

2. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур – решающий фактор в снижении затрат производственных ресурсов / И.Н. Шило, Т.А. Непарко, Д.А. Жданко // *Агропанорама*. – 2020. – № 5 (141). – С. 35–39.

3. Непарко, Т.А. Прогнозирование рационального состава машинно-тракторных агрегатов / Т.А. Непарко // *Агропанорама*. – 2004. – № 2. – С. 30–36.

УДК 631.347

А.В. Русинов, канд. техн. наук, доцент, **Д.А. Русинов**, аспирант,
*ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет
им. Н.И. Вавилова», г. Саратов*

В.В. Слюсаренко, д-р техн. наук, профессор,
ОАО «Чистая Планета», г. Саратов

А.П. Акпасов, канд. техн. наук,
*ФГБУН «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники
и мелиорации», г.Энгельс*

СОХРАНЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ ПУТЕМ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДОЖДЯ ДМ «ФРЕГАТ»

Ключевые слова: почва, уплотнение почвы, энергоёмкость дождя, дефлекторные насадки, дождеобразование, крупность капель, распад пленки, рассекатель.

Keywords: soil, soil compaction, energy intensity of rain, deflector nozzles, rain formation, droplet size, film disintegration, divider.

Аннотация: Получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур в Саратовском Заволжье невозможно без полива. Но применяемые на дождевальных машинах дождеобразующие устройства создают крупнокапельный дождь приводящий к уплотнению почвы и нарушению ее физико-механических свойств, что приводит к снижению урожая сельскохозяйственных культур и повышению энергетических затрат при обработке почвы. С целью минимизации воздействия дождя на почву представлено техническое решение в виде дождевальной насадки имеющей дефлекторный конус с углублением выполненным по окружности, который обеспечивает разрушение целостности сходящей пленки воды, лучший распыл и меньшие капли дождя. Для доказательства работы предлагаемой конструкции представлены теоретические зависимости описывающие процесс формирования дождя и характер его распыла. Применение предлагаемой дождевальной насадки позволит снизить крупность капель дождя и выдавать оптимальные нормы полива до стока на тяжелых почвах.

Abstract: Obtaining high yields of agricultural crops in the Saratov Zavolzhye is impossible without irrigation. But the rain-forming devices used on sprinklers create large-drop rain that leads to compaction of the soil and violation of its physical and mechanical properties, which leads to a decrease in the yield of agricultural crops and an increase in energy costs during tillage. In order to minimize the impact of rain on the soil, a technical solution is presented in the form of a sprinkler nozzle with a deflector cone with a recess made around the circumference, which ensures the destruction of the integrity of the descending water film, better spray and smaller raindrops. To prove the work of the proposed design, theoretical dependences describing the process of rain formation and the nature of its spray are presented. The use of the proposed sprinkler nozzle will reduce the size of raindrops and provide optimal irrigation rates before runoff on heavy soils.

Обеспечение полива сельскохозяйственных культур значительно увеличивает их качественные показатели и урожайность. В настоящее время полив в большей мере реализуется поливными машинами. Совершенствование их конструкции позволяет повысить их эффективность и предотвратить нежелательные экологические последствия вызванные в чрезмерном уплотнении почвы в результате ударного воздействия капли дождя. В этой связи совершенствование конструкций дождеобразующих устройств является наиболее актуальной. Одним из основных направлений развития дождеобразующих устройств является совершенствование существующих и разработка новых конструкций дефлекторных насадок при этом процесс истечения и дробления струй жидкости на капли заслуживает особого внимания.

При поливе сельскохозяйственных культур дождевальными машинами «Фрегат» (ДМ «Фрегат») с установленными среднеструйными аппаратами величина крупности капель дождя изменяется от 0,8 до 1,8 мм в начале струи и достигает диаметра 2,5–3,5 мм в конце струи. Установка дефлекторных насадок позволяет снизить размер капель дождя, которые составят величину от 0,54 до 0,87 мм [1, 2]. Во время полива капли дождя поднимаются на высоту 5-8 м и падают на землю с высокой скоростью, что приводит к уплотнению почвы сверх оптимального значения до 35 %. Было установлено, что скорость падения капель для дождевальных аппаратов колеблется в диапазоне 6...12 м/с, а для дефлекторных насадок – 3 м/с [3, 4]. Интенсивность дождя изменяется вдоль трубопровода машины «Фрегат» от 1,2 до 2,6 мм/мин [5]. Как видно дождь имеющий большой размер капель падающих на почву с высокой интенсивностью негативно воздействует на почву и произрастающее растение, снижая ее плодородие и урожайность сельскохозяйственных культур.

