

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для лабораторной работы № 6

по дисциплине «Неразрушающие методы контроля строительных материалов и конструкций»

Ростов - на – Дону ДГТУ
2022

УДК 338.45:693.5

Составители: к. т. н., доц. Е.Ю. Романенко

Методические указания для лабораторной работы № 6 по дисциплине «Неразрушающие методы контроля строительных материалов и конструкций». – Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2022. – 28 с.

Методические указания к выполнению лабораторной работы № 6 по дисциплине «Неразрушающие методы контроля строительных материалов и конструкций».

Предназначены для обучающихся по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство», профиль подготовки «Таможенная и судебная экспертиза строительных материалов и изделий» заочной формы обучения

УДК 338.45:693.5

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Научный редактор канд. техн. наук, доцент А.В. Налимова

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии» канд. техн. наук, доцент А.В. Налимова

В печать _____.2022 г.

Формат 60×84/16. Объем ____ усл.п.л.

Тираж ____ экз. Заказ № ____.

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия:
344000, г.Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный
Технический университет, 2022

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЛАЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

Влажность строительного материала – величина, характеризующаяся количеством воды, находящимся в материале. Практически всегда повышенная влажность стройматериалов отрицательно влияет на качество. Так, например, увеличение влажности некоторых видов утеплителя всего на несколько процентов, ухудшают их теплозащитные свойства на порядок. Мокрый пеноблок или даже кирпич значительно теряют свои показатели по прочности и т.д. Влажность стройматериалов измеряется отношением массы воды, находящейся в стройматериале в период замера к нормативной массе сухого материала.

При транспортировании, хранении и применении материалов имеют дело не с водопоглощением, а с их влажностью. Влажность меняется от 0% (для абсолютно сухих материалов) до значения полного водопоглощения и зависит от пористости, гигроскопичности и других свойств материала, а также от окружающей среды - относительной влажности и температуры воздуха, контакта материала с водой и т.д. Для многих строительных материалов влажность нормирована. Например, влажность молотого мела - 2 %, комового - 12%, стеновых материалов - 5...7, воздушно-сухой древесины 12...18 %.

Поскольку свойства сухих и влажных материалов весьма различны, необходимо учитывать как влажность материала, так и его способность к поглощению воды. Во всех случаях - при транспортировании, хранении и применении - строительных материалов предохраняют от увлажнения.

1. Описание физической величины

Влажность – это массовое количество физико-механически и физико-химически связанной воды, содержащееся в материале и отнесенное к массе влажного или высушенного материала.

Для характеристики содержания влаги в материалах применяются две величины: влагосодержание и влажность. Ранее эти величины назывались соответственно абсолютной и относительной влажностью.

Под влагосодержанием понимается отношение массы влаги (m_v), содержащейся в теле, к массе абсолютно сухого тела $m_{сух}$.

Под влажностью - понимается отношение массы влаги m_v , содержащейся в теле, к массе влажного материала $m_{вл}$.

Если масса воды (m_v), удаляемой при сушке из влажного материала, относится к массе влажного материала ($m_{вл}$), то такая влажность называется относительной:

$$W_{отн} = \frac{m_v}{m_{вл}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Если масса воды, удаляемой при сушке из влажного материала, относится к массе сухого материала ($m_{сух}$), то такая влажность называется абсолютной:

$$W_{абс} = \frac{m_v}{m_{сух}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Взаимосвязь между этими влажностями можно выразить следующими формулами:

$$W_{абс} = \frac{W_{отн}}{100 - W_{отн}} \cdot 100\% \quad (3)$$

$$W_{отн} = \frac{W_{абс}}{100 + W_{абс}} \cdot 100\% \quad (4)$$

При использовании в расчетах величин массы исходной навески, $g - m_1$ и массы сухой навески, $g - m_2$, то расчетные формулы принимают вид:

$$\text{Относительная влажность материала: } W_{отн} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \% \quad (5)$$

$$\text{Абсолютная влажность материала: } W_{абс} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \% \quad (6)$$

Выражать влажность можно не только в процентах, но и в относительных единицах.

В определенных отраслях промышленности для указания содержания влаги в материале применяются влагосодержание или влажность в зависимости от установившихся традиций. Большей частью в теоретических исследованиях и расчетах содержание влаги задается влагосодержанием, а в производственных условиях в экспериментах для той же цели чаще применяют влажность.

При измерениях влажности необходимо учитывать формы ее связи с материалом, а также особенности гигротермического равновесия материала с окружающей воздушной средой.

Естественные и промышленные влагосодержащие материалы относятся к коллоидным, капиллярно-пористым или капиллярно-пористым коллоидным телам. К коллоидным телам принадлежат эластичные гели, студни, желатины, мучное тесто и т. д. Примером капиллярно-пористых тел являются кварцевый песок, слабо обожженные керамические материалы и т. д. Большинство влажных материалов являются коллоидными, капиллярно-пористыми телами. Коллоидные тела характеризуются малыми размерами капилляров, близкими к радиусу действия молекулярных сил, и могут рассматриваться в общем случае также как капиллярно-пористые тела. Способность материалов поглощать и отдавать влагу определяется, с одной стороны, свойствами и твердого «скелета» материала, а с другой - формой связи с ним влаги.

