ommended set of working elements for work in various conditions is developed. The results of calculations based on the developed dependencies make it possible to determine the rational parameters of the tool grip width and the speed of movement of the unit, which ensure the maximum productivity of the unit, which were used to create the complex of machines for soil cultivation and

sowing in LLC Chelyabinsk Compressor Plant. The tests results of a complex of machines in various zones of the Chelyabinsk region in accordance with the recommended technology of cultivation of agricultural crops showed their effectiveness. They provide conditions for the growth and development of plants, which increases the yield of cultivated crops by 1,5–2 times.

© Рахимов Р.С., Мударисов С.Г., Рахимов И.Р.

УДК 631.331.92

DOI: 10.31563/1684-7628-2018-46-2-129-134

Д.Ю. Широков, Р.Р. Камалетдинов, Ф.Н. Галлямов

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН В ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ

Ключевые слова: протравливание; предпосевная обработка семян; воздушный поток; покрытие; пневматическая камера смешивания.

Введение. Повсеместное внедрение биологических методов защиты и стимуляции роста растений в рамках реализации концепции устойчивого развития земледелия требует новых подходов к совершенствованию технологических процессов и разработке конструкций сельскохозяйственных машин, в частности для предпосевной обработки семян микробиологическими препаратами [12]. Для большинства данных микробиологических препаратов установлены ограничения по срокам хранения приготовленных смесей, а наибольший эффект достигается при проведении обработок семян непосредственно перед их заделкой в почву, что не в полной мере учитывается при разработке технологий и технических устройств, предназначенных для этих целей [3].

Цели и задачи исследования: произвести оптимизацию модели устройства для предпосевной обработки семян, проверить адекватность разработанной математической модели.

Условия, материалы и методы исследования. В качестве технической реализации нанесения препарата непосредственно при посеве предложена технология предпосевной обработки семян микробиологическими препаратами в виде аэрозолей в воздушном потоке семяпроводов пневматических сеялок [4, 14]. Эффективность обработки во многом определяется соблюдением норм и равномерностью распределения препарата на поверхности семян [13]. Для априорного определения нормы как массы препарата q , нанесенного на 1 кг семян, нами использована следующая зависимость [6]:

$$q = \frac{3}{2} E \cdot \beta_{ku} \cdot \frac{(d_m + d_k)^2 \cdot \rho_{жс} \cdot (U - V_m) \cdot t}{(d_m)^3 \cdot \rho_m}, \quad (1)$$

где E – суммарный коэффициент осаждения (захвата); β_{ku} – концентрация капель препарата в воздушном потоке, кг/кг; d_m – диаметр семян, м; d_k – диаметр капель, м; $\rho_{жс}$ – плотность препарата, кг/м³; ρ_m – плотность семян, кг/м³; U – скорость воздуха, м/с; V – скорость семян, м/с.

Анализ приведённой зависимости и лабораторная оценка полученных выводов подтвердили, что при заданной норме равномерность нанесения препарата напрямую зависит от концентрации семян и капель препарата в воздушном потоке. На прямолинейном участке семяпровода посевного комплекса концентрации семян недостаточно для качественной обработки. Это можно компенсировать увеличением численной концентрации капель препарата за счет уменьшения их размера. Однако уменьшение размеров капель приводит к снижению коэффициента захвата E и как следствие – к снижению качества обработки. Преодолеть данное противоречие возможно при перераспределении концентрации семян и аэрозолей в воздушном потоке таким образом, чтобы семена и препарат были сконцентрированы в одной зоне семяпровода. Подобное перераспределение обеспечит повышение концентрации капель и семян в единице объема воздушного потока и уменьшение расстояний между каплями и семенами, что естественно увеличит вероятность их столкновения и обеспечит нанесение препарата на семена, увеличит равномерность по-

крытия и полноту обработки [11]. В качестве возможного решения предлагается использовать эффект перемещения дисперсных материалов в криволинейном канале, при котором происходит инерционный снос к периферии и соответственно перераспределение концентрации по сечению канала.

Работу пневматической системы посевного комплекса возможно математически описать как гетерогенная двухфазная среда «газ – твердые частицы» [9]. В поперечной плоскости семяпроводы пневматических сеялок выполнены в виде труб круглого сечения. Априорный анализ позволил получить вывод, что вблизи вогнутой поверхности движение воздушного потока носит волнообразный характер, т. е. наблюдается пульсация составляющих скоростей из-за обратного воздействия вихрей Тейлора – Гертлера. При этом криволинейная поверхность усиливает интенсивность турбулентности по сравнению с плоской стенкой более чем в 1,5–5 раз.

