

УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ И ВЛАЖНОСТИ ЛЕГКОДЕФОРМИРУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Антон Александрович Сеницын, Вологодский государственный университет (Вологда) patinfo@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5238-696X>

Ирина Гареевна Ахметова, Казанский государственный энергетический университет (Казань) irina_akhmetova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0996-7712>

Юрий Витальевич Ваньков, Казанский государственный энергетический университет (Казань) yvankov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4584-128X>

Лилия Рафаэлевна Мухаметова, Казанский государственный энергетический университет (Казань) liliyamyhametova@mail.ru

Дата написания: 24 декабря 2025 г.

Аннотация: В работе рассмотрено устройство, предназначенное для одновременного измерения толщины и влажности волокнистых и пористых легкодеформируемых материалов (в том числе фильтрующих и теплоизоляционных). Её конструкция включает подвижный и неподвижный измерительные элементы, вертикальные направляющие с защитной оболочкой, указатель толщины и измерительную линейку, при этом вес подвижного элемента создаёт нормированную удельную нагрузку $50 \pm 7,5$ Па. Влажность определяется по диэлектрической проницаемости материала с последующим пересчётом в значение влажности согласно ГОСТ 21718-84, для чего используется измерительный конденсатор, образованный пластиной под подвижным элементом и неподвижным измерительным элементом через электроды. Область применения: отрасли производства и контроля качества теплоизоляционных, фильтрующих и легкодеформируемых волокнистых и пористых материалов, в том числе в строительной индустрии, производстве фильтров, лёгкой промышленности и изготовлении нетканых материалов.

Ключевые слова: волокнистый пористый материал, измерительный элемент, легкодеформируемый материал, теплоизоляционный материал

Предложенная модель относится к средствам измерения толщины и влажности волокнистых и пористых легкодеформируемых материалов, в частности фильтрующих и теплоизоляционных материалов, и содержит подвижный и неподвижный плоские измерительные элементы, вертикальные направляющие для перемещения подвижного измерительного элемента в направлении измерения и указатель толщины для измерения перемещения этого элемента. На подвижном плоском измерительном элементе со стороны измерительной плоскости имеется указатель толщины, а на одной из направляющей перемещения подвижного измерительного элемента размещена измерительная линейка. Вес подвижного измерительного элемента, легко перемещающегося по вертикальным направляющим, рассчитан таким образом, чтобы создавать удельную нагрузку $50 \pm 7,5$ Па. Подвижный плоский измерительный элемент имеет держатель для его перемещения по

вертикальным направляющим, а сами вертикальные направляющие помещены в защитный корпус. С целью одновременного измерения толщины и влажности легкодеформируемых материалов под подвижным плоским измерительным элементом имеется пластина, которая вместе с неподвижным плоским измерительным элементом через электроды соединена с измерительным элементом, образуя измерительный конденсатор. Измерение влажности основано на измерении диэлектрической проницаемости контролируемого материала, преобразуемой через температуру в значение влажности материала по ГОСТ 21718-84.

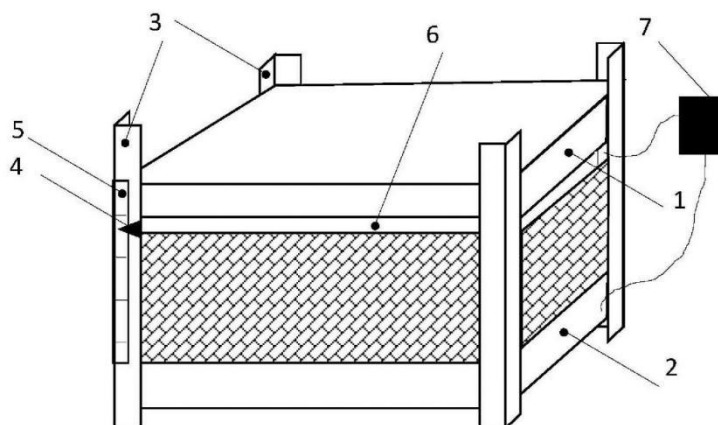


Рис.1 - Общий вид устройства

Устройство относится к средствам измерения толщины и влажности волокнистых и пористых легкодеформируемых материалов, в частности фильтрующих и теплоизоляционных материалов.

Известен способ измерения толщины волокнистых материалов с применением толщиномера, где масса основания с корпусом толщиномера должна создавать удельную нагрузку $50 \pm 7,5$ Па (ГОСТ 17177-94. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний).

Недостатком такого способа является ограниченный диапазон измерений - до 250 мм, необходимость прокола образца, а также вероятность перекоса основания из-за неровности поверхности образца.

Известно устройство для измерения толщины волокнистых материалов (SU366352A1), в котором в подвижной губке со стороны измерительной плоскости выполнена выемка, сообщающаяся через канал с источником сжатого воздуха, в неподвижной губке также выполнена выемка, сообщающаяся через канал с атмосферой. Измерительные плоскости губок представляют собой сетку, и устройство снабжено микроманометром для измерения перепада давления на измеряемом материале. Однако данное техническое решение предназначено только для пористых материалов, при этом имеется техническая сложность исполнения механизмов перемещения.

Известен также способ измерения влажности пористого материала, при котором на поверхности образца устанавливают электроды датчика и измеряют электрическое

сопротивление материала, по которому судят о величине влажности. При этом перед установкой электродов проводят дозированное увлажнение поверхности образца на участках её контакта с электродом, вследствие чего переходное сопротивление от электродов к материалу получается во всех случаях одинаковым (например, авторское свидетельство СССР N 1569688, МКИ G 01 N 27/02, 1990). Недостатком такого способа является большие затраты времени при измерении влажности пористого материала в процессе его сушки в слое частиц инертного носителя, т.к. необходимо производить измерения нескольких образцов, отвечающих различным режимам и интервалам сушки.

