УДК 631.347.4.001.57

РАСЧЕТ РАВНОМЕРНОСТИ ДОЖДЕВАНИЯ МАШИНОЙ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЯ АППАРАТА РАДИАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

В.А. Черноволов, Л.В. Кравченко
Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Зерноград, Россия

В работе приведены результаты исследований, алгоритм и программа расчета равномерности дождевания машиной кругового действия с аппаратами, испытанными радиальным методом. Получены оптимальные расстановки аппаратов на трубопроводе и соотношение расходов через аппараты.

Ключевые слова: *расчет показателей равномерности, равномерность дождевания, равномерность полива, коэффициент равномерности Христиансена, коэффициент эффективного полива, коэффициент недостаточного полива, коэффициент избыточного полива.*

• **Для цитирования:**Черноволов В.А., Кравченко Л.В.Расчет равномерности дождевания машиной вращательного движения по результатам испытания аппарата радиальным методом // Вестник ВИЭСХ. 2016. №4(25). С. 90-95.

Машины вращательного движения получили значительное распространение. Стандарт ИСО 7749-2-2004 [1] рекомендует оценку качества полива проводить по коэффициенту равномерности полива Христиансена [2], который вычисляется по формуле:

$$CDU = 100 \cdot \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} |h_m - h_i|}{n \cdot h_m} \right], \qquad (1)$$

где $|h_m - h_i|$ – абсолютная величина отклонения измерения от среднего слоя осадков, мм; h_m – среднеарифметическое значение измерений; мм; h_i – измерение каждого дождемера; n – количество измерений.

Испытание дождевальных аппаратов радиальным методом и расчет коэффициента равномерности выполняют следующим образом.

Дождемеры устанавливают на равных расстояниях вдоль радиуса, проведенного от места установки аппарата. Измеряют количество воды в дождемерах при работе дождевального аппарата. Рассчитывают количество воды, собранной в имитируемых дождемерах, расположенных по прямоугольной матрице. Имитируя расстояние между дождевальными аппаратами, рассчитывают суммарное количество воды, которое было бы собрано дождемерами, если бы они были расположены между четырьмя дождевальными аппаратами, идентичными испытуемому. Вычисляют коэффициент равномерности по Христиансену.

Недостатком стандартного метода является его применимость только для стационарных систем. Исследования [3 – 7] показывают, что равномерность надо определять для каждого типа машин. В машинах поступательного движения равномерность оказывается выше, чем с этими же аппаратами в стационарных системах [3]. Для машин вращательного движения методика оценки равномерности дождевания с аппаратами, испытанными радиальным методом, не использовалась.

Цель работы: разработать алгоритм и программу расчета равномерности дождевания машиной вращательного движения с аппаратами, испытанными радиальным методом.

Методика моделирования.

Рассмотрим часть трубопровода машины с четырьмя аппаратами. Нумерацию аппаратов выполним в соответствии с рис. 1.

Примем следующие обозначения:

$R1, R2, R3, R4$ – расстояния от аппаратов до неподвижной опоры;

$Ro1, Ro2, Ro3, Ro4$ – радиусы орошения аппаратов;

$\rho 1, \rho 2, \rho 3, \rho 4$ – расстояния от аппаратов до точки, в которой определяется интенсивность дождевания;

B – шаг расстановки аппаратов.

В соответствии с принятыми обозначениями по рис. 1 имеем: $R2 = R1 + B$; $R3 = R1 + 2 \cdot B$; $R4 = R1 - B$.

Начало системы координат XO_1Y выбираем в центре зоны орошения первого аппарата.

