

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

**Факультет «Инженерно-физический»
Кафедра «Цифровая электроника и микроэлектроника»**

Одилов Сардор Оқил ўғли

**Тема: «Разработка и изготовление измерителя влажности
емкостного типа»**

**Выпускная квалификационная работа
для получения степени бакалавра по направлению
5310800 - Электроника и приборостроение**

Заведующий кафедрой:

проф. Илиев Х.М.

Руководитель:

ст. пр. Ковешников С.В.

Выпускник:

Одилов С. О.

Ташкент - 2017

Оглавление

Введение.....	3
1. Обзор литературы по измерению влажности	4
1.1 Основные электрические методы измерения влажности твердых, сыпучих и жидких веществ.....	4
1.2 Электрические методы	8
1.3 Проблема измерения влажности веществ с большими диэлектрическими потерями.....	18
1.4 Температурная компенсация емкости датчика.	21
1.5 Градуировка влагомеров	22
1.6 Теоретические основы диэлькометрического метода.....	23
1.7 Диэлектрические характеристики влагосодержащих материалов.....	29
1.8 Измерения на СВЧ	33
1.9 Особенности емкостных датчиков	34
2. Разработка схемы измерителя влажности	37
2.1. Конструкция датчика прибора.....	37
2.2. Разработка схемы прибора	38
2.3. Разработка конструкции печатных плат	39
2.4. Спецификация элементов схемы прибора.....	44
2.5. Разработка конструкции корпуса	44
3. Изготовление и наладка прибора.....	46
3.1 Изготовление печатных плат	46
3.2 Монтаж (сборка) печатных плат	46
3.4 Изготовление механических узлов прибора	47
4. Испытания прибора	48
5. Безопасность жизнедеятельности	51
6. Экономическая часть	70
Заключение	73
Список использованной литературы	74

Введение

При исследовании свойств и контроле качества различных материалов важное значение имеет измерение их влагосодержания. Для таких измерений используют как прямые, так и косвенные методы. В прямых методах длительность измерения составляет несколько часов. В связи с этим, встает вопрос проведения быстрых электрических измерений влажности различных материалов.

В выпускной работе разрабатывается измеритель влажности сыпучих и жидких материалов емкостного типа.

Основные задачи выпускной работы:

- Разработка схемы и конструкции измерителя.
- Изготовление прибора.
- Проведение испытаний разработанной конструкции.

Технико-экономическая эффективность разработки определяется актуальностью использования в экономике Республики электрического метода измерения влажности различных материалов.

1. Обзор литературы по измерению влажности

1.1 Основные электрические методы измерения влажности твердых, сыпучих и жидких веществ

Методы определения влажности разделяются на химические и физические в том числе электрические, не электрические и радиоактивные[1-3].

К химическим методам относятся: волюмометрические методы, основанные на измерении объема газов, выделившихся в результате реакции натрия, карбида кальция или гидрата кальция с водой вещества, и методы, основанные на объемном анализе реакций различных органических соединений с водой вещества, получении кислот и титровании их стандартными растворами щелочи. Однако вследствие необходимости безвозвратного отбора проб, периодичности действия, длительности реакций, сложности аппаратуры и ряда других обстоятельств химические методы не могут быть положены в основу действия устройства для мгновенного определения влаги в продукте.

Радиоактивный метод определения влажности использует гамма-излучение или нейтронное излучение.

В первом случае используется эффект поглощения гамма-излучений веществом, находящимся на пути прохождения пучка лучей. При этом степень поглощения гамма-излучений в легких элементах (элементы, расположенные в первой половине таблицы Менделеева) при равной поверхностной плотности (вес 1 см^2 листового вещества) примерно одинакова. В том случае, когда в состав входит водород, степень поглощения при одинаковой поверхностной плотности значительно выше и этим можно воспользоваться для определения влажности. Такой метод дает хорошие результаты при определении влажности почв, грунтов и других веществ, в молекулах которых не содержится большого числа атомов водорода. Если же

в пробе число атомов водорода вещества и воды окажется близким друг к другу, то использование гамма-излучений будет неэффективным.

Во втором случае используется эффект потери энергии нейтронами при прохождении их через вещество. При этом быстрые нейтроны, имеющие более высокий уровень энергии, при многократном столкновении с ядрами вещества теряют свою энергию и переходят в разряд медленных нейтронов с значительно более низким уровнем энергии. Наиболее сильное замедление нейтроны испытывают при столкновении с ядрами водорода (протонами); более тяжелые вещества, наоборот, являются плохими замедлителями. Таким образом, поток медленных нейтронов, прошедший через исследуемое вещество определенной толщины, будет изменять свою интенсивность в зависимости от влажности. Измеритель, приспособленный для регистрации медленных нейтронов, может быть проградуирован в единицах влажности.

К неэлектрическим физическим методам принято относить высушивание до постоянного веса, определение влажности по вязкости и по температуропроводности продукта, ЯМР (основанный на явлении поглощения энергии высокой частоты при протонном резонансе), оптические и другие.

Определение влажности методом высушивания [1, 4-6] длится от многих часов (высушивание до постоянного веса) до 1 ч (ускоренные методы высушивания) или в лучшем случае до десятков или нескольких минут (сушка инфракрасными лучами или токами высокой частоты).

Физические методы измерения влажности материалов по сравнению с другими методами имеют большие преимущества. Они являются наиболее быстродействующими из всех существующих методов определения влажности. В то же время длительность определения влажности электрическим неавтоматическим влагомером равна от одной до нескольких минут, а при применении некоторых типов автоматических влагомеров непрерывного действия измерение можно считать практически

безынерционным. Физические методы позволяют автоматизировать измерения влажности и находят применение в промышленных системах автоматизации.

Электрические методы [2] основаны на закономерной зависимости некоторых электрических характеристик веществ (удельного сопротивления или проводимости, тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости) от содержания в них воды. Соответственно этому существует несколько электрических методов определения влажности:

- а) кондуктометрический;
- б) по диэлектрическим потерям;
- в) емкостный;

На рис. 1.1 приведена предлагаемая схема классификации физических методов измерения влажности твердых и жидких материалов.

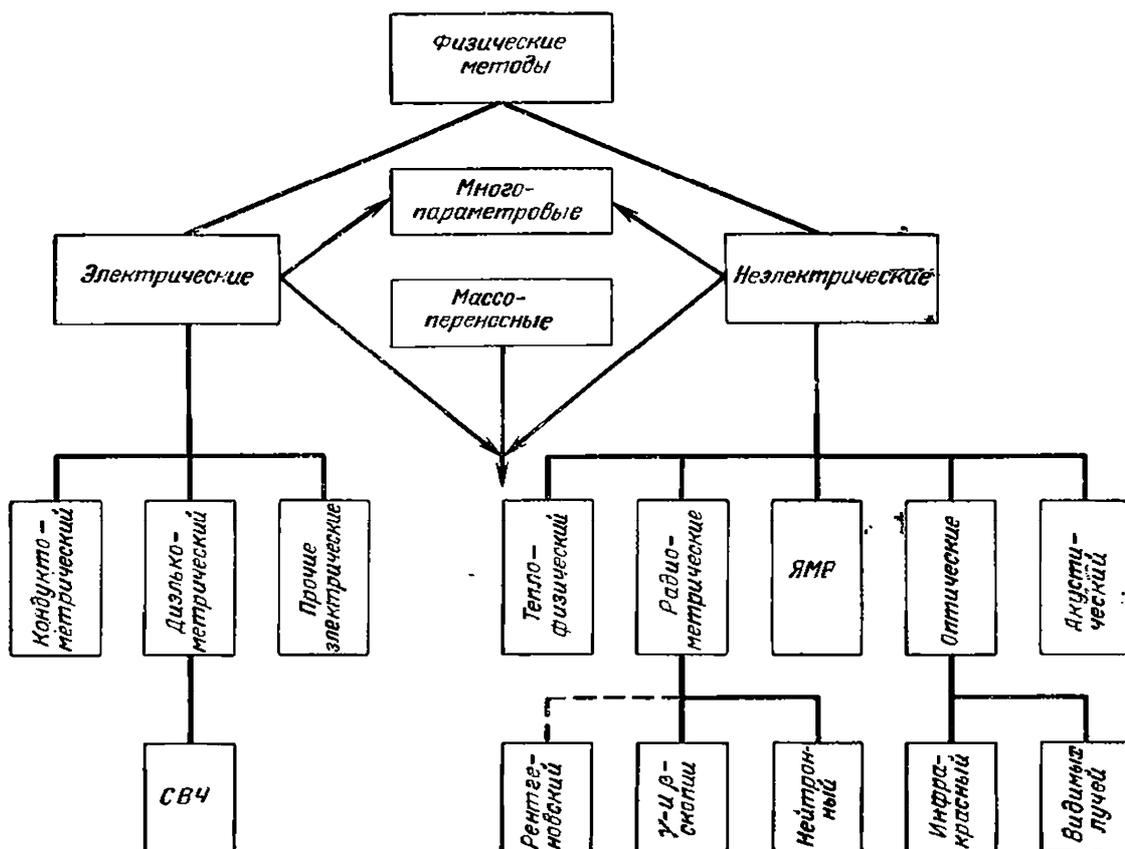


Рис. 1.1. Схема классификации физических методов измерения влажности твердых материалов и жидкостей.

1.2 Электрические методы

2.1 Кондуктометрический метод

Кондуктометрический метод основан на зависимости удельной, объемной проводимости, измеренной на постоянном токе, от содержания влаги [2, 7]. Типичный характер такой зависимости показан на рис. 1.2. Как можно заключить, чувствительность метода высока в области малых значений влажности и резко снижается в области большой влажности. При этом удельная электропроводность, помимо содержания воды в веществе, очень сильно зависит от его вязкости, концентрации электролита, характера структуры и температуры. В связи с этим погрешность при измерениях обычно велика (6—8%).

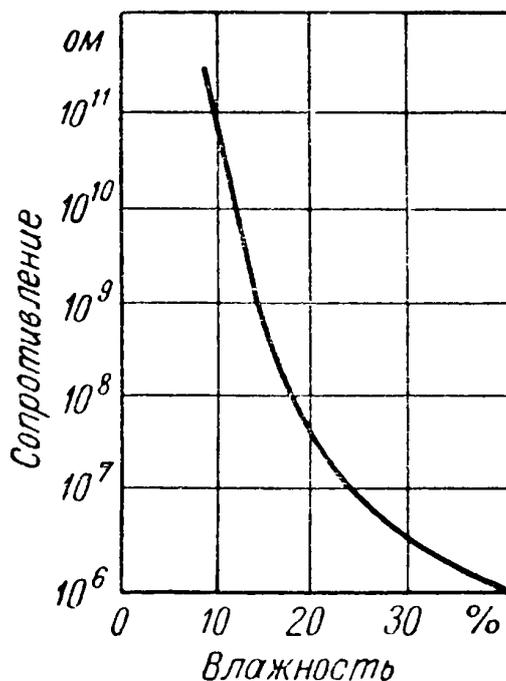


Рис. 1.2. График зависимости омического сопротивления пробы продукта от влажности.

Наиболее распространенной измерительной схемой является схема омметра постоянного тока с непосредственным отсчетом, приведенная на рис. 1.3. При измерении проба вещества помещается между плоскими или

круглыми электродами преобразователя.

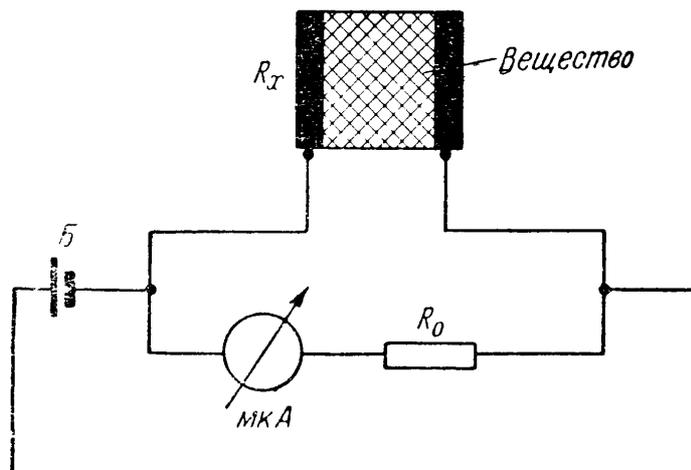


Рис. 1.3. Схема измерения сопротивлений на постоянном токе с непосредственным отсчетом.

Кондуктометрический метод может применяться при измерении влажности веществ, имеющих более или менее постоянную концентрацию солей и в тех случаях, когда не требуется высокой точности измерения. Этот метод, например, применяется для измерения влажности зерна, волокна, бумаги, песка, почв, некоторых пищевых продуктов и т. п., однако в связи со значительной погрешностью измерения широкого распространения он не получил.

2.2 Метод диэлектрических потерь

Определение влажности по величине диэлектрических потерь пробы вещества основано на следующих предпосылках:

Диэлектрические потери (ДП) являются частью электрической энергии, переходящей в тепло в веществе при переменном напряжении [2,7]. В реальном диэлектрике, общая величина диэлектрических потерь может быть представлена в виде:

$$P = (j_a + j_{скв}) E_{эф}$$

где j_a — активная составляющая абсорбционного тока; $j_{скв}$ — ток

сквозной электропроводности; $E\epsilon f$ - амплитуда напряженности поля.

Величина активной составляющей абсорбционного тока, а следовательно, и величина диэлектрических потерь в целом, в некоторой степени определяется количеством воды, являющейся полярной жидкостью в пробе вещества. Это объясняется тем, что наличие в его составе воды вызывает увеличение общей величины диэлектрических потерь в связи с возникновением так называемых дипольных потерь, причем эти потери, будучи пропорциональны относительному количеству воды в пробе, тем больше, чем выше частота f приложенного напряжения.

Для воды максимальные дипольные потери имеют место при $f > 10^9$ Гц. Таким образом, в веществах, имеющих малую сквозную проводимость сравнительно с активной составляющей абсорбционного тока, при условии применения высокой частоты питающего напряжения, соответствующего частотному максимуму для воды, возможно использование этого метода для определения влажности вещества. Для веществ, у которых преобладает сквозная проводимость, этот метод непригоден, так как *при низких частотах (50 гц) диэлектрические потери равны потерям проводимости при постоянном токе. В этом случае результаты измерения одинаковы с результатами кондуктометрического метода, недостатки которого были перечислены выше; повышение же частоты питающего напряжения мало способствует выделению активной составляющей абсорбционного тока.*

При измерениях вещество помещается между двумя электродами преобразователя или вносится в образованное им высокочастотное поле. К преобразователю подводится напряжение переменного тока. При использовании напряжения низкой промышленной частоты применяется схема моста переменного тока, а при высокой частоте часто применяется измерительная схема на основе автогенератора. Здесь в качестве преобразователя используется колебательный LCR контур образующий

генератор высокочастотных колебаний. При внесении пробы вещества в высокочастотное поле, образованное индуктивностью или емкостью, колебательный контур нагружается потерями. По величине расходуемой в контуре мощности определяются общие диэлектрические потери, внесенные пробой вещества, а следовательно, с известной погрешностью, и его влажность.

