Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 1(21), 2016 г., [182–195]

УДК 631.347.4.001.57

В. А. Черноволов, Л. В. Кравченко, Д. Н. Протасов
Азово-Черноморский инженерный институт Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Российская Федерация

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАВНОМЕРНОСТИ ДОЖДЕВАНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЯ АППАРАТА РАДИАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Целью исследования являлось совершенствование метода оценки равномерности дождевания по результатам испытания аппарата радиальным методом. В ходе исследований установлено, что алгоритм расчета показателей равномерности, рекомендованный ГОСТ ИСО 7749-2–2004, пригоден только при шаге установки аппаратов больше радиуса орошения аппарата. Однако многие аппараты дают более высокую равномерность при меньшем шаге установки. В связи с этим в процессе исследований алгоритм расчета показателей равномерности дождя, рекомендованный ГОСТ ИСО 7749-2–2004, усовершенствован с целью повышения точности расчета при различных условиях расположения аппаратов и определения оптимального шага их установки. Для минимизации ручных операций расчета и измерения усовершенствованный алгоритм реализован в программе для ЭВМ. Обработка результатов испытания аппарата i-Wob фирмы Senninger показала, что оценка равномерности распределения дождя по усовершенствованному алгоритму и по коэффициенту эффективного полива дает сходные результаты. Оптимальный шаг установки аппаратов i-Wob равен 9,5 м, что близко к радиусу орошения. Результаты исследования двухсоплового аппарата «Фрегат» без винтового рассекателя, по оценке стандарта, не удовлетворяют требованиям равномерности орошения, но при уменьшении шага установки данный параметр улучшается. Оценка равномерности аппарата по рекомендациям стандарта при шаге установки $B < 16$ м не является надежной, так как не учитывается вода, попадающая на зачетную площадку от соседних аппаратов. В данном случае использование предложенного алгоритма позволит повысить точность определения показателей равномерности дождя.

Ключевые слова: дождевание, дождевальный аппарат, дождевальная машина, равномерность распределения дождя, коэффициент равномерности Христиансена, коэффициент эффективного полива, коэффициент недостаточного полива, коэффициент избыточного полива.

V. A. Chernovolov, L. V. Kravchenko, D. N. Protasov
Azov-Black Sea Engineering Institute of Don State Agrarian University in Zernograd, Russian Federation

CALCULATING THE UNIFORMITY OF SPRINKLING ACCORDING TO TEST-RESULTS OF APPARATUS BY RADIAL METHOD

The aim of the study was to improve the method for assessment of irrigation uniformity according to the results of apparatus testing by radial method. During the study it is established that algorithm for calculating the indices of uniformity according to GOST ISO 7749-2–2004 is useful only at an installation step which is greater than irrigation radius of apparatus. However, many apparatus show the higher uniformity at a less installation step. In this connection, during the study the algorithm for calculating indices of rain uniformity recommended by GOST ISO 7749-2–2004 was improved in order to increase the accuracy of calculation at dif-

ferent conditions of apparatus location and to determine an optimal step of their installation. To minimize manual operations of calculation and measurement the improved algorithm was realized in computer software. The test-data processing of the apparatus i-Wob of Senninger Company has shown that the assessment of rain uniformity according to the improved algorithm and coefficient of efficient irrigation event gives similar results. An optimal step for installation of the apparatus i-Wob is equal to 9.5 m, what is close to an irrigation radius. The study results of double-nozzle unit of center-pivot "Fregat" without screw sprinkler attachment according to the assessment by the standard doesn't satisfy the requirements for irrigation uniformity but while an installation step decreasing this parameter is improved. The assessment of uniformity of the apparatus according to the standard at an installation step $B < 16$ m isn't reliable since the water from adjacent devices is not taken into account. In this case the use of proposed algorithm enables to increase the accuracy of rain uniformity indices.

Keywords: sprinkling, sprinkler apparatus, sprinkling machine, rain uniformity, Christiansen uniformity coefficient, coefficient of effective irrigation, coefficient of insufficient watering, coefficient of excess watering.

Введение. Проектирование, испытание и настройка дождевальных машин связаны со значительными затратами времени, трудовых и материальных ресурсов. Применение систем автоматизированного проектирования для этих целей позволяет ускорить разработку машин при существенном снижении затрат. Оптимизация процесса работы машин методом моделирования по критериям равномерности дождевания [1, 2] позволяет повысить вероятность качественной работы при изменении условий эксплуатации.

