

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСПЫЛИВАЮЩИХ
УСТРОЙСТВ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ**

В.П. Капустин, Е.В. Бирюкова

Кафедра «Механизация сельского хозяйства», ГОУ ВПО «ТГТУ»

Представлена членом редколлегии профессором Н.Ц. Гатаповой

Ключевые слова и фразы: дроссельная шайба-вставка; камера закручивания; монодисперсный распыл; периферийные каналы; ультрамалообъемное опрыскивание.

Аннотация: Представлены обоснование и расчет параметров и режимов работы щелевых сельскохозяйственных распылителей с дроссельной шайбой-вставкой.

Осуществляемые мероприятия по химической защите растений ежегодно позволяют сохранить 17...18 млн т зерна, 10...11 млн т картофеля, 13...14 млн т сахарной свеклы и многие другие виды сельскохозяйственной продукции [1]. Вместе с тем, увеличение объемов применения средств химической защиты растений при несовершенстве технологии и технических средств, несоблюдение агротехнических и технологических требований приводят к перерасходу пестицидов и повышению уровня загрязнения окружающей среды.

Повысить показатели качества опрыскивания можно за счет контроля и регулирования дозы внесения, снижения дозы внесения и потерь препарата путем перехода на ультрамалообъемное опрыскивание, повышения приспособленности агрегатов к работе на полях с переменным рельефом.

Использование малообъемного опрыскивания, например, позволяет снизить нормы расхода препаратов на 25...30 %, что позволяет на 40 % увеличить производительность агрегатов и снизить уровень загрязнения окружающей среды [2].

В Тамбовском государственном техническом университете разработана дроссельная шайба-вставка для щелевых распылителей. В результате качество распыла приближается к монодисперсному: 120...250 мкм для распылителей РЩ 110-0,6 и РЩ 110-1,0; 250...380 мкм – для РЩ 110-1,6 и РЩ 110-2,5.

Установка шайбы-вставки приводит к стабилизации давления распыла в камере закручивания и уменьшению турбулентности движения рабочей жидкости, избегая перерасхода ядохимикатов, при этом повышается качество опрыскивания растений без загрязнения окружающей среды.

Устройство для распыления жидкости (рис. 1) содержит: дроссельную шайбу-вставку 1 диаметром $d_{ш}$ с каналами 2 диаметром d_k , установленную в съемной гайке-держателе 3 между подводящей трубкой 4 и корпусом щелевого распылителя 5 с керамической вставкой (форсункой) 6 [3].

Каналы 2 в дроссельной шайбе-вставке 1 выполнены прямолинейными. Центральный канал параллелен оси потока жидкости. Через четыре крайних канала перепуск жидкости производится на периферии камеры закручивания 7 щелевого распылителя.