На первую группу свойств наибольшее влияние оказывают размеры капилляров.

Различают три группы капиллярно-пористых тел:

- микрокапиллярные,
- макрокапиллярные,
- гетеропорозные.

У первых радиус капилляров меньше 10^{-5} см, у вторых - больше этой величины, у третьих - капилляры имеют разные размеры. На перенос влаги внутри капиллярно-пористых тел влияют также форма капилляров, их расположение и соединение, а также механические свойства материалов.

Наиболее полная классификация форм связи влаги с материалом дана П. А. Ребиндером, исходя из интенсивности форм связи.

В зависимости от энергии, необходимой для удаления влаги из тела, связи делятся на химические, физико-химические и физико-механические. К первой группе относятся наиболее сильные связи: ионная и молекулярная. При этих формах связи вода как таковая исчезает и ее молекулы входят в состав нового вещества (гидратная вода). Химически связанная влага резко отличается по своим свойствам от свободной; ее нельзя удалить сушкой или отжатием.

К физико-химическим связям относятся адсорбционная и осмотическая связи. Первая характерна для гидрофильных и гидрофобных тел; удаление влаги происходит испарением, десорбцией у гидрофильных тел или дезадсорбцией - у гидрофобных. Осмотическая связь имеет место у растительных клеток с концентрированным раствором, в которые вода проникает из окружающей среды, с менее концентрированным раствором. При наиболее слабой связи - физико-механической - вода удерживается в неопределенных соотношениях. Связь может иметь структурный характер, например, в студне образующих веществах.

В микрокапиллярах связь образуется поглощением воды из влажного воздуха или непосредственным соприкосновением материала с водой, в макрокапиллярах - поглощением воды прямым соприкосновением. В обоих случаях вода механически удерживается адсорбционными силами у стенок.

Основная масса воды, кроме связанной адсорбционно, сохраняет свои свойства. Условием нарушения связи является действие давления, превосходящего капиллярное. Связь смешиванием образуется в непористых

смачиваемых телах прилипанием воды при ее соприкосновении с поверхностью тела. Удаление влаги, как и при структурной связи, производится испарением.

Разграничение влаги по форме ее связи с сухим материалом представляет сложную задачу, хотя для этого был предложен ряд методов, основанных на использовании изменения физических (в том числе и электрических) характеристик.

2. Описание и выбор метода измерения влажности

Методы измерения-влажности принято делить на прямые и косвенные. В прямых методах производится непосредственное разделение влажного материала на сухое вещество и влагу. В косвенных методах измеряется другая величина, функционально связанная с влажностью материала. Косвенные методы требуют предварительной калибровки с целью установления зависимости между влажностью материала и измеряемой величиной.

2.1 Метод высушивания

Наиболее распространенным прямым методом является метод высушивания, заключающийся в воздушно-тепловой сушке образца материала до достижения равновесия с окружающей средой; это равновесие условно считается равноценным полному удалению влаги. На практике применяется высушивание до постоянного веса; чаще применяют так называемые ускоренные методы сушки

В первом случае сушку заканчивают, если два последовательных взвешивания исследуемого, образца дают одинаковые или весьма близкие результаты. Так как скорость сушки постепенно уменьшается, предполагается, что при этом удаляется почти вся влага, содержащаяся в образце. Длительность определения этим методом составляет обычно от нескольких часов до суток и более. В ускоренных методах сушка ведется в течение определенного, значительно более короткого промежутка времени, при повышенной температуре (например, стандартный метод определения влажности зерна сушкой размолотой навески при $+130^{\circ}\text{C}$ в течение 40 мин). В последние годы

для ускоренной сушки ряда материалов стали применять инфракрасные лучи, а в отдельных случаях - электрический нагрев (токи высокой частоты). Определению влажности твердых материалов высушиванием присущи следующие методические погрешности:

а) При высушивании органических материалов наряду с потерей гигроскопической влаги происходит потеря летучих; одновременно при сушке в воздухе имеет место поглощение кислорода вследствие окисления вещества.

б) Прекращение сушки соответствует не полному удалению влаги, а равновесию между давлением водяных паров в материале и давлением водяных паров в воздухе.

в) Удаление связанной влаги в коллоидных материалах невозможно без разрушения коллоидной частицы и не достигается при высушивании.

г) В некоторых веществах в результате сушки образуется водонепроницаемая корка, препятствующая удалению влаги.

Некоторые из указанных погрешностей можно уменьшить сушкой в вакууме при пониженной температуре или в потоке инертного газа. Однако для вакуумной сушки требуется более громоздкая и сложная аппаратура, чем для воздушно-тепловой.