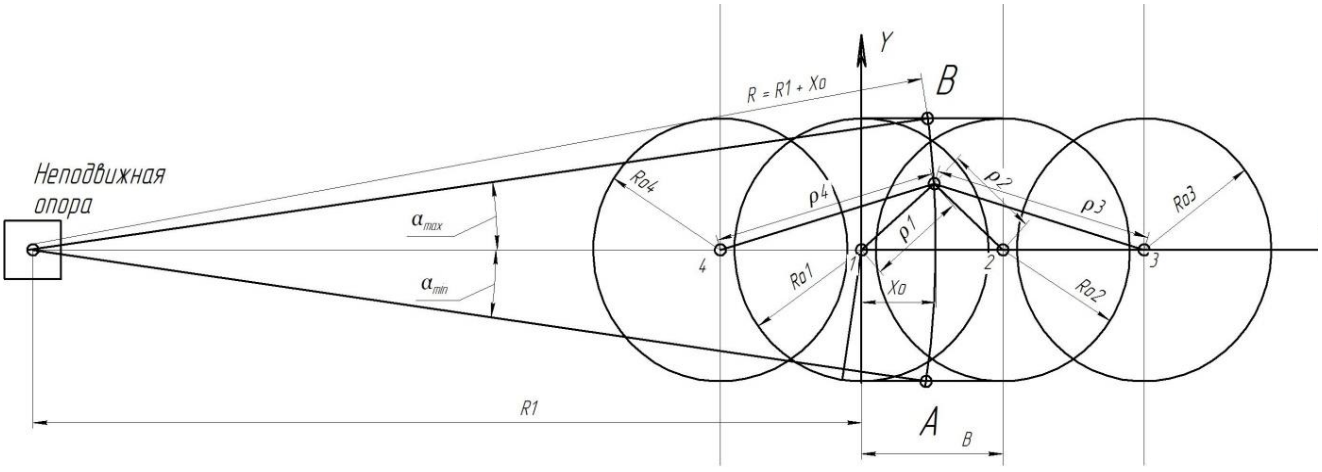


Рис. 1. Схема обозначений для построения модели

$$IR^T = (15.2\ \ 12.3\ \ 9.7\ \ 8\ \ 6.8\ \ 6.8\ \ 7.6\ \ 8\ \ 8.5\ \ 8\ \ 7.8\ \ 7.2\ \ 6.8\ \ 7.2\ \ 6.8\ \ 4.2\ \ 1.2)$$

$$R^T = (0\ \ 0.5\ \ 1\ \ 1.5\ \ 2\ \ 2.5\ \ 3\ \ 3.5\ \ 4\ \ 4.5\ \ 5\ \ 5.5\ \ 6\ \ 6.5\ \ 7\ \ 7.5\ \ 8)$$

$$KSI := cspline(R, IR) \qquad r := (0, 0.25..8) \qquad A(r) := interp(KSI, R, IR, r) \qquad i := 0..16$$

$$A(R)^T = (15.2\ \ 12.3\ \ 9.7\ \ 8\ \ 6.8\ \ 6.8\ \ 7.6\ \ 8\ \ 8.5\ \ 8\ \ 7.8\ \ 7.2\ \ 6.8\ \ 7.2\ \ 6.8\ \ 4.2\ \ 1.2)$$

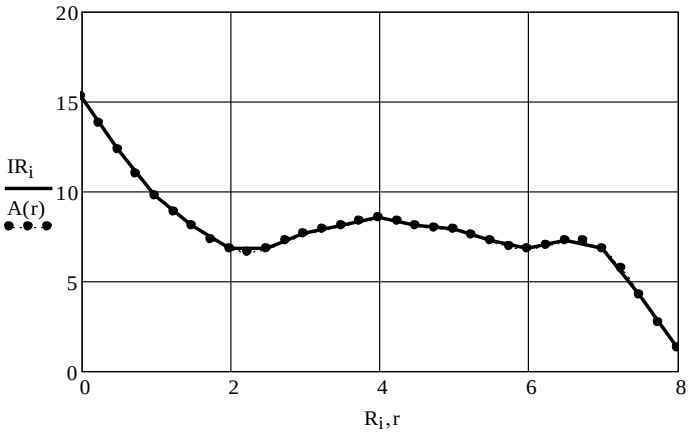


Рис. 2. Результаты испытания аппарата i-Wob

Используем результаты испытания аппарата [8], представленные на рис. 2, для моделирования его применимости на машине вращательного движения.

