

**ИЗМЕРЕНИЕ ПРОЦЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЯ СУРЬМЫ  
В СВИНЦОВОЙ ОБОЛОЧКЕ КАБЕЛЯ  
ПО ТЕМПЕРАТУРЕ НАЧАЛА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СПЛАВА**

В. К. ЖУКОВ, Р. М. ЗАКИРОВ, В. А. НИКУЛИН

(Представлена научным семинаром  
факультета автоматики и вычислительной техники)

В [1] показано, что между процентным содержанием сурьмы (Sb) в сплаве свинец-сурьма (Pb—Sb) и его температурой начала кристаллизации существует функциональная зависимость, которая лежит в диапазоне температур от  $327^{\circ}\text{C}$ , соответствующих концу кристаллизации чистого свинца, до  $321,1^{\circ}\text{C}$ , соответствующих началу кристаллизации сплава (Pb—Sb) с содержанием сурьмы 0,9%. При измерении температуры сплава термопарой хромель-копель ее термо-э. д. с. в указанном диапазоне температур будет изменяться от 23,978 мв до 23,406 мв.

Найденная зависимость положена в основу установки, разработанной на кафедре информационно-измерительной техники и предназначенной для измерения процентного содержания сурьмы от 0 до 0,9% в сплаве свинец—сурьма. Установка состоит из электрической печи, в которой расплавляется исследуемый сплав, термопары хромель-копель, регистрирующего прибора ПС1-02 и устройства для автоматического управления процессом нагревания и охлаждения.

Конструкция электрической печи показана на рис. 1. Основным элементом печи является нагреватель 3, который представляет собой остеклованное сопротивление типа ПЭ-25 на 300 ом с помещенным внутри него металлическим стаканом 4 конической формы, предназначенным для исследуемого сплава 5. В дно стакана ввернута втулка 6 с термопарой хромель-копель, зажатой в ней таким образом, что верхняя часть горячего спая термопары имеет механический и, следовательно, тепловой контакт с исследуемым сплавом.

Нагреватель устанавливается внутри корпуса 1 печи и закрепляется там с помощью крышки 2. С целью уменьшения теплоотвода от нагревателя в окружающую среду пространство между нагревателем и корпусом заполнено размельченным асбестом. Нагреватель питается напряжением 127 в от вторичной обмотки силового трансформатора установки.

Для измерения э. д. с. термопары использован автоматический потенциометр ПС1-02. Потенциометр выпускается для измерения температуры  $0 \div 150^{\circ}\text{C}$  термопарой хромель-копель. Поскольку в данном случае потенциометром нужно было измерять температуру от  $321,1$  до  $327^{\circ}\text{C}$ , то это привело к необходимости внести некоторые изменения в его измерительную схему. Изменения коснулись в первую очередь тех плеч моста, которыми определяются положение начала шкалы и предел изме-

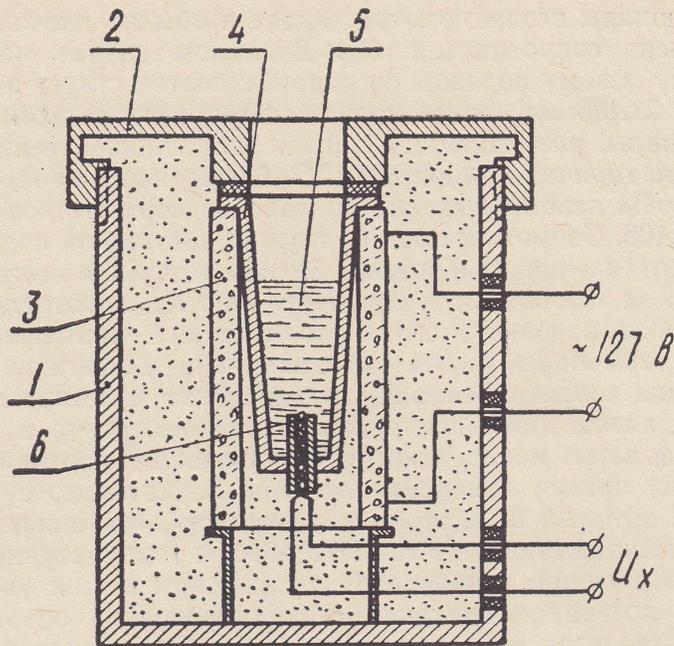


Рис. 1. Конструкция электрической печи

рения (рис. 2), а также плеча, компенсирующего влияние окружающей температуры на холодные концы термопары.