ГОСТ ИСО 7749-2–2004[1] рекомендует испытание аппаратов кругового действия осуществлять радиальным методом, а оценку равномерности орошения – моделированием распределения по схеме полнополевого метода.

Однако при этом рекомендуются ручные операции интерполирования и суммирования интенсивностей от работы четырех аппаратов. Для устранения указанного недостатка необходимо усовершенствовать алгоритм расчета и составить программу его реализации. Поэтому целью исследования являлось совершенствование метода оценки равномерности дождевания по результатам испытания аппарата радиальным методом.

Материалы и методы. Ранее равномерность распределения дождя по орошаемой площади оценивали с помощью коэффициентов эффектив-

[1] ГОСТ ИСО 7749-2–2004. Оборудование сельскохозяйственное оросительное. Аппараты дождевальные вращающиеся. Ч. 2. Равномерность орошения и методы испытаний. – Введ. 2008-01-01. – М.: Стандартинформ, 2006. – 8 с.

ного, недостаточного и избыточного полива. Коэффициент эффективного полива вычисляли как отношение площади эффективного полива к общей поливной площади. Коэффициент недостаточного полива вычисляли как отношение площади недостаточного полива к общей поливной площади. Коэффициент избыточного полива определяли как отношение площади избыточного полива к общей площади. Площадью эффективного полива считалась площадь, политая в допустимых пределах (± 25 %) отклонения от средней интенсивности или среднего слоя дождя.

В настоящее время равномерность распределения дождя по орошаемой площади ГОСТ ИСО 7749-2–2004 рекомендует оценивать с помощью коэффициента равномерности полива Христиансена, вычисляемого по формуле:

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

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, мм;

n – количество измерений.

При радиальном методе испытания дождевальных аппаратов согласно ГОСТ ИСО 7749-2–2004 дождемеры устанавливают на равных расстояниях вдоль радиуса, проведенного от места установки аппарата, и измеряют количество воды в дождемерах при работе дождевального аппарата.

Далее рассчитывают количество воды, которая собрана в имитируемых дождемерах, расположенных по схеме испытания машин полнопольевым методом, то есть в центрах квадратных площадок. При этом вычисляется или графически замеряется расстояние от каждого имитируемого до-

ждемера до аппарата и интерполированием результатов радиального распределения устанавливается слой осадков в нем. Таким образом получается матрица слоя осадков во всей зоне дождевания.

Имитируя расстояние между дождевальными аппаратами, выполняют накладку зон дождевания и рассчитывают суммарное количество воды, которое было бы собрано дождемерами, если бы они были расположены между четырьмя дождевальными аппаратами, идентичными испытуемому. В результате исследований по полученным данным вычисляют коэффициент равномерности Христиансена.

Недостаток данного способа состоит в применении ручных операций интерполирования и суммирования слоя осадков в зоне перекрытия. Кроме того, при расстоянии между позициями меньше радиуса орошения часть воды не попадает на зачетную площадку. При этом коэффициент полноты учета меньше единицы.

Устранить недостаток можно разработкой алгоритма и программы оптимизации шага установки аппаратов. При шаге установки меньше радиуса орошения требуется моделирование работы аппаратов на всех соседних позициях, то есть на 12 позициях.

Результаты и обсуждение. Для оценки равномерности дождевания машинами позиционного действия и стационарными дождевателями нами рекомендуется использовать усовершенствованный 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 от дождемера до аппарата;

- получают интерполяционную формулу зависимости интенсивности дождевания от радиуса;

- создают матрицу координат имитируемых дождемеров на зачетной

площадке по схеме полнополевого опыта, то есть расположенных в центрах метровых квадратов, которые равномерно распределены между позициями четырех аппаратов. На зачетную площадку попадает вода только от четырех аппаратов при условии, если шаг установки больше радиуса орошения;

- вычисляют расстояния от площадок матрицы до каждого из четырех аппаратов;

- подсчитывают интенсивности дождевания на каждой площадке от четырех аппаратов;

- вычисляют матрицу доз полива в каждом дождемере суммированием доз от каждого из четырех аппаратов. Так как площадки метровые, то доза получается умножением интенсивности на время. Оценку равномерности можно выполнять по равномерности доз или по равномерности интенсивностей. Результат будет одинаков;

- находят среднеарифметическое значение дозы по матрице;

- вычисляют матрицу модулей отклонений каждого значения дозы от среднего;

- подсчитывают коэффициент Христиансена;

- задают цикл изменения шага установки аппаратов, т. е. расстояния между позициями аппаратов;

- расчет повторяют при различном шаге установки аппаратов;

- строят график зависимости коэффициента Христиансена от шага установки аппаратов;

- определяют оптимальный шаг установки аппаратов.