Для оценки равномерности дождевания машинами непрерывного вращательного перемещения рекомендуется использовать следующий алгоритм математического моделирования:

- результаты испытания аппарата заносят в компьютер в виде двух векторов: IR – интенсивность дождевания в дождемерах, расположенных на различном расстоянии от аппарата; R – расстояние дождемера от аппарата;

- получают интерполяционную формулу $I(\rho)$ зависимости интенсивности дождевания от радиуса, оформляют зависимость в виде подпрограммы;

- создают матрицу координат имитируемых дождемеров на дугах окружностей по схеме рис. 1. Зачетной линией при расчете равномерности принимаем полосу на оси X между первым и вторым аппаратами, отстоящими друг от друга на расстоянии B. Первый аппарат расположен в начале координат, второй – имеет координату $X = +B$, третий – $X = +2B$, четвертый – $X = -B$.

Определим дозу орошения в дождемерах на линии между первым и вторым аппаратами после прохода через них облака дождя.

Математическая модель интенсивностей от четырех аппаратов при отсутствии вращения трубопровода на интервале между первым и вторым аппаратами в виде подпрограммы приведена на рис. 3.

Для имитации вращения трубопровода интенсивности орошения вычисляются в равноотстоящих точках на дугах окружностей (АВ на рис. 1), которые изображают траектории движения облака дождя.

$$
\begin{aligned}
Z_i \leftarrow\ & \alpha_i \leftarrow -\alpha m + i \cdot \frac{2 \cdot \alpha m}{n} \\
& X_i \leftarrow (R1 + Xo_j) \cdot \cos(\alpha_i) - R1 \\
& Y_i \leftarrow (R1 + Xo_j) \cdot \sin(\alpha_i) \\
& \rho 1 \leftarrow \sqrt{(X_i)^2 + (Y_i)^2} \\
& I1 \leftarrow \begin{cases} I(\rho 1) & \text{if } \rho 1 - \max(R) < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
& \rho 2 \leftarrow \sqrt{(B - X_i)^2 + (Y_i)^2} \\
& I2 \leftarrow \begin{cases} I(\rho 2) & \text{if } \rho 2 - \max(R) < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
& \rho 3 \leftarrow \sqrt{(X_i + B)^2 + (Y_i)^2} \\
& I3 \leftarrow \begin{cases} I(\rho 3) & \text{if } \rho 3 - \max(R) < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
& \rho 4 \leftarrow \sqrt{(2 \cdot B - X_i)^2 + (Y_i)^2} \\
& I4 \leftarrow \begin{cases} I(\rho 4) & \text{if } (\rho 4 - \max(R)) < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
& Z_i \leftarrow I1 + I2 + I3 + I4 \\
& Z_i
\end{aligned}
$$

Рис. 3. Программа вычисления интенсивностей в точках деления дуги окружности от четырех аппаратов

Номер точки обозначен буквой i и задается в цикле при числе точек, например 50. Суммированием интенсивностей по дуге окружности имитируем вращательное движение машины. Текст программы *V1fri(B)* (Фрегат испытание) приведен на рис. 4. Вывод результатов счета выполняется в двух вариантах. Если программа работает в варианте, приведенном на рисунке, то выводится значение коэффициента равномерности по Христиансену (рис. 6,а). Если в программе заменить последнюю команду на V, то программа выводит сумму интенсивностей (рис. 5,б). Доза орошения получается умножением интенсивностей на время прохождения трубопроводом интервала угла $\Lambda\alpha$, то есть на

$$\Delta t = \frac{a \sin(Ro1/R1)}{\pi} \cdot T \cdot 3600,$$

где T – продолжительность полного оборота машины в часах.

При шаге установки аппаратов менее 13 метров коэффициент равномерности более 80%. По графику (рис. 5,б) можно сделать вывод об избыточном перекрытии зон дождевания при B = 10 м. С увеличением расстояния между аппаратами в середине промежутка доза уменьшается. При установке аппаратов с одинаковым расходом, доза у правого аппарата уменьшается, так как орошаемая площадь увеличивается.

