

*Мелинова Людмила Валентиновна, кандидат технических наук, начальник ПТО*

*Тел. 8 (8443) 31-79-42;*

*E-mail: melinovaLv@mail.ru*

*Подберезный Валентин Лазаревич, кандидат технических наук, ведущий технолог*

*Тел. 8 (343) 214-08-68*

*E-mail: vlpodbereznyu@mail.ru*

*Седлов Анатолий Степанович, доктор технических наук, профессор*

*E-mail: SedlovAS@tpei.ru*

*Каверин Александр Александрович, аспирант*

*E-mail: alexander\_7@bk.ru*

*Шушилов Виктор Юрьевич, начальник энергомеханического отдела*

*E-mail: ov-eto@yandex.ru*

УДК 502/504:631.459.22

### М. С. ЗВЕРЬКОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»  
Институт природообустройства имени А. Н. Костякова

## АКУСТИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ КРУПНОСТИ КАПЕЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ДОЖДЯ

*Представлены результаты исследований крупности капель искусственного дождя с помощью прибора для диагностики капельной эрозии почв. Приводятся схема и методика измерений. Результаты отражают существующую зависимость между частотой звуковых колебаний и диаметром капель дождя.*

*Крупность дождя, капли, медианный диаметр, MATLAB, частота колебаний, импактное воздействие, акустический маркер.*

*There are given research results of artificial rain drops sizes by means of the device for soil drop erosion diagnosing. The scheme and method of measurements are given. The results reflect the existing dependence between the frequency of sound vibrations and diameter of rain drops.*

*Rain drop size, drops, median diameter, MATLAB, frequency of vibrations, impact influence, acoustic marker.*

Определение крупности капель искусственного дождя в мелиорации является актуальной задачей. С одной стороны, этот параметр характеризует технические средства и технологию полива, с другой – является экологическим фактором и индикатором нагрузки на агрогеосистему.

Искусственный дождь – полидисперсный, а значит, по диаметру только одной капли неверно судить обо всем дождевом потоке. Наиболее информативным является медианный диаметр капель  $d_m$ , физический смысл которого состоит в том, что вероятность  $P$  выпадения капель диаметра больше или меньше  $d_m$  составляет 50 % [1].

Помимо чисто научных целей анализ крупности дождя необходим при

настройке дождевальных аппаратов в почвенно-климатических условиях конкретного хозяйства. Но трудоемкий и затратный процесс прямого определения этого параметра ограничивает использование  $d_m$  в мелиоративной практике.

Конструкция рассматриваемого в данной статье прибора для изучения крупности дождя, представленного на рисунке 1, приведена в работе [2]. Методика исследования заключается в регистрации звукового колебания  $\nu$  от импактного воздействия капель диаметра  $d_m$ . Причем разные капли вызывают колебания разной частоты. Для образования капель использовали иглы (инъекторы) с внутренним диаметром 0,060 (34G); 0,110 (32G); 0,410 (22G) и

0,603 (20G) мм; были получены капли диаметром 1,73, 1,96, 2,32 и 3,0 мм соответственно. Капли падали с высоты  $h$  1,0, 1,5, 2,0 и 2,5 м. Рабочая жидкость – дистиллированная вода (ГОСТ 6709–72). Температура лабораторного помещения 21 °С, относительная влажность воздуха 53 %. Повторность записи показаний прибора пятикратная. Изучение проводили по стандартным методикам лабораторных опытов. Математическая обработка результатов опытов выполнена в программном комплексе «Statistica 10.0». Принятый уровень значимости  $p < 0,05$ .

