

Д. С. Шахрай

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: dzmitry.shakhray@mail.ru*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ НАСАДОК С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ИСКУССТВЕННОГО ДОЖДЯ

В статье рассмотрено перспективное направление развития дождевальной техники. Теоретически обоснована конструкция дождевальной насадки с водовоздушным эжектором для регулирования параметров искусственного дождя.

Ключевые слова: орошение сельскохозяйственных культур, дождевание, дождевальная насадка, водовоздушный эжектор, параметры искусственного дождя.

D. S. Shakhray

*Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: dzmitry.shakhray@mail.ru*

THEORETICAL INVESTIGATIONS SPRINKLER NOZZLES WITH ADJUSTABLE PARAMETERS OF ARTIFICIAL RAIN

The article deals with the state and prospects of further development of sprinkler equipment. Theoretically justified the design of sprinkler with water-air ejector for obtaining artificial rain with adjustable droplet dispersion and irrigation intensity is proposed.

Keywords: crop irrigation, sprinkler irrigation, sprinkler, water-air ejector, parameters of artificial rain

Введение

В настоящее время все большую актуальность приобретают вопросы, связанные с механизацией процесса орошения, решение которых направлено на повышение продуктивности сельского хозяйства. Перспективным является применение широкозахватной дождевальной техники, позволяющее значительно повысить производительность труда за счет высокого уровня механизации и автоматизации. Такие машины осуществляют различные виды полива и имеют ряд преимуществ перед другими способами орошения по агротехнологическим и эксплуатационным показателям при определенном усовершенствовании (таблица 1).

Для расширения спектра применения таких машин с перспективой развития систем точного земледелия важной является разработка систем с регулируемыми характеристиками искусственного дождя, которые позволят в зависимости от вида полива, структуры почвы, орошаемой культуры менять интенсивность и диаметр капель. При этом равномерность полива должна соответствовать агротехническим требованиям. Согласно рекомендациям [3], коэффициент равномерности по Христиансену для широкозахватной дождевальной техники должен находиться в пределах 0,85–0,89.

В [1] отмечается, что важной характеристикой искусственного дождя является диаметр капель, который влияет на допустимую интенсивность дождя, повреждаемость растений, разрушение почвенных агрегатов, величину потерь дождя на испарение. Как указано в [4], на практике, помимо размера капель, необходимо оценивать и силовое воздействие капель на почву и растения. Также следует учитывать, что основные характеристики искусственного дождя не распределяются равномерно, и повышение равномерности полива является одной из важных задач при проектировании оросительной техники.

Таблица 1. – Сравнение основных способов орошения [1, 2]

Наименование показателей	Способ орошения					
	Аэрозольное	Дождевание	Поверхностное	Внутрипочвенное	Капельное	Субиригация
Увлажнение почвы	нет	да	да	да	да	да
Увлажнение воздуха	да	да	частично	нет	нет	нет
Противозаморозковые поливы	да	да	нет	нет	нет	нет
Внесение удобрений	частично	да	частично	да	да	нет
Влагозарядка	нет	частично	да	частично	частично	частично
Орошение сточными водами	нет	да	да	да	нет	нет
Промывка от солей	нет	да	да	нет	нет	нет
Провокационные поливы	нет	да	да	нет	нет	нет
Влияние ветра на равномерность	да	да	нет	нет	нет	нет
Орошение полей со сложной топографией	да	да	нет	да	да	нет
Контроль точного расхода воды	да	да	нет	да	да	нет

Основная часть

Анализируя данные [5] о разрушающем действии дождя на структуру почвы (таблица 2), можно сделать вывод, что снижение диаметра капель при одинаковой интенсивности позволяет выдавать большую поливную норму без образования поверхностного стока и луж, при этом снижается разрушение почвенных агрегатов, приводящее к образованию корки на поверхности.

Таблица 2. – Влияние диаметра капель на разрушение почвенных агрегатов

Диаметр капель, мм	Интенсивность дождя, мм/мин	Разрушение агрегатов, %
1,0	0,5	5,4
2,3	0,5	11,2
5,2	0,5	14,0

Значение допустимой интенсивности дождя определяют, исходя из заданной поливной нормы, учитывая состав почвы, диаметр капель, уклон участка. В [6] приведены рекомендованные значения интенсивности дождя, обеспечивающие сохранность структуры почвы (таблица 3).