Если увеличить подачу воды на второй аппарат, то график дозы выравнивается (рис. 6,б). В первом варианте уровень 80% коэффициент равномерности перешел при $B = 13.1м$, во втором – при $B = 13.84м$. Эффект повышения равномерности количественно подтвержден. При расчете равномерности на стационарной установке аппаратов [4] аналогичное расстояние равно 9,5 м, а при установке на машине поступательного движения – 12,5 м.

Выводы

1. Алгоритм и программа расчета равномерности дождевания машиной кругового действия с аппаратами испытанными радиальным методом позволяют оптимизировать расстановку аппаратов на трубопроводе и соотношение расходов через аппараты.

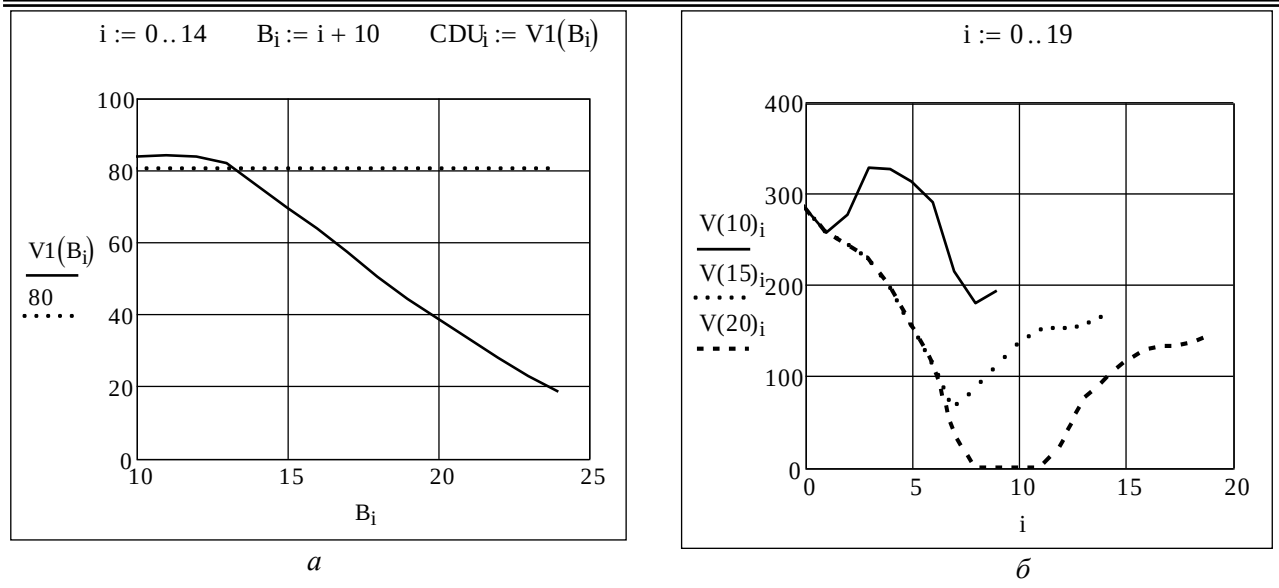
2. Аппараты i-Wob на трубопроводе машины вращательного действия можно устанавливать на расстоянии менее 13,84 м, что в 1,5 раза больше, чем в стационарных системах.

