

Научная статья

УДК 631.347

doi: 10.28983/asj.y2023i5pp146-150

Теоретическое обоснование конструктивных параметров вращающегося дефлекторного конуса дождевальной насадки, обеспечивающей повышение ветроустойчивости дождя

Алексей Владимирович Кравчук, Дмитрий Алексеевич Русинов

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», г. Саратов, Россия

e-mail: aleks100sgau@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрен теоретический вопрос об обосновании конструктивных параметров вращающегося дефлекторного конуса обеспечивающего создание дождевого облака обладающего повышенной ветроустойчивостью. Определены оптимальные геометрические параметры вращающегося дефлекторного конуса. Представлены результаты проведенных лабораторных исследований, в ходе которых было исследовано влияние изменения угла наклона вылета капли дождя, сходящей с образующей вращающегося дефлекторного конуса, на величину потерь дождя на испарение и снос ветром, а так же радиус полива. Установлено, что применение дождевальных насадок с вращающимся дефлекторным конусом позволяет повысить ветроустойчивость создаваемого дождя при сохранении радиуса полива и снизить потери воды на испарение до 9,8 % по сравнению с дождевальными насадками, имеющими невращающийся гладкий дефлекторный конус.

Ключевые слова: дождевальная машина; дефлекторная насадка; вращающийся дефлекторный конус; радиус полива; потери дождя на испарение и снос ветром.

Для цитирования: Кравчук А. В., Русинов Д. А. Теоретическое обоснование конструктивных параметров вращающегося дефлекторного конуса дождевальной насадки, обеспечивающей повышение ветроустойчивости дождя // Аграрный научный журнал. 2023. № 5. С. 146–150. [http: 10.28983/asj.y2023i5pp146-150](http://10.28983/asj.y2023i5pp146-150).

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Theoretical substantiation of the design parameters of the rotating reflective cone of the sprinkler nozzle, providing increased wind resistance of rain

Alexey V. Kravchuk, Dmitry A. Rusinov

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

e-mail: aleks100sgau@yandex.ru

Abstract. The article deals with the theoretical question of substantiating the design parameters of a rotating deflector cone providing the creation of a rain cloud with increased wind resistance. The optimal geometric parameters of the rotating deflector cone are determined. The results of laboratory studies are presented, during which the effect of changing the angle of departure of a raindrop descending from a rotating deflector cone on the amount of rain loss on evaporation and wind drift, as well as the irrigation radius, was investigated. It has been found that the use of sprinkler nozzles with a rotating deflector cone can increase the wind resistance of the rain created while maintaining the irrigation radius and reduce water loss by evaporation up to 9.8 % compared with rain nozzles with a non-rotating smooth deflector cone.

Keywords: sprinkler machine; deflector nozzle; rotating deflector cone; irrigation radius; rain loss due to evaporation and wind drift.

For citation: Kravchuk A. V., Rusinov D. A. Theoretical substantiation of the design parameters of the rotating reflective cone of the sprinkler nozzle, providing increased wind resistance of rain // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(5):146–150. (In Russ.). [http: 10.28983/asj.y2023i5pp146-150](http://10.28983/asj.y2023i5pp146-150).

Введение. Для получения высокого урожая сельскохозяйственных культур в климатических условиях Саратовской области необходимо применять орошение. В настоящий момент в области работает 918 дождевальных машин российского и иностранного производства, выполняющих полив сельскохозяйственных растений на площади 257,3 тыс. га [1]. Для этих целей на современных





дождевальных машинах устанавливаются дождеобразующие устройства в виде дефлекторных насадок с гладким дефлекторным конусом, разработанных в ФГБОУ ВО Вавиловском университете [2] и ФГБНУ ВолжНИГиМ [3], или зарубежные дождевальные насадки Senniger и Nelson Irrigation. Но общим недостатком известных конструкций дождеобразующих устройств являются высокие потери воды на испарение и снос ветром, достигающие 24 % [2, 4, 5]. Использование технических решений, обеспечивающих установку дождеобразующих устройств на небольшой высоте относительно поверхности поля, позволяет снизить потери воды, однако снижение давления воды в конце трубопровода дождевальной машины до 0,2 МПа увеличивает потери воды. Снижение потерь воды на испарение и снос ветров возможно за счет создания новых ветроустойчивых конструкций дождевальных насадок с вращающимся дефлекторным конусом и обоснование их конструктивных параметров.

В связи с вышеизложенным целью данной работы является теоретическое исследование влияния геометрических параметров вращающегося дефлекторного конуса дождевальной насадки на повышение ветроустойчивости создаваемого дождя.

Методика исследований. Снизить потери воды на испарение и снос ветром возможно за счет снижения высоты подъема дождевого облака путем снижения высоты установки дождевальной насадки до 0,8÷1,0 м относительно поверхности поля и уменьшением угла наклона вылета капли дождя с образующей дефлекторного конуса с $\alpha_n = 30 \div 32^\circ$ до $\alpha_n = 20 \div 25^\circ$ [6–8]. Но предлагаемые решения приводят к снижению радиуса полива, что требует установку дождеобразующих устройств по учащенной схеме. Устранить данную проблему можно за счет установки на дождевальной машине насадки с вращающимся дефлекторным конусом.

За счет вращения дефлекторного конуса происходит увеличение скорости капли дождя, сходящей с его образующей, что обеспечивает повышение радиуса полива даже при изменении угла наклона вылета капли дождя с образующей дефлекторного конуса. Но изменение угла наклона вылета капли дождя с образующей дефлекторного конуса зависит от радиуса кривизны образующей дефлекторного конуса, который в свою очередь связан с высотой дефлекторного конуса и его диаметром. Для определения оптимальных конструктивных параметров дефлекторного конуса рассмотрим схему (рис. 1).

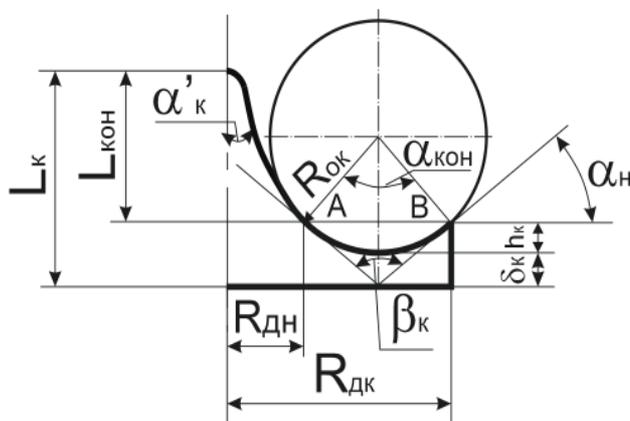


Рис. 1. Схема дефлекторного конуса дождевальной насадки для определения его геометрических параметров

Опираясь на конструктивные особенности дефлекторного конуса, связанные с тем, что радиус основания конуса должен быть больше радиуса окружности, описывающей траекторию полета капли дождя с учетом угла вылета α_n , определяемого как угол, образованный между линиями касательной к окружности и дневной поверхности, тогда $R_{дк} > R_{ок}$. Тогда высоту дефлекторного конуса определим следующим образом:

$$L_k = \frac{R_{дн}}{tg \alpha'_k} + R_{ок} \cos \frac{\alpha_{кон}}{2} + \delta_k, \quad (1)$$

где $R_{дн}$ – расстояние от оси вращения дефлекторного конуса до точки А касания окружности на его образующей, м; α'_k – угол наклона образующей дефлекторного конуса, град; $\alpha'_k = \alpha_k/2$; α_k – угол при вершине дефлекторного конуса, град; $R_{ок}$ – радиус окружности обеспечивающей

вылет капли дождя под углом к горизонту α_n , м; $\alpha_{\text{кон}}$ – угол контакта окружности на поверхности дефлекторного конуса, град; δ_k – толщина основания дефлекторного конуса в точке соприкосновения с окружностью, м.

Окружность, по которой происходит течение жидкости, производит касание на образующей дефлекторного конуса в точках А и В, тогда длина хорды АВ определится следующим образом:

$$L_{AB} = R_{\text{дк}} - R_{\text{дн}} = R_{\text{дк}} - L_{\text{кон}} \text{tg} \alpha'_k \quad (2)$$

где $R_{\text{дк}}$ – радиус основания дефлекторного конуса, м.

Для перехода к определению радиуса окружности, по которой движется поток воды по образующей дефлекторного конуса, воспользуемся формулой, определяющую связь между длиной хорды АВ с радиусом окружности и центральным углом, тогда

$$L_{AB} = 2R_{\text{дн}} \sin \alpha_{\text{кон}}/2. \quad (3)$$

Как видно, в зависимостях (2) и (3) левые части равны, тогда, приравняв данные зависимости, получим искомый радиус окружности

$$R_{\text{ок}} = \frac{R_{\text{дк}} - L_{\text{кон}} \text{tg} \alpha'_k}{2 \sin \alpha_{\text{кон}}/2}. \quad (4)$$

Для определения угла $\alpha_{\text{кон}}$ контакта окружности с образующей дефлекторного конуса воспользуемся формулой определения угла β_k между двумя касательными линиями к окружности, тогда:

$$\beta_k = 180 - R_{\text{ок}} \alpha_{\text{кон}}. \quad (5)$$

В свою очередь, исходя из геометрии дефлекторного конуса, угол β_k можно определить следующим образом:

$$\beta_k = 90 - \alpha_k - \alpha_n, \quad (6)$$

где α_n – угол наклона вылета капель дождя относительно горизонта, град.

Приравняв зависимости (5) и (6), определим связь между радиусом кривизны образующей дефлекторного конуса, по которому движется поток воды с углом контакта и вылета капель дождя относительно горизонта, тогда

$$\alpha_{\text{кон}} = \frac{90 + \alpha'_k + \alpha_n}{R_{\text{ок}}}. \quad (7)$$

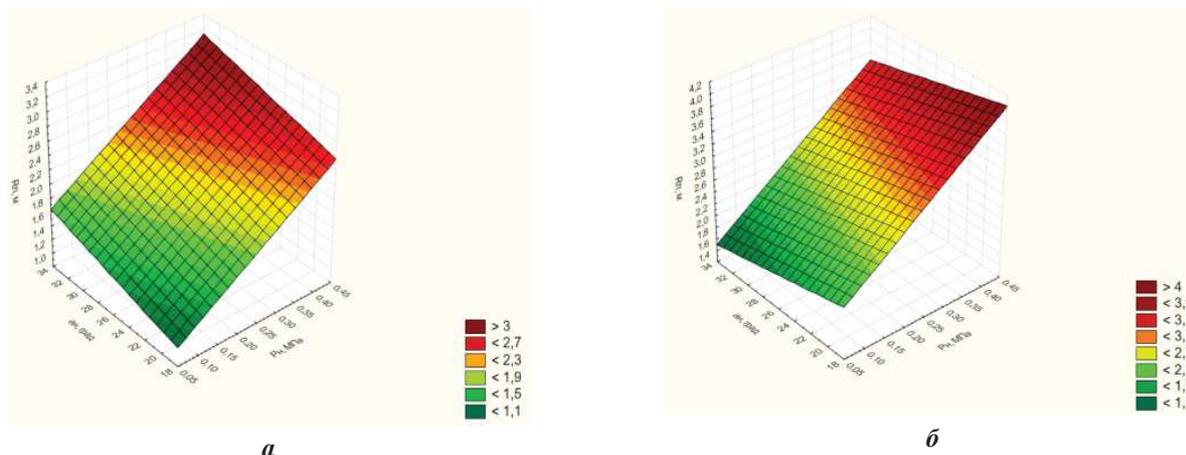
Толщина основания дефлекторного конуса в точке соприкосновения с окружностью определяется из условия прочности материала на изгиб, из которого изготовлена дождевальная насадка. Дождевальная насадка изготавливается из полиамида ПА–6, тогда толщина составляет $\delta_k = 2 \div 2,5$ мм.

На основании представленных зависимостей был выполнен расчет геометрических параметров дефлекторного конуса, который показал, что оптимальный диаметр основания дефлекторного конуса равен $D_{\text{дк}} = 50$ мм, а для обеспечения угла наклона вылета капли дождя $\alpha_n = 20 \div 32^\circ$ требуется обеспечить высоту дефлекторного конуса $L_k = 22,7 \div 37,8$ мм.

С целью доказательства сохранения радиуса полива и повышения ветроустойчивости дождя, создаваемого дождевальными насадками с вращающимся дефлекторным конусом, были проведены лабораторные исследования в соответствии с требованием СТО АИСТ 11.1 – 2010 [9]. В ходе исследований определяли влияние напора и угла наклона вылета струи воды, сходящей с образующей дефлекторного конуса относительно поверхности поля на радиус полива и величину испарения и сноса ветром дождя.

Результаты исследований. Как показали результаты исследований, для дождевальных насадок с гладким дефлекторным конусом при снижении угла наклона вылета струи воды с образующей дефлекторного конуса и повышении давления воды на выходе из сопла дождевальной насадки радиус полива снижается, что наглядно демонстрируют графическая зависимость (рис. 2) и полученные аппроксимационные зависимости.





а

б

Рис. 2. Влияние на радиус полива дождевальной насадки от величины угла наклона вылета струи воды, сходящей с образующей дефлекторного конуса относительно поверхности поля (высота установки дождевальной насадки 1 м, диаметр сопла выходного отверстия 3 мм): а – с гладким дефлекторным конусом ($R_n = 0,2425 + 3,725P_n + 0,0356\alpha_n$); б – с вращающимся дефлекторным конусом, имеющим шесть канавок, выполненных на образующей ($R_n = 0,24666 + 4,9175P_n - 0,0357\alpha_n$)

В результате сравнительного анализа радиуса полива, создаваемого дождевальной насадкой с гладким дефлекторным конусом и дождевальными насадками, имеющими вращающийся дефлекторный конус, установлено, что радиус полива у дефлекторной насадки с вращающимся дефлекторным конусом, имеющим шесть канавок, выше в среднем на 22,1 % при угле наклона вылета струи воды 32°; на 23,7 % при 28°; на 25,2 % при 24° и на 25,5 % при 20°. Увеличение количества канавок, выполненных на дефлекторном конусе, с 6 до 24 приводит к незначительному снижению радиуса полива, который больше в среднем на 11,4÷22,4 % по сравнению с радиусом полива, создаваемым дождевальной насадкой с гладким дефлекторным конусом.

Рассматривая результаты величины потерь воды на испарение и снос ветром установлено, что наибольшее значение зафиксировано у дождевальных насадок с гладким дефлекторным конусом (6,9–14,6 % в начале трубопровода дождевальной машины), рис. 3. В конце трубопровода происходит снижение потерь воды до 10,4 %.

Аналогичная ситуация прослеживается и у дождевальных насадок, имеющих вращающийся дефлекторный конус. Для дождевальных насадок с вращающимся дефлекторным конусом средние потери воды на испарение и снос дождя ветром составляют для конуса, имеющего шесть канавок, – 9,8 %; для конуса, имеющего 12 канавок, – 10,1 %; для конуса, имеющего 18 канавок, – 10,9 % и для конуса, имеющего 24 канавки, – 11,1 %.

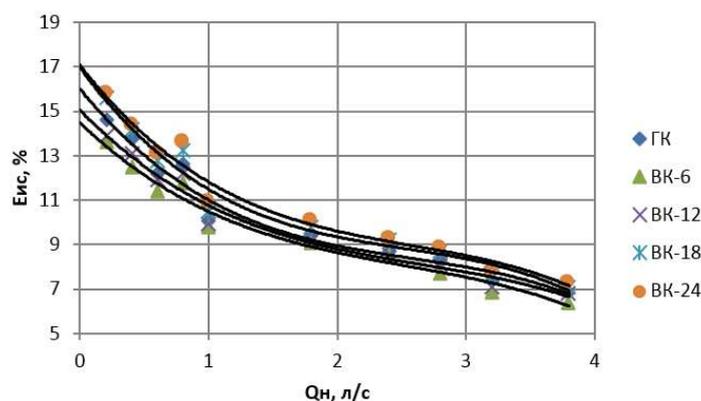


Рис. 3. Изменение потерь воды на испарение и снос дождя ветром вдоль трубопровода дождевальной машины «Кубань-ЛК1» при поливе дождевальными насадками, установленными на высоте 1 м относительно поверхности поля:

$$\begin{aligned}
 GK - E_{ис} &= -0,3087Q_n^3 + 2,4032Q_n^2 - 7,1071Q_n + 16,21 \quad R^2 = 0,9696; \\
 BK-24 - E_{ис} &= -0,2331Q_n^3 + 1,7706Q_n^2 - 5,533Q_n + 14,49 \quad R^2 = 0,9733; \\
 BK-18 - E_{ис} &= -0,2344Q_n^3 + 1,8681Q_n^2 - 5,9254Q_n + 15,058 \quad R^2 = 0,9693; \\
 BK-12 - E_{ис} &= -0,3661Q_n^3 + 2,7722Q_n^2 - 7,8929Q_n + 16,976 \quad R^2 = 0,9657; \\
 BK-6 - E_{ис} &= -0,3192Q_n^3 + 2,4724Q_n^2 - 7,3977Q_n + 17,069 \quad R^2 = 0,9693.
 \end{aligned}$$





Из результатов исследований видно, что у дождевальных насадок с вращающимся дефлекторным конусом с 6 и 12 канавками потери воды меньше, чем у дождевальной насадки, имеющей гладкий дефлекторный конус. Увеличение количества канавок на дефлекторном конусе с 18 и до 24 приводит к увеличению потерь воды на испарение и снос ветром, превышающему величину потерь по сравнению с дождевальной насадкой, имеющей гладкий дефлекторный конус.

Заключение. В ходе проведенных теоретических исследований определены зависимости, описывающие геометрические параметры вращающегося дефлекторного конуса дождевальной насадки, и определены его оптимальные размеры. Проведенные лабораторные исследования доказали, что использование вращающегося дефлекторного конуса на дождевальной насадке позволяет повысить радиус полива в среднем до 25 % по сравнению с дождевальными насадками, имеющими гладкий дефлекторный конус при различных углах наклона вылета струи воды относительно поверхности поля. Снижение угла наклона вылета струи воды, сходящей с вращающегося дефлекторного конуса, с 32 до 20° позволяет повысить ветроустойчивость дождя и снизить его потери на испарение и снос ветром до 9,8 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт Министерства сельского хозяйства Саратовской области. Режим доступа: <https://www.minagro.saratov.gov.ru/>. Дата обращения 18.01.2022 г. Загл. с экрана.
2. Журавлева Л.А. Ресурсосберегающие широкозахватные дождевальные машины кругового действия: дис. ... д-ра техн. наук. Саратов, 2018. 409 с.
3. Рыжко Н.Ф. Совершенствование технических средств и технологии орошения в Поволжье. Саратов, 2007. 110 с.
4. Журавлева Л.А., Попов А.С. Оценка испарения и сноса дождя при дождевании // Исследования в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Саратов, 2016. С. 120–123.
5. Карпова О.В., Ломакин М.А. Потери воды на испарение и унос ветром при поливе ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания // Аграрный научный журнал. 2019. № 6. С. 87–92.
6. Журавлева Л.А., Попов А.С. Оценка испарения и сноса дождя при дождевании // Исследования в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Саратов, 2016. С. 120–123.
7. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. М., КолосС, 2004. 656 с.
8. Надежкина Г.П. Результаты исследований устройств приповерхностного дождя на ДМ «Фрегат» // Научное обозрение. 2011. № 5. С. 192–197.
9. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей СТО АИСТ 11.1. М., 2010. 56 с.

REFERENCES

1. Official site of the Ministry of Agriculture of the Saratov region. URL: <https://www.minagro.saratov.gov.ru/>. Retrieved January 18, 2022 from the screen.
2. Zhuravleva L.A. Resource-saving wide-sprinkling machines of circular action Saratov, 2018. 409 p. (In Russ.).
3. Ryzhko N.F. Improvement of technical means and irrigation technology in the Volga region. Saratov, 2007. 110 p. (In Russ.).
4. Zhuravleva L.A., Popov A.S. Evaluation of evaporation and drift of rain during sprinkling. *Research in construction, heat and gas supply and energy supply*. Saratov, 2016: 120–123. (In Russ.).
5. Karpova O.V., Lomakin M.A. Water losses due to evaporation and wind drift during irrigation with DM “Fregat” with devices for near-surface sprinkling. *The agrarian scientific journal*. 2019; 6: 87–92. (In Russ.).
6. Zhuravleva L.A., Popov A.S. Evaluation of evaporation and drift of rain during sprinkling. *Research in construction, heat and gas supply and energy supply*. Saratov, 2016: 120–123. (In Russ.).
7. Shterenlicht D.V. Hydraulics. Moscow, Kolos, 2004. 656 p. (In Russ.).
8. Nadezhkina G.P. Results of studies of near-surface rain devices on the DM “Fregat”. *Scientific Review*. 2011; 5: 192–197. (In Russ.).
9. Sprinkler machines and installations. Methods for assessing the functional indicators of STO AIST 11.1. M., 2010. 56 p. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 30.01.2023; одобрена после рецензирования 21.02.2023; принята к публикации 1.03.2023.

The article was submitted 30.01.2023; approved after reviewing 21.02.2023; accepted for publication 1.03.2023.