ДСП.

40, 41 - контролируется и регулируется давление в рабочем пространстве ДСП.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На какое количество технологических периодов делится технологический процесс выплавки стали в ДСП.

2. Назовите технологические периоды на которые делится технологический процесс выплавки стали в ДСП.

3. Охарактеризуйте окислительный период плавки стали в ДСП.

4. Охарактеризуйте восстановительный период плавки стали в ДСП.

5. Какие мероприятия проводят в межплавочный простой.

6. Стадии плавления шихты в ДСП.

7. Для чего предназначена подача кислорода в ДСП в период расплавления шихты.

8. Что имеет решающее значение при автоматизации технологического процесса выплавки стали в ДСП.

## Лабораторная работа №5 Автоматизация процессов внепечной обработки металла.

Цель работы - изучение методов автоматизации технологического процесса доводки стали в установках печь-ковш

Теоретическая часть.

### 1. Назначение процесса ковшевой доводки стали

Необходимость внепечной (ковшевой) доводки стали, особенно по химическому составу, возникла во второй половине 19 века в связи с появлением и интенсивным развитием конвертерного процесса при производстве стали.

В конвертерах возможна в основном только операция окислительного рафинирования расплава, то есть получение полупродукта, требующего, по крайней мере, проведения процедуры раскисления, то есть удаления кислорода, неизбежно накапливающегося в расплаве при окислительном рафинировании.

Целью ковшевой доводки стали является:

- доведение до требуемого конечного значения химического состава выплавляемой стали;
- обеспечение требуемой для нормальной разливки температуры готовой стали;
- обеспечение однородности (гомогенности) расплава по указанным ранее параметрам.

Для предотвращения значительного снижения температуры металла было выработано основное правило для ввода в ковш раскисляющих и легирующих добавок: если количество подаваемых в ковш добавок более 1,5% от массы стали в сталеразливочном ковше, то они должны подаваться в ковш подогретыми (желательно в жидком виде).

С развитием технологии непрерывной разливки стали и в связи с этим возникшей необходимостью значительного повышения производительности сталеплавильных агрегатов возникла потребность доводки стали в ковше не только по химическому составу, но и по температуре.

Доводка стали по температуре связана в основном с нагревом металла до требуемой технологической температуры.

Гомогенизация (усреднение) металла по химическому составу и температуре частично обеспечивается при естественном перемешивании металла в ковше падающей струей металла, выпускаемого из сталеплавильного агрегата.

Часто этого естественного перемешивания оказывается недостаточно, так как некоторые раскисляющие и легирующие добавки вводятся в металл непосредственно в процессе ковшевой доводки стали. В этом случае дополнительное перемешивание металла в ковше обеспечивается продувкой металла инертным газом (аргоном).

Главную задачу внепечной обработки стали можно сформулировать так: осуществление ряда технологических операций быстрее и эффективнее по сравнению с решением аналогичных задач в обычных сталеплавильных агрегатах.

Определенную позитивную роль в распространении способов внепечной обработки стали имеет то обстоятельство, что эти способы позволяют коренным образом изменять структуру и тип потребляемых ферросплавов и раскислителей в направлении значительного снижения требований к их составу и соответственно к их стоимости.

Например, использование способа аргонно-кислородной продувки позволило перерабатывать высокоуглеродистые ферросплавы и отказаться от использования дорогих низкоуглеродистых сплавов.

Наиболее удобным видом энергии для подогрева металла в сталеразливочном ковше в процессе доводки стали является электрическая энергия.

В мировой металлургической практике с 1965 по 1967 гг. фирмы АСЕА-СКФ и Финкл-Мор впервые использовали установки печь-ковш, оснащенные средствами для регулирования (управления) подогревом металла при осуществлении рафинирования и доводки стали.

Преимущество установок печь-ковш в расширении возможности управления физико-химическими процессами и реализации ресурсо- и энергосберегающих технологий является убедительным основанием для широкого применения этих установок в металлургии.

2. Технологические особенности процесса доводки стали в установках печь-ковш

Возможность нагрева металла в ковше позволяет:

- уменьшить перегрев металла в сталеплавильном агрегате;
- провести раскисление-легирование с повышенным расходом материалов;
- обеспечить глубокую десульфурацию стали за счет наводки высокоосновного восстановительного шлака.

На установке печь-ковш более эффективно используется продувка металла аргоном. Эта продувка способствует не только дегазации и перемешиванию металла, но и существенно улучшает условия взаимодействия металла и шлака, то есть десульфурации металла.

По существу современные установки печь-ковш позволяют эффективно провести доводку стали с использованием всех приемов (кроме вакуумирования) ковшевой доводки. Это на настоящий момент самые совершенные установки, используемые для внепечной обработки стали.