Вариантом измерительной схемы является также параллельный резонансный контур, в котором измеряется изменение амплитудного значения резонансного напряжения.

При внесении пробы влажного вещества в параллельный колебательный контур, настроенный в резонанс, последний выходит из него. Это происходит вследствие того, что проба, представляющая собой эквивалентную емкость C_x шунтированную активным сопротивлением R_x , *изменяет величину* резонансной емкости контура. При этом сопротивление R_x *вносит в контур дополнительные потер*, которые изменяют амплитуду резонансного напряжения на контуре, в то время как емкость изменяет его частоту.

Измерение диэлектрических потерь, не может надежно характеризовать влажность вещества. Из рассмотрения метода диэлектрических потерь следует, что он может надежно применяться для измерения влажности только в том случае, если в состав исследуемого вещества входят два химически чистых компонента, а это требование в реальных условиях никогда не сохраняется и практически диэлектрические потери являются функцией многих переменных — всех компонентов вещества (физической структуры, вязкости, температуры и т. д.).

Метод диэлектрических потерь также не может дать удовлетворительного решения вопроса измерения влажности различных веществ.

2.3 Емкостный метод

Емкостный метод измерения влажности вещества основан на том, что

диэлектрическая проницаемость влажного вещества является линейной функцией его влагосодержания, обычно выраженного в процентах [7]. Так как диэлектрическая проницаемость сухого вещества обычно невелика (2,0 — 5,0), а диэлектрическая проницаемость воды значительно больше (81,0), то даже при небольшом изменении содержания воды в веществе происходит весьма ощутимое изменение емкости. Диэлектрическая проницаемость влажного вещества (смесь сухого вещества и воды) измеряется через емкость конденсаторного датчика, заполненного испытуемым веществом.

Емкость плоского конденсаторного датчика, показанного на рис. 1.4, а, определяется из уравнения:

$$C = 0,08842 \varepsilon \frac{S}{d} [нФ]$$

Где ε — диэлектрическая проницаемость, S — площадь электрода ($см^2$), d - расстояние между пластинами (см).

Емкость цилиндрического конденсатора (рис. 1.4, б)

$$C = \frac{0,2416 \varepsilon}{\lg \frac{d_2}{d_1}} [нФ]$$

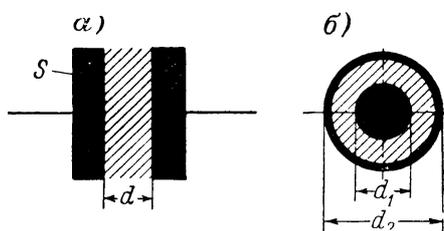


Рис. 1.4. Конденсаторные преобразователи: а — плоский; б — цилиндрический.

2.4 Мостовая измерительная схема.

Измерение емкости пробы C_x можно осуществлять в любой мостовой измерительной схеме [8]. Однако наличие диэлектрических потерь в реальном продукте вызывает необходимость уравнивания моста по двум параметрам (C_x и R_x), что трудно осуществимо в промышленных автоматических устройствах. Однако при определенных условиях работы

моста влияние диэлектрических потерь на величину измеряемой емкости может быть значительно снижено. При применении частоты более 100 МГц эффект влияния проводимости на баланс моста будет пренебрежимо мал. Однако выполнение моста, работающего на такой частоте, достаточно сложно и не может иметь промышленного значения.

2.5 Резонансная измерительная схема.

Достаточно простой измерительной схемой [7, 8], позволяющей определить емкость конденсаторного датчика, заполненного веществом, при наличии в нем диэлектрических потерь, является параллельный резонансный колебательный контур с индуктивностью L и емкостью C_0 , представленный на рис. 1.5. Контур связан с генератором высокочастотных колебаний Γ через индуктивную или емкостную связь. Резонанс в контуре достигается с помощью переменного образцового конденсатора C_0 , а диэлектрические потери реального продукта могут быть представлены сопротивлением R_x , шунтирующим измеряемую емкость C_x . Индикатором резонанса служит высокоомный вольтметр $ЛВ$.

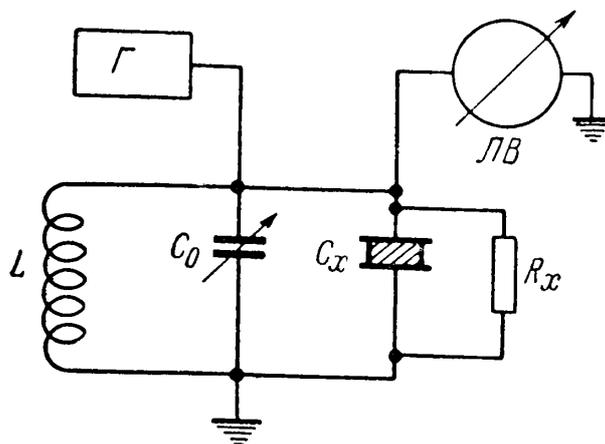


Рис. 1.5. Параллельный резонансный колебательный контур для измерения емкости.

В такой измерительной схеме резонансная емкость теоретически не зависит от величины шунтирующего конденсатор сопротивления, как это видно из выражения:

$$U = \frac{E_0}{\omega C \sqrt{\left(R + \frac{L}{\omega C}\right)^2 + \left(\frac{1 + \frac{R}{R_x}}{\omega C} - \omega L\right)^2}}$$

где U — амплитуда напряжения резонансного контура;

ω — круговая частота;

C — емкость в резонансном контуре;

R — сопротивление резонансного контура;

L — индуктивность резонансного контура;

R_x — шунтирующее сопротивление образца;

E_0 — напряжение питания.

Максимум значения напряжения будет при $C_{\text{рез}} = \frac{L}{R^2 + \omega^2 L^2}$

Из выражения для U следует, что емкость, соответствующая максимальному напряжению на контуре с исследуемой пробой, не зависит от шунтирующего сопротивления R_x . Величина этого сопротивления только изменяет амплитуду максимального напряжения, что следует из уравнения:

$$U_{\text{рез}} = \frac{E_0}{\frac{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}{R_x} + \frac{R}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}}$$

Так как в этом контуре $C_{\text{рез}} = C_0 + C_x$, то определение C_x производится по разности значений C_0 при заполнении конденсаторного датчика веществом и без него, в момент резонанса параллельного колебательного контура.

Влагомеры, работающие по такой схеме, не могут быть прямо показывающими, так как установка резонанса контура должна производиться вручную, а отсчет влажности осуществляется по положению шкалы образцового конденсатора в момент резонанса.

Выше указывалось, что резонансная частота параллельного колебательного контура определяется только относительной величиной его реактивных составляющих — емкости и индуктивности. Амплитуда же напряжения зависит в свою очередь только от величины потерь. Как видно из рис. 6, при одном и том же изменении емкости, вызывающем уход круговой

частоты, при различных потерях изменение напряжения не является однозначной функцией емкости пробы. Это исключает применение измерительных схем, выполненных по схеме «половины резонансной кривой», в которых используется кривая одной половины резонансного шика; в этом случае показания будут зависеть не только от изменения чистой емкости пробы C_x , но и от величины диэлектрических потерь активной составляющей полного тока, выраженных через R_x .

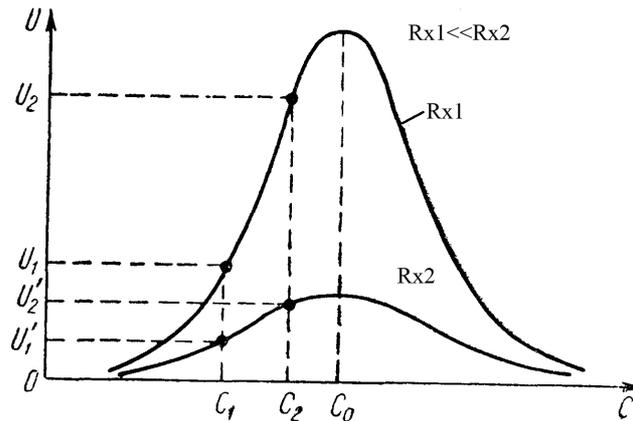


Рис.1.6. График изменения амплитуды напряжения на резонансном колебательном контуре в зависимости от емкости для различных R_x .

2.6 Генераторная схема

Некоторой модификацией резонансной измерительной схемы может считаться генераторная схема, в которой производится измерение ухода частоты контура, в который включается измеряемая емкость C_x с потерями, выраженными через R_x . Высокочастотные колебания рабочего генератора обычно сравниваются с постоянной частотой образцового генератора и по величине разницы частот судят о емкости и соответственно о влажности пробы вещества.

Как следует из известного выражения $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, частота генератора не зависит от изменения R_x т. е. потерь в колебательном контуре. Однако внесение потерь в реальный резонансный контур в действительности вызывает некоторый уход частоты, но при этом изменение частоты от

приращения потерь гораздо меньше, чем от изменения емкости. С другой стороны, измерительная схема может быть осуществлена таким образом, что в определенном диапазоне частота генераторного контура останется практически постоянной даже при значительных изменениях потерь, вводимых с исследуемой пробой.

Резонансный влагомер со срывом генерации

Для измерения влажности сыпучих материалов часто используются влагомеры с емкостными датчиками, включенными в измерительные схемы, которые построены на принципе срыва генерации при нарушении резонансной настройки контура с датчиком [7].

Схема одного из таких резонансных влагомеров приведена на рис. 1.7. Прибор включает в себя генератор на лампе и усилитель с электронным индикатором. При заполнении сухим контролируемым веществом пространства между электродами датчика генерация возникнет в случае, если при полностью введенной емкости C_2 подобрать такую емкость C_4 , чтобы резонансный контур, включающий указанные емкости, а также емкости C_3 , C_4 и индуктивность L , был настроен на частоту резонанса кварца. Возникновение генерации приводит к резкому уменьшению анодного тока ламп. В связи с этим скачком уменьшается падение напряжения на сопротивлении R_4 и затемненный сектор индикатора лампы-индикатора L_2 почти полностью исчезает.

При заполнении после этого датчика влажным контролируемым материалом анодный контур генератора за счет увеличения емкости C_1 расстраивается и генерация срывается. Для восстановления генерации емкость C_2 уменьшается настолько, насколько увеличилась емкость C_1 . Очевидно, что при различной влажности контролируемого материала восстановление генерации будет происходить при различном изменении емкости C_2 .

Поэтому и поворот оси ротора конденсатора C_2 в зависимости от влажности материала будет разным. Это дает возможность, связав стрелку указателя с ротором конденсатора C_2 , определять после предварительной тарировки влажность контролируемого материала по положению стрелки указателя.

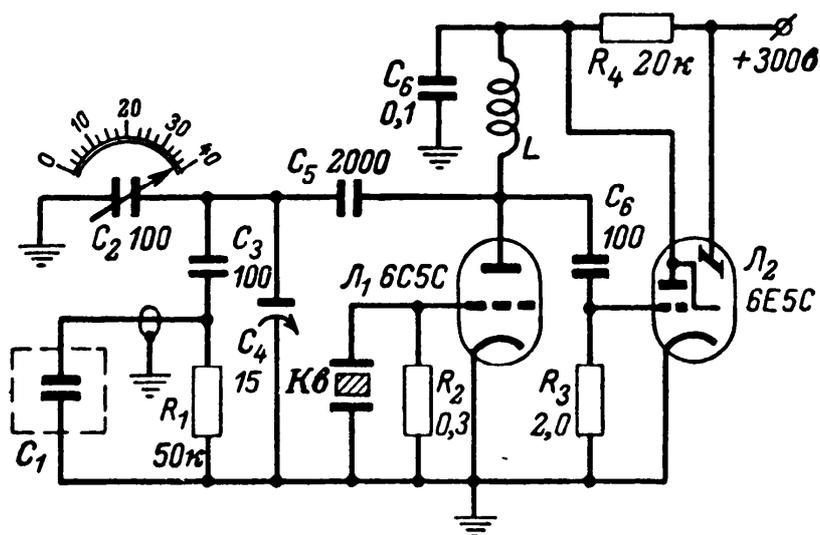


Рис. 1.7. Схема резонансного влагомера со срывом генерации.

По сути дела этот метод является методом замещения, в котором точность замещения емкости контролируется через частоту резонанса колебательного контура, которая для работы автогенератора должна точно совпадать с частотой кварца. Ширина полосы резонанса колебательного контура напрямую зависит от потерь в нем, определяя точность компенсации, поэтому диэлектрические потери (электропроводность) определяют точность измерений.

Для уменьшения влияния изменения электропроводности контролируемого материала на точность измерений датчик C_1 шунтирован сопротивлением R_1 . Изолировать электроды датчика от контролируемого материала нецелесообразно, так как это существенно понижает чувствительность схемы из-за - появления малой емкости, обусловливаемой

изоляционным покрытием, последовательно включенной с емкостью C_1 . Частота колебаний используемого в схеме генератора обычно 3—4 МГц.

Конструкция одного из вариантов датчика влагомера показана на рис. 1.8. Датчик собирается из двух изолированных друг от друга электродов: внутреннего, имеющего ножевую форму, и внешнего, охватывающего внутренний электрод с двух сторон. Датчик снабжается ручкой, с помощью которой электроды вводятся в контролируемую массу.

Датчик соединен с измерительной схемой коаксиальным кабелем, например типа РК-3, длиной 0,75 — 1 м. Экранирующая оплетка кабеля припаивается к внешнему электроду датчика. Рассмотренный резонансный влагомер дает возможность определить наличие 0,1 г воды в 10 г контролируемой массы.

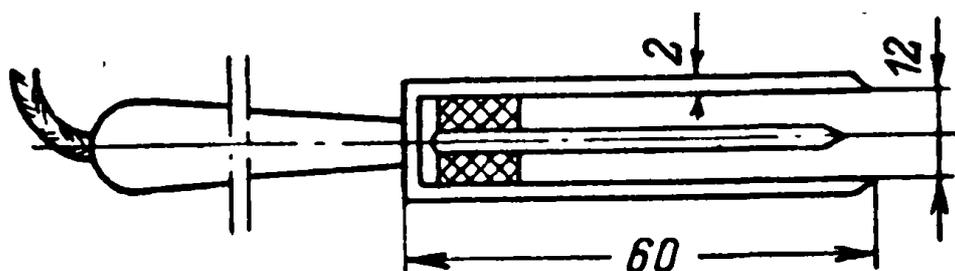


Рис. 1.8. Конструкция датчика резонансного влагомера со срывом генерации.

1.3 Проблема измерения влажности веществ с большими диэлектрическими потерями.

Значительное число промышленных материалов и различных продуктов — органические удобрения, сложные химические соединения, включающие электролиты, пищевые продукты (мясопродукты, молочные продукты) и т. п., измерение влажности которых представляет значительный интерес, по своим диэлектрическим свойствам относятся к классу ионных проводников [3, 9]. Измерение влажности (емкости C_x) таких продуктов с помощью рассмотренных измерительных схем практически невозможно. Действительно, внесение в резонансный колебательный контур пробы

продукта с большой полной проводимостью приводит к срыву генерации и затуханию колебаний.