При наиболее распространенной сушке (в сушильных шкафах) имеются погрешности, зависящие от применяемой аппаратуры и техники высушивания. Так, например, результаты определения влажности зависят от длительности сушки, от температуры и атмосферного давления, при которых протекала сушка. Температура имеет особенно большое значение при использовании ускоренных методов, когда понижение температуры сильно влияет на количество удаленной влаги. На результаты высушивания влияют также форма и размеры бокса и сушильного шкафа, распределение температуры в сушильном шкафу, скорость движения воздуха в нем, возможность уноса пыли или мелких частиц образца и т. д. Для материалов, подвергающихся перед определением влажности измельчению, большое значение имеет убыль влаги в образце в

процессе измельчения. Эта убыль особенно велика, если при размоле имеет место нагрев образца. С другой стороны, возможно поглощение влаги из окружающей среды в промежутках

времени между окончанием сушки и взвешиванием образца.

В итоге высушивание представляет собой чисто эмпирический метод, которым определяется не истинная величина влажности, а некая условная величина, более или менее близкая к ней. Определения влажности, выполненные в неодинаковых условиях, дают плохо сопоставимые результаты. Более точные результаты дает вакуумная сушка, выполняемая обычно в камере при пониженном давлении (25 мм рт. ст. и ниже) до постоянного веса.

2.2 Дистилляционный метод

В дистилляционных методах исследуемый образец подогревается в сосуде с определенным количеством жидкости, не смешивающейся с водой (бензол, толуол, ксилол, минеральное масло и т. д.), до температуры кипения этой жидкости. Пары, проходя через холодильник, конденсируются в измерительном сосуде, в котором измеряется объем, или вес воды. Дистилляционные методы в различных модификациях и с использованием разных конструкций аппаратуры были разработаны для различных материалов, в том числе и для жидких. Однако дистилляционным методам также свойственны многие недостатки. Капли воды, остающиеся на стенках холодильника и трубок, вызывают погрешности в определениях. Применяемые растворители, как правило, огнеопасны, а аппаратура хрупка и громоздка.

Методы высушивания и дистилляционные приняты в качестве стандартных методов определения влажности большинства материалов.

2.3 Экстракционные методы

Экстракционные методы основаны на (извлечении влаги из исследуемого образца твердого материала водопоглощающей жидкостью (диоксан, спирт) и определении характеристик жидкого экстракта, зависящих от его влагосодержания: удельного веса, показателя преломления, температуры

кипения или заморозки и т.п. В электрических экстракционных методах измеряются электрические свойства (удельное сопротивление, диэлектрическая проницаемость) экстракта. Экстракционные методы дают наилучшие результаты в применении к материалам, мелко измельченным или обладающим пористой структурой, обеспечивающей проникновение экстрагирующей жидкости в капилляры.

2.4 Химический метод

Основой химических методов является обработка образца твердого материала реагентом, вступающим в химическую реакцию только с влагой, содержащейся в образце. Количество воды в образце определяется по количеству жидкого или газообразного продукта реакции. Наиболее распространенными химическими методами являются карбидный (газометрический) метод и применение реактива Фишера.

В первом методе измельченный образец влажного материала тщательно смешивают с карбидом кальция в избыточном количестве, причем имеет место реакция:



Количество выделенного ацетиленового газа определяют измерением его объема или по повышению давления в плотно закрытом сосуде. Обычно прибор градуируют эмпирически, так как практически не вся вода участвует в реакции и количество выделенного ацетилена не соответствует уравнению реакции.

Менее распространен химический метод определения влажности по повышению температуры вследствие химической реакции реагента с влагой вещества; чаще всего в качестве реагента используется серная кислота. Повышение температуры смеси карбида кальция с материалом можно использовать также в карбидном методе, так как реакция воды с CaC_2 протекает с выделением тепла.

Иногда необходимо раздельное определение «поверхностной» и «внутренней» влажности материала. Кроме способов, основанных на удалении

поверхностной влаги силикагелем, фильтровальной бумагой и т. п., можно применить предложенный И. К. Петровым метод, по которому предварительно взвешенную навеску материала опускают в воду измеряют ареометром, отградуированным в граммах (для данного материала), силу, действующую на навеску, и по разности весов навески определяют вес поверхностной влаги.

Метод Карла-Фишера

Универсальный химический метод обнаружения воды основан на использовании йодометрической реакции. Этот метод предпочтителен, так как обработка материала органическим растворителем более полно и быстрее удаляет воду. Этот метод нельзя использовать для материалов, которые образуют соединения с растворителями. Метод применяется для измерения влажности в потоке материала. Мерой содержания влаги является получаемый ток при электролизе.

2.5 Метод СВЧ-влажнометрии

Из методов измерения влажности, применяемых в промышленности, только высокочастотная влагометрия может конкурировать по широте использования с СВЧ-методом. Преимуществами СВЧ-влажнометрии являются: возможность бесконтактного измерения, относительная простота и дешевизна аппаратуры, а в ряде случаев и хорошие метрологические характеристики. Метод основан на измерении электрических параметров датчика с материалом или амплитуды или (и) фазы прошедшей или отраженной волны в диапазоне до 30 ГГц. Различие высокочастотных и СВЧ-методов вызвано как соизмеримостью длины волны с минимальными характеристическими размерами объекта, так и особенностью поведения связанной воды в гигагерцевом диапазоне.

Одно из уникальных свойств воды - аномально высокая диэлектрическая проницаемость, вызванная тем, что оси O-H в молекуле воды имеют угол, близкий к 105° . Эта особенность, обусловленная законами квантовой механики,

приводит к тому, что даже в отсутствие внешнего электрического поля молекула воды обладает собственным дипольным моментом.