Известен влагомер (RU150395U1), содержащий металлический корпус, закрепленную на корпусе диэлектрическую пластину, внешняя поверхность которой обращена в сторону контролируемого материала, измерительный конденсатор, состоящий из первого и второго электродов, при этом первый электрод измерительного конденсатора образован проводящим элементом, который размещён на диэлектрической пластине, а второй электрод измерительного конденсатора образован металлическим корпусом, первый и второй электроды измерительного конденсатора подключены к установленному в корпусе электронному устройству.

Однако данное техническое решение предназначено только для определения измерения влажности различных материалов в промышленных условиях и не предназначено для одновременного измерения толщины материала.

Наиболее близким техническим решением является устройство для измерения толщины легкодеформируемых материалов (RU219628U1), содержащее подвижный и неподвижный плоские измерительные элементы, вертикальные направляющие для перемещения подвижного измерительного элемента в направлении измерения и указатель толщины для измерения перемещения этого элемента. Однако данное техническое решение предназначено только для измерения толщины волокнистых и пористых легкодеформируемых материалов без одновременного измерения их влажности.

Задачей предлагаемого решения является быстрый способ одновременного измерения толщины и влажности волокнистых и пористых легкодеформируемых материалов, а также обеспечение независимости измерений от плотности контролируемого материала при малых влажностях. Измерение и контроль влажности диэлькометрическим методом в режиме реального времени является важным показателем эффективности для производителей, целью которых является повышение качества продукта.

Поставленная задача достигается тем, что устройство содержит подвижный и неподвижный плоские измерительные элементы, вертикальные направляющие для перемещения подвижного измерительного элемента в направлении измерения и указатель толщины для измерения перемещения этого элемента, при этом на подвижном плоском измерительном элементе со стороны измерительной плоскости имеется указатель толщины, а на одной из направляющей перемещения подвижного измерительного элемента размещена измерительная линейка. Вес подвижного измерительного элемента, легко перемещающегося по вертикальным направляющим, рассчитан таким образом, чтобы создавать удельную нагрузку $50 \pm 7,5$ Па. Подвижный плоский измерительный элемент имеет держатель для его перемещения по вертикальным направляющим, а сами вертикальные направляющие помещены в защитный корпус. С целью одновременного измерения толщины и влажности

легкодеформируемых материалов под подвижным плоским измерительным элементом имеется пластина, которая вместе с неподвижным плоским измерительным элементом через электроды соединена с измерительным элементом, образуя измерительный конденсатор, при этом измерение влажности основано на измерении диэлектрической проницаемости контролируемого материала, преобразуемой через температуру в значение влажности материала по ГОСТ 21718-84.

Сущность предложенной модели поясняется чертежом, где на рис. 1 представлен общий вид устройства для комплексного измерения толщины и влажности легкодеформируемых материалов.

Устройство для измерения толщины и влажности легкодеформируемых материалов содержит подвижный 1 и неподвижный 2 плоские измерительные элементы, вертикальные направляющие 3, указатель толщины 4 и измерительную линейку 5, пластину 6, расположенную под подвижным плоским измерительным элементом 1, и электронный комплекс 7, включающий первый и второй электроды. Первый электрод соединён с пластиной 6, второй электрод соединён с неподвижным плоским измерительным элементом 2, обеспечивая преобразование ёмкости измерительного конденсатора в электрический сигнал. Пластина 6 и элемент 2 образуют сам измерительный конденсатор. Подвижный плоский измерительный элемент выполняется из материала с низкой диэлектрической проницаемостью для увеличения чувствительности устройства в части измерения влажности. Возможны включения дополнительных катушек индуктивности и конденсаторов для повышения чувствительности в части измерения влажности. Возможна установка температурного датчика для автоматизированного вычисления влажности материала по величине диэлектрической проницаемости материала и его температуре.

Для перемещения подвижного плоского измерительного элемента может быть устроен держатель (условно не показан). Вертикальные направляющие могут быть помещены в защитный корпус (условно не показан).

Устройство работает следующим образом. Перед использованием устройства между подвижным 1 и неподвижным 2 плоскими измерительными элементами размещается исследуемый образец легкодеформируемого материала. За счёт собственного веса подвижный плоский измерительный элемент опускается вниз по вертикальным направляющим 3, надавливает на исследуемый образец. Указатель толщины 4 показывает расстояние от нулевой отметки измерительной линейки 5, совпадающей с уровнем неподвижного плоского измерительного элемента.

Электромагнитное поле измерительного конденсатора непосредственно проходит в контролируемый материал, соприкасающийся с пластиной 6 и неподвижным плоским измерительным элементом 2. Электронное устройство 7 формирует гармонический сигнал, который передаётся на первый и второй электроды измерительного конденсатора. Измерение влажности основано на измерении диэлектрической проницаемости контролируемого материала. По величине диэлектрической проницаемости материала и его температуре определяют влажность материала.

Конструкция предлагаемого устройства промышленно воспроизводима и позволяет проводить комплексные измерения толщины и влажности волокнистых и пористых легкодеформируемых материалов, в частности фильтрующих и теплоизоляционных материалов, при этом совмещая высокую скорость измерения

толщины и влажности без снижения точности и нарушения целостности образца и в соответствии с ГОСТ 17177-94.

Особенностью предложенной конструкции является объёмное измерение с определением общего содержания воды в контролируемом объёме, при этом на результат измерения в равной степени влияет влажность, сконцентрированная как в пограничных слоях материала, так и влага, сконцентрированная в сердцевине.

Данное исследование было профинансировано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № 075-03-2025-458/1 от 27 марта 2025 года.