Исторически и практически сложилось так, что основное количество агрегатов печь-ковш в связи с простотой технической реализации работают на переменном токе, хотя использование постоянного тока имеет явные преимущества.

Основное преимущество установок постоянного тока заключается в исключении эффекта мерцания (фликер-эффекта) электрической дуги. Вследствие этого практически не создаются помехи во внешних цепях других потребителей электрической энергии.

Дуга постоянного тока за счет стабилизации дугового разряда создает меньший шум по сравнению с дугой переменного тока.

При постоянном токе через графитированный электрод можно пропускать ток большей величины и при этом расход электродов значительно (в 1,5-2 раза) меньше, чем в установках переменного тока.

При работе УПК на постоянном токе появляется возможность осуществлять глубокое рафинирование металла с меньшим расходом реагентов, ускорить процесс десульфурации и сократить длительность цикла обработки.

Большая в 1,2-1,5 раза плотность тока, чем при переменном токе, способствует увеличению скорости нагрева металла в УПК постоянного тока.

Установки печь-ковш постоянного тока можно подключать к

менее мощным энергосистемам, чем УПК переменного тока.

Несмотря на высказанные очевидные преимущества УПК постоянного тока перед УПК переменного тока широкому использованию этих установок препятствуют значительные (практически непреодолимые) трудности в организации подвода электрической мощности к УПК, особенно к днищу сталеразливочного ковша в условиях использования донной продувки.

Для обеспечения условий глубокой десульфурации металла можно использовать установки печь-ковш с плазменным нагревом металла.

Поскольку в плазмотроне используется мало расходуемый вольфрамовый электрод, а в качестве плазмообразующего газа - аргон, газовая среда в рабочем пространстве УПК характеризуется высокой чистотой. Это позволяет обрабатывать ультранизкоуглеродистые или другие качественные марки стали, чувствительные к загрязнениям, например стабилизированные титаном.

При такой обработке не происходит насыщение стали  $H_2$  и  $N_2$  и обеспечивается более точное регулирование химического состава стали. Использование плазменного нагрева является перспективным, но очень дорогим процессом, обеспечивающим высокое качество стали за счет снижения в ней нежелательных примесей.

В качестве конкретного примера автоматизации и оптимизации управления процессом внепечной доводки стали рассмотрим АПК, установленный в кислородно-конвертерном цехе (ККЦ) ОАО «ММК».

В ККЦ ОАО «ММК» в 2000 г. введена в эксплуатацию установка печь-ковш немецкой фирмы «ФУКС-СИСТЕМТЕХНИК» вместимостью 375 т с мощностью трансформатора 45 МВА.

Технологическая схема установки печь-ковш приведена на рис.5.1.

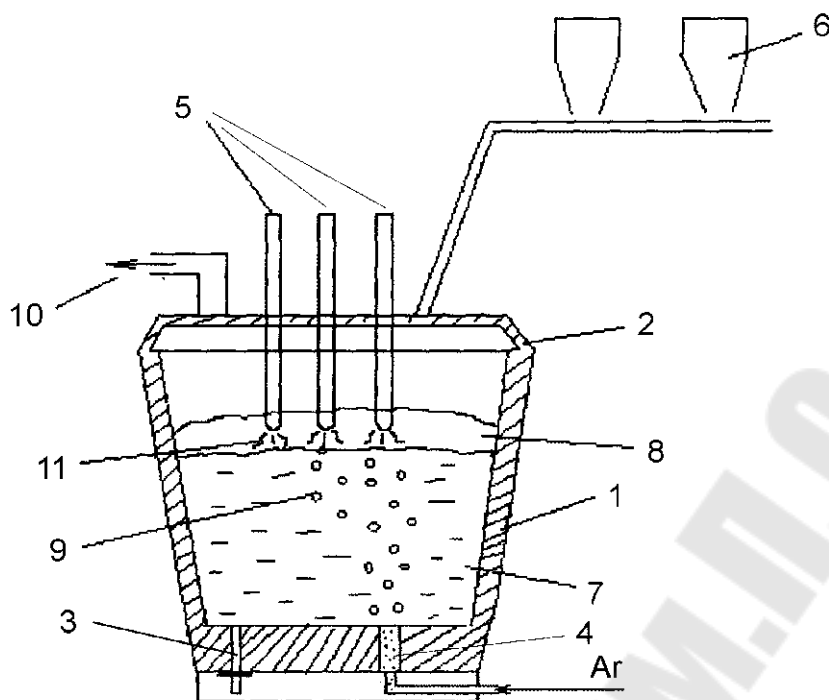


Рис.5.1. Схема установки печь-ковш

1 - ковш; 2 - крышка; 3 - шибберный затвор; 4 – пористая пробка; 5 - электроды; 6 - бункер для сыпучих; 7 - жидкий металл; 8 - основной восстановительный шлак; 9 - пузыри аргона; 10 - отходящие газы; 11 - электрическая дуга

Повышению производительности установки печь-ковш (УПК) способствует обслуживание двух стенов одним трансформатором и одним комплектом электродов с поворотными электрододержателями (двухпозиционная установка).