Продолжение программы V1fri(B)

```
V1fri(B) := | Q ← 2
            | max(R) ← 8
            | T ← 40
            |
            |          ⎛15.24⎞
            |          ⎜12.28⎟
            |          ⎜ 9.74⎟
            |          ⎜ 8.04⎟
            |          ⎜ 6.77⎟
            |          ⎜ 6.77⎟
            |          ⎜ 7.62⎟
            |          ⎜ 8.04⎟
            | I(ρ) ← IR ← ⎜ 8.47⎟
            |          ⎜ 8.04⎟
            |          ⎜ 7.83⎟
            |          ⎜ 7.20⎟
            |          ⎜ 6.77⎟
            |          ⎜ 7.20⎟
            |          ⎜ 6.77⎟
            |          ⎜ 4.23⎟
            |          ⎝ 1.24⎠
            |
            |          ⎛ 0  ⎞
            |          ⎜ 0.5⎟
            |          ⎜ 1.0⎟
            |          ⎜ 1.5⎟
            |          ⎜ 2.0⎟
            |          ⎜ 2.5⎟
            |          ⎜ 3.0⎟
            |          ⎜ 3.5⎟
            |      R ← ⎜ 4.0⎟
            |          ⎜ 4.5⎟
            |          ⎜ 5.0⎟
            |          ⎜ 5.5⎟
            |          ⎜ 6.0⎟
            |          ⎜ 6.5⎟
            |          ⎜ 7.0⎟
            |          ⎜ 7.5⎟
            |          ⎝ 8.0⎠
            | KSI ← cspline(R, IR)
            | r ← 0, 0.25 .. 8
            | A(r) ← interp(KSI, R, IR, r)
            | A(ρ)
```

Рис. 4. Программа расчета равномерности орошения машиной кругового действия с аппаратами, испытанными радиальным методом

```
            | n1 ← B − 1
            | for j ∈ 0 .. n1
            |   D^⟨j⟩ ← | Xo_j ← j + 0.5
            |           | Ro1 ← 10
            |           | R1 ← 20
            |           | Q ← 1
            |           | Q1 ← 1.4
            |           | R2 ← 30
            |           | ω ← 2·π / (40·3600)
            |           | αm ← asin(Ro1 / (R1 + Xo_j))
            |           | n ← 50
            |           | for i ∈ 0 .. n
            |           |   Z_i ← | α_i ← −αm + i·2αm/n
            |           |         | X_i ← (R1 + Xo_j)·cos(α_i) − R1
            |           |         | Y_i ← (R1 + Xo_j)·sin(α_i)
            |           |         | ρ1 ← √((X_i)^2 + (Y_i)^2)
            |           |         | I1 ← | I(ρ1)  if ρ1 − max(R) < 0
            |           |         |      | 0      otherwise
            |           |         | ρ2 ← √((B − X_i)^2 + (Y_i)^2)
            |           |         | I2 ← | I(ρ2)  if ρ2 − max(R) < 0
            |           |         |      | 0      otherwise
            |           |         | ρ3 ← √((X_i + B)^2 + (Y_i)^2)
            |           |         | I3 ← | I(ρ3)  if ρ3 − max(R) < 0
            |           |         |      | 0      otherwise
            |           |         | ρ4 ← √((2·B − X_i)^2 + (Y_i)^2)
            |           |         | I4 ← | I(ρ4)  if ρ4 − max(R) < 0
            |           |         |      | 0      otherwise
            |           |         | Z_i ← I1 + I2 + I3 + I4
            |           |         | Z_i
            |           | Z
            | D^⟨j⟩ ← Z
            | D_i,j
            | for j ∈ 0 .. (B − 1)
            |   | V_j ← Σ D^⟨j⟩
            |   | V_j
            | V
            | j ← 0 .. (B − 1)
            | Vsr ← mean(V)
            | Vsr
            | ΔV ← |V − Vsr|⃗
            | ΔVsr ← mean(ΔV)
            | ΔVsr
            | CDU1 ← 100·(1 − ΔVsr/Vsr)
            | CDU1
V1fri(10) = 84.331
```



а *б*

Рис.5. Вывод результатов счета программой: «Фрегат испытание» при $Q1 = Q2$.
а) коэффициент Христиансена; б) сумма интенсивностей

3. С увеличением расстояния аппарата от неподвижной опоры расход воды через него надо увеличивать в 1,4 раза по сравнению с предыдущим аппаратом.