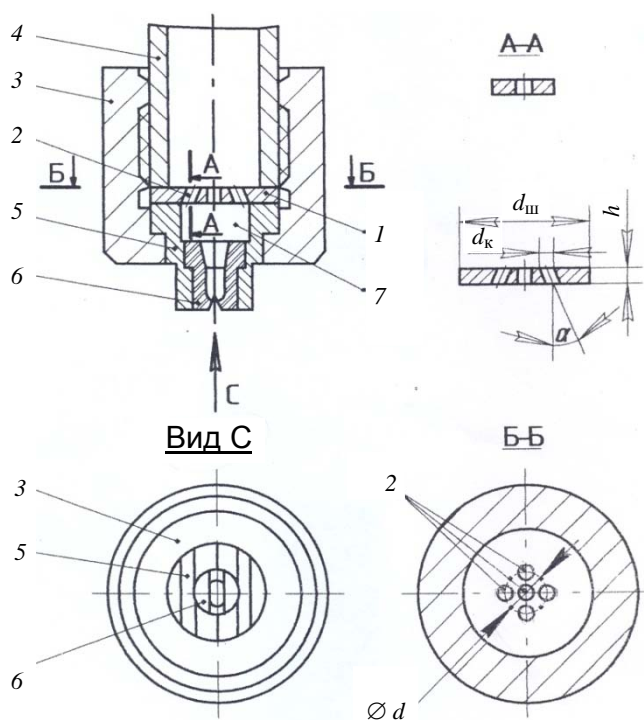


Рис. 1. Устройство для распыления жидкости с дроссельной шайбой-вставкой

Дроссельная шайба-вставка 1 свободно устанавливается в съемной гайке-держателе 3, но плотно между подводящей трубкой 4 и корпусом щелевого распылителя 5.

Устройство для распыления жидкости работает следующим образом. Исходный раствор ядохимикатов под давлением подается в подводящую трубку 4, разделяется на отдельные струи: центральную и периферийные.

Истекающие из крайних четырех каналов струи не закручены, но они закручиваются, когда жидкость перепускается на периферию камеры закручивания 7, где потери на закручивание потока минимальные и сопротивление уменьшается. Полученный поток жидкости направляется к конусному каналу керамической вставки 6 корпуса щелевого распылителя 5. При отсутствии центрального канала закрученное движение характеризовалось бы пониженным давлением по оси.

Камера закручивания 7 образуется между дроссельной шайбой-вставкой 1 и корпусом щелевого распылителя 5 с керамической вставкой (форсункой) 6. Камера закручивания способствует стабилизации давления распыла и уменьшает турбулентность движения рабочей жидкости.

При контакте с дроссельной шайбой-вставкой 1 жидкость подвергается усиленной турбулизации. После прохода через каналы 2 дроссельной шайбы-вставки 1, где происходит предварительное дробление жидкости до мелкой фракции, полученный поток направляется к выходу из щелевого распылителя, где происходит окончательное дробление дисперсной фазы и качество распыла приближается к монодисперсному.

Одним из основных назначений дроссельной шайбы-вставки, представляющей собой диск с одним центральным (осевым) каналом и четырьмя каналами, наклоненными к периферии камеры закручивания, не перпендикулярными радиу-

су дроссельной шайбы-вставки, является создание условий получения монодисперсного распыла (120...250 и 250...380 мкм) без изменения объема камеры закручивания. При этом искомыми параметрами являются: диаметр $d_{ш}$ и высота h дроссельной шайбы-вставки, диаметр d_k каналов дроссельной шайбы-вставки, количество каналов, угол наклона α и взаимное расположение каналов в дроссельной шайбе-вставке. Эти параметры зависят от многих факторов: от давления, создаваемого насосом, диаметра выходного отверстия распылителя, геометрических размеров камеры закручивания, диаметра сопла щелевого распылителя и других.

Основными факторами, влияющими на конструктивно-режимные параметры, являются расход рабочей жидкости через сопло, сопротивление дроссельной шайбы-вставки и медиано-массовый диаметр капель.

Параметры дроссельной шайбы-вставки определены в соответствии с геометрическими параметрами съемной гайки-держателя, подводящей трубки и корпуса щелевого распылителя.

Диаметр дроссельной шайбы-вставки приняли равным внешнему диаметру подводящей трубки и диаметру щелевого распылителя.

Количество и расположение каналов дроссельной шайбы-вставки определяются исходя из конструктивных параметров камеры закручивания в щелевом распылителе. Такая камера закручивания образуется при установке дроссельной шайбы-вставки. Внутренний диаметр камеры закручивания дроссельной шайбы-вставки равен 9 мм. Исходя из этого параметра, максимальное количество каналов приняли равным пяти. Диаметр канала d_k равен 1,5...2 мм. Межосевое расстояние между наклонными каналами $d = 5,5$ мм.

Угол наклона периферийных каналов определяется таким образом, чтобы струя жидкости из канала полностью перекрывала вертикальную стенку камеры закручивания [4–6].

