

Ю. В. Левадный, Ю. И. Малышенко, Т. Е. Чистова

Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины

12, ул. Акад. Проскуры, Харьков, 61085, Украина

E-mail: yulev@ire.kharkov.ua

РАЗРАБОТКА ДОЖДЕМЕРА ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ И БЫСТРОДЕЙСТВИЯ С ЦИФРОВОЙ ИНДИКАЦИЕЙ ВРЕМЕННОГО ХОДА ИНТЕНСИВНОСТИ ДОЖДЯ

Сильные дожди значительно ослабляют радиосигналы, передаваемые современными скоростными миллиметровыми линиями передачи. Поэтому эти помехи в виде быстрых и глубоких изменений их интенсивности требуют дополнительного изучения. Для этого не подходят дождемеры промышленного производства из-за их инерционности и недостаточной точности измерений. В связи с этим в работе предложена и изготовлена модификация дождемера челночного типа с двухкамерной кюветой. В результате несколько улучшилась точность и существенно (более чем в десять раз) увеличилось быстродействие – вплоть до единиц секунд – вследствие значительного уменьшения размеров и веса кюветы и придания ей формы, препятствующей прилипанию капель воды к ее поверхности. Повышению точности также способствовало включение в состав дождемера недорогого контроллера, позволившего более качественно выводить данные о временном ходе интенсивности дождя на встроенный дисплей и на интерфейс к компьютеру для регистрации. Ил. 5. Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: дождемер челночного типа, интенсивность дождя.

В результате сравнительного анализа известных типов дождемеров (весовых, емкостного типа, сильфонных (плювиограф), счетнокапельных и др.) сделан вывод, что достаточно высокую точность и быстродействие при сохранении простоты изготовления можно получить при некотором совершенствовании используемого в зарубежной практике дождемера челночного типа с двухкамерной кюветой [1–3] (рис. 1). В таком дождемере собранная воронкой дождевая вода поступает в одну из камер поворотной кюветы и та, при заполнении ее доверху, перевешивает пустую в этот момент вторую камеру, заставляя кювету опрокинуться и сбросить воду. В результате под струей воды оказывается вторая симметрично расположенная идентичная камера кюветы и далее процесс повторяется. Величина объема камер и частота опрокидывания кюветы входят в формулу для вычисления интенсивности дождя и поэтому подлежат измерению. Для повышения надежности и прочности конструкции промышленные дождемеры изготавливают из металлических листов значительной толщины. Кювета в таком дождемере тяжелая, поэтому чтобы опрокинуть ее приходится накапливать большую порцию воды. В свою очередь, это приводит к увеличению времени заполнения кюветы до опрокидывания и получения очередного сигнала (от датчика опрокидывания) об интенсивности дождя. Из-за увеличенной постоянной времени дождемера не регистрируются кратковременные пики и провалы во временном ходе интенсивности дождя. Но такая задача и не ставится в большинстве практических применений, поэтому челночные дождемеры с двухкамерной кюветой, благодаря их простоте, надежности и долговечности, используются на метеостанциях, в сельском хозяйстве, дорожниками, службами городского хозяйства и др. Однако научным работникам в области метеоро-

логии, занимающимся исследованием временных и пространственных характеристик дождей, в области распространения миллиметровых радиоволн в дождях, информация с таких дождемеров не пригодна. Так же она не устраивает проектировщиков современных скоростных миллиметровых линий связи и передачи цифровой информации (со скоростью единицы Гб/с), учитывающих каждую секунду прерывания передачи из-за избыточного ослабления сигнала в сильном дожде. Всем им требуются быстродействующие и точные приборы.



Рис. 1. Конструкция типичного промышленного дождемера челночного типа с двухкамерной кюветой

В данной работе предложена усовершенствованная конструкция дождемера указанного типа – в него внесен ряд элементов, позволивших повысить точность регистрации временного хода дождей.

1. Выбор параметров кюветы дождемера. Во-первых, тяжелая и громоздкая кювета была заменена легкой кюветой объемом 12 см³.