Для регулирования химического состава металла предусмотрено:

- продувка металла аргоном через два пористых блока в днище ковша и через погружную водоохлаждаемую фурму;
- подача в ковш всех сыпучих материалов, необходимых для наведения шлака, раскисления-легирования и науглероживания металла в автоматическом режиме.

Пуск в эксплуатацию установки печь-ковш в ККЦ ОАО «ММК» прежде всего упростил решение наиболее сложной технологической задачи - получение стали с особо низким содержанием (<0,005%) серы.

Наиболее важные положения технологии доводки стали на УПК сводятся к следующим операциям и приемам.

Выпуск плавки совмещают с основным раскислением-

легированием из расчета получения в металле концентрации необходимых элементов по нижнему пределу их содержания в готовой стали.

Во время выпуска плавки металл продувается аргоном через дно ковша, чтобы обеспечить повышенную скорость расплавления присаживаемых материалов и гомогенизацию металла по химсоставу и температуре.

В конце выпуска необходимо осуществить качественную отсечку конвертерного шлака. Попадание в ковш значительных количеств конвертерного шлака приводит к серьезным отрицательным последствиям:

- усложняет условия для наводки нового шлака в ковше, то есть ухудшает процесс десульфурации металла;

- приводит к повышению содержания фосфора в металле, поскольку весь фосфор конвертерного шлака переходит в металл при наводке восстановительного шлака.

Уровень налива металла в ковш должен быть не менее 500 мм от верхней кромки, поскольку в ковше наводится шлак толщиной 100-150 мм. Кроме того, во время продувки металла аргоном металл и шлак находятся во вспученном состоянии из-за находящихся в них пузырей аргона.

Доводка металла в УПК начинается с первоначальной продувки его в течение 1-2 мин. После этого производится измерение температуры и окисленности металла.

С учетом полученного содержания кислорода в металл с помощью трайб-аппарата вводится расчетное количество алюминиевой катанки (проволоки) для осуществления предварительного раскисления металла.

После этого приступают к наводке восстановительного шлака, присаживая известь и плавикový шпат порциями не более 150 г (общий расход до 10 кг/т) для ковша емкостью 170-180 т.

После получения жидкого шлака его раскисляют алюминием, расходуя 0,2-0,3 кг/т. Наводка шлака продолжается примерно 5 мин. По окончании наводки шлака через 3 мин продувки отбирают пробы металла, шлака и измеряют температуру.

После получения результатов химического анализа металла производят основную корректировку его химического состава присадкой необходимого количества раскисляющих и легирующих добавок из расчета получения среднего содержания элементов в



стали.

Затем металл продувают для перемешивания не менее 5 мин.

После гомогенизации снова отбирают пробу металла и измеряют температуру. По результатам измерения осуществляют дополнительную окончательную корректировку химсостава и температуры стали.

Высокоактивные легирующие элементы в виде порошковой проволоки вводят в металл только после окончания последнего цикла нагрева металла.

Погружная водоохлаждаемая продувочная фурма используется только тогда, когда донная подача аргона нарушена.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение процесса ковшевой доводки стали.
2. Что является целью ковшевой доводки стали.
3. Основное правило для ввода в ковш раскисляющих и легирующих добавок.
4. Чем обусловлена необходимость в продувке металла инертным газом в ковше.
5. Преимущество способа аргонно-кислородной продувки металла в ковше.
6. Технологические особенности процесса доводки стали в установках печь-ковш.
7. Преимущества нагрева металла в ковше.
8. Мероприятия применяемые для регулирования химического состава металла в установках печь-ковш.

## Лабораторная работа №6 Автоматизация процессов разливки металла.

Цель работы - изучение методов автоматизации теплового и технологического режима процесса разливки стали на МНЛЗ.

Теоретическая часть.

### 1. Методы разливки стали

За небольшой интервал времени в металлургии произошла смена нескольких способов разливки стали.

1. Самым трудоемким процессом разливки стали является сифонный метод.

