

УДК 534.838.4

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ОСАДКОМЕРЫ

Н.Н. Бахур¹, А.А. Волчек¹, Д.А. Костюк², Ю.А. Кузавко³,
Н.Н. Шпендик¹

¹Отдел проблем Полесья НАНБ

Брест, Беларусь

²Брестский государственный технический университет

Брест, Беларусь

³Институт радиотехники и электроники РАН

Москва, РФ

Недобор атмосферных осадков приборами, установленными на некоторой высоте над поверхностью земли, известен давно. Он, прежде всего, обусловлен заметным отклонением направления струй дождя вследствие ветра от нормали ко дну неподвижной собирающей емкости, что для жидких осадков недоучет при средней месячной скорости ветра 4–5 м/с составляет порядка 10–15 %, а для твердых — 30–80 %. Для устранения указанного недостатка иногда применяется электро-механическое отслеживание направления выпадаемых осадков, требующее существенных аппаратных и энергетических затрат поворотного устройства с электродвигателем, наличия автономного устройства с электродвигателем, наличия автономного или сетевого электропитания, специальных датчиков измерения направления струй дождя.

Однако, несмотря на большое количество исследований, до сих пор не получены окончательные выводы о количественных характеристиках атмосферных осадков. Сложность процесса выпадения атмосферных осадков и многообразие факторов, создающих систематические погрешности дождемерных приборов затрудняют решение этого вопроса. В настоящее время разработано много различных конструкций для измерения атмосферных осадков, но все они не лишены тех или иных недостатков.

Нами разработана конструкция первичных преобразователей и прибора для измерения атмосферных осадков с использованием эффекта преобразования энергии механического удара дождевых капель о поверхность датчика в эквивалентный электрический сигнал. На тонкой металлической пластине размерами 240×65×2 мм с тыльной стороны закреплены три ультразвуковых пьезокерамических преобразователя (УЗП), фиксирующие удары водяных капель о пластину. В силу того, что удары капель о пластину являются неупругими, то вся их кинетическая энергия передается пластине и результирующий сигнал, снимаемый с УЗП, будет пропорционален весу осадков. Вследствие этого предлагаемый метод измерений нечувствителен к изменению направления выпадения дождя.

УЗП представляют собой пьезоэлементы \varnothing 25 мм с высокочастотным резонансом по их толщине и низкочастотным резонансом 10 кГц изгибных колебаний, по которым и реализуются измерения. Неупругий удар капель о металлическую мембрану является достаточно продолжительным и вызывает в ней стоячие низкочастотные акустические волны. Поперечные размеры мембраны выбирались с условием интерференционного усиления для основной гармоники возникающих колебаний в двух ее взаимно перпендикулярных поперечных направлениях. Пьезоэлементы либо непосредственно напылялись на мембрану, либо клеились, при этом центры их месторасположения на мембране соответствовали узлам возникающей стоячей волны. Так как спектр низкочастотных колебаний мембраны, вызываемых ударами водяных капель, является широкополосным, то для повышения коэффициента преобразования механических колебаний в электрический сигнал применялось механическое демпфирование пьезоэлементов, заключающееся в нанесении на их свободную поверхность компаунда эпоксидной смолы с плотным наполнителем из окислов или солей тяжелых металлов [2]. Все УЗП включались в параллельную электрическую цепь. Вследствие чего электрическая емкость датчика утраивалась по величине и достигала 25 нФ. С учетом этого согласования входного сопротивления приемного усилителя с выходным сопротивлением датчика применялась последовательно подключаемая индуктивность для компенсации реактивного импеданса датчика, которая совместно с емкостью датчика определяла последовательный электрический резонанс на частоте основной гармоники генерируемого сигнала. При необходимости для достижения максимально требуемой широкополосности УЗП к индуктивности подключилось сопротивление

ние 1–10 Ом. Предпринятые меры позволяли достигнуть уровня сигнала не менее $100 \div 10$ мВ на входе приемного усилителя при типовых размерах дождевых капель $3 \div 1$ мм и их скорости 2 м/с. Форма капель является близкой к сферической, так как только для сферической поверхности энергия поверхностного натяжения является минимальной, а их размер определяется конкуренцией между молекулярными силами отталкивания и притяжения.

Дифференциальное уравнение для падающей в атмосфере капли имеет вид

$$\dot{v} + \frac{g}{v_0} \cdot v = g, \quad (1)$$

где v_0 – установившаяся скорость движения капли вследствие действующей на нее силы сопротивления воздуха, g – ускорение свободного падения. Из уравнения (1) следует выражение для скорости капли

$$v = v_0 \left(1 - e^{-\frac{g}{v_0} \cdot t} \right), \quad (2)$$

где t – время. Время падения капли τ с высоты h связано соотношением

$$h + \frac{v_0^2}{g} = v_0 \tau + \frac{v_0^2}{g} \cdot e^{-\frac{g}{v_0} \cdot \tau} \quad (3)$$

Используя зависимости (2 и 3) для $v(t)$ и $\tau(h)$ можно легко получить графики $v(h)$ и $v^2(h)$, при этом последний определяет кинетическую энергию $K = mv^2/2$ капли, передаваемую мембране предлагаемого осадкомера. Отметим, что для типичной скорости $v_0 = 2$ м/с дождевых капель время установления стационарного режима составит $\tau = 1$ с.

После фильтрации и усиления электрические сигналы обрабатывались в процессоре прибора по специально заложенному в нем математическому обеспечению для установления истинного в миллиметрах измеряемого уровня выпадающих осадков, которые могло бы выводиться на светодиодный индикатор или с помощью радиопередатчика дистанционно передаваться. Последнее позволило бы выше оговоренными устройствами охватить существенную территорию проводимых исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чеботарев А.И. Общая гидрология. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 544 с.
2. V.Golovko, Y.Kuzavko, H.Roth. Ultrasound controlled piezoceramic transducers for medical diagnostic tomography. // Proceedings of Workshop on Design methodologies for signal processing. Zakopane. Poland, 1996