Предел измерения потенциометра определяется сопротивлениями  $R_w$  и  $R_n$ . Величина этих сопротивлений рассчитывалась из условия получения компенсирующего напряжения, изменяющегося на 0,572 мв.

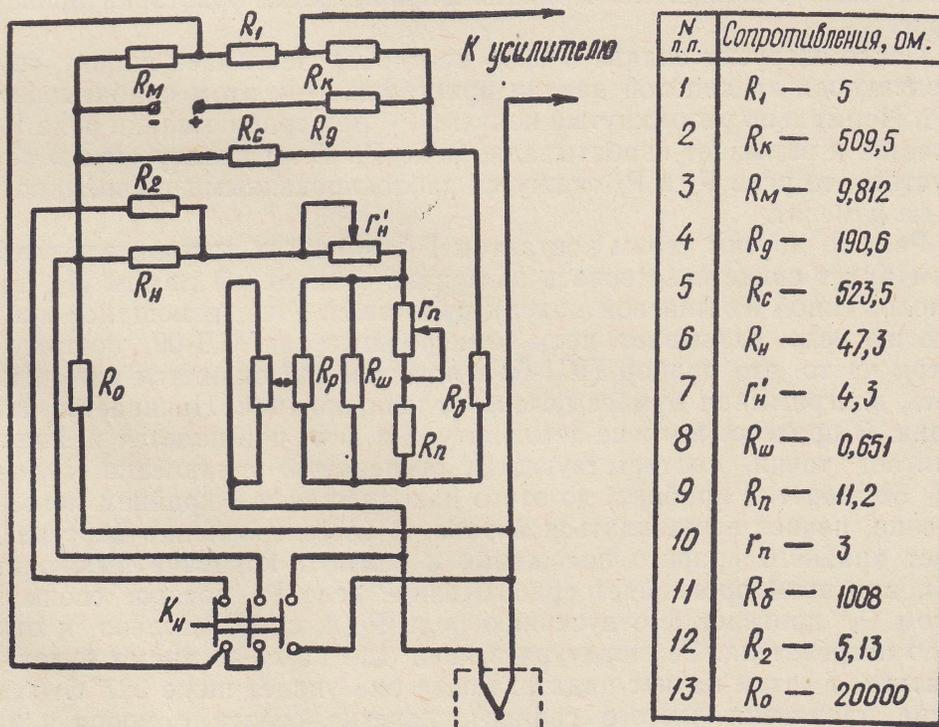


Рис. 2. Принципиальная схема автоматического потенциометра

Начало шкалы потенциометра задается обычно плечом моста, в которое включено сопротивление  $R_n$ . В данном случае началу шкалы, т. е. крайнему левому положению каретки, соответствует напряжение на входе моста 23,406 мв. Этим напряжением должна компенсироваться э. д. с. термопары, развиваемая в ней при окружающей температуре 20° С и температуре горячих концов 321,1° С. Сопротивления  $R_n$  и  $R_n'$  рассчитаны так, чтобы левому положению каретки соответствовало напряжение моста 23,406. Сопротивление  $R_n'$  служит для точной подгонки шкалы.

Все сопротивления измерительной схемы потенциометра выполнены из манганина за исключением сопротивления  $R_m$ , изготовленного из меди. Основное назначение этого сопротивления — компенсировать колебания э. д. с. термопары, вызываемые изменением окружающей температуры. Величина сопротивления  $R_m$  определяется чувствительностью термопары в заданном диапазоне измеряемых температур и током, протекающим в той ветви моста, в которую включено сопротивление.