Угол наклона определен экспериментальным путем при испытании шайб, изготовленных с изменением угла наклона канала через полградуса, начиная с 17 до 30°. Оптимальный угол наклона канала для установки в щелевые распылители находится в пределах 20...23°.

В качестве основных предпосылок для теоретического описания протекающих в щелевом распылителе процессов приняли следующие допущения:

- в камере смещения и в сопловом канале происходит перенос поступательной и вращательной энергий (рис. 2);
- вследствие развития сдвигового слоя происходит взаимное проникновение потоков с переносом вещества из одного слоя в другой. Причем интенсивность переноса пропорциональна степени закручивания потока;
- единый профиль скорости в сопловом канале формируется на расстоянии до трех его диаметров от точки присоединения потоков;
- результирующий профиль аксиальной составляющей скорости, ввиду сложности его определения, может быть задан постоянным. Однако возможность образования воздушного вихря на оси факела должна быть учтена, так как известны случаи распределения жидкости с глубоким провалом по оси;
- профиль тангенциальной составляющей скорости в сопловом канале без больших погрешностей зададим зависимостью

$$\omega_{сф} = \omega_c r_{п} / R_c, \quad (1)$$

где ω_c – скорость в сопловом канале; $r_{п}$ – текущий радиус потока жидкости; R_c – радиус сопла.

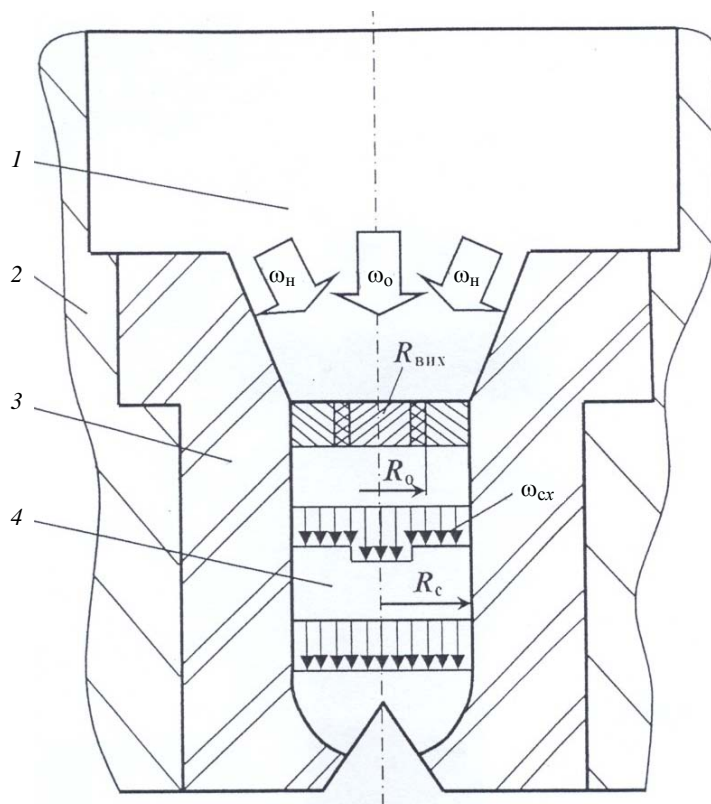


Рис. 2. Схема взаимодействия потоков жидкости в камере закручивания:
 1 – камера закручивания; 2 – корпус; 3 – керамическая вставка; 4 – сопло

При течении идеальной жидкости для любых двух сечений потока справедливо уравнение Бернули

$$\frac{\rho}{2} \omega_{ж}^2 + P_{ж} = P_{ст} + \frac{\rho}{2} (\omega_{сх}^2 + \omega_{сф}^2), \quad (2)$$

где $\omega_{ж}$ и $P_{ж}$ – скорость и давление жидкости в подводящем трубопроводе соответственно; $P_{ст}$ – статическое давление, обусловленное закручиванием потока; $\omega_{сх}$ – аксиальная составляющая скорости в сопловом канале; ρ – плотность жидкости.

