

**Датчики уровня.** Для управления процессами приготовления гранулированных, сыпучих и жидких кормов, поения птиц и животных, приготовления и распределения растворов в гидропонных сооружениях, другими процессами сельскохозяйственного производства требуется информация об уровне соответствующих материалов. Ее формируют датчики уровня.

Наиболее распространены датчики уровня с дискретным выходным сигналом, часто называемые сигнализаторами уровня, поскольку на их основе строят системы сигнализации. Сигнализаторы уровня, объединенные с преобразующим устройством, которое вырабатывает релейный сигнал (например, замыкает или размыкает контакты), во многих случаях называют реле уровня.

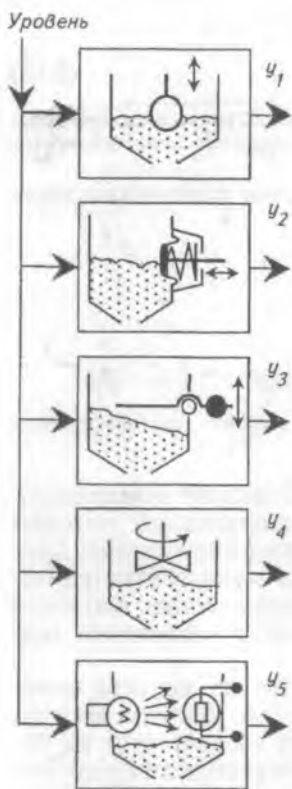


Рис. 2.17. ПИП датчиков уровня и их выходные сигналы:

$y_1$  — перемещение поплавка;  $y_2$  — прогиб мембраны;  $y_3$  — перемещение флажка;  $y_4$  — момент торможения крыльчатки;  $y_5$  — электрический ток в цепи фотопреобразователя

В сельскохозяйственном производстве применяют датчики с ПИП мембранного, поплавкового, флажкового, фотоэлектрического и емкостного типов (рис. 2.17).

Для контроля уровня сыпучих веществ (зерна, муки, отрубей) в бункерах кормоприготовительных агрегатов, уборочных машинах и линиях по первичной обработке продукции растениеводства чаще всего применяют *мембранные датчики уровня*. Пример конструкции такого датчика показан на рисунке 2.18, а. Он состоит из штампованного металлического корпуса б, в котором на плате закреплены микропереключатель 4 и рычаг 5 с опорным диском. Рычаг опирается на толкатель микропереключателя, а диск подпирает эластичную мембрану 2. Мембрана закрывает внутреннюю полость корпуса и прикрепле-

на к нему с помощью винтов и кольцевой накладки.

Мембрана воспринимает давление сыпучего материала и через опорный диск передает его на рычаг, который нажимает на толкатель микропереключателя, вызывая переключение его контактов.

Мембранные датчики уровня устанавливают на боковых поверхностях бункеров (рис. 2.18, б) или снизу, так чтобы они воспринимали давление столба сыпучего материала.

Основная причина отказов в работе рассмотренных датчиков — затвердение мембраны из-за образования на ее поверхности корки загрязнений. При длительном использовании материал мембраны утрачивает эластичность.

*Датчик-реле уровня жидкости поплавкового типа* показан на рисунке 2.19. Поплавок 2 шарнирно закреплен на крышке датчика с помощью рычага 4, оснащенного постоянным магнитом 7. Корпус датчика имеет патрубки 3 и 11 для соединения с полостью контролируемого сосуда. При понижении уровня жидкости

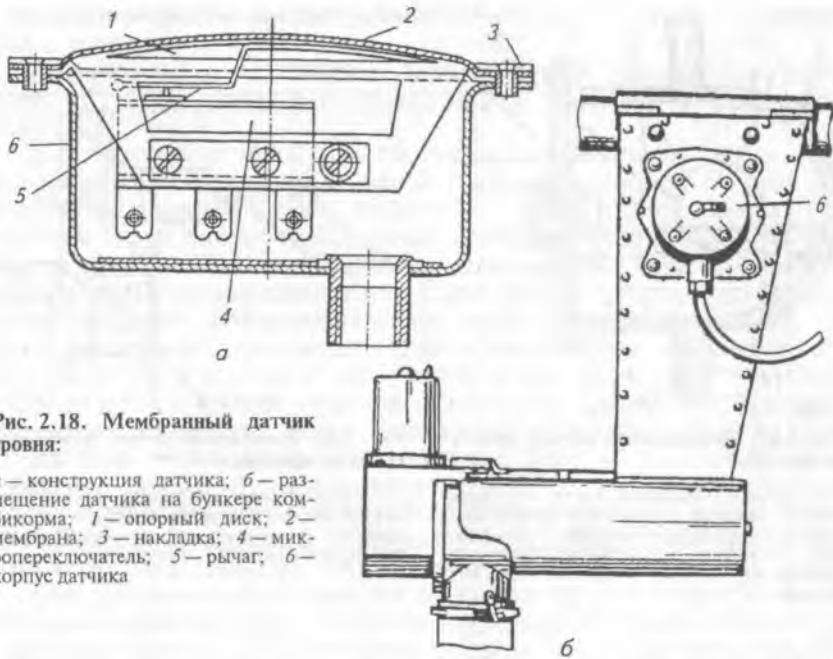


Рис. 2.18. Мембранный датчик уровня:

*a* — конструкция датчика; *б* — размещение датчика на бункере комбикорма; 1 — опорный диск; 2 — мембрана; 3 — накладка; 4 — микропереключатель; 5 — рычаг; 6 — корпус датчика

происходит сближение магнита с помещенными в защитный кожух магнитоуправляемыми контактами, и они замыкаются. При повышении уровня жидкости поплавков всплывает, магнит удаляется от контактов, и они размыкаются. При изготовлении крышки из стали или другого ферромагнитного материала в ней в зоне размещения магнитоуправляемого контакта делают вставку из немагнитного материала.

Датчик уровня сыпучих материалов флажкового типа показан на рисунке 2.20. Флажок *б* фиксируется винтом *5* в требуемом положении на валу *4*, который может вращаться в подшипниках, размещенных во втулке, прикрепленной к монтажной панели. На другом конце вала установлен рычаг с экранирующей пластинкой *1* и уравнивающим противовесом *9*. Перемещая противовес, можно изменить чувствительность датчика. По мере заполнения бункера материалом флажок поднимается, перемещая экранирующую пластинку преобразователя с магнитоуправляемыми контактами и формируя сигнал о достижении предельного верхнего уровня заполнения.

Датчик монтируют так, чтобы исходное положение флажка было горизонтальное, экранирующая пластинка находилась внутри щели преобразователя, а противовес — ниже него.

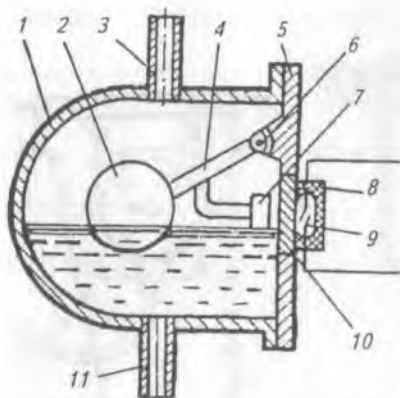


Рис. 2.19. Поплавковый датчик уровня жидкости:

1 — корпус; 2 — поплавок; 3 и 11 — соответственно верхний и нижний патрубки; 4 — рычаг; 5 — крышка; 6 — шарнир; 7 — магнит; 8 — кожух; 9 — магнитоуправляемый контакт; 10 — вставка из немагнитного материала

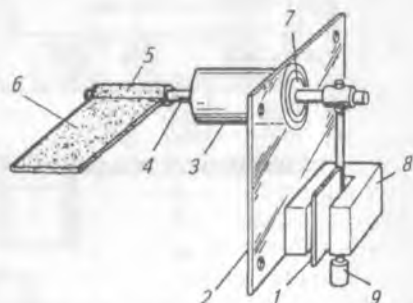


Рис. 2.20. Флажковый датчик уровня сыпучих материалов:

1 — экранирующая пластинка; 2 — монтажная панель; 3 — втулка; 4 — вал; 5 — винт; 6 — флажок; 7 — подшипник; 8 — преобразователь перемещения; 9 — пружина

В некоторых конструкциях флажковых датчиков уровня вместо магнитоуправляемых контактов применяют микропереключатели.

Недостаток флажковых сигнализаторов — пассивное взаимодействие с контролируемой средой, что не исключает ложного срабатывания. Например, в результате вибрации флажок и в заполненной емкости может переместиться в горизонтальное положение. Этого недостатка нет у датчиков с активным щупом.

Датчик уровня сыпучих материалов с механически активным щупом, показанный на рисунке 2.21, состоит из электродвигателя 1 со встроенным редуктором 2, червячной пары, микропереключателя и крыльчатки. Вращение выходного вала редуктора посредством червячной пары сообщается крыльчатке 5, расположенной внутри бункера. Когда материал достигает крыльчатки, она затормаживается и гайка червячной пары останавливается. При этом червяк с толкателем, продолжая вращаться, перемещается и, преодолевая противодействие возвратной пружины, воздействует на контакты микропереключателя. Это приводит к включению сигнализации и остановке электродвигателя датчика. Когда материал освобождает крыльчатку, червяк под действием пружины возвращается в исходное положение, что приводит к переключению контактов микропереключателя, и электродвигатель включается.

Датчики уровня рассмотренного типа устанавливают в бункерах с травяной мукой.

*Датчики уровня сыпучих материалов с фоторезисторами* (рис. 2.22) применяют в системах автоматического контроля полевых агрегатов.

Датчик состоит из оптически связанных фоторезистора и лампы-подсветки, расположенных с противоположных сторон П-образного пластмассового держателя. Датчики устанавливают в нижней части бункеров семенных и туковых сеялок. Высоту установки выбирают такой, чтобы запаса семян или удобрений было достаточно до конца гона. Если уровень заполнения бункера высеваемым материалом выше места установки датчика, то фоторезистор не освещается. Если уровень ниже, то фоторезистор освещается лампой и ток в его электрической цепи возрастает. При этом в кабине трактора на мониторе загорается соответствующая сигнальная лампа и включается звуковой сигнал.