Попытка устранить вредное влияние полной проводимости путем применения изолированных электродов, изолированных измерительных ячеек или последовательно подключенного к пробе образцового конденсатора, не достигает цели.

В мостовых измерительных схемах при измерении влажности материалов и продуктов с большими диэлектрическими потерями отношение емкостного реактивного сопротивления $X_c = \frac{1}{2\pi fC}$ к активному R_x будет очень большим и вследствие этого мостовая схема станет нечувствительной к изменению емкости.

Одним из способов, облегчающих измерение влажности таких веществ, является химическая или механическая обработка вещества, перед измерением или в момент измерения, которая уменьшает диэлектрические потери и позволяет произвести измерение.

Из электрических методов снижения влияния больших диэлектрических потерь, вызывающих срыв генерации колебательного контура, заслуживает внимания **применение слабо связанных колебательных цепей [7]**.

Другим способом сохранения работоспособности колебательного контура генератора является введение в него **постоянной емкости последовательно с измеряемой пробой**. Введение в контур генератора емкости последовательно с образцовой емкостью C_0 и пробой C_x , позволяет сохранить работоспособность контура при очень малом R_x так как основные элементы контура C и L сохраняются даже при $R_x=0$. Однако при этом, как уже рассматривалось выше, схема становится непригодной для измерения чистой емкости. Поэтому для правильного определения влажности пробы вещества необходимо внести поправку, исключая влияние диэлектрических потерь.

Для того чтобы не вносить больших диэлектрических потерь в контур

генератора при измерении влажности проводящих веществ, используют **измерительную ячейку из диэлектрика** (рис. 1.9). Так как при этом вещество не имеет непосредственного контакта с электродами и отделено от них слоем диэлектрика, такую измерительную ячейку называют **безэлектродной**.

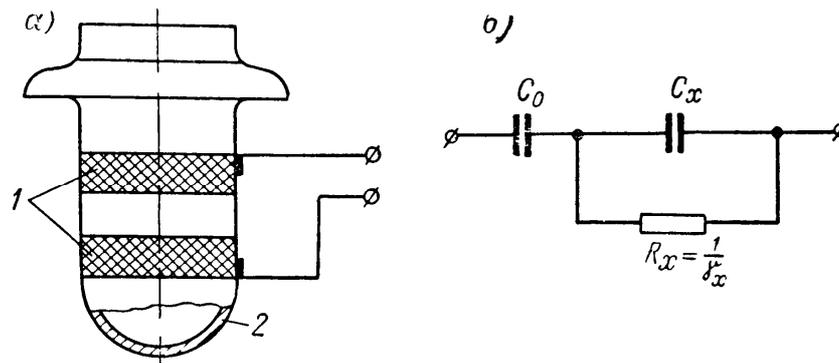


Рис. 1.9. Измерение влажности с безэлектродной ячейкой: а — безэлектродная измерительная ячейка; б — эквивалентная схема пробы продукта с потерями. (1 — серебряные элементы; 2 — стекло).

Эквивалентная электрическая схема такой ячейки приведена на рис. 1.9, б. Комплексная емкость C_k ячейки с пробой вещества может быть найдена из выражения:

$$C_k = \frac{\gamma^2 C_0 + \omega^2 C_0 C_x^2 + \omega^2 C_x C_0^2}{\gamma^2 + \omega^2 (C_0 + C_x)^2}$$

где C_0 — емкость обкладок измерительной ячейки; C_x — емкость пробы вещества; $\tilde{\gamma}_x$ — проводимость пробы вещества; ω — круговая частота приложенного напряжения.

Выше уже указывалось, что включение последовательно с пробой постоянного конденсатора или заключение пробы в диэлектрическую ячейку приводит к измерению комплексной емкости вместе с диэлектрическими потерями со всеми вытекающими отсюда последствиями (зависимость от проводимости, характера структуры, физических свойств и т. д.). Выражение

для S_k дает эту зависимость в аналитической форме.

Заслуживает внимания также метод **предварительной нагрузки колебательного контура активными потерями**, во много раз превышающими возможные потери от внесения пробы. Основным недостатком схемы – низкая чувствительность.

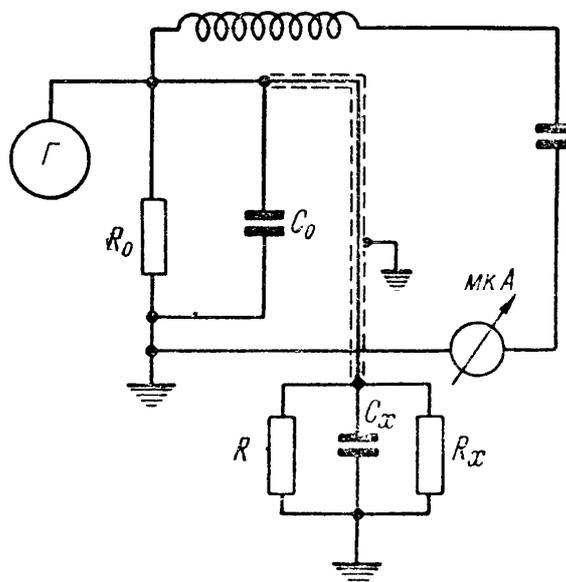


Рис. 1.10. Принципиальная схема высокочастотного последовательного контура с малым R для измерения влажности.

1.4 Температурная компенсация емкости датчика.

Диэлектрическая проницаемость любого продукта связана с температурой зависимостью в виде:

$$\frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{d\epsilon}{dT} = - \frac{(\epsilon - 1)(\epsilon + 2)}{3\epsilon} \cdot \beta_v$$

где $\frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{d\epsilon}{dT}$ — относительный температурный коэффициент продукта;

ϵ — диэлектрическая проницаемость продукта; T — абсолютная температура; β_v — коэффициент объемного расширения продукта.

Поэтому всякое изменение температуры измеряемого продукта будет отражаться на точности определения влажности. Особенно это важно в тех случаях, когда изменение емкости от влажности соизмеримо с ее изменением от температуры.

Таким образом, при измерении влажности емкостным методом необходимо либо поддерживать термостатированием температуру измеряемого продукта постоянной и равной той температуре, при которой производилась градуировка влагомера, либо вводить автоматическую компенсацию температуры [9].

В переносных приборах, предназначенных для работы в лабораторных условиях, можно ограничиться термостатированием преобразователя. В стационарных влагомерах, предназначенных для непрерывного автоматического контроля и регулирования влажности продукта в технологическом процессе, температурная компенсация должна вводиться автоматически.

Основные способы термокомпенсации

1. Температурная компенсация параллельной емкостью с противоположным ТКЕ.
2. Температурная компенсация выбором конструктивных размеров и температурного коэффициента электродов преобразователя.
3. Температурная компенсация внесением поправки по току в узле сравнения.

1.5 Градуировка влагомеров

Эталонные методы определения влажности. Независимо от принципа действия и типа влагомера для его применения в производственном процессе с целью контроля или регулирования влажности необходимо установить зависимость изменения выходной величины влагомера от влажности вещества. Так как выходная величина влагомера (обычно ток I) пропорциональна изменению вторичного параметра преобразователя (проводимость, диэлектрические потери, емкость, резонансные потери при ЯМР), то практически задача сводится к установлению вида такой

зависимости.

Для этой цели отобранная проба вещества должна быть подвергнута измерению в преобразователе, затем в ней эталонными методами определяется влажность и по ряду измерений устанавливается интересующая зависимость [1, 4-6, 9].

Очевидно, что к эталонному методу определения влажности должны быть предъявлены весьма высокие требования. На основании общих метрологических требований погрешность эталонного метода должна быть на порядок (в 10 раз) меньше, чем допускаемая погрешность влагомера.

1.6 Теоретические основы диэлькометрического метода

В диэлькометрическом (емкостном) методе чаще всего используются средневолновый и коротковолновый ($f=0,3 - 30$ МГц) диапазоны частот или сверхвысокие частоты (СВЧ). В первом случае геометрические размеры датчиков и других элементов измерительных цепей значительно меньше длины волны и их можно рассматривать как системы с сосредоточенными параметрами [1].

При измерениях в области дециметровых, сантиметровых и миллиметровых волн приходится рассматривать системы с распределенными параметрами. Практически существует также промежуточная область частот. Предельной частотой для систем с сосредоточенными параметрами можно считать 100 МГц.

Поведение диэлектрика в синусоидальном электромагнитном поле характеризуется макроскопически величинами комплексных диэлектрической ϵ^* и магнитной μ^* -проницаемостей. У влажных материалов, не содержащих ферромагнетиков, величина $\mu^* \approx \mu_0$ (магнитной проницаемости пустоты) и их электрические свойства в слабых переменных электрических полях можно описать двумя параметрами, связанными с ϵ^* . При измерениях влажности используются следующие эквивалентные пары величин:

- а) вещественная ϵ' и мнимая ϵ'' составляющие комплексной

диэлектрической проницаемости $\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon''$;

б) диэлектрическая «проницаемость» ϵ и тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$;

в) диэлектрическая проницаемость ϵ и удельная проводимость (точнее, ее активная составляющая) σ .

Зависимости между этими величинами имеют вид:

$$\epsilon' = \epsilon$$

$$\epsilon'' = \sigma / \omega$$

$$\operatorname{tg} \delta = \epsilon'' / \epsilon' = \sigma / \omega \epsilon'$$

$$\epsilon^* = \epsilon (1 - j \operatorname{tg} \delta)$$

где ω — угловая частота.

Зная одну из указанных параметров, можно, следовательно, вычислить любую другую пару. Реже пользуются такими параметрами, как добротность $Q = 1/\operatorname{tg} \delta$ или активная σ' и реактивная σ'' составляющие комплексной проводимости σ^* .

Современная физика диэлектриков связывает зависимость ϵ и $\operatorname{tg} \delta$ материалов от их свойств с основным процессом, происходящим в любом реальном диэлектрике под воздействием электрического поля, — поляризацией частиц диэлектрика.

В гетерогенных системах поляризация имеет неодинаковый характер для различных фаз и для всей системы в целом. На характеристики системы оказывает также влияние двойной электрический слой, определяемый наличием заряда на поверхности раздела между фазами, имеющими различные электрические свойства.

Рассмотрим в элементарной форме процессы поляризации и электрические свойства основных компонентов влажных материалов.

Вода и лед принадлежат к полярным веществам с отчетливо выраженными явлениями диэлектрической релаксации. У таких веществ при

возрастании частоты поля диэлектрическая проницаемость изменяется от значения ϵ_0 при нулевой частоте (статическая диэлектрическая проницаемость) до значения ϵ_∞ при бесконечно большой частоте (оптическая диэлектрическая проницаемость), проходя через область аномальной диэлектрической дисперсии. В области дисперсии зависимость $\text{tg } \delta(\omega)$ имеет экстремум (максимум) при частоте, равной критической частоте ω_c ; абсциссе, равной ω_c , соответствует точка перегиба зависимости $\bar{\epsilon}(\omega)$. Время релаксации $\tau = 1/\omega_c$ равно времени, в течение которого после мгновенного снятия внешнего поля поляризация уменьшается до величины $1/e$ от первоначального значения.

По Дебаю частотная зависимость диэлектрической проницаемости при релаксационном поглощении описывается уравнениями:

$$\epsilon^* - \epsilon_\infty = \frac{\epsilon_0 - \epsilon_\infty}{1 + j\omega\tau} \quad (2-4)$$

откуда

$$\epsilon' = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_0 - \epsilon_\infty}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (2-5)$$

и

$$\epsilon'' = (\epsilon_0 - \epsilon_\infty) \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (2-6)$$

Из (2-6) можно вычислить максимальное значение ϵ'' :

$$\epsilon''_{\text{макс}} = \frac{\epsilon_0 - \epsilon_\infty}{2}$$

Для воды при комнатных температурах критическая частота находится в диапазоне сантиметровых волн. Вычисленная по формуле Дебая критическая длина волны, соответствующая времени релаксации, $\lambda_k = 1 \text{ см}$; по экспериментальным данным при температуре 20°C - $\lambda_k = 1,74 \text{ см}$. Параметры чистой воды при температуре 25°C , измеренные в широком диапазоне частот, приведены в таблице 1. В диапазоне частот $10^5 < f < 10^7 - 10^8 \text{ гц}$ значение ϵ чистой воды при комнатной температуре обычно считают близким к 80. Значение

ϵ_{∞} считают равным 5,5, хотя по данным некоторых исследователей более точными являются значения ϵ_{∞} , равные 4,5 или 4,9. Приведенные данные относятся к воде, находящейся в «свободном» состоянии.

Таблица 1

Параметр воды при 25°C	Частота, гц							
	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	3·10 ⁸	3·10 ⁹	10 ¹⁰	2,5·10 ¹⁰
ϵ	78,2	78,2	78,2	78,0	77,5	76,7	55	34
$10^4 \text{ tg } \delta$	4 000	400	46	50	160	1 570	5 400	2 650

При связывании воды она теряет подвижность в электрическом поле и ее диэлектрическая проницаемость уменьшается по мере увеличения энергии связи. Для наиболее прочной формы связи — химической — считают диэлектрическую проницаемость воды $\epsilon_{\text{св}} \approx \epsilon_{\infty}$.

Электрические свойства воды резко изменяются при изменении ее агрегатного состояния, ϵ и $\text{tg } \delta$ льда зависят от частоты тока, температуры и наличия примесей в воде и сильно отличаются от параметров жидкой воды. На сверхвысоких частотах в диапазоне температур —50 - 0°C для льда $\epsilon = 3,05$ (при длине волны $\lambda = 3$ см) и 3,17 (при $\lambda = 1,25$ см).

Близость значений электрических параметров льда и сухого вещества имеет важное следствие — для определения содержания влаги в твердой фазе нельзя применять диэлькометрический метод.

Более сложный характер имеют диэлектрические свойства «сухой» части влагосодержащих материалов. При отсутствии влаги капиллярно-пористые материалы и жидкие неполярные и слабополярные вещества имеют очень низкую диэлектрическую проницаемость и малые диэлектрические потери. В таблице 2 даны средние значения ϵ различных влагосодержащих материалов в обезвоженном состоянии при комнатной температуре. Результаты измерений электрических параметров материалов, полученные различными исследователями, часто отличаются вследствие использования разных

методик измерения и различий использованных образцов. Поэтому данные таблицы 2 должны рассматриваться как приблизительные; в то же время они показывают большое отличие ϵ воды от сухих материалов. Даже сильно полярные жидкости имеют значительно более низкие значения ϵ , чем вода.

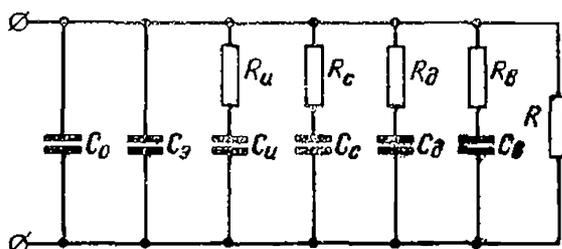
Наличие влаги оказывает большое влияние на поляризацию неоднородных диэлектриков сложного состава, какими являются влажные материалы.