Согласно двухслойной схеме «пристеночной» турбулентности поток разбивается на две резко отличающиеся по структуре области: тонкую пристенную область чисто вязкого движения – вязкий или ламинарный подслоя – и область, не зависящую от вязкости, полностью турбулентного движения – турбулентное ядро потока [1]. Динамическая скорость V_* потока в пристенной области может быть определена как:

$$V_* = (\tau_w / \rho)^{0,5}, \quad (2)$$

а динамическая длина (масштаб толщины вязкого подслоя):

$$l_* = \nu / V_*, \quad (3)$$

где τ_w – время релаксации частицы в потоке газа, с; ρ – плотность газа, кг/м³; ν – коэффициент кинематической вязкости газа, м²/с.

Решение имеет вид

$$C(\varphi, x) = \frac{\alpha \cdot e^{\alpha x}}{e^{\alpha} - 1} + \alpha e^{\frac{\alpha x}{2}} \times \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{1 - e^{-\frac{\alpha}{2}} \cos \beta_n - \alpha \frac{e^{\frac{\alpha}{2}} \cos \beta_n - 1}{e^{\alpha} - 1}}{\frac{\alpha^2}{4} + \beta_n^2} \right] \times \left(\cos \beta_n x + \frac{\alpha}{2\beta_n} \sin \beta_n x \right) \cdot \exp \left[- \left(\frac{\alpha^2}{4} + \beta_n^2 \right) \varphi \right]. \quad (8)$$

Для оценки распределения семян при $\varphi = 0,3$ (один виток) можно использовать формулу (9).

$$\text{При } \varphi \rightarrow \infty \quad C(\varphi, x) = \frac{\alpha \cdot e^{\alpha x}}{e^{\alpha} - 1}. \quad (9)$$

$$\alpha_1 = 1, \alpha_2 = 4, \alpha_3 = 10; \alpha = Stk \cdot 20 \sqrt{\frac{8}{\lambda}}, \varphi =$$

$$\varphi_p \frac{R_c}{H} 0,05 \sqrt{\frac{\lambda}{8}}, \lambda = 0,02; \frac{R_c}{H} = 18, \varphi = 0,045 \varphi_{p1}; \varphi_{p2} = 12; \varphi_1 = 0,135; \varphi_2 = 0,54. \beta_n = \pi n; n = 1, 2, 3 \dots$$

Отсюда турбулентная вязкость может быть представлена в виде

$$\varepsilon = l V_*, \quad (4)$$

где $l = \chi h$ – длина пути перемешивания, м; χ – константа турбулентности; h – расстояние от стенки канала, м.

Как следует из приведенной зависимости, величина ε меняется по высоте канала. В центре она имеет значение, близкое к нулю, и имеет максимум на расстоянии 1/4 от стенки канала. Семена проходят по криволинейному каналу высотой $H_{max} = 2r$ и радиусом изгиба $R_C \gg H$. Средняя скорость семян $W_0 = W_\varphi = V_\varphi$. Обозначим $X = H - h$ – расстояние от внутренней стенки канала, где h – текущее положение частицы. С учетом вышеизложенного уравнение переноса примет вид:

$$\frac{\partial}{R_c \partial \varphi} (\overline{cV_\varphi} + \overline{c'V_\varphi'}) + \frac{\partial}{\partial X} (\overline{cV_x} + \overline{c'V_x'}) = 0, \quad (5)$$

где $\overline{c'V_x'} = -\varepsilon \frac{\partial C}{\partial X}$; $\overline{V_x} = \Delta U$; ΔU – скорость отно-

сительного движения, м/с; $\Delta U = Re_\delta \frac{\nu}{\delta}$; Re_δ – число Рейнольдса; δ – диаметр частицы (семена), м; $Re_\delta = Re_{\delta,w} \cdot Stk$ при $Re_\delta < 1$; $Re_\delta = (Re_{\delta,w} \cdot Stk)^{0,75}$ при $Re_\delta > 1$.

Вводим безразмерные параметры: $r_c = \frac{R_c}{H}$;

$x = \frac{X}{H}$; $\varphi_p = \frac{w_0}{r_c}$ (φ_p – в радианах); $c = C / C_{\text{вх}}$; $\alpha = \Delta U H / \varepsilon$.