Это позволило сократить постоянную времени дождемера при измерении сильных дождей более чем в десять раз (до нескольких секунд), т. е. почти до предела, ограничиваемого механикой в системе подвески поворотной кюветы. Во-вторых, была устранена неточность в начальном объеме кюветы после ее опрокидывания и сброса воды. Форма кюветы в промышленно-бытовом дождемере имеет прямые углы вдоль стыков боковых стенок с дном. В этих местах, т. е. вдоль внутренних ребер, образуются узкие полоски, где действует на капли воды удвоенное поверхностное натяжение (дна и боковой стенки). В результате при опрокидывании кювета не очищается досуха – вдоль правого и левого внутренних ребер образуются цепочки из прилипших дождевых капель, количество которых зависит от интенсивности дождя. Возникающая при этом небольшая нестабильность в начальном объеме кюветы промышленно-бытового дождемера мало заметна на фоне большого объема его крупной кюветы и укладывается в рамки допустимой погрешности. Однако для выполнения поставленной в данной работе цели мириться с этим явлением недопустимо. Поэтому кювете, изготовленной для уменьшения веса из тонкого оргстекла, был придана закругленная форма (рис. 2), обеспечивающая практически полную очистку кюветы при ее опрокидывании.

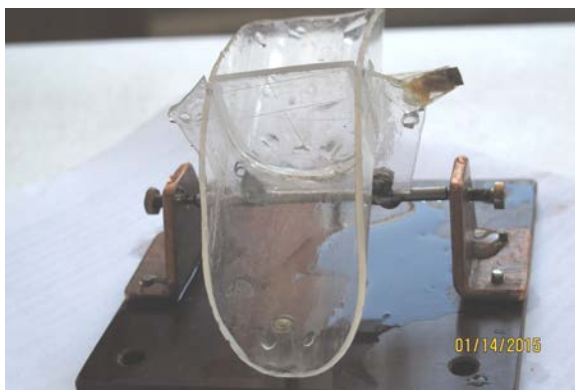


Рис. 2. Фото миниатюрной кюветы дождемера

Далее с учетом наиболее часто выпадающих в данной местности умеренных и сильных дождей с интенсивностями 20...120 мм/ч вычислим размеры приемной воронки дождемера и выберем датчик моментов опрокидывания кюветы. Остановимся на выборе размеров площади приемной воронки S , см². Обозначим интенсив-

ность дождя R , мм/ч, объем каждой из кюветных камер V , см³, время заполнения кюветной камеры (постоянная времени) – τ , с. Как уже отмечалось, оно должно находиться в пределах нескольких секунд для сильных дождей и нескольких десятков для слабых. Пересчитаем интенсивность R , мм/ч, к r , см/с:

$$r = R/36000.$$

При этом объем воды, вливаемой воронкой в кюветную камеру за одну секунду, равен rS , а за время τ равен $rS\tau$, или

$$V = RS\tau/36000.$$

В итоге – интенсивность дождя R , мм/ч, необходимая для одного опрокидывания кюветы за время τ , равна

$$R = 36000V/S\tau.$$

Если подставить в эту формулу выше приведенные значения типовой интенсивности дождей, то окажется что в качестве оптимальной площади приемной воронки дождемера удобно выбрать величину несколько превышающую 1 000 см². Например, можно выбрать квадратную воронку со сторонами 35×35 см, что и было реализовано в этой разработке.

Отметим, что слабые и средние дожди вносят умеренное ослабление мощности передаваемых сигналов в линиях связи (в пределах 10 дБ), для преодоления которого не сложно предусмотреть в них небольшой резерв потенциала. Сильные же дожди создают серьезные препятствия в их работе – вплоть до прекращения передачи информации, например, до 50 мин за год работы линии связи для приемлемой величины надежности 0,9999. Эти 50 мин складываются из суммарной продолжительности кратковременных пиков в интенсивности ливневых дождей, и все они должны быть правильно зарегистрированы качественным дождемером. Напомним, что для этого объем камер качающейся кюветы в этом дождемере составляет 12 см³. Попутно отметим, что одинаковость заполнения водой обеих половинок кюветы достигается регулированием высоты винтов (см. рис. 1), обеспечивающих опору для кюветы в моменты ее опрокидывания.

Из последней формулы можно также вычислить ряд интенсивностей дождей, необходимых для одного опрокидывания кюветы, в зависимости от величины постоянной времени дождемера (таблица):

τ , с	3	4	8	10	20	40	60	100	3600
R , мм/ч	120	87,5	43,7	35	17,5	8,75	5,83	3,5	0,1

Из двух последних столбцов таблицы следует, что, во избежание слишком продолжительного времени заполнения кюветы, в слабых дождях необходимо использовать дождемеры с большей площадью приемной воронки.