Ориентация полярной молекулы во внешнем поле отлична от ориентации неполярной молекулы при электронной или ионной поляризации, когда деформируется только электронное облако. При дипольной поляризации молекула поворачивается как единое целое, поэтому на процесс поляризации влияют энергия связи воды со скелетом и температура. Вращение молекулы отстает от вращающего момента, вызванного переменным электромагнитным полем, за счет сил трения, уменьшающих также и амплитуду результирующей поляризации. Это отставание удобно характеризовать временем релаксации, которое для воды равно $0,6 \cdot 10^{-11}$ с ($T = 293$ К) и для льда 10^{-5} с ($T < 273$ К). Полимеризация воды со скелетом вблизи поверхности твердой фазы приводит к увеличению времени релаксации до 10^{-9} - 10^{-7} с. При совпадении частоты внешнего поля с собственной частотой диполей (область дисперсии) возрастают потери и диэлектрическая проницаемость начинает зависеть от частоты.

2.6 Нейтронный метод

Нейтронный метод измерения влажности основан на замедлении быстрых нейтронов при упругом столкновении их с атомами вещества. Так как массы ядра и нейтрона соизмеримы, то при упругом столкновении происходит уменьшение энергии нейтрона, равное энергии отдачи ядра. При столкновении с легкими атомами, в частности с атомами водорода, потеря энергии может быть весьма значительной. Анизотропный поток быстрых нейтронов, сохраняющий при прохождении через вещество свое первоначальное направление, превращается в изотропный поток тепловых нейтронов, которые можно регистрировать детектором, расположенным в непосредственной близости от источника быстрых нейтронов или в точке, удаленной на некоторое фиксированное расстояние.

В реальных средах, содержащих не только легкие, но и средние (с зарядом $Z > 35$) ядра, быстрые нейтроны испытывают как упругие, так и неупругие

столкновения, а затем, когда в результате столкновений нейтрон потеряет большую часть энергии, он начнет терять энергию только на упругих столкновениях. В среде с легкими атомами роль неупругих столкновений значительно слабее. Так, замедляющая способность воды вычислена с учетом кислорода. Несколько большая замедляющая способность у парафина. Высокую замедляющую способность углеводов объясняет сильное влияние органических примесей на точность при измерении влажности почв нейтронным методом. Используя свойство разной замедленности нейтронов в материалах, создаются нейтронные влагомеры.

2.7 Инфракрасные влагомеры

Известно, что в молекуле существуют два основных вида колебаний - валентные и деформационные. Колебания, в условиях которых атомы остаются на осях валентной связи, а расстояния между атомами периодически изменяются, называют валентными. Под деформационными понимают колебания, в условиях которых атомы отходят от оси валентных связей. Поскольку энергия деформационных колебаний значительно меньше энергии валентных колебаний, то деформационные колебания наблюдаются при больших длинах волн.

Валентные и деформационные колебания создают основные, обладающие наибольшей интенсивностью полосы поглощения, а также обертоновые полосы, имеющие частоты, кратные основной. Интенсивность обертоновых полос поглощения меньше интенсивности основных.

Разграничение спектров по характеру поглощения совпадает с энергетическим делением инфракрасной (ИК) области излучений на ближнюю область, соответствующую области обертонов, и среднюю, соответствующую области основных колебаний.

Главной особенностью ИК-спектров является то, что поглощение излучения зависит не только от молекулы в целом, но и от отдельных групп присутствующих в этой молекуле атомов. Это положение является

основополагающим для ИК спектрального анализа вещественного состава и определения количеств тех или иных групп атомов, присутствующих в исследуемом материале.

Получают и исследуют ИК - спектры с помощью специальных приборов - спектрометров или спектрофотометров, в которых излучение источника направляется на исследуемый образец через монохроматор, выделяющий из интегрального пучка излучений монохроматическое излучение той или иной длины волны.

Излучение, прошедшее через контролируемый материал, улавливается приемником, а сигнал, формируемый приемником, усиливается и обрабатывается электронным блоком. Обычно в видимой и ближней ИК-областях источниками излучения служат лампы накаливания, а приемниками - фоторезисторы, например PbS, GaS, InSb и т.п. В средней и дальней ИК-областях источниками излучений могут быть накапливаемые керамические стержни, а приемниками - термопары, болометры и т.п.

Количественный анализ содержания в контролируемом материале того или иного компонента достаточно прост, если имеется полоса поглощения данного компонента, не перекрывающаяся полосами поглощения других компонентов. Тогда глубина полосы хорошо коррелирует с концентрацией исследуемого компонента.

Прибор обычно регистрирует прозрачность характеризующую отношение потока, прошедшего через вещество, к потоку, падающему на вещество.

2.8 Кондуктометрические датчики

Капиллярно-пористые влажные материалы с точки зрения физики диэлектриков относятся к макроскопически неоднородным диэлектрикам. Их неоднородность обусловлена в первую очередь наличием вкраплений влаги в основной (сухой) материал. Кроме того, подавляющее большинство естественных и промышленных материалов неоднородно по своему

химическому составу, содержит примеси, загрязнения и воздушные включения.