**Датчики температуры.** Температура — один из важнейших параметров контроля многих технологических процессов переработки и хранения сельскохозяйственной продукции, приготовления кормов, содержания животных, птицы, выращивания растений в культивационных сооружениях.

ПИП датчиков температуры основаны на различных явлениях: изменение линейных размеров твердых и объема жидких и газообразных тел под действием температуры; изменение электрического сопротивления проводников и полупроводников; возникновение термоЭДС в разнородных проводниках (рис. 2.23).

*Контактные термометры расширения.* В системах управления температурным режимом воздуха в инкубаторах и других клима-

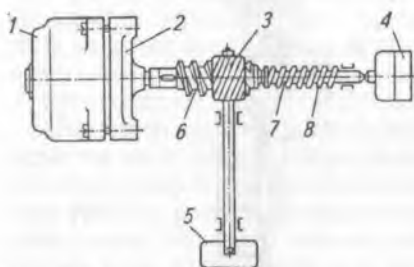


Рис. 2.21. Датчик уровня сыпучих материалов с активным щупом:

1 — электродвигатель; 2 — редуктор; 3 — гайка червячной пары; 4 — микропереключатель; 5 — крыльчатка; 6 — червяк; 7 — толкатель; 8 — возвратная пружина

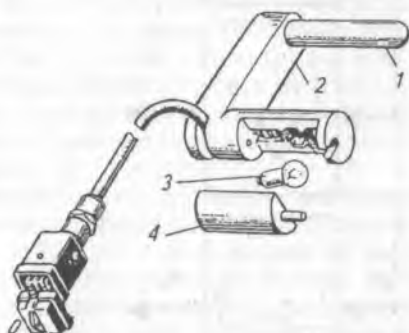


Рис. 2.22. Датчик уровня семян посевных агрегатов:

1 — фоторезистор; 2 — пластмассовый держатель; 3 — лампа подсветки; 4 — колпачок

Температура

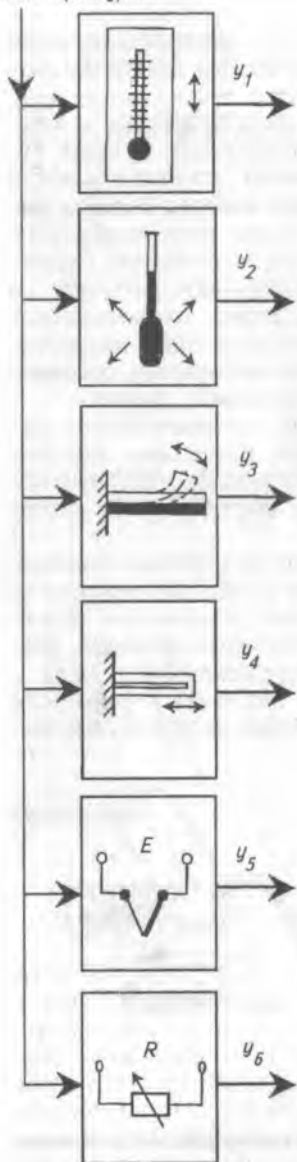


Рис. 2.23. ПИП датчиков температуры и их выходные сигналы:

$y_1$  — высота столбика термочувствительной жидкости в капилляре;  $y_2$  — давление газа или жидкости в замкнутом объеме;  $y_3$  — прогиб биметаллической пластины;  $y_4$  — относительное изменение длины стержня;  $y_5$  — термоЭДС;  $y_6$  — электрическое сопротивление;  $E$  — термоЭДС;  $R$  — сопротивление

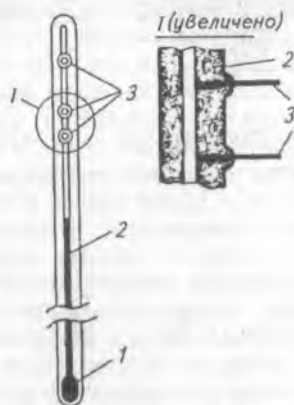


Рис. 2.24. Контактные датчики температуры:

1 — термобаллон; 2 — капилляр; 3 — контакты

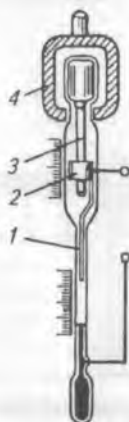


Рис. 2.25. Датчик температуры с перемещаемыми контактами:

1 — подвижный контакт; 2 — гайка; 3 — винт; 4 — магнитная головка

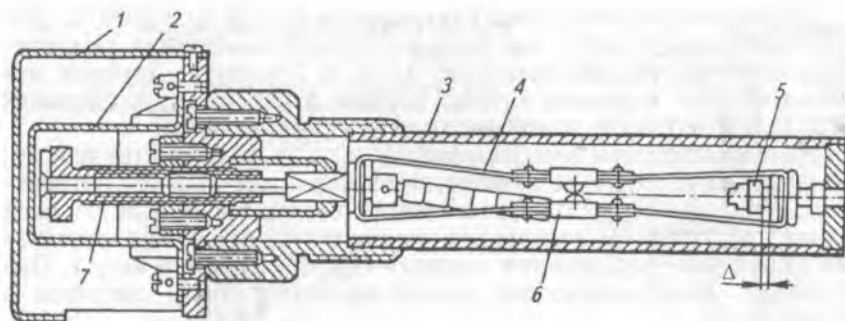


Рис. 2.26. Дилатометрический датчик температуры:

1 — защитный колпак; 2 — колпачок регулировочного винта; 3 — латунная трубка; 4 — пружины; 5 — стержень; 6 — контакт; 7 — регулировочный винт

тических камерах в качестве датчиков используют термоконтракторы (рис. 2.24). Это стеклянные ртутные термометры расширения, в толстостенный капилляр которых впаяны платиновые или вольфрамовые контакты. Проводником электрического тока в них является ртуть, расширяющаяся при повышении температуры контролируемой среды. При достижении столбиком ртути контактов замыкается соответствующая электрическая цепь. Диапазон контролируемых температур от  $-35$  до  $+750$  °С.

В лабораторном оборудовании, в частности в сушильных шкафах и термостатах, используют стеклянные ртутные термометры с перемещаемым контактом и магнитной регулировкой (рис. 2.25). В их оболочке перед шкальной пластиной размещается подвижный контакт, выполненный в виде вольфрамовой нити. Для настройки термометра на заданную температуру срабатывания нижний конец нити устанавливают на соответствующей отметке шкалы при вращении магнитной головки 4 вокруг верхней части термометра. Вращение головки передается на винт 3, перемещающий гайку 2 с подвижным контактом.

*Дилатометрический преобразователь.* Его принцип действия основан на относительном удлинении твердых тел под действием температуры. В преобразователях этого типа используют латунные трубки, внутри которых располагают стержни из инвара. Латунь имеет больший коэффициент линейного расширения, чем инвар. При нагревании латунная трубка 3 (рис. 2.26) удлиняется и связанный с ней стержень 5 из инвара перемещается относительно пружин 4. Это приводит к уменьшению начального зазора  $\Delta$ , который устанавливают в зависимости от требуемой температуры. При достижении этой температуры пружины растягиваются и контакты электрической цепи размыкаются.

Диапазон контролируемых температур от  $-25$  до  $+1000$  °С. Допустимая погрешность  $\pm 5$  °С при скорости изменения температуры контролируемой среды до  $0,5$  °С в 1 минуту. Датчики используют для контроля сушки кормов в агрегатах, в системах отопления теплиц и животноводческих помещениях.

*Биметаллический преобразователь*, как и dilatометрический, основан на изменении линейных размеров тел при их нагревании. Конструктивно он представляет собой сваренные по всей длине две пластины из материалов с различными коэффициентами линейного расширения (инвар — латунь, инвар — медь). Полученная биметаллическая пластинка может быть свернута в спираль.

Биметаллические измерительные преобразователи температуры широко применяют в системах защиты электродвигателей от перегрузок в виде тепловых реле, встраиваемых в магнитные пускатели. При перегрузке двигателя ток подогрывает биметаллическую пластинку настолько, что она, изгибаясь, размыкает электрическую цепь.

Изображенный на рисунке 2.27 биметаллический датчик-реле температуры используют в основном для регулирования и контроля температуры воздуха в помещениях. Чувствительным элементом датчика служит биметаллическая спираль 1, размещенная в корпусе. Один конец спирали закреплен в держателе, а другой — свободен и воздействует на подвижный контакт 3 при повышении температуры. Температуру срабатывания датчика устанавливают по шкале настройки.

Диапазон измерения температур биметаллических преобразователей от  $-30$  до  $+100$  °С с настройкой дифференциала от 2 до 8 °С. Максимальная погрешность не превышает  $\pm 2,5$  °С.

*Манометрические датчики температуры* применяют в теплогенераторах зерносушилок и паровых котлов. Они состоят из термобаллона, заполненного либо газом под давлением более 1 МПа, либо жидкостью, либо парожидкостной смесью (конденсатом). Баллон герметично соединен с манометрическим преоб-

разователем, вследствие чего при повышении температуры в этой замкнутой системе увеличивается давление.

На рисунке 2.28 показан манометрический контактный

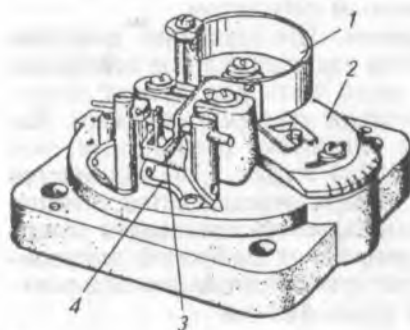


Рис. 2.27. Биметаллический датчик температуры:

1 — биметаллическая спираль; 2 — шкала настройки; 3 и 4 — контакты



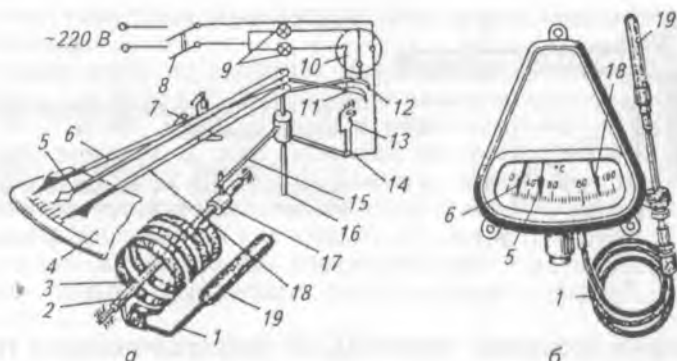


Рис. 2.28. Манометрический датчик температуры:

*a* — схема; *б* — внешний вид; 1 — капилляр; 2 — трубчатая пружина; 3 — ось; 4 — шкала; 5 — показывающая стрелка; 6 и 18 — задающие стрелки; 7 и 15 — поводки; 8 — выключатель; 9 — сигнальные лампы; 10 — колодка; 11 и 12 — выводы, соединенные с задающими стрелками; 13 — траверса с подвижными контактами; 14 — держатель траверсы; 16 — ось стрелки; 17 — во-  
дило; 19 — термобаллон

термометр, термобаллон 19 которого заполнен паром хлорметила и соединен капилляром 1 с трубчатой пружиной 2. При изменении температуры меняется давление паров хлорметила, трубчатая пружина раскручивается и поворачивает ось 3, которая через поводковый передаточно-множительный механизм перемещает показывающую стрелку 5. На оси стрелки закреплена траверса 13 с двумя контактами, соединенными между собой и подключенными к одному из зажимов колодки. С другими зажимами колодки соединены выводы 11 и 12 на задающих стрелках.

Так как жидкость при тепловом расширении может развивать значительные усилия, то жидкостные манометрические термосистемы применяют в регуляторах температуры прямого действия. В этих регуляторах усилие, развиваемое нагретой жидкостью, изменяет проходное сечение вентиля, установленного в линии подвода теплоносителя или хладагента.

*Термоэлектрические датчики температуры* используют в сельскохозяйственном производстве при автоматизации различных технологических процессов и экспериментальных научных исследований.

Различают термоэлектрические преобразователи (термопары) и термосопротивления.

**Термопара** — преобразователь температуры генераторного типа, получивший название благодаря своей конструкции. Это два разнородных проводника, спаянные на одном конце (горячий спай) и свободными концами (холодными) подключенные к измерительному прибору или в систему регулирования. Горячий спай помещают в контролируемую среду. При его

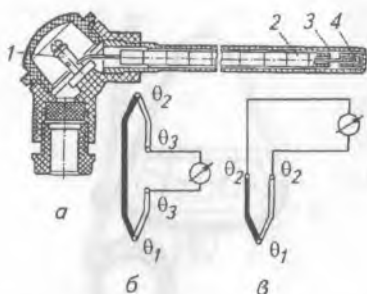


Рис. 2.29. Термоэлектрический преобразователь (термопара):

*a* — конструкция: 1 — клемма; 2 — изолятор; 3 — защитный чехол; 4 — горячий спай; *б* и *в* — схемы подключения ко вторичному прибору

нагревании возникает термоЭДС  $E$ , пропорциональная температуре нагрева  $\theta$ .

Конструкция термоэлектрического датчика изображена на рисунке 2.29, *a*. ПИП расположен в корпусе, защищающем его от повреждения и химического воздействия измеряемой среды. Корпус состоит из чехла 3 и штуцера для крепления датчика на технологическом оборудовании. Термоэлектроды изолированы от чехла и один от другого керамическими изоляторами 2. В преобразователях виброустойчивого исполнения изоляция термоэлектродов выполнена из порошка оксида алюминия, заполняющего все свободное пространство внутри чехла.

Термоэлектроды изготовляют из различных металлов, их сплавов или полупроводников. В сельскохозяйственном производстве часто используют две пары сплавов: хромель-алюмель (ХА) и хромель-копель (ХК). Чувствительность ХК-термопары выше чувствительности ХА-термопары.

По динамическим характеристикам термопары соответствуют инерционным звеньям с передаточной функцией вида

$$W(p) = \frac{E(p)}{\theta(p)} = \frac{k}{Tp+1}$$

Статическая характеристика их практически линейная, поэтому коэффициент чувствительности термопары:  $k = E/\theta$ .

Преимущества термопары: возможность использования в широком диапазоне температур (от  $-200$  до  $+2500$  °С); высокая точность измерения; инерционность от 10 до 300 с. Их основные недостатки: низкий коэффициент чувствительности и слабый выходной сигнал (от 0,6 до 7 мВ).

В ряде случаев необходимо измерять разность температур. В этом случае используют схему с двумя термопарами, включенными встречно (рис. 2.29, *б*) в отличие от обычной схемы подключения вторичного прибора к термопаре (рис. 2.29, *в*).

Термосопротивления — это преобразователи, в ко-

торых под действием температуры изменяется электрическое сопротивление.