2. Разливка сверху в слитки - состав с пустыми изложницами продвигается под промежуточный ковш, из которого металл сверху заливается в две-три изложницы одновременно. При высоте изложниц 1,5 - 2,0 м первые порции металла в виде брызг оставались на поверхности изложниц.

3. Самым современным способом разливки стали является разливка стали на машинах непрерывного литья заготовок МНЛЗ, когда жидкий металл через промежуточный ковш заливается в водоохлаждаемый кристаллизатор, из которого попадает в зону вторичного охлаждения, откуда вытягивается с регулируемой скоростью.

Существуют машины для отливки слябовых заготовок (для получения листового проката) и для отливки сортовых заготовок.

Сифонный способ и разливка в слитки практически не поддаются автоматизации, так как связаны с применением ручного труда и являются практически отживающими методами разливки стали.

В настоящее время разработаны и внедрены прокатно-литейные агрегаты, которые позволяют в одной технологической линии совместить процесс разливки и прокатки, так как физического тепла жидкой стали достаточно, при правильном рациональном режиме, чтобы обеспечить температуру начала прокатки в чистовой клети стана более 1000°C (1100-1150°C).

В последнее время начинают появляться энергосберегающие методы разливки.

### 2. Управление тепловым режимом при разливке металла на

## МНЛЗ

Главной задачей, решаемой в процессе разливки стали на МНЛЗ, является получение на выходе из водоохлаждаемого медного кристаллизатора заготовки, толщина застывшей корочки металла в которой обеспечивает нормальное вытягивание заготовки из кристаллизатора.

Система управления режимом охлаждения делится на два технологических участка:

1. Режим управления кристаллизатором.
2. Режим охлаждения в зоне водяного (вторичного) охлаждения.

Основные требования, предъявляемые к режиму охлаждения кристаллизатора:

1. Расход охлаждающей воды должен исключить перегрев воды, который вызывает отложение солей в кристаллизаторе, тем самым ухудшая теплообмен. Температура воды на выходе из кристаллизатора не должна превышать 50-60 °С.
2. При выходе слитка из кристаллизатора толщина застывшей корочки металла должна быть достаточной для исключения прорыва жидкого металла при действии ферростатического давления.
3. Распределение интенсивности охлаждения по длине и периметру отливаемой заготовки должно обеспечивать отсутствие значительных перепадов температур, от величины которых зависит величина термических напряжений, возникающих в слитке.

На теплообмен между слитком и кристаллизатором влияет много факторов:

- марка стали;
- температура стали;
- скорость разливки;
- конструктивные особенности кристаллизатора.

В кристаллизаторе должен поддерживаться постоянный уровень жидкого металла, и этот объект управления является астатическим, так как любое нарушение между притоком металла из промежуточного ковша и вытягиванием слитка из кристаллизатора приводит к нарушению теплового режима кристаллизатора.

Из всех факторов переменными для конкретного кристаллизатора являются расход и температура охлаждающей воды, а также скорость вытягивания слитка.

В кристаллизаторе охлаждение металла крайне неравномерно и делится на три зоны.

Вначале жидкий металл контактирует со стенками кристаллизатора. Плотность теплового потока при этом составляет 3-8 МВт/м<sup>2</sup> площади. В результате интенсивного охлаждения слиток несколько отходит от стенки кристаллизатора и появляется газовый зазор. Плотность теплового потока падает до 0,7-0,9 МВт/м<sup>2</sup> площади. В результате дальнейшего нагрева металла слиток вновь расширяется и касается стенок кристаллизатора, но на короткое время. Затем заготовка окончательно отходит от стенок кристаллизатора и в нижней части кристаллизатора устанавливается стационарный режим с плотностью теплового потока 0,3-0,5 МВт/м<sup>2</sup>.

Практикой установлено, что толщина затвердевшего слоя металла определяется эмпирической формулой:

$$\delta = (\tau) \cdot k,$$

где  $\tau$  - время движения слитка от верхнего уровня жидкого металла;

$k$  - коэффициент затвердевания.

Учитывая сказанное, основной задачей при управлении тепловым режимом кристаллизатора является обеспечение требуемой толщины затвердевшего металла на выходе из кристаллизатора.

Это управление осуществляется путем отвода определенного количества тепла за счет вычисления количества этого тепла в соответствии с выражением:

$$Q = \int_0^{\tau_k} q(\tau) d\tau,$$

где  $\tau_k$  - время пребывания металла в кристаллизаторе.

Так как время пребывания металла в кристаллизаторе обратно пропорционально скорости разливки, то существует жесткая связь между размерами отливаемых заготовок и количеством тепла, отнимаемого от заготовок.