Для таких материалов характерно превалирующее влияние влажности на электрические свойства материала. Являясь в сухом виде изоляторами с удельным объемным сопротивлением $R_v=10^{10}-10^{15}$ ом-см и выше, в результате увлажнения они становятся проводниками: величина R_v понижается до $10^{-2}-10^{-3}$ ом-см. Удельное сопротивление изменяется, следовательно, в зависимости от влажности в чрезвычайно широком диапазоне, охватывающем 12-18 порядков.

Неоднородность диэлектрика, наличие в нем влаги сказываются не только на величине удельной проводимости, но и на качественных особенностях электропроводности: на ее зависимости от температуры и напряженности электрического поля.

2.9 Электрондуктометрический метод измерения влажности

Метод широко распространен благодаря простоте конструкции, малой стоимости аппаратур, непрерывности измерений и малой инерционности. Затрудняет считывание значений влажности логарифмическая зависимость между измеряемой влажностью и электропроводностью. Метод применим для материалов, неэлектропроводных в сухом состоянии. Метод не применим для измерения лишком сухих материалов и слишком влажных.

2.10 Диэлектрические методы

Получили значительное распространение как дополнение к электрондуктометрическим методам.

Пригодны для измерения влажности изолированных снаружи изделий, а так же в материалах с повышенной влажностью. Большое влияние оказывает плотность материала.

2.11 Инфракрасные методы

Инфракрасные гигрометры основаны на использовании характерных полос поглощения воды для измерения влажности воздуха. Для твердых веществ поглощение измеряется путем отражения от поверхности.

Недостаток: можно определить содержание влаги в поверхностных слоях. Для устранения подобного недостатка материал размельчают и перемешивают.

Преимуществом метода считают бесконтактность метода, небольшое влияние температуры, плотности и химического состава. Однако метод чувствителен в слоях различной толщины и зернах различных размеров.

2.12 Нейтронный метод

Применяют для измерения содержания влаги в больших объемах материала: песка, строительных материалов, шлаков, для определения влажности строительного грунта.

2.13 Метод измерения влажности по температуре сушки

Между влажностью и температурой осушаемого материала существует четкая зависимость, при условии проведения сушки в камере при постоянных параметрах. Температура влажного осушаемого материала в начале снижается в результате испарения, а затем остается постоянной, пока поверхность объекта не увлажняется за счет поступающей из внутренних слоев влаги. Только в области гигроскопической влажности температура материала может повышаться. Поэтому проводя бесконтактные измерения температуры осушаемого материала с помощью низкотемпературных пирометров можно управлять сушильными камерами.

2.14 Метод гигротермического равновесия

Между влагосодержанием гигроскопических веществ и относительной влажностью окружающего воздуха существует тесная зависимость, описываемая изотермой сорбции вещества. Метод используют для оценки сильно гигроскопических товаров, и позволяет определять влажность с погрешностью $\pm 1\%$.

3 Методика проведения анализов влажности

Отбор и приготовление проб

Независимо от того, какая методика определения влажности используется, способ отбора проб существенно влияет на качество результатов

измерений. Данные единичного измерения могут говорить нам о влажности только в том месте материала, откуда взята проба.

Отбор проб:

- в заданные интервалы времени;

В сферах деятельности, где тестируемый материал движется в непрерывном потоке, как это имеет место для большинства производственных процессов, самым лучшим является отбор проб в заданные интервалы времени, что обеспечивает репрезентативность результатов измерений.

- из разных мест материала.

В таких областях, как входной или выходной контроль, обычно берётся несколько проб из разных мест материала. Далее измерение влажности выполняется либо отдельно на каждой пробе, и из массива данных выводится среднее значение, либо пробы друг с другом перемешиваются и исследуется полученная смесь.

Хранение проб.

Очень важно быть уверенным в том, что во время отбора или приготовления пробы на неё не воздействует влага из окружающей среды. Чтобы помочь избежать этого воздействия, необходимо приготавливать ровно столько проб, сколько потребуется для быстрого тестирования. Однако если их требуется взять больше, чем может быть обработано сию минуту, то неиспользуемые пробы, до того как они будут исследованы, следует хранить в воздухонепроницаемых контейнерах; например, запечатанными в пластиковых мешках или в полиэтиленовых бутылках с завинчивающейся крышкой. Контейнеры для хранения выбираются, исходя из размера проб. Если контейнер наполовину пуст, влажность пробы может измениться из-за контакта с воздухом внутри контейнера. Тёплые пробы отдают влагу быстрее, чем холодные. Когда в контейнер помещается тёплая проба, её влага конденсируется на внутренней поверхности стенок. Перед тестированием тщательно смешайте этот конденсат с его пробой, в противном случае

измеренные значения влажности будут очень малы, или будет иметь место большой разброс отдельных измеренных результатов.

Измельчение и перемалывание проб.