По материалу, из которого изготовлены ПИП этой группы датчиков, они делятся на металлические и полупроводниковые.

*Металлические преобразователи* выполняют из тонкой металлической проволоки, наматываемой на изоляционный каркас, который закрывают защитным кожухом. Для проволоки выбирают металлы с достаточно большими и стабильными температурными коэффициентами сопротивления: медь, платину.

В первом приближении сопротивление этих преобразователей при текущем значении температуры  $\theta$  можно выразить уравнением

$$R_t = R_0(1 + \alpha_t \theta),$$

где  $R_0$  — сопротивление при  $\theta = 0$  °С;  $\alpha_t$  — температурный коэффициент сопротивления, °С<sup>-1</sup>; для меди  $\alpha_t = 4,3 \cdot 10^{-3}$ , для платины  $\alpha_t = 3,94 \cdot 10^{-3}$ .

Температурный диапазон медных сопротивлений, ограниченный процессом окисления меди, составляет от  $-50$  до  $+180$  °С. При более высоких температурах происходит интенсивное окисление меди, а следовательно, существенное изменение характеристик преобразователя. Для платиновых термосопротивлений верхний предел изменений достигает  $600$  °С.

Преимущества металлических сопротивлений: приближенная к линейной статическая характеристика  $R_t = f(\theta)$ , высокая стабильность, малый разброс параметров. К недостаткам относятся большие размеры и малый коэффициент чувствительности.

Передаточная функция термосопротивлений

$$W(p) = \frac{R_t(p)}{\theta(p)} = \frac{k}{Tp + 1}.$$

Для большинства преобразователей  $T = 9 \dots 240$  с.

*Термисторы* — это полупроводниковые термосопротивления, у которых при повышении температуры сопротивление уменьшается. Их изготавливают из оксидов металлов: медно-марганцевых (ММТ) и кобальто-марганцевых (КМТ).

*Позисторы* — это полупроводниковые термосопротивления, имеющие в отличие от термисторов положительный температурный коэффициент, т. е. с увеличением температуры до предельного значения их сопротивление увеличивается. Для изготовления позисторов используют титанат бария со специально подобранными примесями. К недостаткам позисторов относятся нелинейность температурной характеристики, низкая стабильность параметров, зависимость температурного коэффициента от параметров окружающей среды.

Термосопротивления на основе полупроводников по сравнению с металлическими обладают значительно большей чувстви-

тельностью, но имеют большой разброс параметров, что затрудняет их взаимозаменяемость.

**Расходомеры и счетчики жидкостей, газа и материалов.** Вода, пар, газ, жидкое топливо, всевозможные растворы и смеси, а также теплота и электроэнергия — вот далеко не полный перечень материалов, используемых при производстве, переработке и хранении сельскохозяйственной продукции, расход и количество которых необходимо контролировать, регулировать и учитывать с целью оптимизации ТП.

Расход вещества — это объем или его масса, проходящие через поперечное сечение транспортного канала в единицу времени. Расход измеряется датчиками расхода, которые часто называют расходомерами. Единица измерения объемного расхода  $Q_0$  кубический метр в секунду, а массового  $Q_M$  — килограмм в секунду.

Количество вещества — это объем или его масса, проходящие через поперечное сечение транспортного канала за определенный промежуток времени. Его измеряют счетчиками и измерителями веса. Единица измерения объема  $V$  кубический метр, массы — килограмм. Объем и массу вещества можно найти из формул по определению соответственно объемного или массового расхода:  $V = \int Q_0 dt$ ;  $m = \int Q_M dt$ . Счетчики вещества представляют собой конструктивно объемный или массовый расходомер и интегратор. Выходной сигнал интегратора может быть использован в системах автоматического управления. По принципу действия ПИП различают расходомеры с сужающим устройством, ротаметрические, тахометрические, электромагнитные и ультразвуковые (рис. 2.30).

*Расходомеры с сужающим устройством.* Их выходным сигналом  $u_1$  является изменение перепада давления. Сужающим устройством могут быть диафрагма, сопло, труба Вентури. Разность давления преобразуется дифманометром и ВИП, которым обычно служит устройство с токовым или пневматическим выходным сигналом. Основы измерения расхода жидкостей, газа и пара методом переменного перепада давления и общие технические требования к основным элементам используемых при этом расходомерных устройств регламентированы.

Наиболее простой в изготовлении и чаще всего применяемый ПИП в расходомерах переменного перепада давления — диафрагма, представляющая собой пластину с калиброванным отверстием диаметром  $d_0$  (рис. 2.31), которую устанавливают в поперечном сечении транспортного канала трубопровода диаметром  $D = 50 \dots 1000$  мм.