Литература

1. ISO 7749-2:1990 "Agricultural irrigation equipment - Rotating sprinklers - Part 2: Uniformity of distribution and test methods" ИСО 7749-2:1990 "Оборудованиесельскохозяйственноеоросительное. Аппаратыдождевальныевращающиеся. Часть 2. Равномерностьорошенияиметодыиспытаний".
2. Christiansen J.E. Irrigation by Sprinkling, Bulletin 670, University of California, Berkeley, 1942 (ХристиансенДж.Е. Орошениеспринклерами. Бюллетень 670, Калифорнийскийуниверситет, Беркли, 1942).
3. *Черноволов В.А.* Расчет показателей равномерности дождевания по результатам испытания аппарата радиальным методом/ В.А. Черноволов, Л.В. Кравченко, Д.Н. Протасов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. №1(21). С. 182-195.
4. *Черноволов В.А.* Расчет равномерности дождевания машиной непрерывного поступательного движения по результатам испытания аппарата радиальным методом / В.А. Черноволов, Л.В. Кравченко // Сб. научн. тр. Межд. научно-практ. конф., посвященной 90-летию чл.-корр. РАСХН, Заслуженного деятеля науки РСФСР и РД, проф. М.М. Джамбулатова, т. 1. Махачкала: ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова», 2016. С. 499-508.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015662257 от 19.11.2015. Расчет равномерности дождевания машиной непрерывного поступательного движения по результатам испытания аппарата радиальным методом / Черноволов В.А., Кравченко Л.В., Протасов Д.Н.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014662137 от 24.11.2014. Расчет показателей эффективности дождевания на площади между четырьмя односопловыми аппаратами / Черноволов В.А., Кравченко Л.В.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015618182 от 03.08.2015. Расчет показателей равномерности дождевания по результатам испытания аппарата радиальным методом / Черноволов В.А., Кравченко Л.В., Протасов Д.Н.
8. *Chernovolov V.A., Kravchenko L.V.* The uniformity of irrigation with single-jet sprinkler apparatus of rie action // Applied and Fundamental Studies, November 29-30, 2014. St. Louis. Missouri, USA.C.199-210.
9. *Черноволов В.А.* Оптимизация размещения стационарных дождевателей методом математического моделирования «Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве»/ В.А. Черноволов, Л.В. Кравченко // Материалы межд. научно-практ.конф. « Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве», 23-24 октября 2014. Минск: НИИ МЭСХ БГАТУ, 2014. С. 114-116.
10. *Черноволов В.А.* Моделирование процесса дождевания машинами фронтального действия с секторными насадками [Электронный ресурс] / В.А. Черноволов, Л.В. Кравченко, В.А. Луханин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №06(100).
11. *Черноволов В.А.* Методика моделирования процесса дождевания дальнеструйными аппаратами при работе по кругу / В.А. Черноволов, Л.В. Кравченко // «Вестник АПК Ставрополья». 2014. №3(15). С.68-72

Сведения об авторах:

Черноволов Василий Александрович – доктор техн. наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин,
e-mail: chernovolov.v@mail.ru

Кравченко Людмила Владимировна – канд. техн. наук, доцент кафедры высшей математики,
e-mail: lusya306@yandex.ru
Азово-Черноморский инженерный институтФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет», Зерноград, Россия

CALCULATION OF EVENLY SPRINKLING MACHINE OF ROTARY TRAFFIC USING THE RESULTS TEST OF RADIAL METHOD MACHINE

V. Chernovolov, L. Kravchenko

The rotational motion of the car has received considerable spread. ISO 7749-2-2004 [1] recommends watering quality assessment carried out by the coefficient of uniformity of Christiansen irrigation [2], which is calculated by the formula:

$$CDU = 100 \cdot \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} |h_m - h_i|}{n \cdot h_m} \right], \qquad (1)$$

where $|h_m - h_i|$ – the absolute value of the measurement deviation from the middle layer of sediment, mm; h_m – the arithmetic mean of the measurements; mm; h_i – each rain gauge measurement; n – number of measurements. Test sprinklers radial method and calculation of the uniformity coefficient is performed as follows. Rain gauges set at equal distances along the radius drawn from the device installation site. The amount of water in the rain gauge at the sprinkler is measured. The amount of water collected in the simulated rain gauge located on a rectangular array is calculated. Imitating the distance between sprinklers, the total amount of water that would have been collected rain gauges calculated, if they were located between the four sprinklers, identical to the subject. The uniformity coefficient Christiansen is calculate. The disadvantage of the standard method is its applicability only to stationary systems. Studies [3 – 7] show that it is necessary to determine uniformity for each type of machine. The translational motion uniformity machine is higher than with the same apparatus in stationary engines [3]. For machines of rotary motion method of estimating the uniformity of irrigation with the devices tested radial method is not used.