В общем случае в сложном диэлектрике могут иметь место следующие основные виды поляризации: электронная, ионная, дипольная, структурная и внутрислойная. В зависимости от особенностей материала различные виды поляризации могут иметь больший или меньший удельный вес, а некоторые из них могут и вовсе отсутствовать. Суммарная поляризация вещества представляет собой сумму всех имеющихся видов поляризации.

Таблица 2

Материал	ϵ	Материал	ϵ
Кожа	1,3 $\frac{1}{4}$	Уголь	2,5 $\frac{3}{4}$
Нефти	2,0—2,7	Животные жиры . . .	3—3,5
Зерновая масса	2	Древесина	1,6—4
Бумага	1,5—3	Гипс	5,5
Хлопчатобумажные ткани	2—2,5	Каменная соль	5—6
Минеральные и растительные масла	2—3	Целлюлоза	6,5 }
		Крахмал	10

Потери утечки являются лишь одной из составляющих суммарных потерь в переменном поле; дополнительные потери вызваны различными видами поляризации.



C_0 — емкость в вакууме; C_1 — емкость электронной поляризации; C_2 — емкость ионной поляризации; C_3 — емкость структурной поляризации; C_4 — емкость дипольной поляризации; C_5 — емкость внутрислойной поляризации; R_u, R_c, R_d, R_g — эквивалентные сопротивления потерь при разных видах поляризации; R — сопротивление сквозному току.

Рис. 1.11. Схема замещения сложного поляризованного диэлектрика.

Схема замещения рассматриваемого- диэлектрика содержит геометрическую емкость (емкость, соответствующую полю электродов в вакууме) и сумму емкостей, обусловленных различными видами поляризации. Последние емкости (кроме емкости электронной поляризации) в схеме замещения имеют последовательные сопротивления, учитывающие потери за счет этих видов поляризации. Кроме того, в схеме введено активное сопротивление, величина которого зависит от сквозного тока проводимости между электродами. Полная схема замещения поляризованного диэлектрика показана на рис. 1.11. Таким образом, поляризация влагосодержащего материала имеет сложный характер, и во всех случаях полное сопротивление датчика с материалом является комплексной величиной.

Поляризация при переменном токе определяет комплексную проводимость диэлектрика: реактивная составляющая последней связана с диэлектрической проницаемостью, активная — с диэлектрическими потерями.

Второе важное для измерений влажности проявление поляризации материалов заключается в отчетливо выраженной зависимости их электрических параметров от частоты поля.

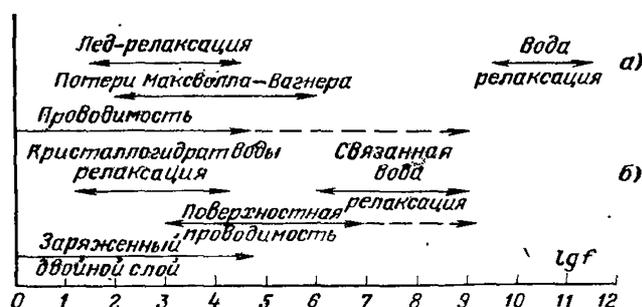
У многих капиллярнопористых материалов область дисперсии значительно шире, чем по Дебаю, и критическая частота материала в целом отличается от критической частоты воды, являющейся включением в непроводящую и нерелаксирующую среду (сухое вещество). Иногда наблюдается больше одной области дисперсии и больше одного максимума ϵ'' .

В гетерогенных системах, содержащих воду, необходимо дополнительно принять во внимание следующие факторы:

а) наличие двойного поляризованного слоя частиц, следствием которого могут являться значения ϵ более высокие, чем у воды;

б) высокая поверхностная проводимость частиц или включений.

С учетом указанных эффектов на рис. 12 дана характеристика факторов, обуславливающих диэлектрические потери в гетерогенных водосодержащих системах, в широком диапазоне частот. В области низких частот имеет место наложение многих эффектов; в диапазоне СВЧ (выше 109 Гц) основным видом являются релаксационные потери, связанные с поляризацией свободной воды. Это объясняет различия в характеристиках диэлькометрического метода, соответствующие разным диапазонам частот. Ряд исследователей дополнил теорию Дебая и предложил соотношения, лучше описывающие поляризацию в гетерогенных системах, содержащих полярные молекулы; эти соотношения в некоторых случаях применимы и к влажным материалам.



а — отсутствие поверхностных эффектов; б — потери, вызванные поверхностными эффектами; - - - — продолжение для воды, содержащей ионы.

Рис. 1.12 Диэлектрические потери в гетерогенных системах, содержащих воду.

1.7 Диэлектрические характеристики влагосодержащих материалов

Характеристиками, используемыми в диэлькометрическом методе, являются зависимости удельных электрических параметров материала от его влажности, свойств и состояния, а также от условий измерения:

а) влажностные характеристики электрических параметров материала — зависимости ϵ и $\text{tg} \delta$ или других параметров, в том числе и комплексных, от его влажности W (или влагосодержания) при постоянных значениях частоты поля f , температуры материала t , степени уплотнения (для дисперсных материалов) и других величин, влияющих на результаты

измерения;

б) частотные характеристики - функции $\varepsilon(f)$ и $\operatorname{tg} \delta(f)$ при постоянстве W , t и других величин, характеризующих состояние материала;

в) температурные характеристики — функции $\varepsilon(T)$ и при постоянстве W , f и других факторов;

г) характеристики, описывающие зависимость электрических параметров материала от его состава, плотности, распределения влаги и т. д.

Имеется большое количество экспериментальных данных о диэлектрических характеристиках влагосодержащих материалов.

Использование этих данных требует, однако, определенной осторожности, так как результаты измерений, проведенных в разных условиях и по различным методам, не совпадают, а иногда противоречат друг другу.

Недостатком большинства экспериментальных работ является также то, что они охватывают измерения лишь одного или нескольких материалов в ограниченном диапазоне частот и, следовательно, не дают возможности получить достаточно общие выводы.

Влажностные характеристики служат основой градуировки влагомеров и в значительной степени определяют их метрологические свойства. Линейные влажностные характеристики имеют лишь немногие материалы. К ним относятся некоторые жидкие диэлектрики; у твердых материалов такой характер зависимости встречается реже и только для узких диапазонов влагосодержания.

У подавляющего большинства материалов ε и $\operatorname{tg} \delta$ увеличиваются с ростом влажности быстрее, чем следовало бы при наличии линейного закона; относительная крутизна характеристики $\operatorname{tg} \delta(W)$, как правило, больше,

чем характеристики $\varepsilon(W)$

Зависимости $\varepsilon(W)$ при разных условиях измерения можно описать монотонно возрастающими функциями. В широком диапазоне влагосодержаний их можно аппроксимировать ломаной прямой, состоящей из

двух отрезков с одной сопрягающей—«критической» влажностью $W_{кр}$ (рис. 1.13). На участке $W < W_{кр}$ крутизна характеристики (и соответствующая ей чувствительность влагомера) значительно меньше, чем на участке $W > W_{кр}$. Такой характер был установлен для зависимостей $\bar{\epsilon}'(W)$ и $\bar{\epsilon}''(W)$ многих материалов при частотах порядка нескольких мегагерц и на СВЧ, а также для зависимостей от влажности ослабления и фазового сдвига проходящей волны сантиметрового диапазона; это отражает зависимость электрических свойств материала от состояния и форм связи влаги. Сингулярная точка (с абсциссой, равной $W_{кр}$) приблизительно соответствует переходу от мономолекулярного слоя к влаге полимолекулярной адсорбции.

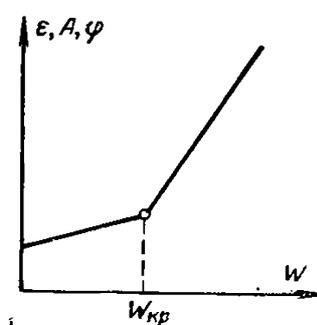


Рис. 1.13. Типичная влажностная характеристика капиллярнопористых материалов.

В области $W < W_{кр}$ энергия связи воды весьма значительна и диэлектрическая проницаемость, определяемая в основном электронной и атомной поляризацией, мала и зависит главным образом от ϵ сухого вещества. В области преобладания свободной влаги ($W > W_{кр}$) происходит плавное уменьшение энергии связи, увеличение подвижности молекул воды и связанное с этим увеличение диэлектрической проницаемости системы.

Характеристики материалов, состоящих из компонентов, различных по своим водоудерживающим свойствам (и соответствующим им энергиям связи воды), могут иметь больше одной точки излома. На положение этой точки оказывают некоторое влияние также степень дисперсности системы и частота поля.

Что касается абсолютных значений ϵ' и ϵ'' , то при постоянной частоте они определяются (особенно в области $W > W_{кр.}$) не столько электрическими параметрами сухого вещества, сколько его водоудерживающими свойствами и пористой структурой.

При сравнении зависимостей $\epsilon'(W)$ и $\epsilon''(W)$ различных категорий твердых материалов (макропористых, поли-, капиллярнопористых, коллоидных-капиллярнопористых и коллоидных) наблюдается перемещение этих характеристик в сторону оси W по мере увеличения активной поверхности (площади поверхности микро- и макрокапилляров). Выше других проходят кривые $\epsilon'(W)$ и $\epsilon''(W)$ песка и гравия, которые почти не содержат влаги микропор и адсорбированной. Вполне закономерно также увеличение «критической» влажности W_{kv} с повышением гигроскопичности материала.

Такой вид имеют влажностные характеристики в различных, далеких друг от друга диапазонах частот. На рис. 1.14 показаны экспериментальные зависимости $\epsilon(W)$ и $\text{tg } \delta(W)$, полученные при частоте 500 кгц, а на рис. 1.15 — зависимости $\epsilon'(W)$ и $\epsilon''(W)$ на частоте 9,4 Гц. для группы типичных материалов, отличающихся гигроскопическими свойствами.

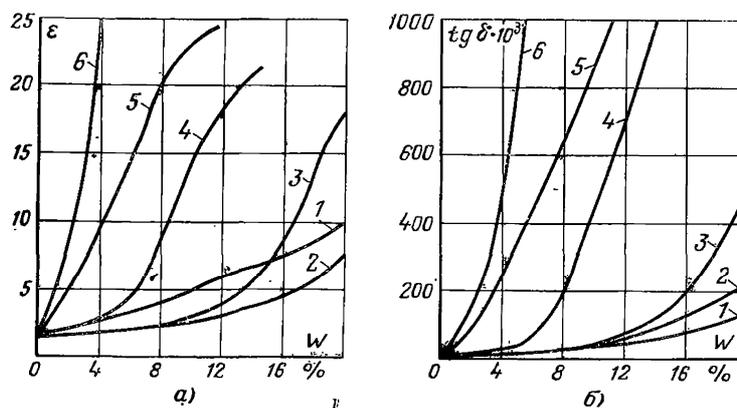


Рис. 1.14. Зависимости $\epsilon(W)$ (а) и $\text{tg } \delta(W)$ (б) твердых материалов ($F=500$ кгц).

1 - окись алюминия; 2 - зерно; 3 - табак; 4 - уголь; 5 - песок; 6- гравий.

Частотные характеристики влагосодержащих материалов имеют форму,

обусловленную неодинаковым влиянием частоты на разные виды поляризации. Это влияние различно в зависимости от содержания, состояния и форм связи влаги в материале ввиду этого целесообразно рассматривать комбинированные частотно-влажностные характеристики материалов.

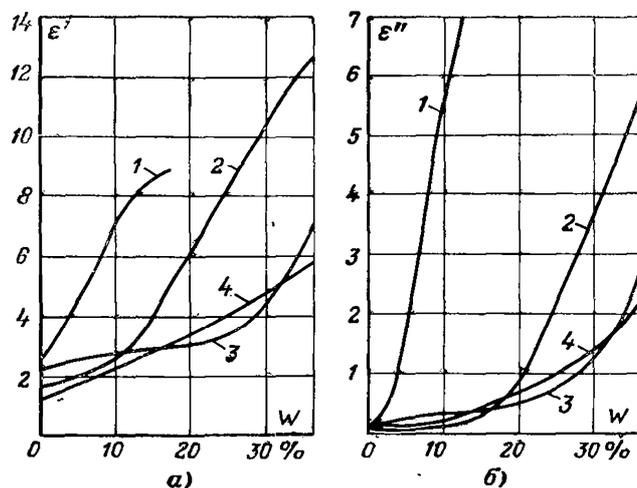


Рис. 1.15. Зависимости свойств твердых материалов на СВЧ ($F=9,4$ ГГц).

1 - песок; 2 - полиамид; 3 - картофельная мука; 4 - силикагель.

1.8 Измерения на СВЧ

Можно предложить следующую классификацию СВЧ методов измерения влажности [1]:

1. Методы свободного пространства; а) с использованием проходящей волны; б) с использованием отраженной волны. В обеих модификациях измеряемой характеристикой могут служить затухание (модуль коэффициента передачи или коэффициента отражения), изменение амплитуды или фазы волны.

2. Резонаторные методы.

3. Волноводные методы.

Известны и некоторые другие методы, нашедшие пока весьма ограниченное практическое применение. К ним относятся методы зондовые,

поверхностной волны, вращения плоскости поляризации.

Влагомеры, основанные на изменении в свободном пространстве затухания или фазового сдвига проходящей волны, нашли наибольшее практическое применение. Исследуемый материал помещается между передающей и приемной антеннами при нормальном падении волны. На практике обычно используются рупорные антенны, хотя возможно применение направленных излучателей и других типов, например диэлектрических стержневых антенн.

1.9 Особенности емкостных датчиков

Питание датчиков, имеющих небольшую емкость, осуществляется, как правило, от источников напряжения высокой частоты [3, 8]. Это вызвано тем, что только при использовании для питания этих датчиков токов высокой частоты реализуется их высокая чувствительность и обеспечивается стабильная работа связанных с ними измерительных схем.

При питании емкостных датчиков током низкой частоты их внутреннее сопротивление становится весьма большим. Поэтому для обеспечения достаточной чувствительности и стабильности измерений сопротивление изоляции элементов датчика и входных цепей измерительных схем должно быть чрезвычайно высоким.

Поэтому сопротивление изоляции датчика и указанных входных цепей должно составлять по меньшей мере 10^{10} ом.

Обеспечить такое сопротивление изоляции без специальных мероприятий чрезвычайно трудно, так как на величине этого сопротивления существенно сказываются изменение сопротивления изоляции при изменениях влажности и температуры внешней среды, непостоянство сопротивления сеточных цепей ламп и другие причины.

При выборе величины напряжения питания емкостных датчиков необходимо учитывать возможность пробоя воздушного промежутка или диэлектрика, находящихся между его электродами.

Прокладка диэлектрика между электродами датчика не только уменьшает возможность пробоя, но и увеличивает относительное изменение емкости датчика при одном и том же изменении зазора между его электродами или действующей площади этих электродов.