Если перед тестированием пробу необходимо перемолоть, измельчить или истолочь, то следует тщательно избегать нагревания вещества пробы за счёт трения, которое может повлечь за собой потерю влаги перед исходными измерениями, и как следствие, неточность результатов. Для такого вида обработки очень полезными могут оказаться ступка и пестик (см. рисунок 1). Если проба плохо поддаётся обработке, рекомендуется применять ручную мельницу; т.к. в электрических мельницах трение, вызванное высокой скоростью вращения, создаёт большое количество теплоты. Кроме того, тёплый электродвигатель обычно не полностью изолирован от камеры, поэтому возможно дополнительное нагревание пробы.



Рисунок 1 - Ступка для толчения пробы

Для гомогенизации пастообразных и жидких проб, содержащих твёрдые частицы, рекомендуется использовать стеклянную, совковую или магнитную мешалку. И здесь также важно быть уверенным в том, что проба приготавливается настолько быстро, что обмен влагой между веществом пробы и окружающим воздухом сведён к минимуму.

Нагрев пробы

Способы нагревания вещества:

- конвекция: В общем, пробы нагреваются при передаче им энергии путём конвекции или абсорбции (поглощения) излучений.

При конвекционной сушке горячий воздух, протекая сквозь поверхность пробы, передаёт ей порцию энергии, тем самым, нагревая её.

-поглощение излучения: Во время абсорбционной сушки нагревание происходит посредством облучения пробы электромагнитными волнами инфракрасного (ИК) или микроволнового диапазона. Проба поглощает часть этих лучей, и это приводит к её нагреву.

Однако в обоих случаях надо помнить, что когда вес пробы становится постоянным, то необязательно нагревать пробу дальше до полной её усушки. Вес перестанет изменяться, как только будет достигнуто равновесие между давлением паров внутри пробы и давлением окружающего воздуха. По этой причине очень важно в течение процесса высушивания непрерывно подавать свежий воздух для удаления испарившейся влаги из сушильной камеры.

Распределение пробы в кювете

Для получения воспроизводимых результатов важно, чтобы материал пробы был равномерно распределён в кювете (см рисунок 2). Если распределение неравномерное, или если кювета переполнена, тепло в пробе не может распределяться однородно. Это может нежелательно увеличить время сушки. В некоторых случаях неравномерное распределение тепла приводит к неполному высушиванию пробы, что означает не воспроизводимость, а значит и бесполезность полученных результатов измерений.



Рисунок 2 - Неправильное и правильное распределение пробы в кювете

Определение разности веса

Измерение разности между начальным весом и весом после сушки – в этом заключается существенная часть термогравиметрического анализа влажности.

4 Методика определения влажности материала весовым методом.

Наиболее простой метод определения влажности заключается в высушивании взятой из средней пробы навески материала в сушильном шкафу при температуре 105-110°C.

Навеску материала массой 10 - 15 г помещают в стеклянный бюкс, закрывают его крышкой и взвешивают на аналитических весах с точностью до четвертого знака после запятой, после чего бюкс помещают в сушильный шкаф, снимают крышку бюкса и высушивают в течение 2-4 часов.

Время сушки зависит от величины навески и вида влажного материала. При сушке сыпучих влажных материалов достаточно и 2-х часов, при сушке формовочных масс и суспензий сушку необходимо проводить не менее 4-х часов до достижения постоянной массы сухого материала.

После высушивания бюксы закрывают крышкой, охлаждают в эксикаторе и вновь взвешивают.

При определении массы исходной навески и высушенного материала необходимо учитывать массу пустого бюкса с крышкой.

Расчет влажности материалов производят по вышеприведенным формулам, с точностью до второго знака после запятой.

Если при определении влажности материалов не требуется высокой точности, то взвешивание производится на технических весах (до 0,01 г) и влажность рассчитывается с точностью до 0,1%.

Для получения надежных результатов определение влажности необходимо проводить на трех параллельных пробах.

5 Особенности применения характеристики - влажность в строительстве

Строительство любого объекта – это сложный многоступенчатый процесс. Градостроительный кодекс, федеральные законы, сотни ГОСТов и

СНиПов регламентируют общие правила и нормы по проведению строительных работ, используемым материалам; указывают, какими измерительными приборами рекомендуется проводить контроль различных физических параметров, которые необходимо учитывать. Измерение влажности строительных материалов предполагается осуществлять начиная с возведения здания, т.к. при этом учитываются параметры, начиная от влажности грунта в месте, где ведется строительство, физических свойств строительных материалов и заканчивая контролем работы систем отопления, кондиционирования и вентиляции.

Для того чтобы возводимые строительные сооружения были долговечными, необходимо использовать при строительстве качественные строительные материалы, которые соответствуют как эстетическим запросам, так и техническим требованиям. Одним из основных требований, предъявляемых к строительным материалам, является определенная влажность.

В качестве примеров можно рассмотреть следующие.

1. Для сухих строительных смесей влажность является весьма важным показателем, влияющим на их гарантированные сроки хранения, слеживаемость, сыпучесть, угол естественного откоса, насыпную плотность. Стандарт 28013 «Растворы строительные. Общие технические условия» определяет предельно допустимую влажность сухих растворных смесей в 0,1% по массе с учетом состава различных сухих растворных смесей, а также на основании практики работы предприятий, в том числе зарубежных, требования к предельно - допустимой влажности должны быть расширены до 0,5% по массе, а в отдельных случаях и до 1,0%.