Таблица 3. – Влияние диаметра капель на разрушение почвенных агрегатов

Механический состав почвы	Уклон местности			
	до 0,02	0,02–0,05	0,05–0,08	0,08–0,12
Тяжелые	0,08–0,21	0,06–0,08	0,03–0,06	0,02–0,03
Средние	0,21–0,42	0,17–0,21	0,13–0,17	0,07–0,13
Легкие	0,50–0,83	0,32–0,50	0,21–0,32	0,17–0,21

В [3] рекомендуется придерживаться значений интенсивности до 0,25, что, согласно классификации, приведенной в [7], соответствует промежутку от морозящего до сильного дождя (интенсивность от 0,006 до 0,250). Снижение диаметра капель искусственного дождя позволяет повысить допустимую поливную норму и интенсивность [3].

Диаметр капель определяется агротехническими и экологическими требованиями. Однако в различных литературных источниках [1, 3, 8, 9] данные значений оптимальных размеров капель разные и варьируют от 0,4 до 2 мм.

В [8, 10, 11] рекомендуется в качестве критерия крупности капель брать соотношение H/d , где H – напор воды, а d – диаметр отверстия, из которого вылетает струя. Значения H/d для орошения трав на лугах и пастбищах – 1500–1600, для полива взрослых сельскохозяйственных культур – 1700–1800, для полива нежных растений и рассады – 2400–2600. Это свидетельствует о целесообразности изменения диаметра капель.

Процесс образования капель искусственного дождя может быть связан с числом Фруда, которое является одним из критериев подобия в гидравлике. Если принять в качестве характерной скорости скорость истечения из отверстия, а в качестве характерного размера диаметр отверстия, то в соответствии с [8] можно записать:

$$Fr = 2\varphi^2 \frac{H}{d}, \quad (1)$$

где φ – коэффициент скорости.

Число Фруда по формуле (1) характеризует зависимость диаметра капель от параметров потока рабочей жидкости.

Из графиков зависимости числа Фруда от диаметра сопла при различных значениях напора воды (рисунок 1) видно, что при больших напорах влияние диаметра сопла на число Фруда значительно, и можно сделать вывод о возможности регулирования диаметра капель путем изменения значения диаметра отверстия. Чем больше число Фруда, тем меньше диаметр капель будет получен.

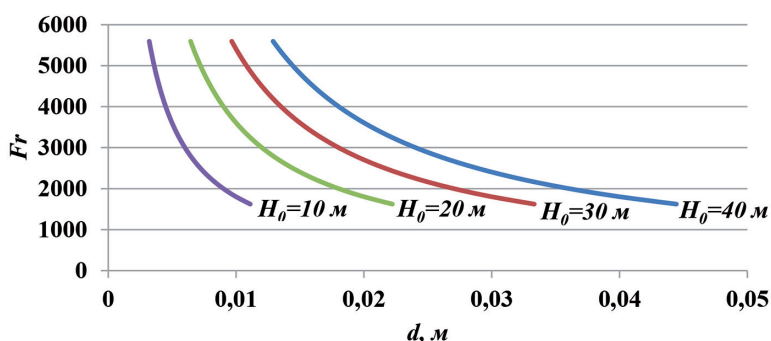


Рисунок 1. – Зависимости числа Фруда от диаметра сопла при значениях напора воды 10, 20, 30, 40 м

Известны различные способы регулирования характеристик искусственного дождя, которые связаны с изменением параметров работы дождевальных насадок. Перспективным является применение дождевальных насадок с регулируемыми параметрами дождя (рисунок 2), работающих за счет использования водовоздушного эжектора [12].

Регулирование интенсивности полива и диаметра капель в таких насадках осуществляется за счет изменения коэффициента подсоса:

$$k_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{п}}}{Q_{\text{р}}}. \quad (2)$$

Известно, что параметры дождя, такие как интенсивность полива и дисперсность капель, зависят от ряда основных факторов, один из которых – средняя скорость V истечения струи на дефлектор.