Поскольку предел измерения прибора значительно сужен по сравнению с тем, который был, то его погрешность, связанная с нестабильностью источника питания, моста (ИПС-020) и температурной нестабильностью сопротивлений, возросла. С целью уменьшения указанных погрешностей в потенциометре введена калибровочная операция. Калибровка осуществляется нажатием кнопки  $K_n$ . При нажатии этой кнопки термопара и медное сопротивление закорачиваются, а сопротивление  $R$  шунтируется сопротивлением  $R_2$ , величина которого подобрана таким образом, чтобы вывести каретку на отметку шкалы 70. Если при калибровке в процессе работы каретка не выходит на нужную отметку, то этого можно добиться подстроечным сопротивлением  $R_n'$ , выполненным в виде реохорда и выведенным на лицевую панель.

Для упрощения работы с прибором к нему добавлена специальная приставка, осуществляющая автоматически расплавление сплава и его последующее охлаждение. Принципиальная схема приставки приведена на рис. 3.

После загрузки сплава в печь контролер нажимает кнопку «пуск», находящуюся на лицевой панели приставки. При этом срабатывает реле  $P_1$ . Нормально разомкнутый контакт  $P_1^1$  при срабатывании реле  $P_1$  замыкается и вызывает срабатывание реле  $P_4$ . Если кнопку «пуск» теперь отпустить, то реле  $P_1$  и  $P_4$  окажутся заблокированными и своего состояния не изменят.

Реле  $P_1$  другим своим контактом  $P_1^3$  включает нагреватель печи  $R_6$ , о чем будет свидетельствовать загорание сигнальной лампы  $L_1$ , также расположенной на лицевой панели приставки. Размыкающийся контакт этого же реле разрывает цепь электродвигателя СД-09, поэтому, несмотря на то, что прибор ПС1-02 контактом  $P_4^2$  окажется включенным в сеть, диаграммная бумага останется неподвижной. Начинается нагрев сплава. В процессе нагрева температура в печи повышается и, наконец, достигает точки, соответствующей температуре плавления сплава с 0,9% Sb, каретка прибора, до этого находившаяся в крайнем левом положении, начнет перемещаться вправо. В своем движении каретка достигнет крайнего правого положения и замкнет концевой выключатель КВП, при этом произойдет срабатывание реле  $P_2$ , которое своим контактом  $P_2^1$  приведет к отпусанию реле  $P_1$  и, следовательно, к отключению нагревателя. Температура в печи еще какое-то время будет подниматься, а затем начнет падать. Когда она упадет ниже 327° С (температура плавления чистого свинца), каретка сойдет с упора и будет перемещаться влево, в результате чего реле  $P_2$  отпустит. Начиная с этого момента, все контакты, включенные последовательно с одной из