Для предотвращения приваривания металла к стенкам кристаллизатора (температура плавления меди 600-700°C), кристаллизатор совершает возвратно-поступательные движения: замедленное движение вниз (2/3 времени) и быстрый возврат в исходное положение.

На выходе из кристаллизатора наступает вторая стадия охлаждения. Для предотвращения деформации слитка от

ферростатического давления по ходу заготовки и изгибу ее используется система поддерживающих роликов. Водовоздушная смесь подается между роликами на поверхность заготовок, причем соотношение сжатый воздух - вода меняется по длине заготовки.

На выходе из кристаллизатора больше воды, меньше воздуха. Затем это соотношение постепенно уменьшается. На конечных секциях вода не подается, а заготовка охлаждается за счет естественного охлаждения.

В настоящее время ведутся работы по оптимизации управления процессом охлаждения. Необходимо получить на выходе из МНЛЗ заготовку с заданным температурным распределением и обеспечить равномерное ее охлаждение с целью предотвращения возникновения термических напряжений, которые являются главной причиной появления поверхностных и внутренних дефектов.

В настоящее время управление тепловой работой в зоне вторичного охлаждения ЗВО осуществляется с использованием жестко-программируемых автоматизированных систем.

Для каждой марки стали и для каждого размера отливаемой заготовки экспериментально находятся режимы распределения водовоздушной смеси по секциям ЗВО. Это заданное состояние в зависимости от скорости разливки также изменяется по специальным программам.

### 3. Энергосиловой режим работы МНЛЗ

Энергосиловой режим работы МНЛЗ должен обеспечивать качественную поверхность отливаемой заготовки и предотвращать разрыв затвердевшей оболочки в процессе перемещения заготовки.

Между поверхностью кристаллизатора и слитком существуют значительные трения. Целью управления энергосиловым режимом является согласование усилий вытягивания слитка и прочности слоя застывшего металла на разрыв.

На криволинейных МНЛЗ усилие возрастает по мере удаления металла из кристаллизатора, и равномерное распределение нагрузки на тянущие и изгибающие ролики является основной целью и задачей управления энергосиловым режимом работы МНЛЗ.

Глобальной целью управления тепловым и энергосиловым режимами является обеспечение условий полного затвердевания заготовки при подходе ее к резаку.

### 4. Функциональная схема контроля и регулирования процесса разливки стали на МНЛЗ

Схемой автоматизации теплового и технологического режима МНЛЗ предусмотрено (рис. 6.1, 6.2):

1 - измерение температуры жидкой стали в сталеразливочном ковше.

Измерение осуществляется стационарно установленной термопарой.

2 - измерение температуры жидкой стали в сталеразливочном ковше резервной термопарой погружения при возникновении аварийной ситуации.

3,4 - измеряется и регулируется уровень металла в промежуточном ковше.

Промежуточный ковш необходим для разделения разливки на ручки и для обеспечения возможности замены сталеразливочных ковшей, не прерывая процесса разливки. Регулирование уровня в ковше осуществляется изменением расхода металла из сталеразливочного ковша.

5,10 - измеряется и регулируется уровень металла в кристаллизаторе.

Регулирование осуществляется перемещением шибера затвора. Уровень металла в кристаллизаторе как объект управления представляет собой интегрирующее звено. Выход металла из кристаллизатора определяется скоростью разливки. Регулирование уровня должно осуществляться с высокой точностью (5-10 мм). Переполнение кристаллизатора приведет к смещению теплового баланса в направлении избытка тепла. Это приведет к опасности прорыва жидкого металла на выходе кристаллизатора. Низкий уровень металла при постоянной скорости разливки также ведет к аварии за счет уменьшения времени пребывания металла в кристаллизаторе.

6 - контроль положения кристаллизатора.

Кристаллизатор для предотвращения приварки металла к стенке совершает периодические возвратно-поступательные движения.

6' - измеряется давление охлаждающей воды на входе в кристаллизатор. Схемой предусмотрено наличие аварийной сигнализации при падении давления.

6',7 - измеряется перепад давления охлаждающей воды на входе и выходе кристаллизатора. По данному перепаду косвенно судят о зарастании кристаллизатора.

8 - измеряется температура воды на выходе из кристаллизатора (должна быть не больше температуры выпадения солей 60°C).

9, 9' - измеряется и регулируется расход воды на охлаждение кристаллизатора.

После выхода заготовки из кристаллизатора дальнейшее её охлаждение осуществляется в ЗВО: сначала водяное, затем водо-воздушное.

11 - измеряется температура охлаждающей воды на входе в кристаллизатор. По разнице температур воды на входе и выходе с учетом текущего расхода воды можно косвенно управлять температурным режимом кристаллизатора.

12 - измеряется общий расход воды в зону вторичного охлаждения (3 секции).