Зная, что норма полива до стока для почв среднего и тяжелого механического состава Саратовского Заволжья составляет 230–300 м³/га, производить полив с оптимальными нормами без стока очень затруднительно. Величина стока в середине и конце вегетационного периода достигает 20–30 %, а глубина промачивания составляет всего 20–30 см [5]. В связи с вышеизложенным, необходимо снизить энергетическое воздействие дождя на почву за счет применения дождевальных дефлекторных насадок измененной формы и конфигурации обеспечивающей снижение крупности капель дождя.

Ранее предполагалось, что кавитация, являющаяся причиной разрыва сплошности струи и возникает в жидкостях, как только местное давление падает ниже давления насыщенных паров. Однако из уравнения Бернулли следует, что кавитация должна возникать при $Q < Q_i$. Предполагалось также, что струи жидкости в воздухе имеют гладкие границы.

Тем не менее, как показывают многие исследования, наиболее убедительна в настоящее время теория, согласно которой дробление жидкости происходит в результате развития поверхностных колебаний.

Следовательно, очень низкая равномерность и высокая интенсивность полива дефлекторных насадок еще и еще раз свидетельствует, о том, что резерв в улучшении качества дождя путем совершенствования конструкций дождеобразующих устройств имеется.

Учитывая, что из дождевального аппарата вода вылетает струей, а из насадки в виде пленки растекающейся струи по конусу раскателя, будем рассматривать процесс дробления на капли, как дробление пленки. При этом очень важно знать толщину пленки сходящей с дефлектора.

Для определения толщины пленки на дефлекторе и диаметра сопла насадки и диаметра основания дефлекторного конуса выделим малый объем жидкости диаметром $d_{отв}$, рис. 1. Допуская, что по мере прохождения выделенного объема жидкости по образующей конуса его объем не изменяется и распределяется равномерно по всему конусу, то на выходе с конуса дождевальной насадке мы получим кольцо жидкости с толщиной δ , но такого же объема что и на выходе из насадки. Тогда объемы жидкости на выходе из сопла насадки $V_{жн}$ и на сходе с дефлекторного конуса $V_{жк}$ определим как

$$V_{жн} = \frac{\pi d_{отв}^2 \ell_v}{4}, \text{ мм}^3, \quad (1)$$

$$V_{жк} = \frac{\pi (D_k + \delta)^2 \ell_v}{4} - \frac{\pi D_k^2 \ell_v}{4}, \text{ мм}^3, \quad (2)$$

где D_k и $d_{отв}$ – соответственно диаметры основания дефлекторного конуса и выходного отверстия насадки, мм; δ – толщина пленки воды на выходе с дефлекторного конуса, мм; ℓ_v – высота столба объема воды, мм.

Выполняя вышеизложенное условие и поделив полученное уравнение на $\pi\ell\sqrt{4}$, и сделав математические преобразования, получим зависимость между диаметрами дефлекторного конуса и выходного отверстия насадки

$$D_{\kappa} = \frac{d_{oms}^2 - \delta^3}{2\delta}, \text{ мм.} \quad (3)$$

Для определения диаметра выходного отверстия насадки воспользуемся зависимостью расхода воды через насадку, который может быть определен по формуле истечения из отверстия:

$$Q = \mu F \sqrt{2 g H} \quad \text{или} \quad Q = \mu F \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (4)$$

где μ – коэффициент расхода, зависящий от формы входных кромок отверстия, принимается равным $\mu=0,8$; F – площадь отверстия, м^2 ; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; H – напор перед насадкой, м ; ρ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; ΔP – величина перепада давления, м .

Принимая во внимания, что отверстие имеет круглую форму, то искомый диаметр будет определяться по следующей зависимости

$$d_{oms} = \sqrt{\frac{4 Q}{\pi \mu \sqrt{2 g H}}} \quad \text{или} \quad d_{oms} = \sqrt{\frac{4 Q}{\pi \mu \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}}}}, \text{ м} \quad (5)$$

Обращаясь к теории вопроса дождеобразования или дробления струй воды в воздухе необходимо учитывать, что на процесс каплеобразования кроме давления существенно влияют вязкость жидкости, плотность воздуха, а так же скорость и вид течения потока, форма и размеры выходного сопла в основном и определяет начало процесса каплеобразования, а в сочетании с другими факторами определяет крупность капель и другие параметры.

Анализируя процесс течения струи воды, движущейся одновременно в осевом и тангенциальном направлениях, разветвляющихся по конусу рассекателя в коническую пленку, можно заключить, что по мере удаления от вершины конуса становиться все тоньше и, наконец, после схода с конуса потеряв устойчивость, дробиться на отдельные капли. Это характерно для скоростей истечения жидкости (менее 30 м/с) имеющих место в дождеобразующих устройствах на современных дождевальными машинах.