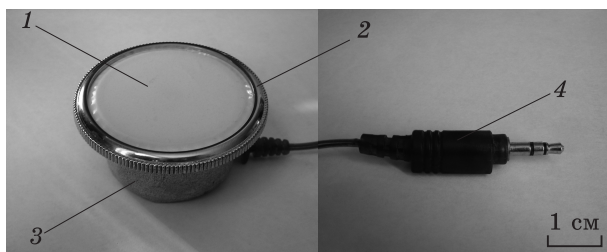


Рис. 1. Прибор регистрации ударов капель: 1 – мембрана; 2 – крепление мембраны; 3 – корпус прибора с узлом регистрации звука; 4 – разъем подключения «мини-джек» с кабелем

Анализ звука выполнен в среде программы математического моделирования MATLAB R2013b (version 8.2) для операционной системы Windows. На интерпретируемом языке программирования записываются функции, выполняющие преобразование Фурье для спектрального анализа частоты колебаний звука  $\nu$ , генерируемого ударом падающей капли о мембрану. Звук записывается в файл с расширением WAV. Методика обработки звука описана в работе [2].

Целью данной работы является изучение возможности использования частоты  $\nu$  в качестве акустического маркера для дифференцированной оценки диаметра  $d_m$  капель дождя.

Сама идея акустических измерений не является новой. Этой проблеме посвящены исследования гидрологов, метеорологов, физиков, мелиораторов, почвоведов и ученых других специальностей. Большинство авторов акцентирует внимание на том, что капли

больших диаметров вызывают колебания на меньших частотах по сравнению с более мелкими каплями [3–5]. Причем отмечается, что при ударе капли крупностью 0,8...1,1 и более 2,2 мм активнее генерируют звуковые колебания [6]. Об устойчивых пиках звуковых колебаний падающей капли пишут также В. Е. Прохоров и Ю. Д. Чашечкин [7]. Капли 0,8...1,1 мм генерируют звук с частотой в среднем  $\nu = 14...16$  кГц, капли более 2,2 мм – менее 10 кГц [8]. Другими исследователями при определенных условиях зарегистрированы пики на уровне примерно 50 кГц для капель 4,1 мм [9].

Указанные авторы проводили измерения в основном для падающих в воду капель. Это позволяет предположить, что характерные особенности возможны и при ударе капли о сухую поверхность мембраны прибора.

Всего исследовано 80 файлов и такое же количество соответствующих им звуковых колебаний  $\nu$ . Выявлено достоверное влияние высоты падения капли на частоту звуковых колебаний. Коэффициент корреляции  $r$  медианных значений выборок  $\nu$  и высот падения капель  $h$  составляет 0,66 ( $p = 0,005$ ), а для медианных значений выборок  $\nu$  и диаметров  $d_m$  корреляция обратная, и  $r = -0,54$  ( $p = 0,031$ ). Корреляция отдельных измерений указанных величин определяется на уровне 0,68...0,81 ( $p = 0,005...0,04$ ) и  $-0,67... -0,50$  ( $p = 0,004$ ) соответственно для  $h$  и  $d_m$ . Обратная зависимость между частотой и диаметром характеризует установленную особенность импактного воздействия капель большего размера генерировать звуковые колебания несколько меньшей частоты. Полученные результаты с некоторой осторожностью и поправкой на условия эксперимента сравнимы с данными, указанными в работах [3–9]. Но генерация звуковых колебаний в определенной степени проявляет стохастический характер. Во время эксперимента зарегистрированы единичные величины  $\nu$ , отличающиеся от медианных примерно в 5–10 раз. Эти величины исключены из генеральной совокупности.

На рисунке 2 показано семейство кривых, отражающих зависимость частоты

$\nu$  звуковых колебаний от высоты падения  $h$  каплей разной крупности  $d_m$ .