Размеры диафрагмы определяются диаметром поперечного сечения трубопровода  $D$ . Объемный  $Q_0$  и массовый  $Q_M$  расходы рассчитывают по формулам

$$Q_0 = \alpha F \sqrt{2(p_1 - p_2) / \rho};$$

Рис. 2.30. ПИП датчиков расхода и их выходные сигналы:

$y_1$  — перепад давления на диафрагме;  $y_2$  — перемещение поплавка в измеряемом потоке;  $y_3$  — число оборотов шестерен;  $y_4$  — изменение ЭДС;  $y_5$  — величина, пропорциональная разности времени прохождения ультразвука по и против потока жидкости

$$Q_M = \alpha F \sqrt{2(p_1 - p_2)} \rho, \quad (2.14)$$

где  $\alpha$  — коэффициент неравномерности распределения скоростей потока по сечению трубопровода;  $F$  — площадь поперечного сечения калиброванного отверстия диафрагмы;  $F = \pi D^2/4$ ;  $p_1$  и  $p_2$  — давление среды соответственно до и после диафрагмы;  $\rho$  — плотность жидкости.

Линеаризация нелинейных зависимостей расхода от перепада давления (2.14) может происходить в дифманометрах или вторичных преобразователях. Тогда эти приборы называют дифманометрами-расходомерами и ВИП-расходомерами.

В диафрагмовых расходомерах ДМ-ЭР применяют электросиловые квадратичные преобразователи П-ЭР1, в преобразователях разности давлений расходомера «Сапфир-22-ДД» — блок извлечения квадратного корня БИК-1.

Для получения требуемого количества вещества, проходящего через поперечное сечение трубопровода, расходомеры оснащают интеграторами ПИК-1 с пневматическим выходным сигналом или С-1М с токовым выходным сигналом.

Ротаметрические расходомеры постоянного перепада давления состоят из ротаметрической пары: вертикальной конической (коноидальной) трубки 1 (рис. 2.32) и находящегося в ней

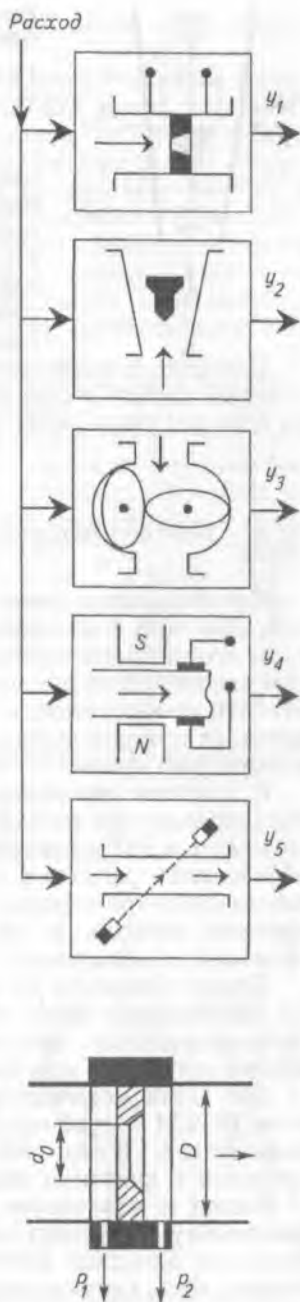


Рис. 2.31. Диафрагма расходомера переменного перепада давления

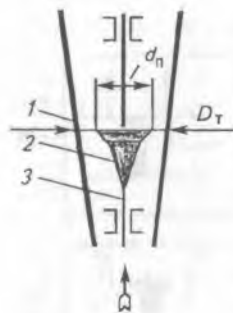


Рис. 2.32. Ротаметрическая пара расходомера постоянного перепада давления:

1 — трубка; 2 — поплавок; 3 — направляющая ось

свободно перемещающегося поплавка 2. По направляющей оси 3 при движении потока вещества снизу вверх поплавок под действием гидродинамического напора, преодолевая силу тяжести, поднимается вверх, пока действующие на него силы не будут уравновешены.

Площадь поперечного сечения щели  $F$  между стенками вертикальной трубки и поплавком изменяется в зависимости от расхода и может быть рассчитана по формуле

$$F = \pi(D_T^2 - d_n^2)/4,$$

где  $D_T$  — диаметр поперечного сечения трубки;  $d_n$  — наибольший диаметр поплавка.

Преимущества ротаметров: отсутствие трущихся поверхностей, простота в изготовлении, легко сопрягаются с интеграторами и вторичными приборами, широкий диапазон измерений, малые местные потери давления. К недостаткам ротаметров следует отнести необходимость только вертикальной установки и зависимость их градуировочных характеристик от вязкости и плотности измеряемой среды.

В качестве датчиков расхода и количества жидкости, газа и пара применяют ротаметры типа РЭ с электрическим выходным сигналом и РП с пневматическим выходным сигналом. Для преобразования расхода в электрический сигнал используют дифференциально-трансформаторные преобразователи, а для преобразования расхода в пневматический сигнал — преобразователи типа сопло — заслонка.

*Тахометрические расходомеры.* Принцип действия их основан на зависимости числа оборотов подвижного элемента (им могут быть крыльчатки, шарики, турбинки, шестерни) от расхода или объема жидкости или газа.

Для учета количества воды применяют крыльчатые счетчики типа ВСКМ и турбинные — типа СТВ, СТВГ. На базе счетчиков воды типа СТВ разработаны счетчики с электрическим выходным сигналом и счетчики тепловой энергии — теплосчетчики ТЭМ-1.