Основой для разработки алгоритма послужили опубликованные ранее программы [3–5] и результаты моделирования процессов дождевания [6, 7]. Программа для ЭВМ [8] реализует усовершенствованный алгоритм расчета равномерности дождевания по результатам испытания аппарата радиальным методом. Блок-схема программы приведена на рисунке 1.

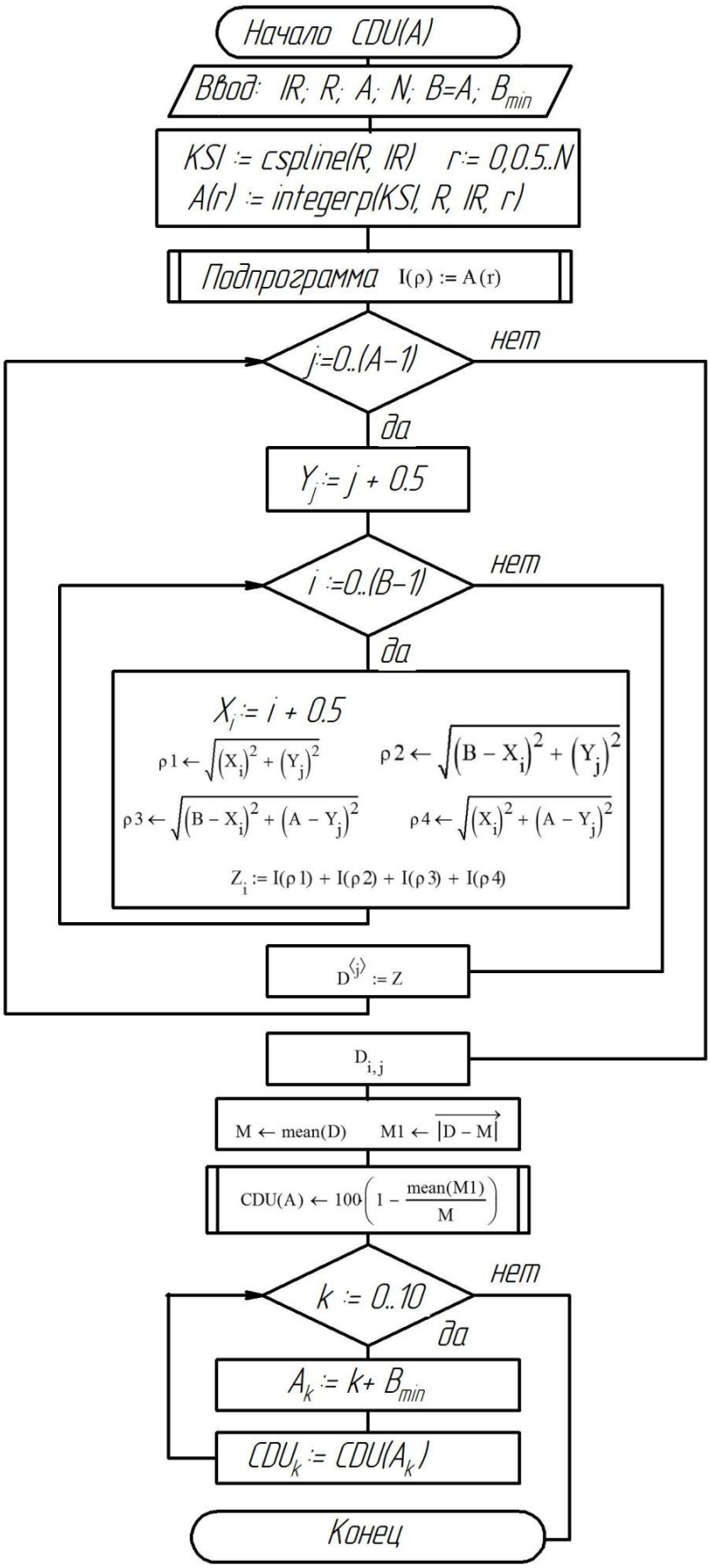


Рисунок 1 – Блок-схема программы расчета равномерности орошения по результатам испытания аппарата радиальным методом

При расстоянии между позициями меньше радиуса зоны дождевания необходимо суммировать дозы полива от 12 или 16 аппаратов, расположенных вокруг зачетной площадки. При оценке работы машин непрерывного фронтального и кругового действия необходимы другие алгоритмы расчета равномерности.