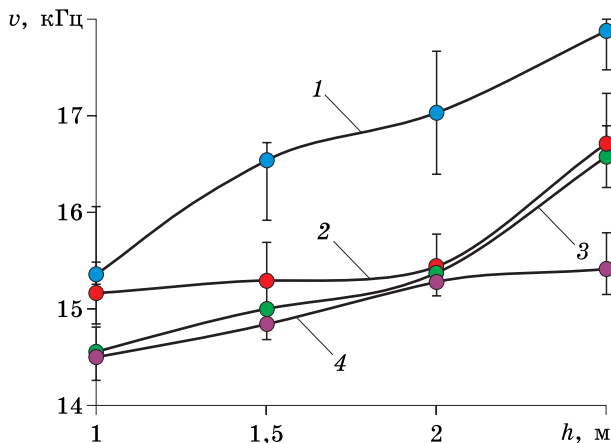


Рис. 2. Результаты эксперимента: 1 – кривая для капли 1,73 мм; 2 – для капли 1,96 мм; 3 – для капли 2,32 мм; 4 – для капли 3,0 мм

При падении с высоты 1,0...2,5 м капля диаметром  $d_m = 1,73$  мм генерирует звук 15,4...17,9 кГц,  $d_m = 1,96$  мм – 15,2...16,7 кГц,  $d_m = 2,32$  мм – 14,8...16,5 кГц,  $d_m = 3,0$  мм – 14,5...15,4 кГц.

В процессе исследований была отмечена следующая особенность. Если капля падает не в центр мембраны прибора, а, например, на ее край, то одна и та же капля при падении с одной и той же высоты генерирует звук абсолютно разной частоты. Вероятно, эта разница должна сглаживаться при исследовании не отдельных капель, а дождевого потока. В последнем случае полидисперсные по составу капли окажут интегральное воздействие. Такой механизм является предметом дальнейших исследований.

#### Выводы

Выявлено достоверное влияние высоты падения  $h$  капли на частоту звуковых колебаний  $\nu$  (уровень значимости  $p = 0,005$ ).

Капли разных диаметров  $d_m$  достоверно генерируют звук различной частоты ( $p = 0,031$ ).

Полученные результаты лабораторных экспериментов позволяют судить о существующей зависимости между звуковыми колебаниями и крупностью дождя.

Постановка задачи и дизайн исследования направлены на выявление акустических маркеров крупности дождя. Это позволит одновременно определять различные параметры ударного воздействия каплей.

1. **Городничев В. И.** Методика оценки и технические средства контроля показателей режима и качества полива при госиспытаниях дождевальной техники: Ресурсосберегающие экологически безопасные системы орошения и сельхозводоснабжения: сб. трудов ФГНУ ВНИИ «Радуга». – Коломна: ФГНУ ВНИИ «Радуга», 2002. – С. 78–83.

2. **Зверьков М. С.** Акустическая диагностика капельной эрозии почв // Природоустройство. – 2014. – № 3. – С. 38–42.

3. **Nystuen J. A.** Rainfall measurements using underwater ambient noise // Acoustical Society of America Journal. – 1986. – Vol. 79. – P. 972–982.

4. **Prosperetti A., Oguz H. N.** The impact of drops on liquid surfaces and the underwater noise of rain // Annual Review of Fluid Mechanics. – 1993. – Vol. 25. – P. 577–602.

5. **Pumphrey H. C., Crum L. A., Bjorno L.** Underwater sound produced by individual drop impacts and rainfall // Acoustical Society of America Journal. – 1989. – Vol. 85 (4). – P. 1518–1526.

6. **Nystuen J. A., Medwin H.** Underwater sound generated by rainfall: Secondary splashes of aerosols // Acoustical Society of America Journal. – 1995. – Vol. 97. – P. 1606–1613.

7. **Прохоров В. Е., Чашечкин Ю. Д.** Генерация звука при падении капли на поверхность воды // Акустический журнал. – 2011. – № 6. – Том 57. – С. 792–803.

8. **Bjorno L.** Underwater rain noise: sources, spectra and interpretations // Journal de Physique. – 1994. – Vol. 4. – P. 1023–1030.

9. **Nystuen J. A.** Acoustical rainfall analysis: Rainfall drop size distribution using the underwater sound field // Journal of Atmospheric and oceanic technology. – 1996. – Vol. 13. – P. 74–84.

Материал поступил в редакцию 09.10.14.  
**Зверьков Михаил Сергеевич**, аспирант  
E-mail: mzverkov@bk.ru