2. Выбор датчика частоты опрокидывания кюветы. Как уже отмечалось, эта частота линейно связана с измеряемой интенсивностью дождя. На начальном этапе проработки были опробованы датчик на эффекте Холла и датчик движения, но затем, как более удобный и простой вариант, был выбран оптопрерыватель *BPI-3C1-08* фирмы *"Bright LED Electronics Corporation"*. В его миниатюрном корпусе находятся осветитель (светодиод) и приемник света (фототранзистор) по бокам П-образного зазора, в который погружается связанный с кюветой флажок-прерыватель света. Контакты оптопрерывателя выведены с помощью миниатюрного разъема на внешний корпус, закрывающий кювету. Сбрасываемая кюветой дождевая вода отводится в сторону от дождемера. Дождемер оснащен источником питания для оптопрерывателя. Для защиты от пыли дождемер снабжен крышкой, в центре которой вмонтирован металлический «стакан» (рис. 3) для хранения емкости с водой, используемой для оперативной калибровки.



Рис. 3. Внешний вид дождемера

Разработан также вариант дождемера, предназначенного для установки в средней части трассы, где нет электропитания. Он снабжен аккумулятором и радиопередатчиком с модуляцией амплитуды его излучения импульсами напряжения с оптопрерывателя. При этом вблизи регистрирующего компьютера должен находиться радиоприемник сигнала с этого передатчика.

3. Обработка и регистрация сигнала с дождемера. Система регистрации данных об интенсивности дождя построена на базе микроконтроллера *ATMega 328*. Для упрощения реализации была использована готовая плата – *Arduino Uno* [4], совместно с модулем регистрации и хранения данных – *Data Logging shield for Arduino* [5].

Модуль регистрации и хранения данных содержит микросхему часов реального времени *RTC (Real Time Clock – DS1307)*, позволяющую фиксировать дату и время каждого измерения, а также содержит держатель *SD*-карты (*SD/MMC* до 32 Гбайт), контейнер для батареи питания. Батарея обеспечивает ход часов в течение нескольких лет. Обмен данными между модулем *RTC* и главным модулем осуществляется через интерфейс *I2C*. Микроконтроллер *ATMega 328* поставляется с программой-загрузчиком, облегчающим запись новых программ без использования внешних программаторов. Связь осуществляется с использованием протокола *STK500*.

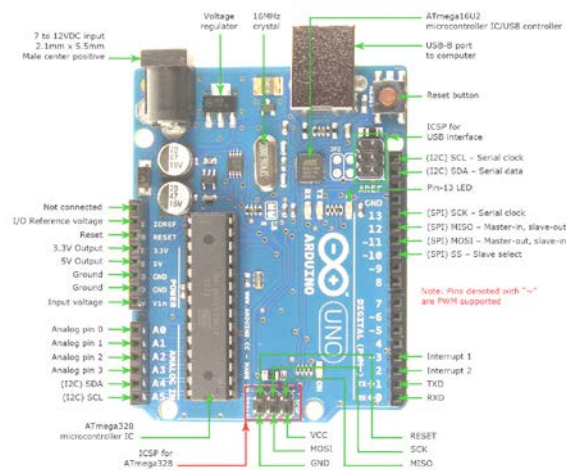


Рис. 4. Плата процессора *Arduino UNO*

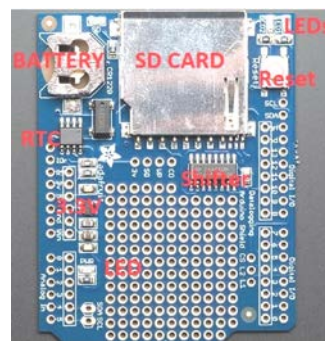


Рис. 5. Плата модуля регистрации данных

Сигнал об опрокидывании кюветы в виде прямоугольного импульса с амплитудой 3...4 В и длительностью ≈ 25 мкс поступает на цифровой вход микроконтроллера, и далее в файле логиче-