2. Традиционным материалом, используемым для строительства, является древесина. Теплопроводность (теплозащитные свойства) различных видов деревьев напрямую зависит от объемного веса и влажности древесины.

Древесина гигроскопична, она чутко реагирует на влажность окружающей среды. При высокой влажности древесина расширяется, при низкой – сжимается. В зависимости от влажности воздуха изменяется и влажность самого материала. Влага лучше всего проникает через торцевые поверхности бревен. Под относительной влажностью древесины подразумевается соотношение массы заключенной в ней влаги к массе сухой древесины.

Показатели средней влажности древесины в свежесрубленном состоянии приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Средняя влажность древесины в свежесрубленном состоянии

Древесина	Влажность в срубленном состоянии, %
Ель	91
Сосна	88
Пихта	100
Береза	78
Осина	82
Ольха	84

По степени влажности древесина бывает:

- абсолютно сухой (влажность равна 0%),
- комнатно - сухой (влажность от 8 до 15%),
- воздушно - сухой (влажность от 16 до 20%),
- полусухой (влажность от 21 до 23%),
- сырой (влаги более 23%),
- свежесрубленной (влажность от 40 до 75%),
- мокрой (влажность более 75%).

Рекомендации по проведению измерений влажности строительных материалов

В соответствии с ГОСТ 21718 «Материалы строительные. Диэлькометрический метод измерения влажности» для измерения влажности строительных материалов необходимо использовать влагомеры, принцип

действия которых основан на диэлькометрическом методе измерения влажности. Указанный стандарт распространяется на бетоны и сыпучие строительные материалы, однако и влажность древесины также может быть измерена диэлькометрическим методом. Диэлькометрический метод измерения влажности основан на корреляционной зависимости диэлектрической проницаемости материала от содержания в нем влаги при положительных температурах.

В соответствии с ГОСТ 21718 подготовка и проведение измерений проводятся в 6 этапов:

1. Для проведения измерений влажности бетона на его поверхности выбирают чистые ровные участки размерами 300х300 мм (на которых не должно быть местных наплывов, вмятин и раковин глубиной более 3 мм и диаметром более 5 мм.)
2. Число участков устанавливают из расчета один участок на 1,5 м² поверхности бетона. Температура поверхности бетона во время измерений должна быть не более +40°С.
3. Для проведения измерений влажности сыпучих строительных материалов отбирают и подготавливают пробы по ГОСТ 8269 или ГОСТ 8735.
4. Подготовку к работе и измерения влагомером производят в соответствии с инструкцией по его эксплуатации.
5. Устанавливают датчик влагомера поверхностного типа на контролируемый участок бетона (производят не менее пяти измерений влагомером).
6. Помещают каждую пробу сыпучих строительных материалов в датчик влагомера засыпного типа (производят не менее трех измерений влагомером).

Обработка результатов измерений:

1. По результатам всех измерений вычисляют среднее арифметическое значение показаний влагомера.

2. По градуировочной характеристике для данного материала определяют среднее значение его влажности (соответствующее значению показаний влагомера).

3. Абсолютную погрешность определения средней влажности проконтролированного материала $\Delta[W]$ процентах:

$$\Delta[W] = \pm \sqrt{\frac{\tilde{\Delta}_\alpha^2[W]}{3} + \frac{\tilde{\sigma}^2[\Delta(W)]}{3}} + \Delta_r^2, \quad (8)$$

где $\tilde{\Delta}_\alpha[W]$ и $\tilde{\sigma}[\Delta(W)]$ - систематическая и случайная составляющие основной абсолютной погрешности влагомера (значения которых приведены в технической документации на влагомер;

Δ_r - абсолютная погрешность градуирования (%).

4. Оценку влажности материала проводят сравнением значений влажности с показателями влажности, установленными в стандартах или технических условиях на эти материалы.

5. Результаты измерений записывают в журнал (который должен содержать следующие данные:

- наименование материала;
- показания влагомера по результатам всех измерений;
- средняя влажность материала.

Измерительное оборудование для неразрушающего контроля влажности строительных материалов

1 Приборы серии ИВДМ-2 (рисунок 3).

Для измерения влажности сыпучих и твердых строительных материалов нашими специалистами разработаны приборы серии ИВДМ-2 (рис. 3). Они предназначены для оперативного неразрушающего измерения влажности различных сыпучих материалов (ИВДМ-2-01 - объемный зонд, конструктивно выполненный в виде металлического цилиндра, внутрь которого засыпается измеряемый материал), древесины и строительных материалов (ИВДМ-2-02 -

поверхностный зонд, конструктивно выполнен в виде цилиндрической металлической емкости, которая прикладывается к измеряемому материалу).



Рисунок 3 - Приборы серии ИВДМ-2 для измерения влажности сыпучих и твердых строительных материалов

Преимущества приборов серии ИВДМ-2:

- поддержка до 32-х различных материалов;
- запись до 64-х точек памяти на каждый материал;
- возможность подключения к одному измерительному блоку 2-х типов зондов (объемный и поверхностный);
- температурная компенсация измерений;
- измерение с возможностью усреднения по времени;
- измерение в различных единицах: влажность, влагосодержание, диэлектрическая проницаемость;
- удобный информативный графический дисплей и выход на компьютер.