Расход и количество газа определяют с помощью турбинного расходомера счетчика газа типа «Тургас», оборудованного электронными блоками: БИР-1 с выходным сигналом 0...5 мА постоянного тока, пропорционального расходу, или БИР-2 с интегри-

рующим устройством и шестиразрядным счетчиком для измерения суммарного количества газа.

Расход и количество высоковязких жидкостей учитывают расходомерами и счетчиками типов ШЖУ и ШЖО, в качестве ПИП которых используется пара овальных шестерен. За один полный оборот шестерен, вращающихся под действием разности давлений  $\Delta p = p_1 - p_2$ , измерительные полости  $I$  дважды заполняются и опорожняются, отсчитывая четыре порции жидкости (рис. 2.33). В положении  $I$  создается вращающий момент, действующий на левую шестерню, в положении  $II$  — на обе, в положении  $III$  — на правую шестерню. Вращение шестерен передается через магнитную муфту ВИП расходомера счетчику или соответствующему регулятору.

**Электромагнитные расходомеры.** Принцип действия электромагнитных расходомеров основан на измерении ЭДС, наводимой в перемещающейся электропроводной жидкости (воде, растворах, пульпах) и пересекающей магнитное поле, силовые линии которого перпендикулярны оси трубопровода. Питание их электромагнита  $I$  (рис. 2.34) осуществляется переменным напряжением  $U_{пит}$ . ЭДС  $E$ , наводимая на электродах  $\mathcal{E}1$ ,  $\mathcal{E}2$ , установленных в изоляционной вставке трубопровода  $2$  и расположенных перпендикулярно силовым линиям электромагнита  $I$ , пропорциональна скорости движения жидкости:

$$E = \frac{4Q_0 B}{\pi D} \sin(2\pi ft), \quad (2.15)$$

где  $Q_0$  — объемный расход;  $B$  — электромагнитная индукция;  $D$  — диаметр трубопровода;  $f$  — частота переменного тока;  $t$  — время.

Значение ЭДС увеличивается усилителем  $3$  и при необходимости передается на интегратор  $4$  типа С-1М. Нормированный вы-

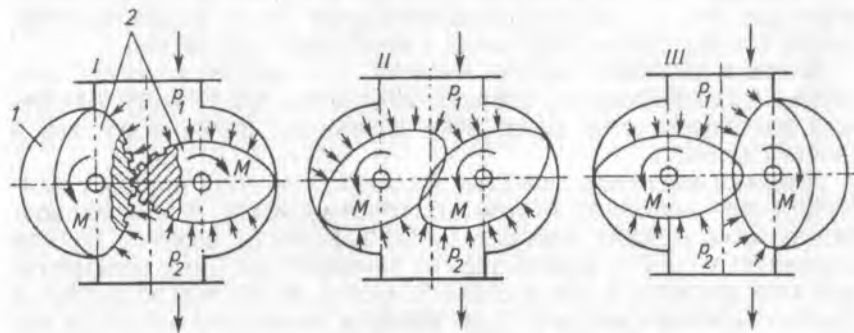


Рис. 2.33. Счетчик с овальными шестернями:

$I$  — полость, заполняемая жидкостью;  $2$  — шестерни;  $M$  — вращающий момент на шестернях

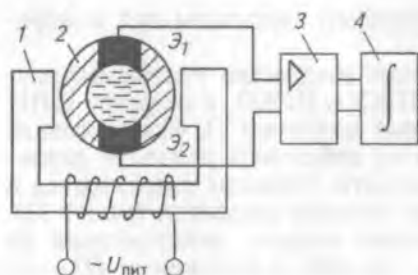


Рис. 2.34. Блок-схема электромагнитного расходомера-счетчика:

1 — электромагнит; 2 — трубопровод; 3 — усилитель; 4 — интегратор

ходной сигнал усилителя пропорционален расходу, а выходной сигнал интегратора — объему жидкости, протекающей через поперечное сечение трубопровода.

Ультразвуковые расходомеры позволяют измерять расходы любых жидких сред с помощью ультразвуковых колебаний на частотах более 20 кГц. Они характеризуются высоким быстродействием, устойчивостью к помехам, возможностью бесконтактных измерений и достаточно высокой точностью.

ПИП этих расходомеров состоит из двух приемопередатчиков ультразвуковых сигналов, которые, попеременно включаясь, фиксируют прохождение ультразвука вдоль потока и навстречу ему. Расход определяют по формуле

$$Q = kvF, \quad (2.16)$$

где  $k$  — коэффициент, зависящий от выбранного метода измерения и параметров основных элементов преобразователя;  $v$  — скорость движения жидкости;  $F$  — площадь поперечного сечения трубопровода.

Для определения объемного расхода сыпучих материалов используют дозаторы, состоящие из бункера и питателя, который частями отбирает сыпучий материал из бункера. Питателем может быть лента транспортера, крыльчатки (см., например, рис. 2.37), вибропитатели и другие устройства.

Массовый расход и массы сыпучих материалов определяют с помощью весов с электромеханическими (чаще тензорезисторными) преобразователями силы в электрический сигнал.