ской обработки происходит программная фиксация момента опрокидывания кюветы. Вычисление интенсивности дождя по продолжительности интервала времени между поступлениями импульсов для данной конструкции прибора выполняется по формуле:

$$R = 349,8/\tau.$$

Выводы. Разработанный дождемер имеет высокое быстродействие (единицы секунд для сильных дождей) и точность измерения интенсивности дождей благодаря измерению объема всей поступающей в него дождевой воды небольшими мерными емкостями с точно известными объемами, а также высокой точности измерения интервалов времени между их сменой. Он также показывает хорошую чувствительность в определении минимально измеряемого дождевого осадка (0,0973 мм), определяемого одним опрокидыванием кюветы. Конструкция прибора проста, он недорог в изготовлении – цена в основном определяется стоимостью приобретения. Прибор может быть предложен для внедрения в мелкосерийное производство с со встроенными в пластмассовый корпус цифровым индикатором интенсивности дождя и интерфейсом для ее регистрации в компьютере.

Библиографический список

1. Mink J. W. A. Sensitive tipping-bucket rain gauge / J. W. Mink, E. P. Forrest // Rev. Scientific Instruments. – 1974. – 45, N 10. – P. 1268–1270.
2. Hasan M. Rain Measurements for MM-Wave Propagation: A Review / M. Hassan, A. Ali, M. Alhaider // J. Eng. Sci. King Saud Univ. – 1985. – 11, N 2. – P. 179–200.
3. Rain gauge [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [www/URL: http://research.omicsgroup.org/index.php/Rain_gauge](http://research.omicsgroup.org/index.php/Rain_gauge). – Загл. с экрана.
4. Arduino Uno [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [www/URL: http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno](http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno). – Загл. с экрана.
5. Модуль регистрации и хранения данных (плата дата логгера для Arduino) Assembled Data Logging shield for Arduino [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [www/URL: http://arduino-kit.ru/userfiles/image/Assembled_Data_Logging_shield_for_Arduino.pdf](http://arduino-kit.ru/userfiles/image/Assembled_Data_Logging_shield_for_Arduino.pdf). – Загл. с экрана.

Рукопись поступила 09.11.2016.

Yu. V. Levadnyi , Yu. I. Malysenko, T. E. Chistova

DEVELOPMENT OF A RAIN GAUGE WITH ENHANCED ACCURACY AND HIGH RAPIDITY WITH NUMERICAL INDICATION OF RAIN RATE TIME DEPENDENCY

Heavy rains considerably attenuate radio signals transmitted by modern millimetre wave high-speed communication lines. Therefore, this interference in the form of fast and deep changes of rain rates demands further investigations. Industrially manufactured rain gauges are not suitable for these investigations because of their inertia and insufficient precision of measurements. In this connection in this work the tipping-bucket rain gauge, has been modified and made. As a result the precision has lightly improved but the rapidity – more than in ten times (up to a few seconds in heavy rains) owing to considerable diminishing the cuvette size and weight and also due to configuration which removed drop adhesivity on its surface. The inclusion of an inexpensive microcontroller into the gauge composition also increased its precision and provided a better display of rain rate values on a built-in monitor and interface to a computer for registration.

Key words: shuttle rain gauge, rain intensity.

Ю. В. Левадный, Ю. І. Малишенко, Т. Є. Чистова

РОЗРОБКА ДОЩОМІРУ ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ ТА ШВИДКОДІЇ З ЦИФРОВОЮ ІНЖИКАЦІЄЮ ЧАСОВОГО ХОДУ ІНТЕНСИВНОСТІ ДОЩУ

Сильні дощі значно послаблюють радіосигнали, що передаються сучасними швидкісними міліметровими лініями зв'язку. Тому ці перешкоди з характерними для них швидкими та глибокими змінами їх інтенсивності потребують додаткового вивчення. Для цього не підходять дощоміри промислового виробництва через їх інерційність та недостатню точність. У зв'язку з цим в роботі запропонована та виготовлена модифікація дощоміру човникового типу з двохкамерною кюветою. У результаті декілька підвищилась точність та значно (більш ніж у десять разів) збільшилась швидкодія (аж до одиниць секунд у сильних дощах) завдяки значному зменшенню розмірів та ваги кювети та наданню їй форми, яка перешкоджає налипанню крапель води на її поверхню. Підвищенню точності також сприяло включення до складу дощоміру недорогого мікроконтролера, який дозволив більш якісно виводити дані про часовий хід інтенсивності дощу на вбудований дисплей та інтерфейс до комп'ютера для реєстрації.

Ключові слова: дощомір човникового типу, інтенсивність дощу.