13 - измеряется давление воды, подаваемой в ЗВО.

Зона вторичного охлаждения имеет три секции:

- 1) водяное и воздушное охлаждение;
- 2) воздушно-водяное охлаждение;
- 3) практически воздушное охлаждение.

Сжатый воздух, используемый в ЗВО, предназначен для разбрызгивания воды и обеспечения «мягкого» режим охлаждения с целью предотвращения резких температурных перепадов на поверхности охлаждаемых заготовок.

14,15,16 - измеряется давление охлаждающей воды в каждую секцию ЗВО.

17-20, 18-21,19-22 - измеряется и регулируется расход воды в каждую секцию ЗВО.

Для предотвращения местного переохлаждения расход воды регулируется в зависимости от скорости разлива по прямолинейной зависимости.

Одновременно с подачей воды путем перемещения сдвоенных клапанов изменяется расход сжатого воздуха пропорционально расходу воды.

23 - измеряется расход сжатого воздуха в ЗВО.

24 - измеряется давление сжатого воздуха в общей магистрали МН13.

Регулирование расхода воздуха в каждую секцию осуществляется по принципу объемного пропорционирования расходов воздуха и воды путем установки одного ИМ на два РО.

После охлаждения сляб разрезается газокислородным резакон на мерные длины. Этот резак по команде от датчика длины 33 устанавливается и закрепляется на заготовку, двигаясь вместе с ней.

25,28,34 - измеряется давление природного газа, кислорода и азота на газокислородный резак.

Схемой предусмотрена сигнализация при падении давления кислорода и природного газа.

Кислород используется в газокислородном резаке не только для расплавления металла, но и для отдува жидкого металла из зоны расплавления. Азот подается для уменьшения режущего расхода кислорода.

26,27,29,30 - измеряются и регулируются расходы природного газа и кислорода на резак.

31 - измеряется температура поверхности заготовки на выходе МН13.

Имеются случаи, когда неостывшие заготовки, равномерно охлажденные до температуры 1100 °С, непосредственно подаются в чистовые группы прокатного стана без подогрева в методических печах - режим прямой прокатки.

32 - измеряется скорость вытягивания слитка (тахогенератором).

33 - измерение длины заготовки с целью обеспечения точности пореза на мерные длины.