При относительно небольших изменениях внешних условий характеристики емкостных датчиков достаточно стабильны.

При колебаниях температуры внешней среды на 20—30° С характеристики емкостных датчиков в большинстве случаев можно считать неизменными. При колебаниях этой температуры в больших пределах с их влиянием, как правило, не считаться нельзя, так как изменение зазора между электродами датчика, а также изменение диэлектрической проницаемости его диэлектриков или материала контролируемого изделия могут существенно исказить результаты измерений.

Для исключения погрешностей от изменения температуры внешней среды детали датчика - в ряде случаев изготавливают из инвара (сплава с ничтожно малым коэффициентом линейного расширения) или применяют детали из различных металлов в таком сочетании, чтобы был равен нулю общий эквивалентный температурный коэффициент расширения участка между обкладками. Этот коэффициент может быть вычислен по размерам деталей датчика и коэффициентам линейного расширения их материалов.

Погрешности от влияния колебаний температуры внешней среды на диэлектрическую проницаемость диэлектрика или контролируемого материала исключаются введением необходимых поправок или специальных дифференциальных схем измерения.

Для обеспечения высокой точности измерений с помощью емкостных датчиков необходимо исключить возможность попадания между их электродами влаги, масла и других веществ. Также важно, чтобы на поверхности изделий, диэлектрические параметры которых контролируются посредством емкостных датчиков, не было проводников или диэлектриков,

искажающих результаты измерений. Во многих случаях емкостные датчики могут быть сделаны герметичными, что исключает попадание между их обкладками каких-либо веществ, влияющих на результаты измерений.

2. Разработка схемы измерителя влажности

2.1. Конструкция датчика прибора

Принцип действия датчика измерителя влажности основан на изменении емкости двухпроводной линии при помещении ее в среды с разными диэлектрическими проницаемостями. Для увеличения емкости датчика, двухпроводная линия наматывается в виде спирали на трубчатое основание – зонд.

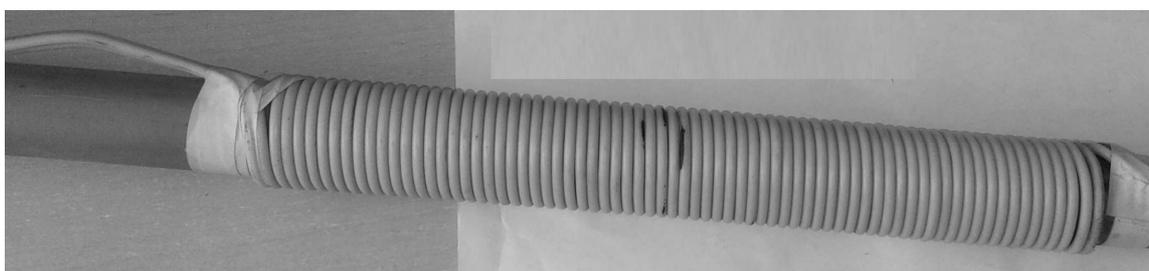


Рис. 2.1. Датчик прибора в виде двухпроводной спирали



Рис. 2.2. Внешний вид зонда-датчика измерителя влажности.

За счет небольшого расстояния между проводами линии, объем, в котором линия чувствительна, зависит от длины намотки, диаметра основы

и расстояния между проводами линии. По экспериментальным оценкам, расстояние на котором чувствительность приближается к нулю, примерно соответствует 10 расстояниям между проводами линии, и не превышает 30 мм. Это позволяет при измерениях пренебрегать влиянием окружающих металлических и неметаллических предметов, находящихся на расстоянии более 30мм.

2.2. Разработка схемы прибора

Для упрощения конструкции измерителя емкости, и возможности использования частотного выхода прибора измерительная схема была построена на принципе широтно-импульсного преобразования емкости в длительность импульса.

Такое преобразование с точностью порядка нескольких процентов может осуществляться автоколебательным мультивибратором на основе микроэлектронного триггера Шмидта. Это позволяет получать частоты генерации до десятков мегагерц, однако сильно усложняет устройство индикации, так как требует использования цифрового частотомера и микроконтроллерной обработки результатов измерений.

Для упрощения конструкции индикаторной части преобразование емкости в длительность импульса производилось с помощью почти симметричного автоколебательного мультивибратора на высокочастотных биполярных транзисторах, выходные импульсы обоих плеч которого усреднялись интегрирующими цепочками, затем вычитались и индицировались типовым цифровым вольтметром [3].

Это позволяет в значительной степени ослабить влияние изменения температуры и напряжения питания на показания прибора. Генератор такого типа может быть работоспособен до частот в единицы и десятки мегагерц.

а) компоновка печатной платы, в процессе которой находят оптимальное размещение навесных элементов на печатной плате. В результате компоновки находят положения контактных площадок для подключения всех элементов;

б) разводка печатных проводников («трассировка»). Цель этой операции - провести проводники, соединяющие контактные площадки так, чтобы они имели минимальную длину и минимальное число переходов на другие слои с целью устранения пересечения.

Компоновка и разводка связаны между собой, так как иногда в процессе разводки конструктор обнаруживает, что компоновку нужно изменить.

В процессе этих операций должны быть определены:

а) зона расположения проектируемой печатной схемы;

б) вспомогательные зоны, служащие для закрепления печатной платы изделия со всеми крепежными и технологическими отверстиями;

в) зоны расположения соединителя, служащего для подключения печатного узла к другим устройствам изделия, и расположение контактных площадок для припайки его выводов.

Разработку топологии выполняют на ЭВМ или на бумаге, имеющей координатную сетку, нанесенную с шагом 2,54 или 1,27 мм.

Диаметр металлизированного отверстия зависит от диаметра вставленного в него вывода и от толщины платы. Связано это с тем, что при гальваническом осаждении металла на стенках отверстия малого диаметра, сделанного в толстой плате, толщина слоя металла получится неравномерной, а при большом отношении длины к диаметру некоторые места могут остаться непокрытыми. Диаметр металлизированного отверстия должен составлять не менее половины толщины платы.

Чтобы обеспечить надежное соединение металлизированного отверстия с печатным проводником, вокруг отверстия делают контактную площадку. Контактные площадки отверстий рекомендуется делать в виде кольца.

Диаметр отверстия в печатной плате должен быть больше диаметра вставляемого в него вывода, что обеспечит возможность свободной установки радиоэлемента.

Отверстия на плате нужно располагать таким образом, чтобы расстояние между краями отверстий было не меньше толщины платы. В противном случае перемычка между отверстиями не будет иметь достаточной механической прочности. Контактные площадки, к которым будут припаиваться выводы от планарных корпусов, рекомендуется делать прямоугольными.

Печатные проводники рекомендуется выполнять прямоугольной конфигурации, располагая их параллельно линиям координатной сетки.

Разработка компоновки печатного узла

Компоновка радиотехнического изделия — часть процесса конструирования. В процессе компоновки необходимо соблюдать следующие условия:

а) между отдельными узлами, приборами и блоками должны отсутствовать заметные паразитные электрические взаимосвязи, влияющие на технические характеристики. Тепловые и механические влияния элементов конструкции не должны значительно ухудшать их технические характеристики;

б) взаимное расположение элементов конструкции должно обеспечить технологичность сборки и монтажа с учетом использования автоматов и полуавтоматов, легкий доступ к деталям для контроля, ремонта и обслуживания;

в) расположение и конструкция органов управления и отсчетных устройств должны обеспечивать максимальные удобства для оператора;

г) изделие должно удовлетворять требования технической эстетики;

д) габариты и масса изделия должны быть минимальными.

При проектировании печатных плат использовался программный комплекс PCAD- 2006 [10].

Ввод принципиальной схемы производилось с помощью программы PCAD Schematic, основной задачей которой является построение принципиальных электрических схем радиоэлектронных устройств.

После создания схемы создается список соединений (NET LIST). В дальнейшем список соединений используется при упаковке элементов и цепей в редакторе PCAD PCB.

Для разработки печатной платы использовался редактор PCB PCAD-2006. В нем производится размещение компонентов на монтажно-коммутационном поле, а также ручная трассировка проводников. Размещение элементов производилось вручную, так как автоматическое размещение не поддерживается системой PCAD. Разводка цепей велась вручную с учетом необходимой ширины дорожек (рис. 2.5).