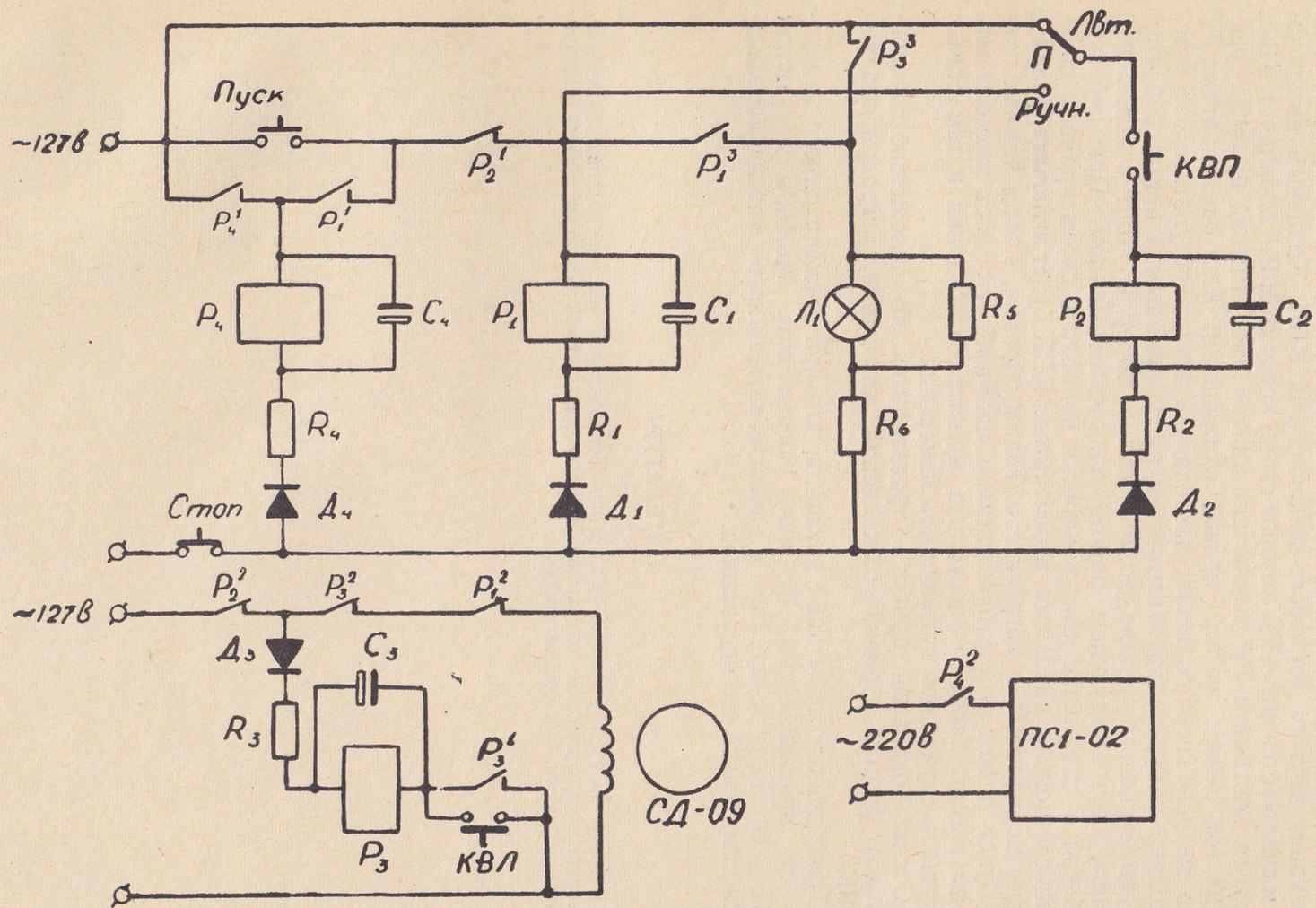


Рис. 3. Принципиальная схема блока автоматического управления работой прибора

обмоток двигателя СД-09, окажутся замкнутыми, двигатель придет во вращение, диаграммная бумага начнет перемещаться и на ней будет записываться кривая охлаждения сплава.

По мере понижения температуры каретка продолжает перемещаться влево и в какой-то момент времени достигнет левого упора, вызывая замыкание другого концевого выключателя КВЛ. Концевым выключателем включается реле  $P_3$ , которое своим контактом  $P_3^1$  блокирует КВЛ, а другим контактом  $P_3^2$  выключает привод диаграммной бумаги, прекращая тем самым запись кривой охлаждения. Еще один контакт  $P_3^3$  этого же реле снова включает нагреватель печи, в результате чего через несколько минут сплав оказывается расплавленным и остается в этом состоянии сколько угодно долго, если тумблер П стоит в положении «Ручн.», соответствующем работе одиночным циклом. При переводе тумблера в положение «Авт.» каретка прибора в своем крайнем положении с помощью концевого выключателя КВП будет включать реле  $P_2$ , а через него реле  $P_3$  и нагреватель. Таким образом, в этом режиме прибор будет работать повторяющимися циклами, что даст возможность автоматически записать несколько кривых охлаждения и тем самым уменьшить случайную погрешность измерения.

Отсчет показаний прибора производится по положению горизонтального участка кривой охлаждения на шкале, отградуированной в % Sb.

Проведенные испытания показали, что при времени одного измерения, не превышающем 15 мин, погрешность прибора составляет  $\pm 0,05\%$  Sb. При испытаниях в качестве «эталонного» метода использовался химический метод анализа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. К. Жуков, Р. М. Закиров. Исследования по определению возможности контроля процентного содержания сурьмы в свинцовой оболочке кабеля электрическими методами. Настоящий сборник.