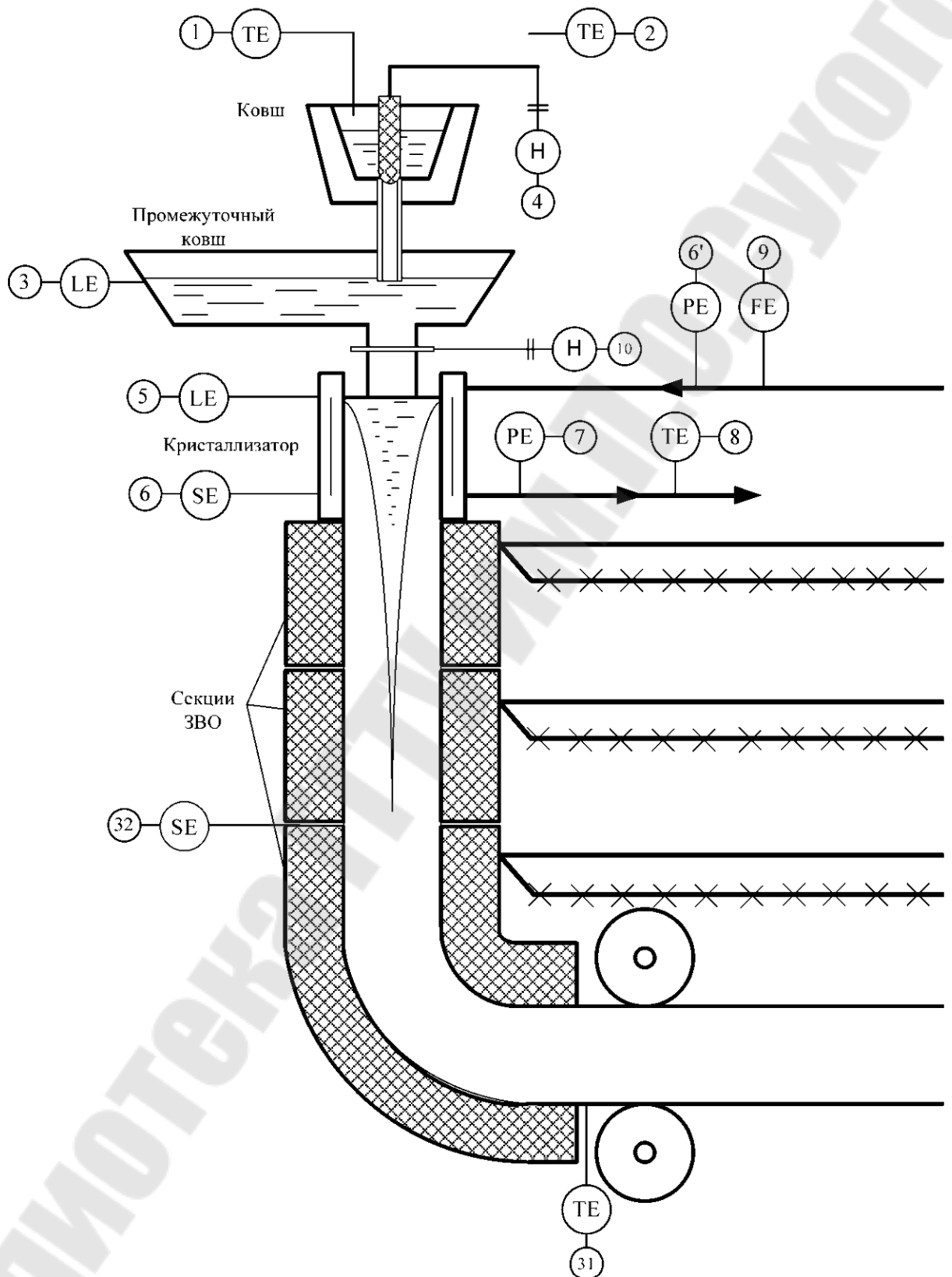


Рис. 6.1 – Функциональная схема контроля и регулирования процесса разливки стали на МНЛЗ (начало)