Если коэффициент подсоса $k_{\text{п}} = 0$, то есть подача воздуха в поток рабочей жидкости с расходом $Q_{\text{р}}$ отсутствует, тогда из уравнения расхода скорость истечения

$$V = \frac{Q_{\text{р}}}{\omega_{\text{г}}}, \quad (3)$$

где $\omega_{\text{г}}$ – площадь живого сечения потока на выходе из горловины, которая определяется по формуле:

$$\omega_{\text{г}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{г}}^2}{4},$$

где $d_{\text{г}}$ – внутренний диаметр цилиндрической горловины эжектора, мм.

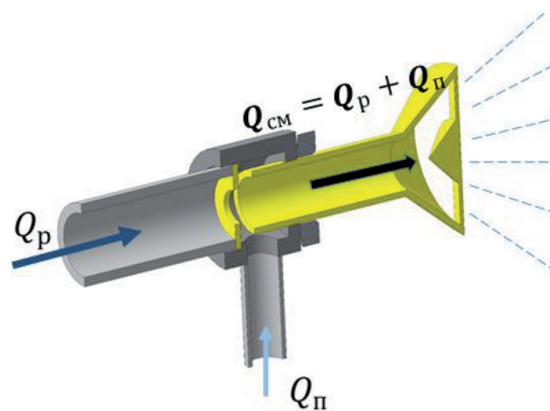


Рисунок 2. – Дождевальная насадка с регулируемыми параметрами дождя

При подсосе воздуха с расходом $Q_{\text{п}}$ скорость истечения водовоздушной $V_{\text{см}}$ струи будет определяться уравнением:

$$V_{\text{см}} = \frac{Q_{\text{см}}}{\omega_{\text{г}}} \approx \frac{Q_{\text{р}} + Q_{\text{п}}}{\omega_{\text{г}}},$$

или с учетом уравнений (2) и (3):

$$V_{\text{см}} \approx V_{\text{р}} \cdot (1 + k_{\text{п}}). \quad (4)$$

Таким образом, скорость истечения водовоздушной струи будет увеличиваться с увеличением коэффициента подсоса $k_{\text{п}}$.

При выборе соответствующей точки отсчета скоростной напор $H_{\text{в}}$ можно определить по формуле:

$$H_{\text{в}} = \frac{\alpha \cdot V^2}{2g},$$

или, учитывая формулу (4):

$$H_{\text{в}} = \frac{\alpha \cdot (V_{\text{р}} \cdot (1 + k_{\text{п}}))^2}{2g}, \quad (5)$$

где α – коэффициент Кориолиса (если профиль скорости является равномерным, можно принять $\alpha = 1$); g – ускорение свободного падения, м/с².

Результаты исследований

Используя (5), можно исследовать влияние коэффициента подсоса на число Фруда (рисунок 3). Исходные параметры потока: расход рабочей жидкости через насадку постоянный $Q_{\text{р}} = 1,6$ л/с, диаметр горловины $d_{\text{г}} = 10$ мм, коэффициент подсоса изменяется в пределах $k_{\text{п}} = 0-2,5$.