Принимаем, что скорость жидкости в подводящем трубопроводе пренебрежимо мала и истечение происходит из сосуда достаточно большой емкости. Тогда $P_{ж} \gg \rho \omega_{ж}^2$ и уравнение (2) примет вид

$$P_{ж} = P_{ст} + \frac{\rho}{2} (\omega_{сх}^2 + \omega_{сф}^2). \quad (3)$$

Из уравнения (2) следует, что энергия давления в подводящем трубопроводе расходуется на создание аксиальной и тангенциальной составляющих скорости жидкости в сопловом канале и статического давления, обусловленного закручиванием потока.

Распространяя выражение (3) на весь поток в сопловом канале и учитывая неравномерность распределения скоростей и давление по сечению, перейдем к средним значениям этих величин:

$$P_{\text{ж}} = \bar{P}_{\text{ст}} + \frac{\rho}{2} (\bar{\omega}_{\text{сх}}^2 + \bar{\omega}_{\text{сф}}^2) \quad (4)$$

Расход жидкости через сопловое отверстие равен суммарному расходу через осевой (центральный) и наклонные (периферийные) каналы дроссельной шайбы-вставки

$$G_{\text{с}} = G_{\text{о}} + G_{\text{н}}. \quad (5)$$

Запишем выражения для расходов жидкости, входящих в (5):

$$G_{\text{с}} = \omega_{\text{с}} f_{\text{с}} \varphi_{\text{с}}; \quad G_{\text{о}} = \omega_{\text{о}} f_{\text{о}} \varphi_{\text{о}}; \quad G_{\text{н}} = \omega_{\text{н}} \sum f_{\text{н}} \varphi_{\text{н}}, \quad (6)$$

где $\omega_{\text{с}}, \omega_{\text{о}}, \omega_{\text{н}}$ – скорости жидкости в сопловом, осевом и наклонном каналах соответственно; $f_{\text{с}}, f_{\text{о}}, f_{\text{н}}$ – площади поперечного сечения соплового, осевого и наклонного каналов соответственно, $\varphi_{\text{с}}, \varphi_{\text{о}}, \varphi_{\text{н}}$ – коэффициенты заполнения соплового, осевого и наклонного каналов соответственно.

Считаем, что закручивающие наклонные и осевой каналы полностью заполнены жидкостью. Тогда коэффициенты $\gamma_{\text{н}} = \gamma_{\text{о}} = 1$, а коэффициент заполнения соплового канала $\gamma_{\text{с}}$ определяется зависимостью

$$\gamma_{\text{с}} = 1 - R_{\text{вих}}^2 / R_{\text{с}}^2, \quad (7)$$

где $R_{\text{вих}}$ и $R_{\text{с}}$ – радиусы вихря и сопла соответственно.

При отсутствии потерь на трение в наклонных и осевом каналах дроссельной шайбы-вставки можно положить $\omega_{\text{н}} = \omega_{\text{о}}$. Тогда, решая систему уравнений (5) и (6) относительно $\omega_{\text{н}}$, найдем, как связана скорость в наклонных каналах $\omega_{\text{н}}$ с аксиальной составляющей скорости в сопловом отверстии $\omega_{\text{сх}}$

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\omega_{\text{сх}} f_{\text{с}} \varphi_{\text{с}}}{\sum f_{\text{н}} + f_{\text{о}}}. \quad (8)$$

С учетом предположения о полном смешении обоих потоков жидкости в камере закручивания и в сопловом канале, можно считать, что поток момента импульса, приобретаемый жидкостью в наклонных каналах, остается постоянным по всей длине сопла, то есть

$$L_{\text{н}} = L_{\text{с}}. \quad (9)$$

В общем случае поток момента импульса через произвольное сечение круглой формы определяется выражением

$$L = 2\pi\rho \int_{R_1}^{R_2} r^2 \omega_x \omega_{\varphi} dr, \quad (10)$$

где r – радиус трубы; $\omega_x, \omega_{\varphi}$ – аксиальная и тангенциальная скорости потока жидкости соответственно; R_1 – радиус вихревого потока; R_2 – радиус сопла; dr – элементарный радиус.