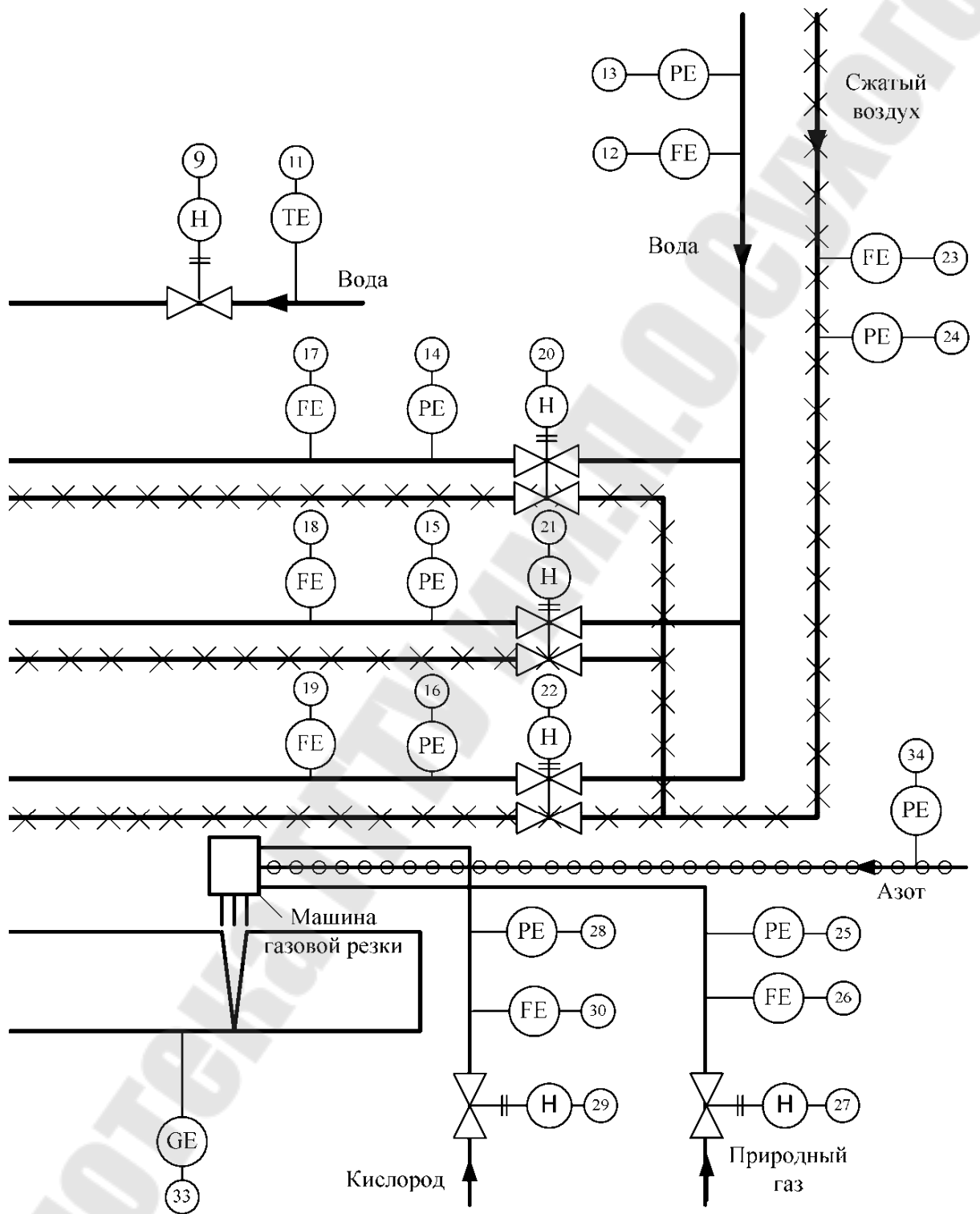


Рис. 6.2 – Функциональная схема контроля и регулирования процесса разлива стали на МНЛЗ (окончание)

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Методы разливки стали.
2. Разновидности машин непрерывного литья для отливки заготовок.
3. Управление режимом охлаждения непрерывнолитой заготовки.
4. Основные требования, предъявляемые к режиму охлаждения кристаллизатора.
5. Факторы, влияющие на теплообмен между слитком и кристаллизатором.
6. Зоны, на которые делится охлаждение металла в кристаллизаторе.
7. Для чего кристаллизатор совершает возвратно-поступательные движения во время разливки.
8. Главная причина появления поверхностных и внутренних дефектов в непрерывнолитой заготовке на выходе из кристаллизатора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аббасов А.К. Устройство для измерения температуры // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика = 2002. - N5.-С.51.
2. Автоматизация измерений и контроля электрических и неэлектрических величин : учебное пособие для вузов / под ред. А. А. Сазонова. - Москва : Изд-во стандартов, 1987. - 327 с.
3. Автоматизация литейного производства : учеб. пособие для вузов / Д. М. Кукуй, В. Ф. Одинокко. - Минск : Новое знание, 2008. - 240с. : ил.
4. Теплотехнические измерения : учебник для энерг. и энергостроит. техникумов / Г. А. Мурин. - 5-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергия, 1979. - 424с.
5. Чистяков В.С. Справочник по теплотехническим измерениям. М. :Энергоатомиздат, 1990.- 320 с.
6. Абрамович, Р. Ч. Приборы учета расхода и количества жидкости. Требования законодательства к установке и эксплуатации водосчетчиков / Р. Ч. Абрамович // Энергосбережение. Практикум. - 2013. — № 2. — С. 11—18.
7. Андронов И.В. Измерение расхода жидкостей и газов. - М. : Энергоиздат, 1981. - 85с.
8. Башутин Ю.П. Новая эра в измерении расхода по перепаду давления // Приборы и системы управления = 1998 . - N5.-С.54-56.
9. Белодворский Ю.М. Практическое пособие по учету расхода газа. - 2-е изд.,испр.. - М. : Стройиздат, 1971. - 256с.
10. Ганевский, Г. М. Допуски, посадки и технические измерения в машиностроении : учебник / Г. М. Ганевский, И. И. Гольдин. - Изд. 3-е, стер.. - Москва : Высшая школа : Академия, 1998. - 288 с.
11. Киясбейли А.Ш. Первичные преобразователи систем измерения расхода и количества жидкостей / А. Ш. Киясбейли, Л. М. Лифшин. - Москва : Энергия, 1980. – 381 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| Лабораторная работа №1 .....                              | 3  |
| Датчики температуры .....                                 | 3  |
| Лабораторная работа №2 .....                              | 20 |
| Датчики расхода материала .....                           | 20 |
| Лабораторная работа №3 .....                              | 30 |
| Датчики давления газов и жидкостей .....                  | 30 |
| Лабораторная работа №4 .....                              | 38 |
| Автоматизация процессов плавки металла .....              | 38 |
| Лабораторная работа №5 .....                              | 59 |
| Автоматизация процессов внепечной обработки металла ..... | 59 |
| Лабораторная работа №6 .....                              | 66 |
| Автоматизация процессов разливки металла .....            | 66 |
| ЛИТЕРАТУРА .....  | 76 |

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**ПРАКТИКУМ  
по одноименному курсу  
для студентов специализации 1-42 01 01-01 02  
«Электрометаллургия черных  
и цветных металлов»  
дневной и заочной форм обучения**

Составитель: Ткаченко Александр Владимирович

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 03.03.16.

Рег. № 36Е.

<http://www.gstu.by>