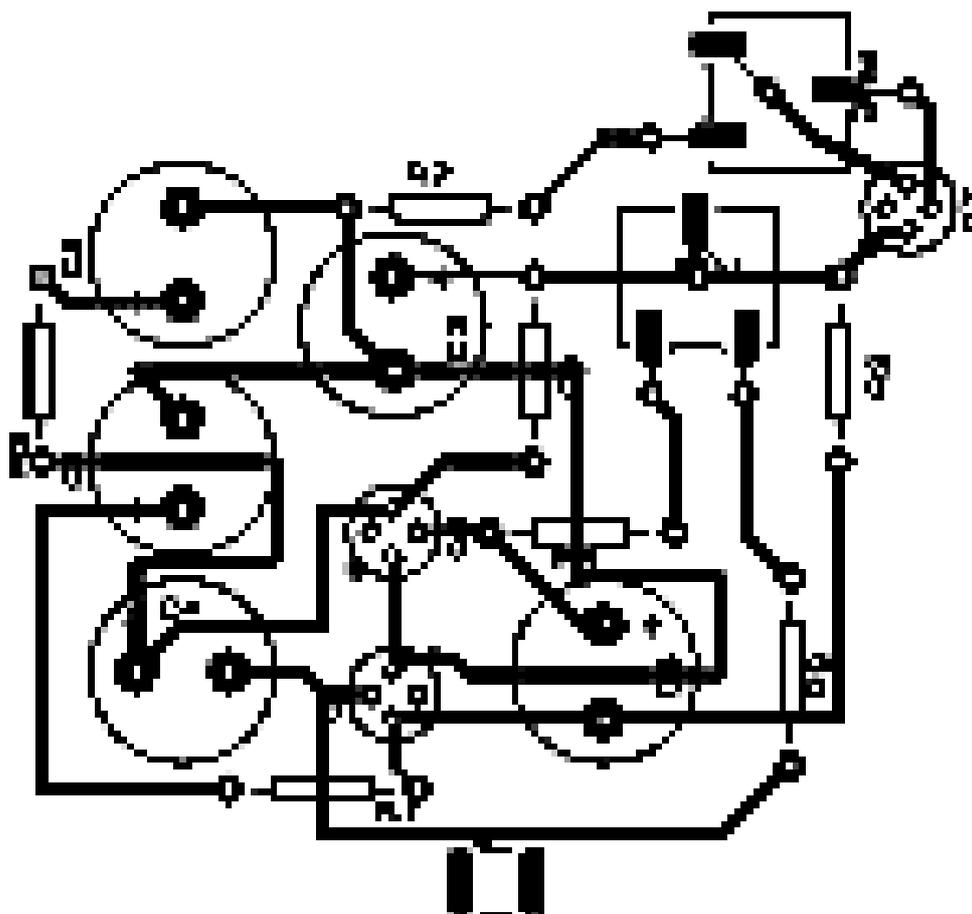


Рис. 2.5 Рисунок печатной платы прибора

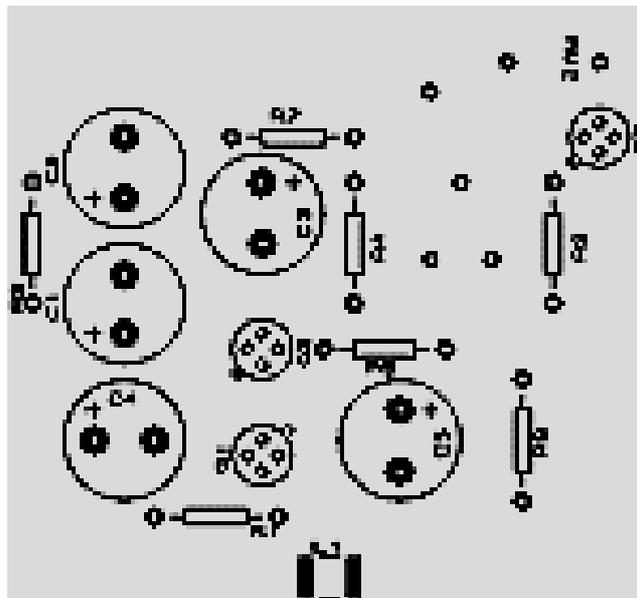


Рис. 2.6 Расположение элементов прибора

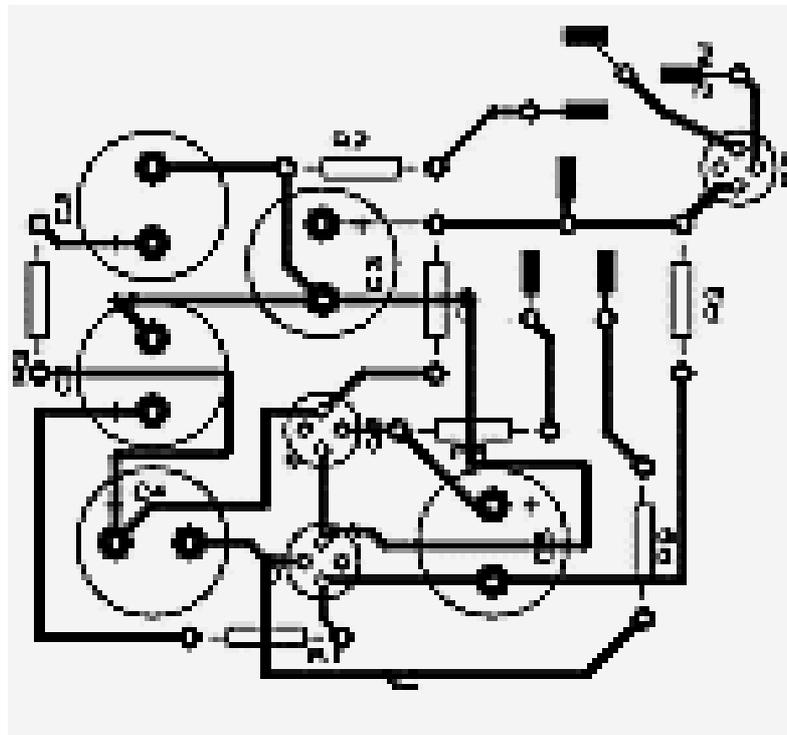


Рис. 2.7 Монтажная схема прибора

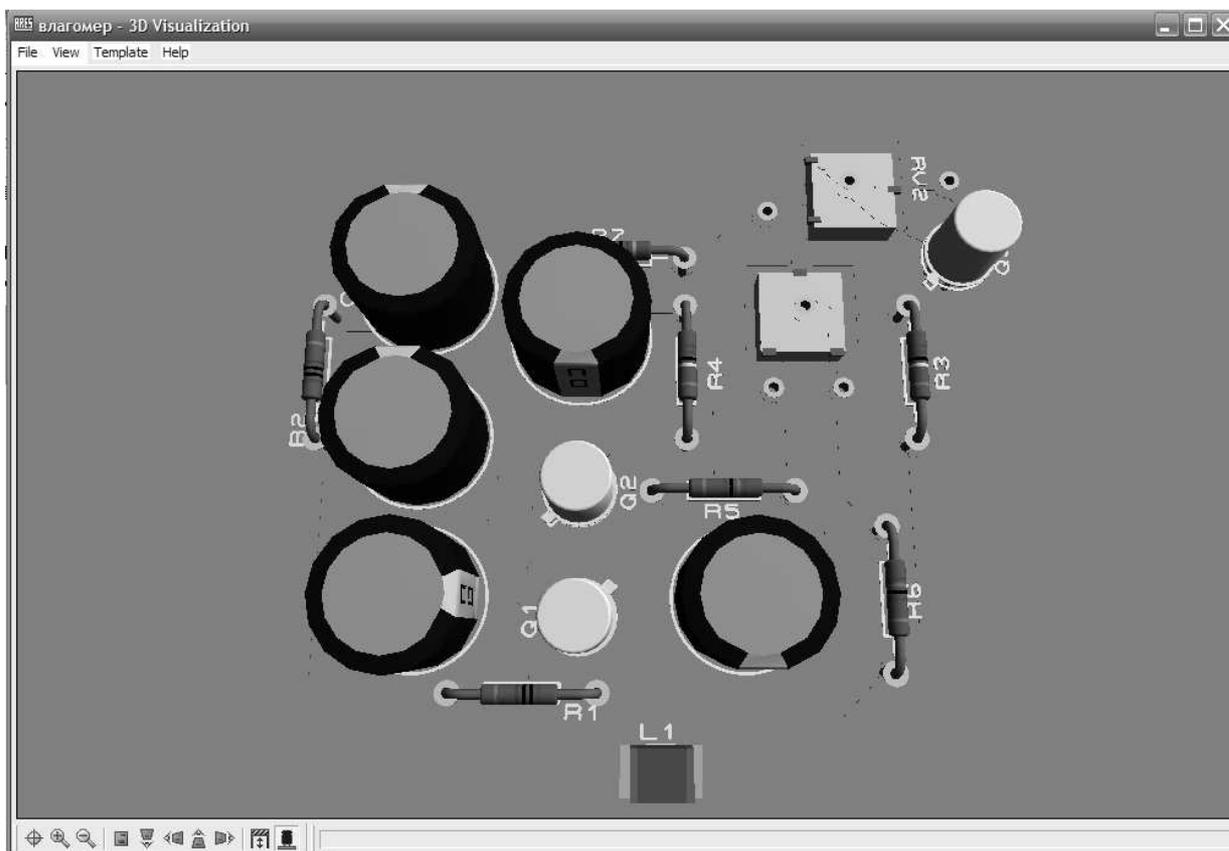


Рис. 2.8 3D изображение монтажной схемы прибора

2.4. Спецификация элементов схемы прибора

№	Наименование/тип элемента	Количество
1	Транзистор КТ 316	2 шт.
2	Транзистор КТ 315	1 шт.
3	Конденсаторы разные	10 шт.
4	Резистор переменный многооборотный 22 Ком	1 шт.
5	Резистор переменный 4,7 Ком	1 шт.
6	Резисторы разные	6 шт.

2.5. Разработка конструкции корпуса

Корпус прибора предназначен, прежде всего, для защиты элементов прибора от повреждений при транспортировке и эксплуатации.

Исходя из этого в качестве основного материала корпуса выбран пластик толщиной около 1 мм. Ориентировочные размеры корпуса

определялись исходя из размеров крупных элементов (батарея питания, плата измерителя). По условиям компоновки всех узлов и деталей были выбраны размеры корпуса: высота - 30 мм, длина -120 мм, ширина – 100 мм.

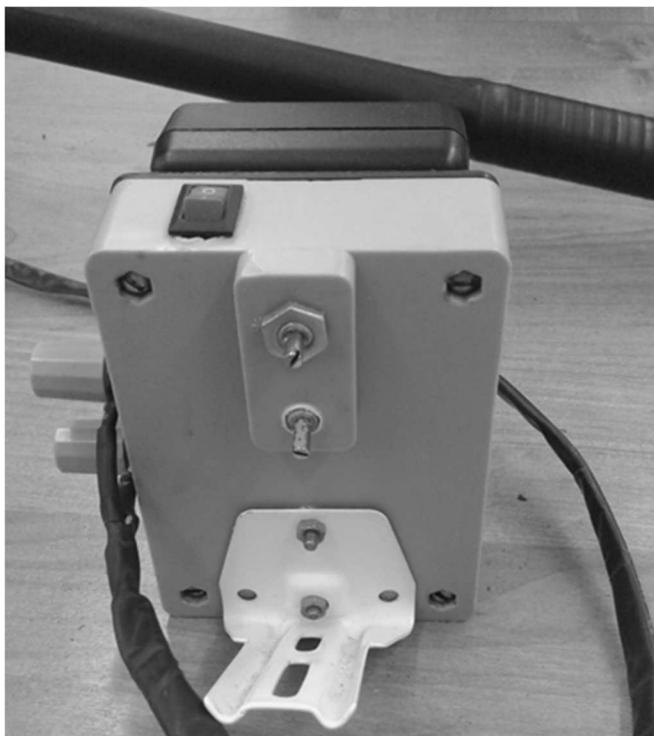


Рис. 2.9 Внешний вид корпуса прибора.

3. Изготовление и наладка прибора

3.1 Изготовление печатных плат

Используя разработанную топологию печатных плат, была изготовлена печатная плата прибора. Плата изготавливалась методом химического травления.

Процесс изготовления печатных плат

Весь процесс изготовления печатной платы можно условно разделить на пять основных этапов:

- предварительная подготовка заготовки (очистка поверхности, обезжиривание);
- нанесение тем или иным способом защитного покрытия;
- удаление лишней меди с поверхности платы (травление);
- очистка заготовки от защитного покрытия;
- сверловка отверстий, покрытие платы флюсом, лужение.

Использовалась «классическая» технология, при которой лишние участки меди с поверхности платы удаляются путем химического травления.

3.2 Монтаж (сборка) печатных плат

Перед монтажом печатные проводники и контактные площадки необходимо подготовить к пайке - очистить от оксидной пленки и загрязнений. После обезжиривания на все контактные площадки печатной платы кисточкой наносят тонкий слой канифольного флюса. Радиоэлементы и микросхемы тоже необходимо подготовить к монтажу и пайке. Для этого их выводы формируют (придают им нужную форму), обрезают до необходимой длины, зачищают и лудят. Для пайки применялся припой с низкой температурой плавления - ПОС 61. Мощность электрического паяльника при пайке этими припоями не превышала 40 Вт.

3.4 Изготовление механических узлов прибора

К механическим узлам прибора относятся корпус, передняя панель, элементы крепления печатных плат и навесных элементов.

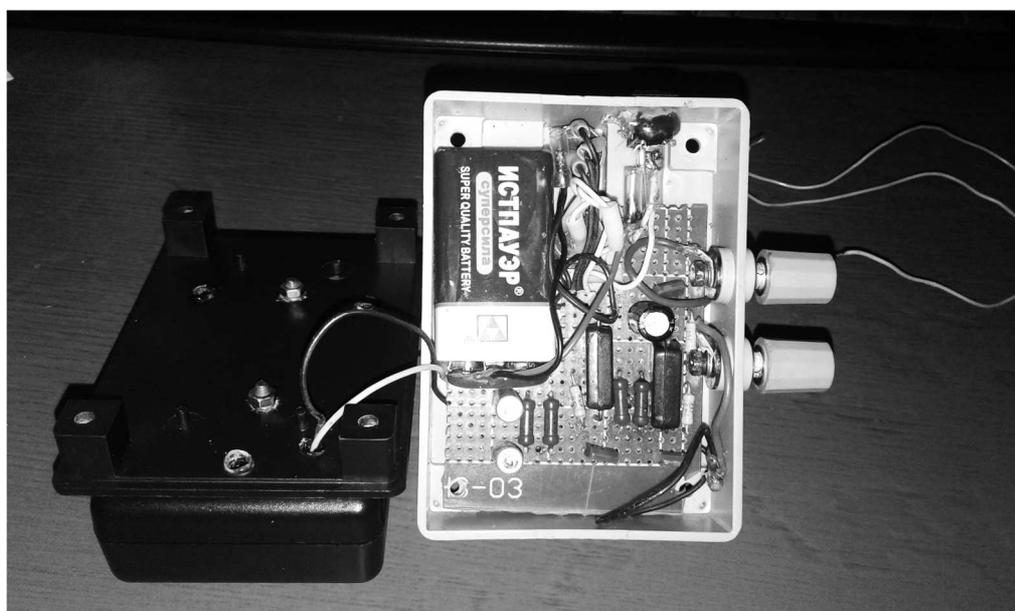


Рис. 3.1 Корпус прибора с установленными элементами



Рис. 3.2 Полностью собранный прибор.

4. Испытания прибора

Собранное устройство калибровалось и проверялось на основные характеристики.



Рис. 4.1 Установка «нуля» измерителя влажности (зонд находится на воздухе, влагосодержание которого близко к нулю).



Рис. 4.2. Установка «конечного деления шкалы» измерителя влажности (зонд находится весь в жидкой воде, влагосодержание равно 100%).



Рис. 4.3 Показания прибора после извлечения из жидкой воды (остаточные капли и даже невидимая адсорбированная вода вызывает увеличение показаний прибора).

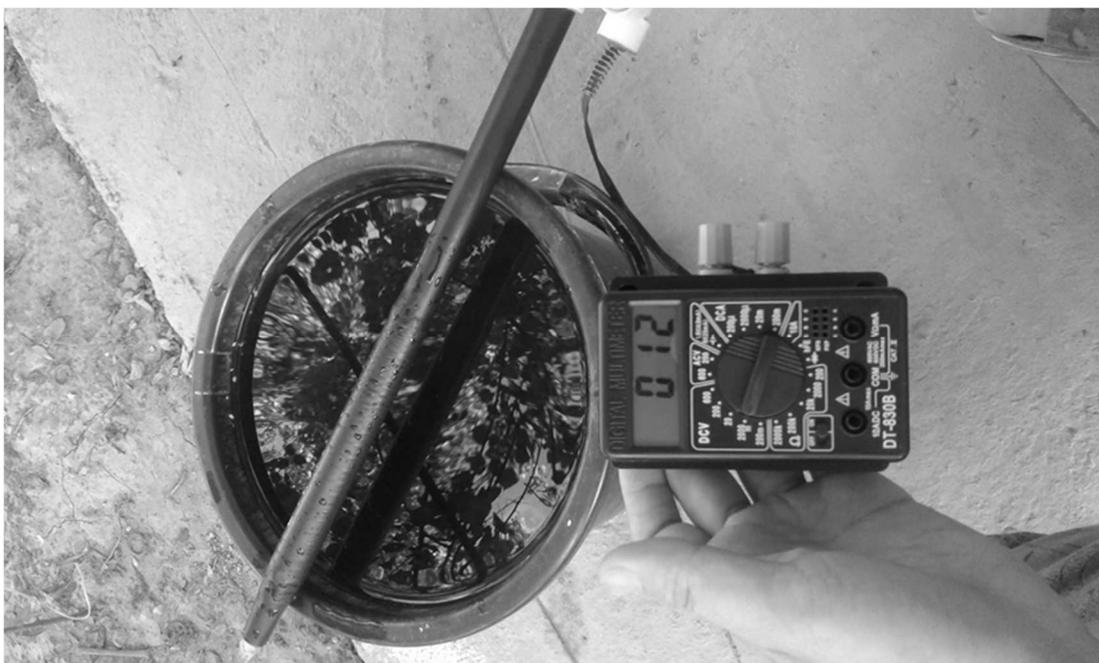


Рис. 4.4 Показания прибора вблизи жидкой воды, (расстояние от воды 20 мм).

5. Безопасность жизнедеятельности

В процессе жизнедеятельности человек подвергается воздействию различных опасностей, под которыми обычно понимают явления, процессы, объекты, способные в определенных условиях наносить ущерб здоровью человека непосредственно или косвенно, т.е. вызывать различные нежелательные последствия [11].

Человек подвергается воздействию опасностей и в своей трудовой деятельности. Эта деятельность осуществляется в пространстве, называемом производственной средой. В условиях производства на человека в основном действуют техногенные, т.е. связанные с техникой, опасности, которые принято называть опасными и вредными производственными факторами.

Опасным производственным фактором (ОПФ) называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или к другому внезапному резкому ухудшению здоровья. Травма – это повреждение тканей организма и нарушение его функций внешним воздействием. Травма является результатом несчастного случая на производстве, под которым понимают случай воздействия опасного производственного фактора на работающего при выполнении им трудовых обязанностей или заданий руководителя работ.

Вредным производственным фактором (ВПФ) называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности. Заболевания, возникающие под действием вредных производственных факторов, называются профессиональными.

К опасным производственным факторам следует отнести, например:

- электрический ток определенной силы;
- раскаленные тела;

- возможность падения с высоты самого работающего либо различных деталей и предметов;
- оборудование, работающее под давлением выше атмосферного, и т.д.

К вредным производственным факторам относятся:

- неблагоприятные метеорологические условия;
- запыленность и загазованность воздушной среды;
- воздействие шума, инфра- и ультразвука, вибрации;
- наличие электромагнитных полей, лазерного и ионизирующих излучений и др.

Все опасные и вредные производственные факторы в соответствии с ШНК 02.2-04 подразделяются на физические, химические, биологические и психофизиологические.

К физическим факторам относят электрический ток, кинетическую энергию движущихся машин и оборудования или их частей, повышенное давление паров или газов в сосудах, недопустимые уровни шума, вибрации, инфра- и ультразвука, недостаточную освещенность, электромагнитные поля, ионизирующие излучения и др.

Химические факторы представляют собой вредные для организма человека вещества в различных состояниях.

Биологические факторы – это воздействия различных микроорганизмов, а также растений и животных.

Психофизиологические факторы – это физические и эмоциональные перегрузки, умственное перенапряжение, монотонность труда.

Четкой границы между опасным и вредным производственными факторами часто не существует. Рассмотрим в качестве примера воздействие на работающего расплавленного металла. Если человек попадает под его непосредственное воздействие (термический ожог), это приводит к тяжелой травме и может закончиться смертью пострадавшего. В этом случае

воздействие расплавленного металла на работающего является согласно определению опасным производственным фактором.

Состояние условий труда, при котором исключено воздействие на работающих опасных и вредных производственных факторов, называется безопасностью труда. Безопасность жизнедеятельности в условиях производства имеет и другое название – охрана труда. В настоящее время последний термин считается устаревшим, хотя вся специальная отечественная литература, изданная приблизительно до 1990 г., использует именно его.

Будучи комплексной дисциплиной, «Охрана труда» включала следующие разделы: производственная санитария, техника безопасности, пожарная и взрывная безопасность, а также законодательство по охране труда. Кратко охарактеризуем каждый из этих разделов.

Производственная санитария – это система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих воздействие на работающих вредных производственных факторов.