Суммарный поток момента импульса $L_{\text{н}}$, приобретаемый жидкостью при прохождении через наклонные каналы, определяется зависимостью

$$L_H = \omega_H^2 \sin \alpha R_H \sum f_H, \quad (11)$$

где R_H – радиус наклонного канала.

После подстановки соотношения (1) в уравнение (10) и интегрирования от $R_{\text{вих}}$ до R_c получим

$$L_c = 2\pi\rho \int_{R_{\text{вих}}}^{R_c} \omega_{cx} \omega_{c\varphi} \frac{r^3}{R_c^2} dr.$$

После несложных преобразований с учетом $\omega_{cx} = \text{const}$ последнее выражение можно переписать в виде

$$L_c = \frac{1}{2} f_c R_c \omega_{cx} \omega_{c\varphi} (2 - \varphi_c) \varphi_c. \quad (12)$$

Решая совместно уравнения (7), (9), (11) и (12), найдем отношение составляющих скорости жидкостного потока у стенки соплового канала

$$\frac{\omega_{c\varphi}}{\omega_{cx}} = 2 \frac{R_H}{R_c} \sin \alpha \frac{f_c \sum f_H}{(f_o + \sum f_H)^2} \frac{\varphi_c}{2 - \varphi_c}. \quad (13)$$

Обозначим $A = \frac{R_H}{R_c} \sin \alpha \frac{f_c \sum f_H}{(f_o + \sum f_H)^2}$ – геометрический комплекс, характеризующий соотношение вращательной и поступательной энергии в сопловом канале. Комплекс A является геометрической характеристикой щелевого распылителя с дроссельной шайбой-вставкой.

Тогда

$$\frac{\omega_{c\varphi}}{\omega_{cx}} = \frac{2A\varphi_c}{2 - \varphi_c}.$$

Для определения расходных характеристик распылителя определим средние значения величин, входящих в уравнение (3).

Статическое давление в любой точке соплового канала обусловлено закручиванием потока.

Разность сил давления на боковую поверхность элемента жидкости толщиной d_z , длиной d_l , расположенного на радиусе r от оси сопла, уравновешивает центробежную силу [7]

$$d_l dP_{ct} = \frac{\omega_{c\varphi}^2}{r} dr.$$

Так как масса элемента жидкости $d_m = \rho d_l d_z$, то с учетом распределения тангенциальной компоненты скорости (1) имеем

$$dP_{ct} = \rho \frac{\omega_{c\varphi}^2}{R_c^2} r dr.$$

Взяв от этого выражения интеграл по текущему радиусу r , получим распределение статистического давления по сечению соплового канала

$$P_{ст}(r) = \rho \frac{\omega_{сф}}{2R_c^2} (r^2 + c).$$

Постоянную интегрирования « c » определим из условия равенства нулю давления на границе воздушного вихря

$$P_{ст}(r) = \rho \frac{\omega_{сф}^2}{2R_c^2} (r^2 + R_{вих}^2).$$

Среднее статистическое давление в сопловом канале равно отношению силы давления к площади истечения

$$\bar{P}_{ст} = \bar{P} / f_c.$$

Элемент силы $dP = P_{ст}(r)df$, а элемент поверхности $df = 2\pi R_c dr$. Тогда среднее статистическое давление будет выражаться соотношением (14), а среднерасходное значение тангенциальной составляющей скорости – уравнением (15).