Таким образом, выдвигая ранее гипотеза, о влиянии вида течения жидкости на процесс каплеобразования, на наш взгляд, наиболее целесообразна с точки зрения научного исследования и решения её математическими методами и конструктивно.

Известно, что любое препятствие на пути течения жидкости приводит к изменению не только направления, но и его характера. В нашем случае

выступы и впадины более приемлемы для изменения характера течения потока на конусном рассекателе.

Учитывая тот факт, что на поверхности концевого рассекателя пленка воды имеет сплошность и определяет диаметр и дальность полета капель, необходимо определить, какой именно вид препятствия необходимо и целесообразнее иметь на поверхности конуса.

Это позволит турбулизовать поток уже на поверхности конуса, ускорить процесс каплеобразования, что, естественно приведет к большей однородности капель и равномерности полива. Однако не следует пренебрегать тем, что турбулизация потока на ранних стадиях приведет к энергетическим затратам, что значительно повлияет на радиус полива. Поэтому процесс турбулизации потока жидкости на поверхности конуса необходимо осуществить по времени как можно ближе к периферии конуса или сходу пленки жидкости с конуса. При этом решаемая задача не должна изменять радиус и норму полива.

Физический смысл выполнения препятствия на пути потока жидкости заключается в придании потоку жидкости турбулентного характера течения до схода её с конуса. Таким образом, процесс каплеобразования во времени можно сдвинуть на доли секунды раньше.

Предлагаемая конструкция экспериментально доказывает факт преждевременного частичного дробления водяной пленки на конусе рассекателя и определяет критерий, характеризующий этот процесс. Это позволяет установить предельные размеры капель, радиус полива и стабилизировать равномерность распределения дождя по площади орошения.

В случае распада плоской пленки при значительных скоростях течения жидкости (при значениях критерия Вебера больше 10), что мы имеем для насадки с коническим рассекателем (рис. 1) диаметр капель определяется по формуле:

$$d \approx \lambda = \frac{3 \pi \sigma}{\rho v^2}, \text{ мм} \quad (6)$$

где v – скорость течения жидкости, м/с;

λ – длина волны $\lambda = 2 \pi / k = 4,508 \cdot 2 \delta$,

δ – толщина пленки, мм;

σ – поверхностное натяжение.

Анализ выражения (6) показывает, что диаметр капель обратно пропорционален плотности и квадрату скорости потока жидкости. Данное выражение дает не точное представление о степени распыла, т.к. является средним значением размера капель.

Картина распада пленки жидкости на капли определяется, прежде всего, способом распыливание и устройством насадки. На рис. 1 показано разрушение пленки при сходе с конуса дефлекторной насадки с идеальной поверхностью конуса.

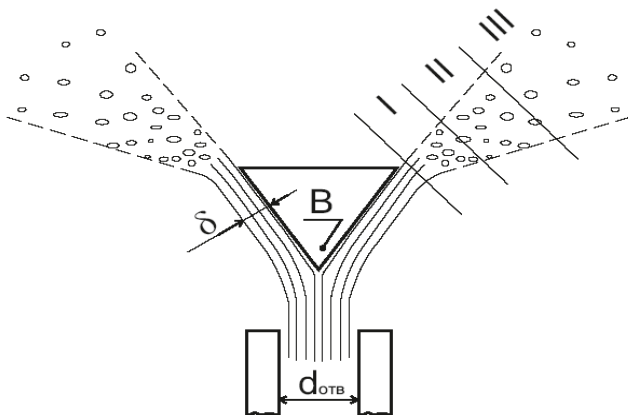


Рисунок 1. Разрушение пленки воды при истечении из насадок

Хорошо видны характерные стадии: образование каверн (I), разрушение отделяющих их перемычек (II), отрыв мелких капель (III) [6]. Конкретное значение длин участков зависит так же от скорости истечения, свойств жидкости и др.

При определении параметров канавки, нас в первую очередь интересует, её ширина, которая как раз и определяет формирование газожидкостного факела при сходе с поверхности конуса на грани канавки (рис. 2), т.е участок (I).

Формирование капель на данной стадии факела определяется их взаимодействием с окружающей средой, которой они передают часть своей энергии, вызывая его перемещение и турбулизацию.

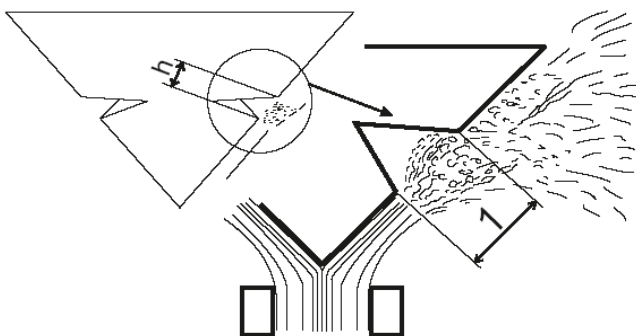


Рисунок 2. Формирование газожидкостного факела на сходе жидкости с грани канавки.