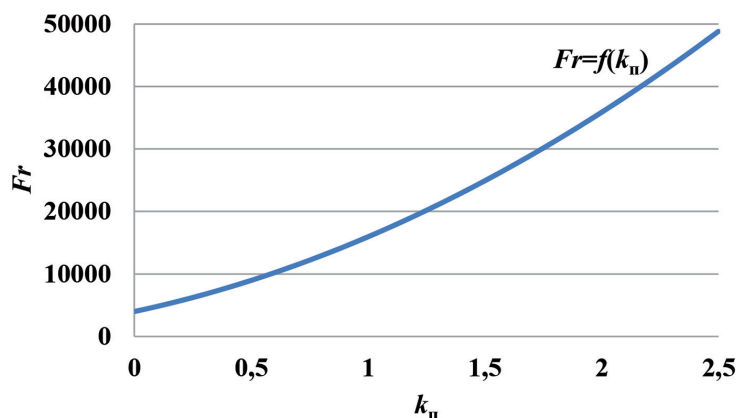


Рисунок 3. – Зависимость числа Фруда от коэффициента подсоса

Соответственно, учитывая то, что число Фруда оказывает влияние на диаметр капель, анализируя представленный график, можно сделать вывод о возможности регулирования характеристик искусственного дождя в широком диапазоне. Применение водовоздушного эжектора оправдано еще и малыми затратами энергии и простотой конструкции, что открывает большие перспективы его применения в дождевальной технике.

При образовании искусственного дождя получаются капли различного размера, поэтому при расчетах используют средний диаметр (медианный), который можно рассчитать по формуле, предложенной в [13]:

$$d_k = \frac{K}{v_0} \sqrt{d_c}, \quad (6)$$

где d_c – диаметр струи, мм; v_0 – скорость истечения, м/с; K – опытный коэффициент, в среднем равный 25,5.

Если учесть (4) и допустить, что $d_c \approx d_r$, получим формулу для расчета среднего диаметра капель, создаваемого усовершенствованной дождевальной насадкой с регулируемыми параметрами дождя:

$$d_k = \frac{K}{V_p \cdot (1 + k_n)} \sqrt{d_r}. \quad (7)$$

Построив зависимость диаметра капель от коэффициента подсоса (рисунок 4), можно убедиться в том, что при заданных параметрах потока диаметр капель изменился в пределах 3,95–1,13 мм.

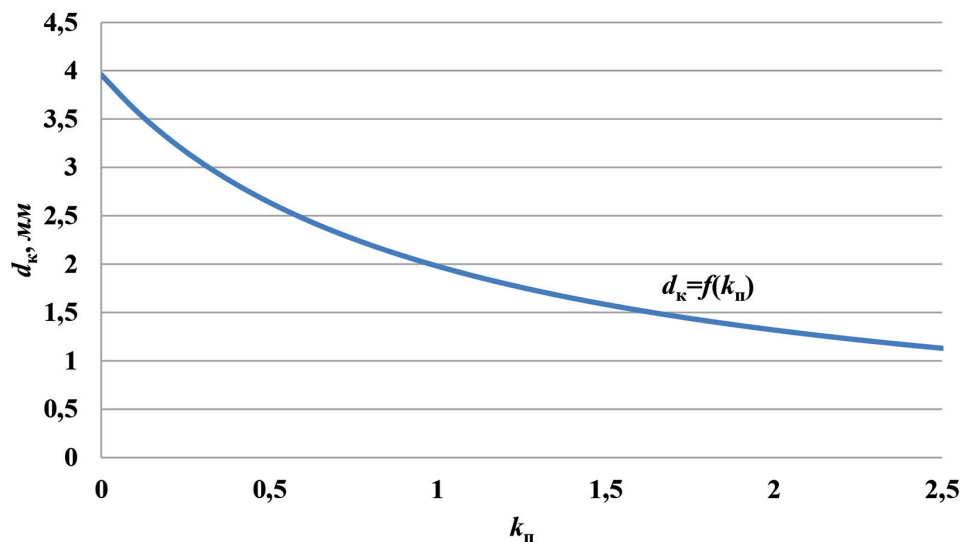


Рисунок 4. – Зависимость среднего диаметра капель от коэффициента подсоса

Стоит, однако, учесть недостаток формул (6) и (7) – значение диаметра капель получается усредненным, что характеризует дисперсность жидкости далеко не полностью. При распаде потока жидкости после насадки образуется большое число капель различного размера, и при одном и том же значении среднего диаметра капель возможно различное распределение капель по размерам.

Таким образом, возникает необходимость в экспериментальных исследованиях диаметров капель, образованных такими насадками, и распределения капель по размерам при изменении коэффициента подсоса, а также в применении методов стохастического моделирования для планирования интенсивности и равномерности орошения по рабочей площади насадки.