Keywords: calculation of indicators of uniformity, the uniformity of irrigation, irrigation uniformity, uniformity coefficient Christiansen, effective irrigation rate, irrigation rate insufficient, the coefficient of excess watering.

References

1. ISO 7749-2:1990 "Agricultural irrigation equipment - Rotating sprinklers - Part 2: Uniformity of distribution and test methods".
2. Christiansen J.E. Irrigation by Sprinkling, Bulletin 670, University of California, Berkeley, 1942.
3. Chernovolov V.A., Kravchenko L.V., Protasov D.N. Measure calculation of uniformity of overhead irrigation by results of testing of the device by a radial method. *Scientific Journal of the Russian scientific research institute of problems of melioration*. 2016; 1(21): 182-195.(In Russian)
4. Chernovolov V.A., Kravchenko L.V. Calculation of uniformity of overhead irrigation by machine of continuous progress by results of testing of the device by a radial method. Collection of scientific works of the International conference devoted to the 90 anniversary of professor M.M. Dzhambulatov, vol. 1. Makhachkala: FGBOOU WAUGH "The Dagestan state agricultural university of M.M. Dzhambulatov", 2016. P. 499-508.(In Russian)
5. Certificate on the state registration of the computer program No. 2015662257 of 19.11.2015. Calculation of uniformity of overhead irrigation by machine of continuous progress by results of testing of the device by a radial method / Chernovolov V.A., Kravchenko L.V., Protasov D.N.
6. Certificate on the state registration of the computer program No. 2014662137 of 24.11.2014. Measure calculation of efficiency of overhead irrigation on the square between four one-nozzle devices / Chernovolov V.A., Kravchenko L.V.
7. Certificate on the state registration of the computer program No. 2015618182 of 03.08.2015. Measure calculation of uniformity of overhead irrigation by results of testing of the device by a radial method / Chernovolov V.A., Kravchenko L.V., Protasov D.N.
8. Chernovolov V.A., Kravchenko L.V. The uniformity of irrigation with single-jet sprinkler apparatus of rie action. *Applied and Fundamental Studies*, 2014, November 29-30. St. Louis. Missouri, USA. P. 199-210.(In English)
9. Chernovolov V.A., Kravchenko L.V. Optimization of placement of stationary sprinkler by method of mathematical modeling "Technical and staffing of innovative technologies in agricultural industry". Materials of Intern. Scientific conf. "Technical and staffing of innovative technologies in agricultural industry", on October 23-24, 2014. Minsk: Scientific Research Institute MESH BGATU, 2014. P. 114-116.(In Russian)
10. Chernovolov V.A., Kravchenko L.V., Lukhanin V.A. Modeling of process of overhead irrigation by machines of frontal action with sector nozzles [An electronic resours. The Polythematic network online scientific journal of the Kuban state agricultural university. – Krasnodar: Kuban GAU, 2014; 06(100).(In Russian)
11. Chernovolov V.A., Kravchenko L.V. A technique of modeling of process of overhead irrigation by dalnestruyny devices during the work around. *Vestnik of agrarian and industrial complex of Stavropolje*. 2014; 3(15): 68-72.(In Russian)

Authors:

V. Chernovolov – D. Sc. (Engeneering), Prof.,
e-mail: chernovolov.v@mail.ru,
L. Kravchenko – Ph. D. (Engeneering),
e-mail: lusya306@yandex.ru,
Azov-and-Black Sea engineering institute FSBHEEPT «Donskoy state agrarian university», Zernograd, Russia.

• **For citation**: Chernovolov V.A., Kravchenko L.V. Calculation evenly sprinkling machine rotary traffic results test method machine radial. *Vestnik VIESH.* 2016; 4(25): 90-95. (In Russian)