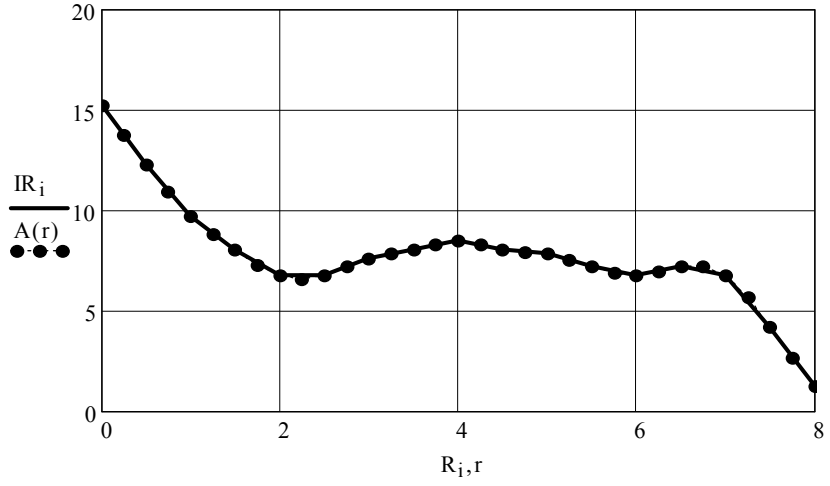
Покажем пример обработки результатов испытания аппарата i-Wob фирмы Senninger. Используем график зависимости интенсивности дождевания от радиуса из публикации авторов 2014 г. [6]. Выполним отсчет интенсивностей по графику через 0,5 м. Создадим векторы IR и R (рисунок 2). Выполняем сплайн-интерполяцию результатов испытания. Для этого вычисляем коэффициенты KSI кубической интерполяции. Далее вычислим значения функция A(r), построим графики исходных результатов IR и A(r). Количество промежуточных точек вычисления функции A(r) в пять раз больше, чем у вектора IR. Аппроксимирующая функция точно проходит через эмпирические точки.

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

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

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

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



R_i – радиус дождемера; r – радиус аппроксимации; IR_i – интенсивность при испытании; A(r) – интенсивность при аппроксимации

Рисунок 2 – Аппроксимация результатов испытания аппарата i-Wob

Для использования функции A(r) в программе расчета равномерности ее вычисление оформлено подпрограммой I(ρ).

Далее по программе KeS(A) вычисляем коэффициенты Христиансена и эффективного полива. Результаты расчетов представим в виде графиков (рисунок 3).

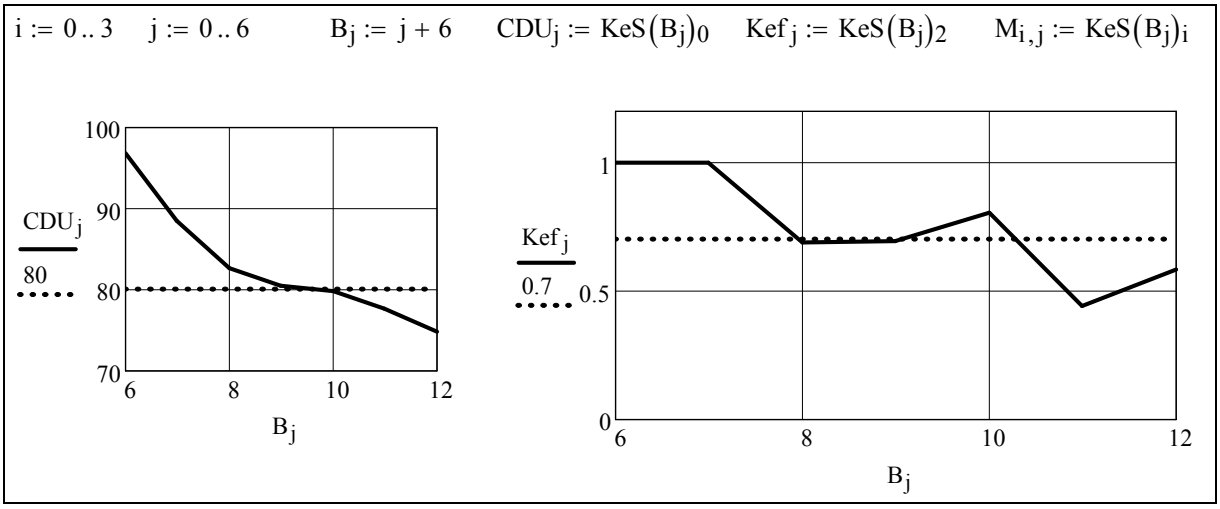


Рисунок 3 – Графики зависимости коэффициентов равномерности Христиансена и эффективного полива от шага установки аппаратов

Коэффициент равномерности полива Христиансена более 95 % при шаге установки менее 6 м. Однако при таком шаге требуется учет воды от 12 аппаратов, расположенных вокруг зачетной площадки [6]. Коэффициент Христиансена меньше 80 % при шаге установки аппаратов больше 9,5 м.

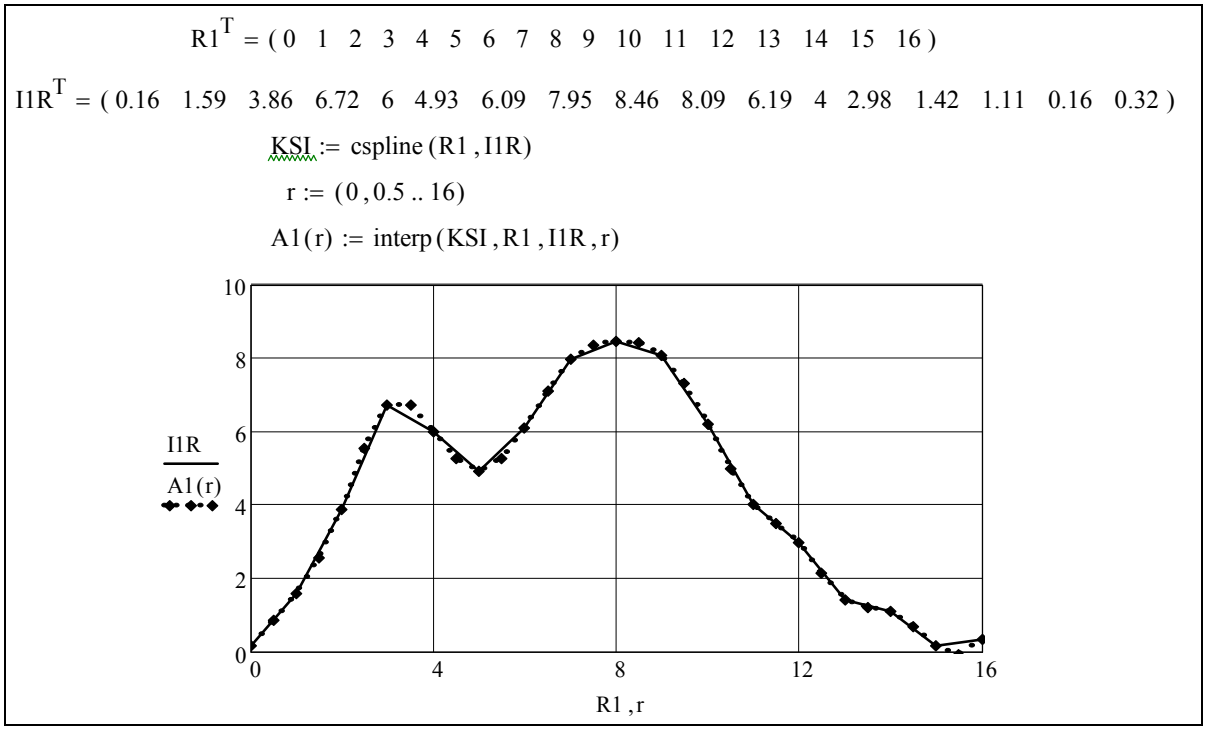
Коэффициент эффективного полива имеет более резкие колебания. Он меньше агротехнической нормы (0,7) при шаге установки более 10,3 м, а в интервале 8–9 м близок к предельно допустимому значению.

Сравнение графиков показывает, что оценка равномерности по коэффициенту Христиансена и по коэффициенту эффективного полива дает сходные результаты.

Приведем другой пример обработки результатов испытания аппарата в более сложном варианте.

Результаты испытания среднеструйного двухсоплового аппарата

«Фрегат» без винтового рассекателя, смоделированные по исследованиям А. А. Бондарева [2], показаны на рисунке 4. Результат расчета показателей равномерности приведен на рисунке 5.



$R1_i$ – радиус дождемера; r – радиус аппроксимации; $I1R_i$ – интенсивность при испытании; A1(r) – интенсивность при аппроксимации

Рисунок 4 – Результаты испытания двухсоплового аппарата и их аппроксимация

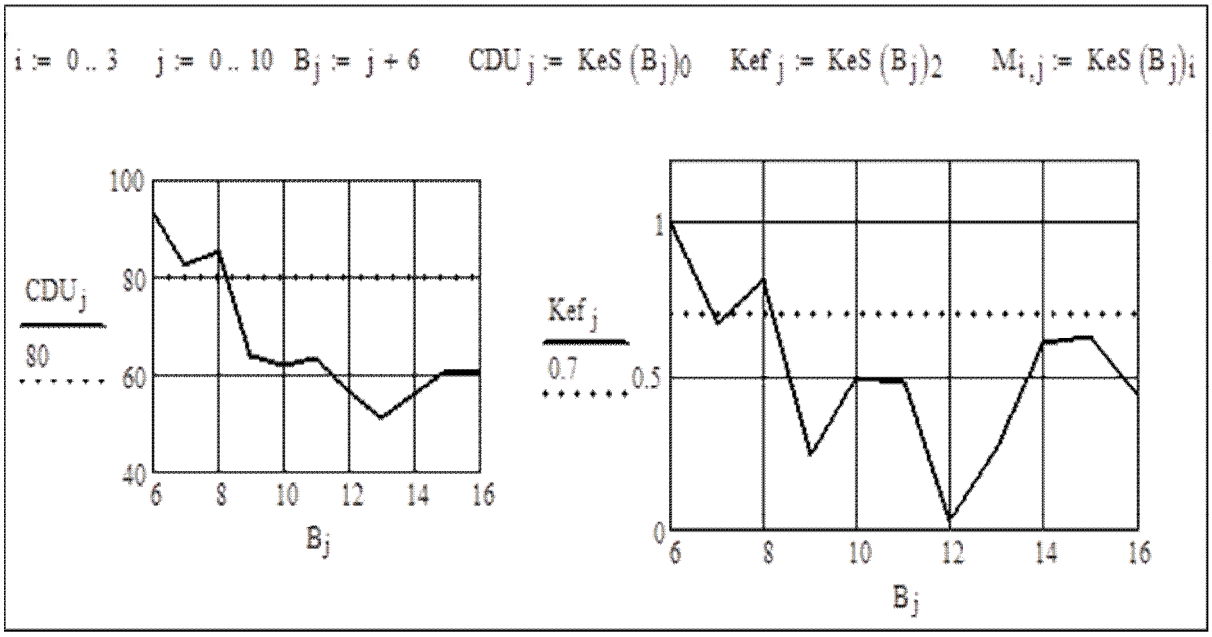


Рисунок 5 – Показатели равномерности дождевания аппаратом, полученные по результатам испытаний на рисунке 4

Из-за малой интенсивности дождевания под аппаратом агротехнические нормативы по равномерности выполняются только при шаге установки менее 8,2 м. По результатам расчетов, рекомендуемых стандартом, такой аппарат непригоден для стационарных систем и машин, работающих позиционно.

Предложенный метод моделирования применим для оптимизации расположения секторных насадок [9] и дальнеструйных дождевателей, работающих по кругу [10].

Выводы

1 Алгоритм расчета показателей равномерности, рекомендованный ГОСТ ИСО 7749-2–2004, дает уверенный результат только при шаге установки аппаратов, большем радиуса орошения аппарата. Однако многие аппараты дают более высокую равномерность при меньшем шаге установки. Кроме этого, к недостаткам данного способа относится применение ручных операций интерполирования и суммирования слоя осадков в зоне перекрытия.

2 Усовершенствованный алгоритм кроме расчета равномерности дождевания по результатам испытания аппарата радиальным методом позволяет выбрать оптимальный шаг установки аппаратов, обеспечивающий требуемую равномерность распределения дождя. Реализация данного алгоритма в программе KeS(A) позволила значительно снизить трудоемкость расчета показателей равномерности дождя.

3 Обработка результатов испытания аппарата i-Wob фирмы Senninger по усовершенствованному алгоритму и по коэффициенту эффективного полива показала, что при шаге установки менее 6 м коэффициент равномерности полива Христиансена более 95 %. Однако при таком шаге требуется учет воды от 12 аппаратов, расположенных вокруг зачетной площадки. При шаге установки аппаратов больше 9,5 м коэффициент Христиансена меньше 80 %. Коэффициент эффективного полива имеет более

резкие колебания. Он меньше агротехнической нормы (0,7) при шаге установки более 10,3 м, а в интервале 8–9 м близок к предельно допустимому значению. Сравнение полученных результатов показывает, что оценка равномерности по усовершенствованному алгоритму и по коэффициенту эффективного полива дает сходные результаты. Оптимальный шаг установки аппаратов i-Wob равен 9,5 м, что близко к радиусу орошения.