Заключение

1. Из анализа литературных источников сделан вывод о том, что одним из важнейших параметров искусственного дождя является диаметр капель, который непосредственно влияет на значение интенсивности дождя и равномерность орошения. При этом значение диаметра капель необходимо изменять в зависимости от структуры почвы, орошаемой культуры и стадии роста растений.

2. Для анализа работы насадок с регулируемыми параметрами дождя и установления взаимосвязи между определяющими параметрами, которые влияют на диаметр капель, проведен теоретический анализ, в результате которого получены формулы для определения скоростного

напора H_v и среднего диаметра капель d_k для насадок с регулируемыми параметрами дождя, а также зависимости: а) числа Фруда Fr от диаметра d_c сопла при значениях напора воды H ; б) числа Фруда Fr от коэффициента подсоса k_n ; в) диаметра капель d_k от коэффициента подсоса k_n .

3. Полученные результаты могут быть использованы для обоснования конструкции дождевальных насадок с регулируемыми параметрами дождя, а также при исследовании процесса регулирования дисперсности жидкости для систем орошения сельскохозяйственных культур.

Литература

1. Лихацевич, А. П. Орошаемое плодовоовощеводство: учеб. пособие / А. П. Лихацевич, М. Г. Голченко; под ред. А. П. Лихацевича. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 287 с.
2. Виды и способы орошения // Агропромышленный портал России [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://agro-portal24.ru/melioracii/4557-vidy-i-sposoby-orosheniya-chast-2.html>. – Дата доступа: 13.05.2018.
3. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справ. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 264 с.
4. Исаев, А. П. Гидравлика дождевальных машин / А. П. Исаев. – М.: Машиностроени, 1973. – 216 с.
5. Беляев, В. В. Дождевальные машины / В. В. Беляев, Б. М. Лебедев. – М., 1957. – С. 31–35.
6. Степанов, П. М. Справочник по гидравлике для мелиораторов / П. М. Степанов, И. Х. Овчаренко, Ю. А. Скобельцын. – М.: Колос, 1984. – 207 с.
7. Губер, К. В. Требования, предъявляемые к дождевальной технике / К. В. Губер, Г. П. Лямперт, М. Ю. Храбров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1998. – № 8. – С. 34–35.
8. Лебедев, Б. М. Дождевальные машины / Б. М. Лебедев. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 244 с.
9. Васильев, С. М. Дождевание / С. М. Васильев, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 352 с.
10. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы / Н. И. Кленин, В. А. Сакун. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1980. – 671 с.
11. Многоопорные дождевальные машины / С. Х. Гусейн-заде [и др.]. – М.: Колос, 1984. – 191 с.
12. Кравцов, А. М. Дождевальная насадка с регулируемыми гидравлическими параметрами / А. М. Кравцов, Д. С. Шахрай, С. С. Попко // Агропанорама. – 2017. – № 5. – С. 9–15.
13. Голченко, М. Г. Оросительные мелиорации / М. Г. Голченко. – Минск: Вышэйшая школа, 1989. – 215 с.

УДК 631.362.3–52:635.21

Поступила в редакцию 11.07.2018

Received 11.07.2018

А. С. Воробей, В. В. Голдыбан, М. И. Курилович

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: labpotato@mail.ru

К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ ПО ВНУТРЕННИМ ДЕФЕКТАМ

В статье приведен анализ внутренних дефектов, как имеющих в клубнях картофеля, так и в других фруктах и овощах. Также предложены некоторые методы идентификации клубней для улучшения их качества.

Ключевые слова: внутренние дефекты, клубни картофеля, инфракрасная спектроскопия, гиперспектральное визуальное изображение, оптическая сортировка, системы технического зрения.

S. Verabei, V. V. Goldyban, M. I. Kurilovitch

RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: labpotato@mail.ru

BY CREATE SYSTEMS IDENTIFICATION THE PLANTS OF POTATOES FOR INSIDE DEFECTS

In article was gives analyze inside defects, as having in plants of potatoes, such and another fruit and vegetables. Also prepper some methods its identification for improve its quality.

Keywords: inside defects, potato tubers, infrared spectroscopy, hyperspectral visual imaging, optical sorting, vision systems.