$$\bar{P}_{ст} = \frac{\omega_{сф}^2 \Phi_c}{4}, \quad (14)$$

$$\omega_{сф}^{-2} = \frac{\omega_c^2 (2 - \Phi_c)}{2}. \quad (15)$$

Решая уравнения (4), (13) – (15), получим выражение для определения аксиальной составляющей скорости жидкостного потока в сопловом канале

$$\omega_{сх} = \sqrt{\frac{P_{ж}}{\rho} \left(1 + \frac{\Phi_c^2 A}{(2 - \Phi_c)^2} \right)^{-0.5}}. \quad (16)$$

Расход жидкости через сопловое отверстие составит

$$G = \omega_c f_c \rho. \quad (17)$$

На основе соотношений (16) и (17) с учетом, что теоретический расход $G = \omega_{сх} \sqrt{2P_{ж}} / \rho$, можно показать, что коэффициент расхода щелевого распылителя

$$\mu = \left[1 / \Phi_c^2 + A^2 / (2 - \Phi_c)^2 \right]^{0.5}. \quad (18)$$

Для определения связи между коэффициентом заполнения сопла и компонентом A предлагается воспользоваться принципом максимума расхода, которому эквивалентно условие минимума удельной энергии живого сечения при отсутствии потерь на трение. Для этого продифференцируем соотношение (18) по Φ_c и приравняем полученное выражение к нулю. Из этого равенства получаем

$$A^2 = [(2 - \Phi_c) / \Phi_c]^3. \quad (19)$$

Полагая здесь $\varphi_c = 1$, получим условие сплошного заполнения соплового канала щелевого распылителя:

$$A = 1.$$

Таким образом, если $A \leq 1$, то сопло заполнено полностью, при $A > 1$ в сопловом канале образуется воздушный вихрь.

Проведенные теоретические исследования позволяют определить режимы и параметры течения жидкости в щелевом распылителе с дроссельной шайбой-вставкой: скорость, расход и давление.

Список литературы

1. Совершенствование технологий и технических средств опрыскивания растений (обзор, анализ, теория). Ч. 1 / В.П. Белогорский [и др.]. – Воронеж : Истоки, 2005. – 88 с.

2. Настройка, регулировка и организация работы машин для химической защиты растений (Рекомендации) / И.Г. Савин [и др.]. – Краснодар : Изд-во Кубан. аграр. ун-та, 2000. – 75 с.

3. Пат. 64533 Российская Федерация, МПК⁷ В 05 В1/34. Дроссельная шайба-вставка / Капустин В.П., Бирюкова Е.В. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 205133564/22 ; заявл. 31.10.05 ; опубл. 10.07. 07, Бюл. № 19. – 1 с. : ил.

4. Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович [и др.] ; под ред. Г.Н. Абрамовича. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Наука, Глав. ред. физ-мат. лит., 1984. – 388 с.

5. Рабинович, Е.З. Гидравлика : учеб. пособие для вузов / Е.З. Рабинович. – М. : Недра, 1980. – 278 с.

6. Общетехнический справочник / под ред. Е.А. Скороходова. – 4-е изд., испр. – М. : Машиностроение, 1990. – 496 с.

7. Головачевский, Ю.А. Оросители и форсунки скрубберов химической промышленности / Ю.А. Головачевский. – М. : Машиностроение, 1967. – 196 с.

Sprayer Units Improvement

V.P. Kapustin, E.V. Biryukova

Department "Mechanization of Agriculture", TSTU

Key words and phrases: mono-disperse spraying; peripheral channels; throttling orifice; twisting chamber; ultra low volume spraying.

Abstract: The paper presents theoretical justification and calculation of both parameters and working modes of slot sprayers with throttling orifice.

Vervollkommnung der pulverisierenden Sprühgeräte

Zusammenfassung: Es ist die Begründung sowohl die Berechnung der Parameter als auch der Regimes der Arbeit der Spaltspritzrohre mit der Drosselscheibeeinsatz dargelegt.

Perfectionnement des installations de dispersion des asperseurs

Résumé: Est présenté le fondement et le calcul des paramètres et des régimes du fonctionnement des asperseurs à fissure avec une rondelle d'étranglement.