4 Результаты исследования двухсоплового аппарата «Фрегат» без винтового рассекателя, по оценке стандарта, не удовлетворяют требованиям равномерности орошения, но при уменьшении шага установки данный параметр улучшается. Оценка равномерности аппарата по рекомендациям стандарта при шаге установки $B < 16$ м не является надежной, так как не учитывается вода, попадающая на зачетную площадку от соседних аппаратов. В данном случае использование предложенного алгоритма позволит повысить точность определения показателей равномерности дождя.

Список литературы

1 Циприс, Д. Б. Критерии равномерности полива и оптимальное расположение источника дождевальных струй / Д. Б. Циприс, С. М. Белинский // Прогрессивные способы орошения, включая машинное орошение. – М., 1975. – С. 83–102.

2 Бондарев, А. А. Моделирование и оптимизация процесса дождевания сельскохозяйственных культур среднеструйными аппаратами для улучшения равномерности полива: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 / Бондарев Александр Александрович. – Зерноград, 1999. – 16 с.

3 Расчет показателей эффективности дождевания на площади между четырьмя односопловыми аппаратами: свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ № 2014662137 от 24.11.14 / Черноволов В. А., Кравченко Л. В.

4 Расчет показателей эффективности дождевания одноструйными аппаратами при работе на двенадцати позициях: свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ № 2015616299 от 05.06.15 / Черноволов В. А., Кравченко Л. В., Буткова О. В.

5 Оптимизация расстояния между насадками дождевальных машин фронтального действия: свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ № 2014617785 от 04.08.14 / Черноволов В. А., Кравченко Л. В.

6 Chernovolov, V. A. The uniformity of irrigation with single-jet sprinkler apparatus of rie action / V. A. Chernovolov, L. V. Kravchenko // Applied and Fundamental Studies Proceedings of the 7th International Academic Conference. – St. Louis: Publishing House “Science and Innovation Center”, 2014. – P. 199–211.

7 Черноволов, В. А. Оптимизация размещения стационарных дождевателей методом математического моделирования / В. А. Черноволов, Л. В. Кравченко // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Минск, 23–24 октября 2014 г. / НИИ МЭСХ

БГАТУ. – Минск, 2014. – С. 114–116.

8 Расчет показателей равномерности дождевания по результатам испытания аппарата радиальным методом: свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ № 2015618182 от 03.08.15 / Черноволов В. А., Кравченко Л. В., Протасов Д. Н.

9 Черноволов, В. А. Моделирование процесса дождевания машинами фронтального действия с секторными насадками [Электронный ресурс] / В. А. Черноволов, Л. В. Кравченко, В. А. Луханин // Научный журнал КубГАУ: политематический сетевой электрон. журн. / Кубанский гос. аграрн. ун-т. – Электрон. журн. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – № 100. – 11 с. – Режим доступа: http:ej.kubagro.ru/2014/06/pdf/40.pdf.

10 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.

References

1 Tsipris D.B., Belinskiy S.M, 1975. Kriterii ravnomernosti poliva i optimalnoye raspolozheniye istochnika dozhdevalnykh struy [Criteria for uniform watering and optimum location of the source of sprinkler jets]. *Progressivnyye sposoby orosheniya, vklyuchaya mashinnoye orosheniye* [Progressive Methods of Irrigation, Including Machine Irrigation]. Moscow, p. 83-102. (In Russian).

2 Bondarev A.A., 1999. *Modelirovaniye i optimizatsiya protsessa dozhdevaniya selskokhozyaystvennykh kultur srednestruynymi apparatami dlya uluchsheniya ravnomernosti poliva.* Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk [Modeling and Optimizing of Sprinkling Irrigation of Crops by Medium-Jet Apparatus for Improving the Uniformity of Irrigation. Abstract of cand. techn. sci. diss.]. Zernograd, 16 p. (In Russian).

3 Chernovolov V.A., Kravchenko L.V., 2014. *Raschet pokazateley effektivnosti dozhdevaniya na ploshchadi mezhdu chetyrmya odnosoplovymi apparatami*: svidetelstvo o gos. registratsii progr. dlya EVM no. 2014662137 [Calculation of the Efficiency of Irrigation on the Area between Four Single-Orifice Devices: certificate of state registration of computer programs no. 2014662137]. (In Russian).

4 Chernovolov V.A., Kravchenko L.V., Butkova O.V., 2015. *Raschet pokazateley effektivnosti dozhdevaniya odnostruynymi apparatami pri rabote na dvenadtsati pozitsiyakh*: svidetelstvo o gos. registratsii progr. dlya EVM no. 2015616299 [Calculation of the Efficiency of Sprinkling by Single-Jet Apparatus Operating on Twelve Positions: certificate of state registration of computer programs no. 2015616299]. (In Russian).

5 Chernovolov V.A., Kravchenko L.V., 2014. *Optimizatsiya rasstoyaniya mezhdu nasadkami dozhdevalnykh mashin frontalnogo deystviya*: svidetelstvo o gos. registratsii progr. dlya EVM no. 2014617785 [Optimization of the Distance between the Nozzles of Sprinklers Front Action: certificate of state registration of computer programs no. 2014617785]. (In Russian).

6 Chernovolov V.A., Kravchenko L.V., 2014. The uniformity of irrigation with single-jet sprinkler apparatus of rie action. *Applied and Fundamental Studies. Proceedings of the 7th International Academic Conference.* St. Louis: Publishing House “Science and Innovation Center”, pp. 199-211. (In Russian).

7 Chernovolov V.A., Kravchenko L.V., 2014. Optimizatsiya razmeshcheniya statsionarnykh dozhdevateley metodom matematicheskogo modelirovaniya [Optimization of stationary sprinklers by mathematical modeling]. *Tekhnicheskoye i kadrovoye obespecheniye innovatsionnykh tekhnologiy v selskom khozyaystve: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Minsk, 23–24 oktyabrya 2014 g., NII MESKh BGATU* [Technical and Staffing Supply of Innovative Technologies in Agriculture: Proc. of the Int. Scientific-Practical Conference]. Minsk, pp. 114-116. (In Russian)

8 Chernovolov V.A., Kravchenko L.V., Protasov D.N., 2015. *Raschet pokazateley ravnomernosti dozhdevaniya po rezultatam ispytaniya apparata radialnym metodom*: svidetelstvo o gos. registratsii progr. dlya EVM no. 2015618182 [Calculation of the Uniformity of Sprinkling on the Results of the Test of Apparatus by Radial Method: certificate of state registration of computer programs no. 2015618182]. (In Russian).

9 Chernovolov V.A., Kravchenko L.V., Lukhanin V.A., 2014. [Simulation of the sprinkling process with the machines of front action with sector nozzles]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*, no. 100, 11 p. (In Russian).

10 Chernovolov V.A., Kravchenko L.V., 2014. [Modeling technique of the sprinkling irrigation process with long-range sprinklers working in a circular position]. *Vestnik APK Stavropolya* [Agricultural Bulletin of Stavropol Region], no. 3, pp. 68-72. (In Russian).

Черноволов Василий Александрович
Ученая степень: доктор технических наук
Ученое звание: профессор
Должность: профессор кафедры сельскохозяйственных машин
Место работы: Азово-Черноморский инженерный институт федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде
Адрес организации: ул. Ленина, 21, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740
E-mail: chernovolov.v@mail.ru

Chernovolov Vasily Aleksandrovich
Degree: Doctor of Technical Sciences
Title: Professor
Position: Professor
Affiliation: Azov-Black Sea Engineering Institute of Don State Agrarian University in Zernograd
Affiliation address: st. Lenina, 21, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740
E-mail: chernovolov.v@mail.ru

Кравченко Людмила Владимировна
Ученая степень: кандидат технических наук
Ученое звание: доцент
Должность: доцент кафедры высшей математики
Место работы: Азово-Черноморский инженерный институт федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде
Адрес организации: ул. Ленина, 21, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740
E-mail: lusya306@yandex.ru

Kravchenko Ludmila Vladimirovna
Degree: Candidate of Technical Sciences
Title: Associate Professor
Position: Associate Professor
Affiliation: Azov-Black Sea Engineering Institute of Don State Agrarian University in Zernograd
Affiliation address: st. Lenina, 21, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740
E-mail: lusya306@yandex.ru

Протасов Дмитрий Николаевич
Должность: аспирант
Место работы: Азово-Черноморский инженерный институт федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде
Адрес организации: ул. Ленина, 21, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740
E-mail: dimangelpro@rambler.ru

Protasov Dmitriy Nikolaevich
Position: Postgraduate Student
Affiliation: Azov-Black Sea Engineering Institute of Don State Agrarian University in Zernograd
Affiliation address: st. Lenina, 21, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740
E-mail: dimangelpro@rambler.ru