Вначале капли располагаются очень близко, что имеют признаки сплошной среды, за пределами которой капли ведут себя как одиночные. Условно считаем, что границей завершения газожидкостного факела соответствует критическому значению обычной концентрации дисперсной фазы $\beta_{кр}$.

Образование капель завершается на расстоянии равном 8–30 толщин пленки сходящей с конуса. При этом полное формирование факела должно иметь место в пределах ширины (h) канавки (рис. 2). Таким образом, оптимальное значение h соответствует значению $\beta_{кр}$, определяемое по формуле:

$$\beta_{кр} = \frac{4}{3} \frac{\pi (r_k + \delta)^3}{v}, \quad (7)$$

где r_k – радиус капли, мм.

$$\beta = \frac{4}{3} \frac{\pi r_k^3}{v} \approx \frac{4 r_k^3}{v}. \quad (8)$$

Предельное значение критической концентрации будет достигаться, при условиях соответствующих плотной упаковке капель воды, когда $\beta_{кр}=0,4$ [7]. Это и будет являться границей начала формирования капельного потока. Следовательно для нашего случая оптимальное значение ширины канала будет соответствовать началу формирования капельного потока, т.е при $\beta \approx \beta_{кр}$.

Для толщины слоя пленки воды на сходе $\delta=2r_k$ взаимодействие между частицами прекращается при β равной от 0,4 до 0,5.

Будем полагать, что для дефлекторных насадок диаметр капель не превышает 1,2 мм, тогда ширина канавки h не должна превышать десяти толщинам пленки. Следовательно фактическое значение ширины канавки не должно превышать 12 мм. Не мало важным фактором является определение расположения канавки на поверхности конуса относительно кромки схода воды с дефлектора. Для этого необходимо проследить дальнейшее развитие формирования дождя дефлекторными насадками.

Используя полученные зависимости можно утверждать, что при $0,4 < \beta < 0,015$ капли жидкости могут рассматриваться как одиночные (II стадия). Тогда грань канавки должна располагаться от края дефлектора на расстоянии менее 8 толщин пленки или на расстоянии от 4 мм до 8 мм с учетом ширины канавки, передняя грань канавки по направлению течения жидкости не должна превышать 20 мм.

Таким образом, используя свойства жидкости и принципы формирования факела из жидкости сходящего пленкой с дефлектора, можно сформировать дождевое облако с определенными параметрами, что очень важно при орошении сельскохозяйственных культур дождевальными маши-

нами с минимальным воздействием на почву. Применение рассмотренной дождевальной насадки позволит снизить крупность капель дождя и высоту его подъема, что позволит уменьшить скорость падения капли до 14 % и снизить плотность почвы до 18 %. Это позволит выдавать оптимальные нормы полива до стока на тяжелых почвах Саратовского Заволжья.

Список использованной литературы

1. Надежкина Г.П., Слюсаренко В.В., Акпасов А.П. Энергетические показатели дождя ДМ «Фрегат» // *Известия» Самарская ГСХА.* – 2015. – №3. – С. 20–22.

2. Надежкина Г.П. Результаты исследований устройств приповерхностного дождя на ДМ «Фрегат» // *Научное обозрение.* – 2011. – №5. – С. 192–197.

3. Рыжко Н.Ф., Слюсаренко В.В., Надежкина Г.П. Результаты исследований устройств приповерхностного дождя на ДМ «Фрегат» // *Научное обозрение.* – 2011. – №5. – С. 192–197.

4. Слюсаренко В.В., Рыжко Н.Ф., Надежкина Г.П. Технические решения для повышения площади полива и коэффициента земельного использования дождевальных машин кругового действия // *Научная жизнь.* – 2014. – №2. – С. 100–109.

5. Слюсаренко В.В., Рыжко Н.Ф. Новые технические решения для модернизации дождевальных машин «Фрегат» и результаты их внедрения // *Известия» Самарская ГСХА.* – 2011. – №3. – С. 23–25.

6. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей. М.: Химия. – 1984. – 256 с.

7. Галустов В.С. Прямоточные распылительные аппараты в теплоэнергетики. М.: Энергоатомиздат. – 1989. – 242 с.

УДК

Е.Н. Трифонова, канд. экон. наук, доцент,

ФГБУН Институт аграрных проблем Российской академии наук, г. Саратов

ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИЙ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПИЩЕВОЙ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ НА МЕЖДУНАРОДНОМ РЫНКЕ

Ключевые слова: пищевая и перерабатывающая промышленность, агро-промышленный комплекс, инновации, экспорт, конкурентоспособность
Key words: food and processing industry, agro-industrial complex, innovation, export, competitiveness