Техника безопасности – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих воздействие на работающих опасных производственных факторов.

Пожарная и взрывная безопасность – это система организационных и технических средств, направленных на Профилактику и ликвидацию пожаров и взрывов, ограничение их последствий.

Законодательство по охране труда составляет часть трудового законодательства.

Одна из самых распространенных мер по предупреждению неблагоприятного воздействия на работающих опасных и вредных производственных факторов – использование средств коллективной и индивидуальной защиты. Первые из них предназначены для одновременной защиты двух и более работающих, вторые – для защиты одного работающего.

Так, при загрязнении пылью воздушной среды в процессе производства в качестве коллективного средства защиты может быть рекомендована общеобменная приточно-вытяжная вентиляция, а в качестве индивидуального – респиратор.

Основные параметры микроклимата в производственных помещениях

В процессе труда в производственном помещении человек находится под влиянием определенных метеорологических условий, или микроклимата – климата внутренней среды этих помещений. К основным нормируемым показателям микроклимата воздуха рабочей зоны¹ относятся температура (t , °C), относительная влажность (ϕ , %), скорость движения воздуха (V , м/с). Существенное влияние на параметры микроклимата и состояние человеческого организма оказывает также интенсивность теплового излучения (I , Вт/м²) различных нагретых поверхностей, температура которых превышает температуру в производственном помещении.

Человек в процессе труда постоянно находится в состоянии теплового взаимодействия с окружающей средой. Для нормального протекания физиологических процессов в организме человека требуется поддержание практически постоянной температуры его внутренних органов (приблизительно 36,6°C). Способность человеческого организма к поддержанию постоянной температуры носит название терморегуляции. Терморегуляция достигается отводом выделяемого организмом тепла в процессе жизнедеятельности в окружающее пространство.

Влияние температуры окружающего воздуха на человеческий организм связано в первую очередь с сужением или расширением кровеносных сосудов кожи. Под действием низких температур воздуха кровеносные сосуды кожи сужаются, в результате чего замедляется поток крови к поверхности тела и снижается теплоотдача от поверхности тела за счет конвекции и излучения. При высоких температурах окружающего воздуха наблюдается обратная

картина: за счет расширения кровеносных сосудов кожи и увеличения притока крови существенно увеличивается теплоотдача в окружающую среду.

Повышенная влажность ($\phi > 85\%$) затрудняет теплообмен между организмом человека и внешней средой вследствие уменьшения испарения влаги с поверхности кожи, а низкая влажность ($\phi < 20\%$) приводит к пересыханию слизистых оболочек дыхательных путей. Движение воздуха в производственном помещении улучшает теплообмен между телом человека и внешней средой, но излишняя скорость движения воздуха (сквозняки) повышает вероятность возникновения простудных заболеваний.

Постоянное отклонение от нормальных параметров микроклимата приводит к перегреву или переохлаждению человеческого организма и связанным с ними негативным последствиям: при перегреве – к обильному потоотделению, учащению пульса и дыхания, резкой слабости, головокружению, появлению судорог, а в тяжелых случаях – возникновению теплового удара. При переохлаждении возникают простудные заболевания, хронические воспаления суставов, мышц и др.

Для исключения перечисленных выше негативных последствий необходимо правильно выбирать параметры микроклимата в производственных помещениях.

В соответствии с этим ГОСТом различают холодный и переходный периоды года (со среднесуточной температурой наружного воздуха ниже $+10^{\circ}\text{C}$), а также теплый период года (с температурой $+10^{\circ}\text{C}$ и выше).

ГОСТ 12.1.005-08 определяет оптимальные параметры микроклимата:

При постоянном тепловом облучении человеческого организма наступают нарушения в деятельности его основных систем и в первую очередь сердечно-сосудистой и нервной систем. Предельно допустимый уровень (нормируемое значение) интенсивности теплового излучения при облучении поверхности тела:

50% и более – $35,0 \text{ Вт/м}^2$

От 25 до 50% - 70,0 Вт/м²

Не более 25% - 100 Вт/м²

Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяют следующие основные мероприятия: механизацию и автоматизацию технологических процессов, защиту от источников теплового излучения, устройство систем вентиляции, кондиционирования воздуха и отопления.

Кроме того, важное значение имеет правильная организация труда и отдыха работников, выполняющих трудоемкие работы или работы в горячих цехах. Для этих категорий работников устраивают специальные места отдыха в помещениях с нормальной температурой, оснащенных системой вентиляции и снабжения питьевой водой.

Для создания требуемых параметров микроклимата в производственном помещении применяют системы вентиляции и кондиционирования воздуха, а также различные отопительные устройства. Вентиляция представляет собой смену воздуха в помещении, предназначенную поддерживать в нем соответствующие метеорологические условия и чистоту воздушной среды.

Вентиляция помещений достигается удалением из них нагретого или загрязненного воздуха и подачей чистого наружного воздуха. Поскольку в данной главе рассматриваем системы вентиляции, предназначенные для обеспечения заданных метеорологических условий, рассмотрим общеобменную вентиляцию, которая осуществляет смену воздуха во всем помещении.

Для поддержания заданной температуры воздуха в помещениях в холодное время года используют различные системы отопления: водяная, паровая, воздушная и комбинированная.

Необходимо обращать внимание и на содержание в воздухе заряженных частиц – ионов. Так, например, известно благотворное влияние на организм человека отрицательно заряженных ионов кислорода воздуха.

Вредные вещества, выделяющиеся в воздух рабочей зоны, изменяют его состав, в результате чего он существенно может отличаться от состава атмосферного воздуха.

Проникновение вредных веществ в организм человека происходит через дыхательные пути (основной путь), а также через кожу и с пищей, если человек принимает ее, находясь на рабочем месте. Действие этих веществ следует рассматривать как воздействие опасных или вредных производственных факторов, так как они оказывают негативное (токсическое) действие на организм человека. В результате воздействия этих веществ у человека возникает отравление – болезненное состояние, тяжесть которого зависит от продолжительности воздействия, концентрации и вида вредного вещества.

Микроклимат - очень существенная сторона в помещении для умственной работы.

Психические нормы легко достижимы: температура 16-21 С, влажность воздуха в пределах 50-70%, скорость движения воздуха 0,1-0,15м/с. В теплое время года предпочтительно постоянное проветривание, в холодный период необходимо одноразовое проветривание в течение рабочего дня.

В условиях высоких температур в летнее время рекомендуются установки кондиционирования с тем, чтобы температура в помещении была ниже наружной на 5 С.

Более высокие перепады температур создают определенные осложнения при необходимости акклиматизироваться после рабочего периода в условиях кондиционированного климата.

Умственная работа с минимальным напряжением и минимальным расходом сил – разворачивается при условии уравновешенного спокойного состояния нервной системы.

Причины выделения пыли на предприятиях машиностроения могут быть самыми разнообразными. Пыль образуется при дроблении и размоле, транспортировании измельченного материала, механической обработке хрупких материалов, отделке поверхности (шлифовании, глянецвании), упаковке и расфасовке и т. п. Эти причины пылеобразования являются основными, или первичными. В условиях производства может возникать и вторичное пылеобразование, например, при уборке помещений, движении людей и т. п. Такое выделение пыли иногда бывает весьма нежелательным (в электровакуумной промышленности, приборостроении).

Создание требуемых условий освещения на рабочем месте

Для создания наилучших условий для видения в процессе труда рабочие места должны быть нормально освещены. Требуемый уровень освещенности в первую очередь определяется точностью выполняемых работ и степенью опасности травмирования. Для характеристики точности выполняемых работ вводится понятие объекта различения – это наименьший размер рассматриваемого предмета, который необходимо различить в процессе работы.

Все электрические элементы осветительных установок должны быть электро-, пожаро- и взрывобезопасными, экономичными и долговечными.

Для создания искусственного освещения применяются различные электрические источники света: лампы накаливания и разрядные источники света. Кратко рассмотрим основные параметры электрических источников света. К числу наиболее важных из них относятся показатели, характеризующие излучение, электрический режим и конструктивные параметры.

Для освещения производственных помещений в настоящее время используют лампы накаливания следующих типов: вакуумные (НВ), газонаполненные биспиральные (НБК), рефлекторные (НР), являющиеся лампами-светильниками (часть колбы такой лампы покрыта зеркальным слоем), обладающие большой мощностью кварцевые галогенные лампы (КГ) и др. К недостаткам разрядных ламп в первую очередь следует отнести пульсацию светового потока (периодическое его изменение при работе лампы), ухудшающую условия зрительной работы. движение точки или механической системы, при котором происходит поочередное возрастание и убывание во времени значений по крайней мере одной координаты.

Опасность вибрации для человека.

Колебания материальных тел при низких частотах (3-100 Гц) с большими амплитудами (0,5-0,003) мм, ощущаются человеком, как вибрация и сотрясения. Вибрации широко используются на производстве : уплотнение бетонной смеси, бурение шпуров (скважин) перфораторами, рыхление грунтов и др.

Однако вибрации и сотрясения оказывают вредное влияние на организм человека, вызывают виброболезнь - неврит. Под воздействием вибрации происходит изменение в нервной, сердечно-сосудистой и костно-суставной системах : повышение артериального давления, спазмы сосудов конечностей и сердца. Это заболевание сопровождается головными болями, головокружением, повышенной утомляемостью, онемением рук. Особенно вредны колебания с частотой 6-9 Гц, частоты близки к собственным колебаниям внутренних органов и приводят к резонансу, в результате происходят перемещения внутренних органов (сердце, легкие, желудок) и раздражению их.

Вибрации характеризуются амплитудой смещения A - это величина наибольшего отклонения колеблющейся точки от положения равновесия в мм

(м); амплитудой колебательной скорости V м/с; амплитудой колебательного ускорения a м/с; периодом T , с; частотой колебаний f Гц.

По способу передачи на человека вибрация подразделяется (ГОСТ 12.1.012.-78 Вибрация. Общие требования безопасности) на:

- общую, передающуюся на тело человека через опорные поверхности;
- локальную, передающуюся через руки человека.

Общая вибрация по источнику ее возникновения подразделяется на 3 категории :

- 1) транспортная (при движении по местности);
- 2) транспортно-технологическая (при движении в помещениях, на промстройплощадках);
- 3) технологическая (от стационарных машин, рабочие места).

Меры защиты от вибрации.

Вибробезопасные условия труда обеспечиваются :

- применением вибробезопасных машин (механизмов);
- применением средств защиты;
- организационно-технических мероприятий;
- проектировочным решением, обеспечивающими нормы вибраций на рабочих местах.

Вибробезопасность машин (механизмов) достигается :виброизоляцией их по ГОСТ 12.4.046-78 за счет установки на фундаменты, виброизолированные от пола специальные амортизаторы (прокладки из войлока, резины, пружины т.п.; балансировкой вращающихся частей; применением виброизолирующих мастик и др.

Организационно-технические меры включают : проведение проверок вибрации не реже 1 раза в год при общей вибрации и двух раз в год при локальной вибрации, а также после ремонта машин; и при начале их эксплуатации; исключение контакта работающих с вибрирующими поверхностями за пределами рабочего места или зоны (ограждения, знаки,

надписи), введение определенного режима работ, недопущение к работе лиц, моложе 18 лет и не прошедших медосмотр, проведение повторного ежегодного медосмотра.

При проектировании технологического процесса и помещений предусматриваются меры снижающие вибрацию на путях ее распространения согласно ГОСТ 12.4.046-78.

Средства виброзащиты делятся на :

- средства виброизоляции - демпфирование, упругие прокладки, введение инерционного элемента;
- средства динамического вибропогашения - ударные виброгасители (пружинные, маятниковые); динамические виброгасители (пружинные, маятниковые, эксцентриковые, гидравлические).

Средства индивидуальной защиты подразделяются на средства :

- для рук оператора (рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки)

ГОСТ 12.4.002-74. Средства индивидуальной защиты рук от вибрации.

Общетехнические требования

- для ног оператора (специальную обувь, подметки, наколенники) ГОСТ 12.4.024-76.

Травма — внешнее повреждение организма человека, которое произошло в результате действия опасного производственного фактора.

Эксплуатация современного промышленного оборудования и средств транспорта сопровождается значительным уровнем шума и вибрации, негативно влияющих на состояние здоровья работающих. С точки зрения безопасности труда шум и вибрация – одни из наиболее распространенных вредных производственных факторов на производстве, которые при определенных условиях могут выступать как опасные производственные факторы. Кроме шумового и вибрационного воздействия, вредное влияние на человека в процессе труда могут оказывать инфразвуковые и ультразвуковые колебания.

Шум – это сочетание звуков различной частоты и интенсивности. С физиологической точки зрения шумом называют любой нежелательный звук, оказывающий вредное воздействие на организм человека.

Звуковые колебания, воспринимаемые органами слуха человека, являются механическими колебаниями, распространяющимися в упругой среде (твердой, жидкой или газообразной).

Различные механические, аэродинамические и электромагнитные явления являются причиной возникновения шумов. Наиболее рациональный способ уменьшения шума – снижение звуковой мощности его источника (машины, установки, агрегата и т.д.). Физические характеристики шума.

Звук характеризуется частотой f [Гц],

интенсивностью I [Вт/см²] и звуковым давлением P [Па].

Интенсивность звука I определяется количеством звуковой энергии, проходящей в единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярной к направлению распространения звука

$$I = \text{Вт/м}^2; I = \text{Вт/см}^2;$$

Пространство, в котором распространяются звуковые волны, называется звуковым полем.

В результате колебаний, создаваемых источником звука, воздухе возникает звуковое давление, которое накладывается на атмосферное.

Звуковое давление — дополнительное давление воздуха, которое возникает при прохождении через него звуковой волны.

Учитывая протяженный частотный диапазон (20-20000 Гц) при оценке источника шума, используется логарифмический показатель, который называется уровнем интенсивности.

[дБ]

J - интенсивность в точке измерения [Вт/м²]

J_0 - величина, которая равна порогу слышимости 10-12 [Вт/м²]

При расчетах и нормировании используется показатель — уровень звукового давления.

[дБ]

P - звуковое давление в точке измерения [Па];

P_0 - пороговое значение 2×10^{-5} [Па]

При оценке источника шума и нормировании используется логарифмический уровень звука.

[дБА]

P_A - звуковое давление в точке измерения по шкале А прибора шумомера, т.е. на шкале 1000 Гц.

Спектр шума — зависимость уровня звукового давления от частоты.

Спектры бывают: - дискретные; - сплошные; - тональные.

В производственном помещении обычно бывают несколько источников шума.

Для оценки источника шума одинаковых по своему уровню:

$$L_{\text{а}} = L_i + 10 \lg n$$

L_i - уровень звук. давления одного из источников [дБ];

n - кол-во источников шума

Если количество источников меняется от 1-100, а $L_i = 80$ дБ

$$n = 1 \quad L = 80 \text{ дБ}$$

$$n = 10 \quad L = 90 \text{ дБ}$$

$$n = 100 \quad L = 100 \text{ дБ}$$

Для оценки источников шума различных по своему уровню:

$$L_{\text{а}} = L_{\text{max}} + DL$$

L_{max} - максимальный уровень звукового давления одного из 2-х источников;

DL - поправка, зависящая от разности между max и min уровнем давления

$$L_{\text{max}} - L_{\text{min}} \quad 1 \quad 10 \quad 20$$

$$DL \quad 2,5 \quad 0,4 \quad 0$$

Звуковое восприятие человеком.