Краткие технические характеристики

Диапазон измерения влажности для древесины, %: - сосна, ель, береза, дуб, осина, бук	15...35
Абсолютная погрешность измерения влажности древесины, %	± 1
Диапазон измерения влажности для строительных материалов, %: - кирпич	1...15
Абсолютная погрешность измерения влажности для строительных материалов, %	± 1
Условия эксплуатации прибора: - температура воздуха, °С -	+5...+40; 5...80;
относительная влажность, % - атмосферное давление, кПа	от 84 до 106,7

2 Влагомер пиломатериалов ИВПМ-02 (рис. 4) предназначен для измерения влажности пиломатериалов (береза, дуб, сосна, ель, лиственница, клен, бук, груша, осина, липа) и изделий из них в процессе производства, сушки и хранения.



Рисунок 4 - Влагомер пиломатериалов ИВПМ-02

Диапазон измерений влажности, % от 5 до 30

Погрешность измерения влажности, %:

в диапазоне влажности от 5% до 15% $\pm 1,0\%$

в диапазоне влажности от 15% до 30% $\pm 2,0\%$

Условия эксплуатации:

диапазон рабочих температур от 5° до 35° C

влажность воздуха 30–95%

3 Влагомер универсальный ВИМС-1 (рисунок 5) предназначен для контроля влагосодержания твердых и сыпучих материалов.

Диапазон измерения влажности 0...100%

Погрешность 1...3%

Память результатов 1000

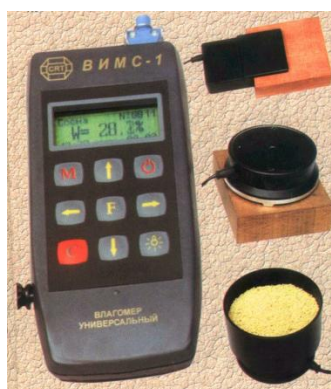


Рисунок 5 - Влагомер универсальный ВИМС-1

4 Бесконтактный экспресс-измеритель влажности материалов КС318. Данный прибор предназначен для измерения влажности различных твердых пород древесины, картона и кирпичной кладки, является бесконтактным, индуктивным и неразрушающим. В основу работы прибора положен принцип проникновения электромагнитных сигналов в поверхность, которая анализируется. Бесконтактный экспресс измеритель КС318 легкий, компактный и простой в использовании.

Основные характеристики измерителя влажности КС318 (рисунок 6):

- измерения влажности дерева варьируется в диапазоне 0–35% Rh, для мягких – от 0 до 53% Rh;
- способность к светодиодной индикации влажности образцов из гипсокартона и кирпича;
- прибор имеет разрешение 0,5%Rh при погрешности – не более $\pm 4\%$ Rh;
- имеется функция автоматического выключения прибора через 2 минуты своей неактивности;
- питание осуществляется через батарею 9 V;
- размеры измерителя – 170x75x30, вес – 152 грамма.



Рисунок 6 - Бесконтактный экспресс-измеритель влажности материалов КС318

5 Игольчатый влагомер Testo 606-1 (рисунок 7)

Игольчатый влагомер Testo 606-1 предназначен для измерения влажности древесины, бетона и других строительных материалов. Позволяет проводить измерения влажности на поверхности и небольшой глубине (до 2 см), идеален для контроля тонких строительных материалов. Имеет встроенные градуировочные зависимости по 7 группам строительных материалов. Диапазон измерений относительной влажности: древесины 7...55%, строительных материалов 0-22% Погрешность 1%



Рисунок 7- Игольчатый влагомер Testo 606-1
Контрольные вопросы

- 1 Что такое влажность строительных материалов?
- 2 Опишите влажность как физическую величину.
- 3 Какими формулами определяется влажность и влагосодержание материалов?
- 4 Перечислите методы измерения влажности.
- 5 Опишите методику хранения и подготовки проб для определения влажности материалов.
- 6 В чем заключается методика определения влажности материала весовым методом?
- 7 Перечислите приборы неразрушающего контроля влажности строительных материалов.

Литература

1. Ткаченко Г. А. Нормативно-техническое обеспечение и управление качеством в промышленности строительных материалов: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению "Строительство"; Ростов н/Д: Ростовский государственный строительный университет, 2003.

2. Электронная библиотечная система: www.znaniium.com.
3. Комплект лазерных дисков с примерами испытаний конструкций неразрушающими методами.
4. Проспекты на приборы и системы контроля качества.
5. ГОСТ 16483.7-71. «Древесина. Метод определения влажности».
6. ГОСТ 21718. «Материалы строительные. Диэлькометрический метод измерения влажности».
7. ГОСТ 8269-99. Щебень из природного камня, гравий и щебень из гравия для строительных работ. Методы испытаний».
8. ГОСТ 8735-88. «Песок для строительных работ. Методы испытаний».
9. ГОСТ 12730.0-78. «Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости».