

УДК 631.674.5

В. И. Ляшевский, В. П. Горобей, А. П. Тищенко, Л. Н. Медведева

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ДОЖДЯ

Целью исследований являлось повышение эффективности использования и надежности устройства для создания искусственного дождя с целью полива сельскохозяйственных культур, совмещающего дополнительную обработку растений при различных технологиях их выращивания, путем создания необходимых условий для образования водовоздушной струи за счет обоснования конструктивных и геометрических параметров его конструкции. Проанализирован наиболее распространенный способ полива – дождевание, показана необходимость повышения экономической эффективности конструкций насадок для улучшения качества дождя. Разработаны принципиальная схема дождевателя для инновационных технологий орошения и математическая модель для обоснования основных параметров: диаметров сопла, водоводного и воздуховодного штуцера, диаметра и длины камеры смешивания, а также необходимых давлений воды и воздуха. Предложенный расчет геометрических и технологических параметров устройства для создания искусственного дождя обеспечит повышение эффективности использования и надежности данного устройства, качество искусственного дождя, возможность регулирования равномерности распределения искусственного дождя в пространстве и снижение энергозатрат.

Ключевые слова: орошение, дождеватель, устройство, модель, расчет, сжатый воздух, камера смешивания, сопло, параметры, водовоздушная смесь.

V. I. Lyashevskiy, V. P. Gorobei, A. P. Tishchenko, L. N. Medvedeva

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

SUBSTANTIATION OF DEVICE PARAMETERS FOR CREATING ARTIFICIAL RAIN

The purpose of the research was to increase the utilization and reliability efficiency of the device for creating artificial rain with the aim of irrigating agricultural crops, combining additional treatment of plants at different cultivation technologies by creating the necessary conditions for the formation of a water-jet stream by justifying constructive and geometric parameters of its design. The most common irrigation method – sprinkling – is analyzed, the need to increase the economic efficiency of nozzle designs for improving the quality of rain is shown. A basic sprinkler circuit arrangement for innovative irrigation technologies and a mathematical model for substantiating the main parameters: the nozzle diameters, the water and airway nozzle, the diameter and length of the mixing chamber, as well as the necessary pressures of water and air are developed. The proposed calculation of the geometric and technological parameters of the device for creating artificial rain will ensure an increase in the utilization and reliability efficiency of this device, the quality of artificial rain, the possibility of regulating the uniformity of distribution of artificial rain in space and reducing energy costs.

Key words: irrigation, sprinkler, device, model, calculation, compressed air, mixing chamber, nozzle, parameters, water-air mixture.

Введение. В Российской Федерации до 70 % сельскохозяйственных угодий располагается в недостаточно увлажненных и засушливых районах. Наиболее прогрессивным способом механизированного полива является полив дождеванием. Такой вид орошения наиболее близок к оптимальному попаданию влаги к растению, т. е. природному выпадению осадков. В этом случае увлажняется не только почва, но и листовая поверхность растений, что оказывает благоприятное воздействие на вегетацию растений, снижает температуру и повышает влажность воздуха в жаркие, засушливые периоды. Дождевание – наиболее распространенный способ полива для нормального развития растений и получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур, который не только обеспечивает увлажнение почвы при сохранении ее структуры при небольшой интенсивности, но и оптимизирует приземный слой воздуха, его температуру и влажность.

В Крыму при относительно развитом садоводстве в начале 1990-х гг. по бороздам поливали 39,6 тыс. га садов. При этом из-за недостатка поливной воды фактическая оросительная норма составляла 1,4 тыс. м³/га при кратности полива 2,4. Коэффициент использования поливной воды на системах с поверхностным орошением по бороздам – 0,35–0,60. Следовательно, в данных условиях в садах не была обеспечена стабильная оптимальная влажность в течение вегетации, что явилось одной из основных причин недобора урожая. Способ орошения садов дождеванием применялся на площади 2,5 тыс. га, а капельный – на 400 га. По сравнению с поливом по бороздам эти способы более рациональны. Благодаря им значительно (в 2,0–4,4 раза и более) снижаются трудовые затраты на полив 1 га сада, экономится (за счет снижения непроизводительных потерь) 25–50 % и более поливной воды, обеспечивается оптимальный режим влажности активного слоя почвы и оперативная его корректировка, увеличивается в 2 раза сбор плодов [1].

Главными показателями качества работы поливной техники служат равномерность распределения воды по орошаемой площади без образования поверхностного слоя и сохранение структуры почвы, а также динамическое воздействие капель искусственного дождя на почву и растения. При этом целесообразно поливную норму выдать в возможно более сжатые сроки [2]. При оценке качества искусственного дождя имеет значение такая его характеристика, как количество капельной воды в единице объема дождевой массы. Отношение объема капельной воды в дождевой массе к полному объему этой массы равно отношению интенсивности дождя к скорости падения капель и связывает основные параметры искусственного дождя: объем дождевой массы, объем воды, заключенный в этой массе, интенсивность дождя и скорость падения капель. Капля будет устойчивой до тех пор, пока давление воздуха на нее будет меньше, чем давление внутри капли, вызванное силами поверхностного натяжения [3]. Известно, что мелкодисперсное дождевание снижает температуру растений на 6–12 °С за счет равномерно распределенной по растению влаги, что резко увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур. Наиболее перспективны системы с мобильными туманообразующими установками, в которых диспергирование жидкости и подача ее осуществляются за счет высокоскоростного потока воздуха [4].

При строительстве дождевальных систем необходимо стремиться к всемерному уменьшению их стоимости, предусмотрев возможность распределения удобрений с поливной водой, изысканию технических средств и приемов для распределения с поливной водой химических средств защиты растений [5]. Переоборудование поливной техники низконапорными насадками позволяет снизить энергоемкость дождевания на 16–50 % при значительном повышении эффективности использования водных ресурсов [6].

Анализируя характеристики существующих дождевальных машин, можно сделать вывод о том, что дальнейшее их развитие с хорошими показателями материалоемкости и стоимости оборудования следует вести в направлении уменьшения энергозатрат, разработки технологий орошения и конструкций дождевальной техники, обеспе-

чивающих при экономически целесообразном уровне производительности экономии воды, энергии, материально-технических и трудовых ресурсов без негативного воздействия на почву и окружающую среду.

Материал и методы. Анализ конструкций дождевальных машин, технологического оборудования и насадок для получения искусственного дождя. Математическое моделирование для обоснования геометрических и технологических параметров устройства для создания искусственного дождя с целью повышения эффективности использования и надежности устройства, качества искусственного дождя, создания возможности регулирования равномерности распределения искусственного дождя в пространстве и снижения энергозатрат.

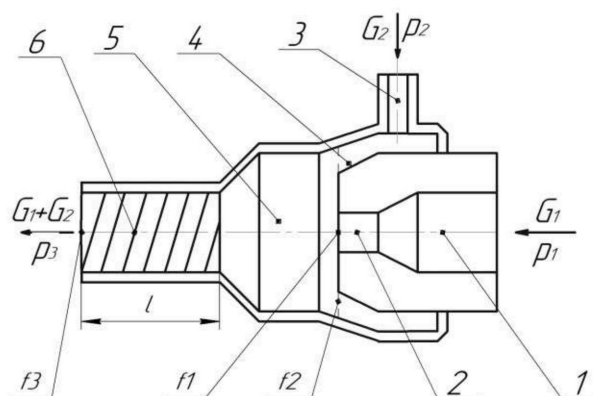
Результаты и обсуждение. Решения по совершенствованию технических средств для орошения направлены на создание высокопроизводительной поливной техники, которая обеспечивала бы искусственный дождь, приближающийся по своим параметрам к качественным характеристикам идеала – естественных дождей средней силы, с каплями, падающими практически вертикально, при среднем диаметре 1,0–1,5 мм, с интенсивностью до 25 мм/мин и равномерностью распределения по площади не менее 0,9 [7]. Главной отличительной особенностью принципиальной схемы и конструкции дождевальных машин является принцип образования дождя (тип насадок) [8].

В секторных насадках разбрызгивание водяной струи на капли происходит за счет ее попадания на дефлектор с образованием сплошной пленки с последующим ее распадом на капли разного диаметра и, соответственно, различной скорости.

Недостатком таких насадок является ограниченная возможность регулирования интенсивности полива и размеров капель воды.

Перспективным с точки зрения расширения диапазона регулирования размеров капель воды, разбрызгиваемых дождевателем, является использование в их конструкции аэраторов с эффектом эжекции. Такие устройства при простоте конструкции позволяют получать водовоздушную смесь, легко распадающуюся на капли при выходе из сопла дождевателя в воздух, без дополнительных затрат механической энергии [9].

Принципиальная схема предлагаемого дождевателя с аэратором показана на рисунке 1.



1 – штуцер подвода воды; 2 – сопло; 3 – штуцер подвода воздуха;
4 – кольцевой зазор; 5 – приемная камера; 6 – камера смешивания

Рисунок 1 – Принципиальная схема дождевателя с аэратором

Вода по водоводному штуцеру 1 подводится к соплу 2, в котором ее движение ускоряется, и выбрасывается в приемную камеру 5, а из нее попадает в камеру смешивания 6 с направляющими. Одновременно через воздухопроводный штуцер 3 подается воздух, который проходит через зазор 4, приемную камеру 5 и поступает в камеру смешивания 6. Водовоздушная смесь из камеры смешивания 6 через рабочее сопло выбрасывается из дождевателя.

Основными исходными данными для расчета дождевателя являются объемные расходы воды Q_1 и воздуха Q_2 , а следовательно, объемный коэффициент инжекции $i_o = Q_2/Q_1$.

Обоснование основных параметров дождевателя заключается в определении диаметров сопла 2 водоводного штуцера 1, воздуховодного штуцера 3, диаметра и длины камеры смешивания 6, а также необходимых давлений воды и воздуха.

Согласно закону сохранения импульсов, выражающему равенство изменения количества движения воды и воздуха изменению импульсов сил давления потоков воды и воздуха на входе и водовоздушной смеси на выходе из дождевателя, запишем уравнения:

$$\begin{cases} \frac{G_1}{g} v_1 + \frac{G_2}{g} v_2 - \frac{G_1 + G_2}{g} v_3 = p_3 f_3 - (p_1 f_1 + p_2 f_2) \\ G_C = G_1 + G_2 \\ f_3 = f_1 + f_2 \end{cases}, \quad (1)$$

где v_1, v_2, v_3 , м/с, p_1, p_2, p_3 , Н/м², f_1, f_2, f_3 , м², – соответственно скорости, статические абсолютные давления и площади поперечных сечений потоков воды и воздуха во входном сечении камеры смешивания и водовоздушной смеси в выходном сечении этой камеры;

G_1, G_2, G_C – массовые расходы соответственно воды, воздуха и водовоздушной смеси.

Можно считать, что давление воды p_1 на входе в водяной штуцер 1 равно ее давлению на выходе из сопла 2 сечением f_1 , а давление воздуха p_2 равно его давлению в кольцевом зазоре 4 сечением f_2 , тогда из уравнений (1) получим выражение для определения необходимой скорости истечения воды из сопла водяного штуцера:

$$v_1 = \frac{g}{G_1} \left[(p_3 - p_2) f_3 - \frac{G_2}{g} v_2 + \frac{G_1 + G_2}{g} v_3 \right].$$

Величина сечения f_3 определяется по значению $[f_3 / f_1]_{\text{опт}}$, а скорость v_3 в конце камеры смешивания определяется по величине сечения f_3 и расходу водовоздушно-го потока Q_3 :

$$v_3 = \frac{Q_3}{f_3} = \frac{Q_1 + Q_2}{f_3}.$$

Величина скорости v_2 воздуха находится по формуле:

$$v_2 = \frac{Q_2}{f_2},$$

а f_1 определяется по формуле:

$$f_1 = \frac{Q_1}{v_1}.$$

Скорость v_1 находим методом последовательных приближений.

Необходимое давление воды определяется по следующим выражениям:

$$\begin{aligned} p_1 &= \Delta p_1 + p_2; \\ \Delta p &= k \left(\frac{v_2}{2g} \rho_1 \right), \end{aligned}$$

где Δp_1 – необходимый перепад давлений между потоком воды и потоком воздуха, Н/м²;

$k = \varphi_B^{-2}$ – коэффициент, учитывающий потерю скорости потока в рабочем сопле;

φ_B – коэффициент скорости рабочего сопла, принимаемый равным 0,95;

ρ_1 – плотность воды, кг/м³.

Плотность смешанного водовоздушного потока:

$$\rho_3 = \frac{G_C}{Q_C} = \frac{\rho_1 Q_1 + \rho_2 Q_2}{Q_1 + Q_2},$$

где ρ_1 и ρ_2 – соответственно плотность воды и воздуха, кг/м³.

Основные размеры дождевателя, в соответствии с рекомендациями для струйных аппаратов [9], определяются из следующих выражений.

Отношение сечений камеры смешивания f_3 к сечению сопла f_1 определяется из уравнения:

$$\left(\frac{f_3}{f_1} \right)_{\text{опт}} \approx \frac{\Delta p_1}{\Delta p_3},$$

где Δp_1 – располагаемый перепад давления воды;

Δp_3 – перепад давлений, создаваемый эжектором.

Длина l камеры смешивания должна быть достаточной для завершения смешивания. По данным исследований П. Г. Каннингэма, Р. Ж. Допкина [10], оптимальная длина камеры смешивания находится из соотношения:

$$\left(\frac{l}{d_1} \right)_{\text{опт}} = 15 \left(\frac{f_3}{f_1} - 1 \right).$$

Уравнение характеристик водовоздушного дождевателя согласно Е. Я. Соколову и др. [9] имеет вид:

$$\frac{\Delta p_3}{\Delta p_1} = 1,75 \frac{f_1}{f_3} - 1,07 \left(\frac{f_1}{f_3} \right)^2 (1 + \kappa_0)^2. \quad (2)$$

Из уравнения (2) можно определить основной геометрический параметр дождевателя f_3/f_1 по заданным давлениям воды, воздуха и соотношению их объемных расходов (коэффициенту инжекции κ_0).

Выводы. Приведенная модель позволяет в перспективе разработать принципиальную конструкцию макетного устройства для получения искусственного дождя регулируемой дисперсности, проверить ее на адекватность при создании в дальнейшем экспериментального и опытного образцов дождевателей для современных ресурсосберегающих технологий орошения сельскохозяйственных культур.

Список использованных источников

- 1 Экономика орошаемого земледелия / под ред. В. И. Жминько. – 2-е изд., доп. и перераб. – Киев: Урожай, 1983. – 160 с.
- 2 Кузнецова, Е. И. Орошаемое земледелие: учеб. пособие / Е. И. Кузнецова, Е. Н. Закабунина, Ю. Ф. Снопич. – М.: РГАЗУ, 2012. – 117 с.
- 3 Лебедев, Б. М. Дождевальные машины / Б. М. Лебедев. – М.: Машиностроение, 1977. – 244 с.
- 4 Справочник мелиоратора / В. А. Анисимов [и др.]. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 235 с.
- 5 Винникова, Н. В. Механизация и автоматизация дождевальных систем в соци-

алистических странах / Н. В. Винникова. – М.: Всерос. науч.-исслед. ин-т информ. и техн.-экон. исслед. по сел. хоз-ву, 1970. – 118 с.

6 Droplet size distribution the water application with low-pressure sprinklers. – 1985. – 243 p.

7 Поспелов, А. М. Структура дождя при искусственном дождевании культур / А. М. Поспелов, Ф. Г. Абрамов // Дождевание: сб. науч. тр. / ВНИИГиМ. – М., 1940. – Т. 3. – С. 117–186.

8 Наумов, Ю. И. Техническое обслуживание и ремонт поливной техники / И. Ю. Наумов. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 173 с.

9 Соколов, Е. Я. Струйные аппараты / Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.

10 Каннингэм, П. Г. Длина участка разрушения струи и смешивающей горловины жидкоструйного насоса для перекачки газа / П. Г. Каннингэм, Р. Ж. Допкин // Теоретические основы инженерных расчетов. – М.: Мир, 1974. – № 3. – С. 128–141.

УДК 626.01:626.21:627.51

А. В. Петроченко

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина

ПРОБЛЕМА ДЕФИЦИТА ВОДЫ И ПАВОДКОВ НА УКРАИНЕ

Целью исследований является обоснование концептуальных направлений комплексного решения проблемы воды на Украине – дефицита воды в юго-восточных областях Украины и ее избытка в виде периодически возникающих паводков в западном Карпатском регионе. В статье приведены основные данные о собственных водных ресурсах Украины. Раскрыты причины снижения объемов орошения на Украине, предложены расчетные зависимости для корректировки коэффициента полезного действия оросительных каналов в условиях уменьшения объемов потребления воды из каналов для орошения и хозяйственно-питьевого водоснабжения. Предложены основные концептуальные направления возрождения орошения на Украине. Приведена статистика прохождения катастрофических паводков на Западной Украине за прошедшие годы. Предложены основные концептуальные направления превентивной инженерной защиты от паводков в бассейнах рек. В основу комплексного решения проблемы воды на Украине положен интегрированный подход к управлению водными ресурсами по функционально-стоимостным принципам.

Ключевые слова: водные ресурсы, орошение, оросительный канал, коэффициент полезного действия канала, паводок, защита от паводков, бассейн реки.

A. V. Petrochenko

Kiev National University of Construction and Architecture, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kiev, Ukraine

THE PROBLEM OF WATER AND FLOOD DEFICIT IN UKRAINE

The aim of the research is to substantiate the conceptual directions of the integrated solution of the general water problem in Ukraine – the water deficit in the southeastern regions of Ukraine and its excess in the form of recurrent floods in the western Carpathian region. The basic data on Ukraine's own water resources are given. The reasons for the decrease in irrigation volumes in Ukraine are disclosed, the calculation formulas for the correction of the efficiency of irrigation canals under conditions of a decrease in the volume of water consumption from canals for irrigation and domestic and drinking water supply are proposed. The main conceptual directions of irrigation revival in Ukraine are proposed. The sta-