Т.к. органы слуха человека обладают неодинаковой чувствительностью к звуковым колебаниям различной частоты, весь диапазон частот на практике разбит на октавные полосы.

Октава — полоса частот с границами f_1 - f_2 , где $f_2/f_1 = 2$.

Среднегеометрическая частота — $f_{СТ} =$

Весь спектр разбит на 8 октавных полос:

45-90; 90-180; 180-360 ... 5600-11200.

Среднегеометрические частоты октавных полос:

63 125 250 ... 8000

Звуковой комфорт — 30 дБ;

шум проезжей части улицы — 60 дБ;

интенсивное движение — 80 дБ;

работа пылесоса — 75-80 дБ;

шум в метро — 90-100 дБ;

концерт — 120 дБ;

взлет самолета — 145-150 дБ;

взрыв атомной бомбы — 200 дБ

По времени шумы подразделяются на постоянные (уровень за 8 час. рабочий день изменяется не более 5 дБ).

Непостоянные (уровень меняется за 8 час. рабочий день не менее 5 дБ).

Непостоянные делятся: колеблющиеся во времени - постоянно изменяются по времени; прерывистые - резко прерываются с интервалом 1 с. и более; импульсные - сигналы с длительностью менее 1 с.

Всякое возрастание шума над порогом слышимости увеличивает мускульное напряжение, значит повышает расход мышечной энергии.

Нормирование шума.

Нормативным документом является ГОСТ 12.1.029 – 89 ССБТ. Средства и методы защиты от шума; КМК 2.01.08.96 РУз Защита от шума.

- 1 метод. Нормирование по уровню звукового давления.

- 2 метод. Нормирование по уровню звука.

По 1 методу дополнительный уровень звукового давления на рабочих местах (смена 8 ч) устанавливается для октавных полос со средними геом. частотами, т.е. нормируется с учетом спектра.

По 2 методу дополнительный уровень звука на рабочих местах устанавливается по общему уровню звука, определенного по шкале А шумомера, т.е. на частоте 1000 Гц.

Нормы шума для помещений лабораторий

Уровень зв. давления [дБ], окт. со среднегеом. част. [Гц]

63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
91	83	77	73	70	68	66	44

Уровень звука, дБА не более 75

Допустимый уровень звука в жилой застройке с 700-2300 не более 40 дБА, с 2300-700 — 30 дБА.

Мероприятия по борьбе с шумом.

Для снижения шума применяют следующие методы:

- I группа - Строительно-планировочная (рациональная планировка)
- II группа - Конструктивная
- III группа - Снижение шума в источнике его возникновения
- IV группа - Организационные мероприятия

Электробезопасность

Электрические установки, приборы и агрегаты широко распространены в различных отраслях техники и в быту [12]. При работе с ними необходимо соблюдать требования электробезопасности, которые представляют собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Проходя через организм человека, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое действие. Первое заключается в нагреве и ожогах различных частей и участков тела человека, второе – в изменении состава (разложение) и свойств крови и других органических жидкостей. Биологическое действие электрического тока выражается в раздражении и возбуждении живых тканей организма и в нарушении протекания в нем различных внутренних биоэлектрических процессов. Примером таких нарушений может служить прекращение процесса дыхания и остановка сердца.

Метод, исключая или уменьшающий образование зарядов. Этот метод наиболее эффективен и осуществляется за счет подбора материалов элементов машин, которые взаимодействуют между собой с трением. По электроизоляционным средствам вещества располагают в электростатические ряды в такой последовательности, при которой любое из них приобретает отрицательный заряд при соприкосновении с материалом, расположенным в ряду слева от него, и положительный – справа. Например, один из таких рядов имеет следующий состав: этилцеллюлоза, эбонит, казеин, стекло, металлы, полиэтилен, фторопласт, нитроцеллюлоза. Чем дальше в ряду положены материалы друг от друга, тем интенсивнее происходит образование зарядов статического электричества при трении между ними. Поэтому при создании машин необходимо материалы действующих между собой элементов машин выбирать одинаковыми или максимально близко расположенными в электростатическому. Например, пневмотранспорт полиэтиленового порошка желательно осуществлять по полиэтиленовым трубам. Другим способом нейтрализации зарядов статического электричества является смещение материалов, которые при взаимодействии с элементами оборудования заряжаются разноименно. Например, при трении материала, состоящего из 40 % нейлона и 60 % дакрона, о хромированную поверхность электризации не наблюдается. Уменьшению интенсивности образования электростатических

зарядов способствуют снижению силы и скорости трения, шероховатости взаимодействующих поверхностей.

Оказание первой помощи пораженному электрическим током

Если человек прикоснулся к токопроводящей части электроустановки и не может самостоятельно освободиться от воздействия тока, то присутствующим необходимо оказать ему помощь. Для этого следует быстро отключить электропроводку с помощью выключателя, рубильника и т.д. Если быстро отключить электроустановку от сети невозможно, оказывающий помощь должен отделить пострадавшего от токопроводящей части. При этом следует иметь в виду, что без применения необходимых мер предосторожности нельзя прикасаться к человеку, находящемуся в цепи тока, так как можно самому попасть под напряжение. Действовать следует таким образом.

Если пострадавший попал под действие напряжения до 1000 В, токопроводящую часть от него можно отделить сухим канатом, палкой или доской или оттянуть пострадавшего за одежду, если она сухая. Руки оказывающего помощь следует защитить диэлектрическими перчатками, на ноги необходимо надеть резиновую обувь или встать на изолирующую подставку (сухую доску). Если перечисленные меры не дали результата, допускается перерубить провод топором с сухой деревянной рукояткой или перерезать его другим инструментом с изолированными ручками.

При напряжении, превышающем 1000 В, лица, оказывающие помощь, должны работать в диэлектрических перчатках и обуви и оттягивать пострадавшего от провода специальными инструментами, предназначенными для данного напряжения (штангой или клещами). Рекомендуется также накоротко замкнуть все провода линии электропередачи, набросив на них соединенный с землей провод.

После освобождения пострадавшего от воздействия электрического тока ему оказывают доврачебную медицинскую помощь. Если получивший электротравму находится в сознании, ему необходимо обеспечить полный

покой до прибытия врача или срочно доставить в лечебное учреждение. Если человек потерял сознание, но дыхание и работа сердца сохранились, пострадавшего укладывают на мягкую подстилку, расстегивают пояс и одежду, обеспечивая тем самым приток свежего воздуха, и дают нюхать нашатырный спирт, обрызгивают лицо холодной водой, растирают и согревают тело.

При редком и судорожном, а также ухудшающемся дыхании пострадавшему делают искусственное дыхание. При отсутствии признаков жизни искусственное дыхание сочетают с наружным массажем сердца.

Надежность производства (надежность оборудования и технологий).

Надежность оборудования – один из основных показателей процесса эксплуатации. По определению надежность это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки.

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации состоит из сочетаний свойств:

- Безотказности;
- Долговечности;
- Ремонтопригодности;
- Сохраняемости.

От понятия «надежность» следует отделять понятие «живучесть» - характеризующее способность сохранять во времени значения всех требуемых параметров при наличии воздействий, не предусмотренных нормальными условиями эксплуатации (пожар, взрыв, и т.п.).

С понятием надежности связано понятие технического состояния – состояние объекта, характеризующееся совокупностью подверженных

изменению свойств объекта, определяемый в данный момент времени признаками, установленными в технической документации. Соответствие или несоответствие качества объекта установленным в документации требованиям характеризуется видом технического состояния. Все множества технических состояний представляют следующими подмножествами:

- Исправное и неисправное;
- Работоспособное и неработоспособное;
- Правильного и неправильного функционирования;
- Предельное состояние.

6. Экономическая часть

Таблица 1. Объём инвестиций на покупку инвентаря и контрольно-измерительных приборов

№	Наименование	Количество	Цена за единицы, сум	НДС 20%, сум	Стоимость с учетом НДС, сум	Общая стоимость с учетом НДС, сум
1	Измерительный прибор (Ампервольтметр)	1	100 000	20 000,00	120 000	120 000
2	Датчик	1	14 000	2 800,00	16 800,00	16 800,00
3	Резисторы	30	80	16,00	96,00	2 880,00
4	Конденсаторы электролитические	3	500	100,00	600,00	1 200,00
5	Транзисторы КТ315	1	2 000	400,00	2 400,00	2 400,00
6	Транзисторы КТ316	2	6 000	1 200,00	7 200,00	13 200,00
7	Резисторы точные	2	600	240,00	1 440,00	1 440,00
8	Плата	1	12 000	2 400,00	14 400,00	14 400,00
9	Переменный резистор	1	1 500	300,00	1 800,00	1 800,00
10	Гнезда	2	300	60,00	360,00	720,00
11	Резистор переменный проволочный	1	12 000	2 400,00	14 400,00	14 400,00
12	Гальванические элементы	5	400	80,00	480,00	2 400,00
13	Шлейф	1	5 000	1 000,00	6 000,00	6 000,00
14	Корпус	1	9 000	1 800,00	10 800,00	10 800,00
	Итого					208 440,00

Таблица 2. Стоимость основных фондов

№	Наименование основных фондов	Количество	Стоимость, сум	Всего, сум
1	Помещение лаборатории	1	55 500 000,00	55 500 000,00
2	КиП		1 200 000,00	1 200 000,00
	Итого			56 700 000,00
	Затраты на текущий ремонт		12 % от стоимости ОФ	6 804 000,00
	Амортизационные отчисления		20 % от стоимости ОФ	11 340 000,00

Таблица 3. Расчет заработной платы

№	Должность	Количество	Рабочие дни в месяце	Дневная плата	Годовая заработная плата
1	Главный специалист	1	22	68181	1 499 982
2	СНС	1	22	81818	1 799 996
3	Зав. лабораторией	1	22	59 090	1 299 980
	Итого				4 599 958
4	Основная заработная плата	От суммы работников 40%			1 839 983,20
5	Дополнительная заработная плата	От основной заработной платы 10 %			183 998,32
6	Фонд заработной платы	От основной и дополнительной заработной платы			6 623 939,52
7	Затраты на социальное страхование	25 % от ФОТ			1 655 984,88
8	Транспортные затраты	20 % от Зосн			367 996,64

Таблица 4 Смета затрат на проведение разработки

№	Наименование статей затрат	Сумма
1.	<i>Электроэнергия (W)</i>	
1.1.	кВт.Установленная мощность	1000
1.2.	(Т), Рабочее время	176
1.3.	1 кВт (S), сум. Стоимость Электроэнергии	199
	<i>Всего затрат</i>	35024000
2.	<i>(Тнк)Годовой фонд раб времени</i>	
2.1.	Нм), месяцы	12
2.2.	(Нд), Количество рабочих дней в месяц	22
2.3.	(Нч), Продолжительность рабочего дня	8
	<i>(Тнк), Годовой фонд рабочего времени</i>	2112
3.	Расходы периода	150000
4.	<i>Стоимость машино-час</i>	
4.1.	(За), сум в год.Амортизация	442000
4.2.	(Звм), сум в год.Затраты на дополнительные материалы	15000
4.3.	(Зт),Текущий ремонт.	265200
	<i>(С), сум/год.Стоимость машино-час</i>	342

5.	(Звм).Стоимость машино-час	
5.1.	, рассчитывается;Стоимость машино-час	342
5.2.	Затраты времени на в часах (tn)	
5.3.	Затраты времени на отладку в часах (totл)	
	Стоимость машино-час	0
5	ФЗП	6 623 939,52
6	Страхование	1 655 984,88
7	Амортизация	11 340 000,00
	Расходы на производство продукции	54 793 924,40

Таблица 5. Расчет экономической эффективности выполненных работ

№	Себестоимость	Единица измерения	Сумма
1	Объем производства	сум	54 793 924,40
2	Расчет затраты по ВКР	мБт	15000
3	Реальные затраты на производство продукции	сум/мБт	3 652,93
4	Экономическая эффективность	сум/мБт	4 748,81
5	Экономическая эффективность	сум	1 095,88
6	Экономическая эффективность	%	23,07692308

Таблица 6. Расчет инвестиций

№	Показатели	Еденица измерения	Сумма
1	ОФ	сум	56 700 000,00
2	Мин	сум	208 440,00
3	Инвестиции	сум	56908440

Таблица 6. Расчет рентабельности

№	Показатели	Единица измерения	Сумма	
1	Производственные затраты	сум	54 793 924	В год
2	Инвестиции	сум	56 908 440	Всего
	Цена	сум	65 752 709	
3	Прибыль	сум	10 958 785	В год
4	Окупаемость	месяц	12	
5	Рентабельность	%	19,3	

Заключение

При исследовании свойств и контроле качества различных материалов важное значение имеет измерение их влагосодержания. Для таких измерений используют как прямые, так и косвенные методы. В прямых методах - химических и других, длительность измерения составляет несколько часов. В связи с этим встает вопрос проведения быстрых электрических измерений влажности различных материалов.

В выпускной работе разрабатывается измеритель влажности сыпучих и жидких материалов емкостного типа.

При проведении работ были решены следующие задачи:

- Произведен анализ имеющейся литературы.
- Разработка схемы и конструкции измерителя.
- Изготовление прибора.
- Осуществлена наладка схемы
- Проведение испытаний разработанной конструкции.

Основные задачи выпускной работы полностью выполнены.

Технико-экономическая эффективность разработки определяется актуальностью использования в экономике Республики электрического метода измерения влажности различных материалов.

Список использованной литературы

1. Берлинер М. А. Измерения влажности, Издательство «ЭНЕРГИЯ», Москва, 1973.
2. Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов/ под ред. Е. С. Кричевского. М.: Энергия, 1980.
3. Ж. Аш и др. Датчики измерительных систем. М.: Мир, 1992.
4. ГОСТ 12041-82. Семена сельскохозяйственных культур. Метод определения влажности.- М.: Издательство стандартов, 1988.
5. ГОСТ 12570-67. Сахар-песок и сахар-рафинад. Метод определения содержания влаги.- М.: Издательство стандартов, 1982.
6. ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений.-М.: Издательство стандартов, 1989.
7. Ш.Б. Надь Диэлектрометрия М.: "Энергия", 1976.
8. Измерения в электронике: Справочник/ Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
9. Сигов А.С., Нефёдов В.И. Метрология, стандартизация и технические измерения: Учебник для студентов высших учебных заведений.- М. : «Высшая школа», 2008.
10. Мактас М.Я. Восемь уроков по P-CAD 2001 – М.: СОЛОН-Пресс, 2003
11. Безопасность жизнедеятельности, Учебник/ под ред. С.В. Белова М, Высшая школа, 2009.
12. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. 2 - ое издание. М.: Энергоиздат, 1984.