Запишем (5) в безразмерном виде:

$$\frac{\partial c}{\partial \varphi} + \frac{\partial}{\partial x} \left(c \alpha - \frac{\partial c}{\partial x} \right) = 0 \quad (6)$$

с граничными условиями:

$$c(0, x) = 1; \quad c \alpha - \frac{\partial c}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0; \quad c \alpha - \frac{\partial c}{\partial x} \Big|_{x=1} = 0. \quad (7)$$

Результаты исследования. Полученные аналитические данные по распределению концентраций семян и капель препарата показывают, что с приближением к стенке канала концентрации увеличиваются в 2–3 раза (рисунок 1а), что повышает интенсивность нанесения препарата на семена в этой зоне. На рисунке 1б представлены расчетные базовые траектории движения капель препарата диаметрами 10, 20 и 50 мкм в смесителе начальным радиусом $R_1 = 0,3$ м, скорости воздушного потока 25 м/с. Как

следует из полученных данных, капли размером 10 мкм осаждаются на стенке семепровода при прохождении более 300° от точки входа в смеситель, что было подтверждено в лабораторных условиях. Полученные зависимости,

исходя из конкретных условий, позволяют рассчитать с достаточно высокой степенью точности основные размеры спирального канала для обработки семян защитностимулирующими препаратами.

Рисунок 1

Расчетная концентрация в сечении спирального канала:

а – распределение концентрации семян по сечению семепровода; б – базовые траектории и распределение концентрации капель препарата размерами: 1 – 50 мкм, 2 – 20 мкм, 3 – 10 мкм

Таблица 1 Обобщенные результаты экспериментов и вычислений по определению падения напора в смесителе и неравномерности покрытия

Начальный радиус кривизны смесителя, мм	Угол поворота, град.	Скорость воздушного потока, м/с	Падение скорости, м/с	Падение давления, Па	Коэффициент местного сопротивления ζ	Коэффициент вариации окраски, v
∞	0	18,3	5,9	250,4	1,25	0,547
300	360	18,0	6,2	261,6	1,35	0,138
	720	17,2	7,0	289,8	1,63	0,121
200	360	17,8	6,4	268,8	1,41	0,119
	720	16,6	7,6	310,0	1,87	0,115

В качестве проверки достоверности полученных на основе аналитических зависимостей нами было проведено моделирование течения в программе FlowVision по известной методике [7, 8, 15].

Рисунок 2

Траектории капель размером 50 мкм, м/с

На рисунке 2 представлена иллюстрация траекторий частиц (капель препарата) размером 50 мкм в воздушном потоке, из которой видно, что капли препарата осаждаются на внешней стенке камеры смешивания в зоне повышенной концентрации семян. В таблице 1 приведены обобщенные результаты экспериментов на лабораторной установке по определению падения напора в смесителе и влиянию параметров смесителя на неравномерности покрытия семян.

Выбран оптимальный радиус начальной кривизны канала – 300 мм, обеспечивающий требуемую равномерность обработки при минимальном повышении сопротивления в семепроводе. Оптимальный угол поворота канала 360°, что также согласуется с аналитическими данными. Применение спиральной камеры смешивания позволяет перераспределить концентрации в сечении семепровода. Вблизи внешней стенки семепровода создается зона повышенной концентрации (до 85–90 %) семян и капель препарата.

На основе полученных данных по определению оптимальных конструктивно-технологич-

ческих параметров устройства для предпосевной обработки семян в воздушном потоке [5] был разработан инкрустирующий модуль-приставка к зерновым пневматическим сеялкам [4]. Для проведения исследований устройства в полевых условиях им оснащена сеялка Джон Дир 730 (рисунок 3) в ООО Агрофирме «Будздяк» Будздякского района. Устройство для предпосевной обработки семян в воздушном потоке посевного комплекса Джон Дир работает следующим образом. Семена из бункера 1 подаются дозатором 2 в семенной эжектор 4 и увлекаются воздушным потоком от вентилятора 3. Одновременно с включением дозатора семян 2 включается насос 8, который подает жидкий препарат из емкости 5 через вентиль 6 и фильтр 7, при этом давление в напорной магистрали управляется вентилем 9 и контролируется манометром 10. Жидкий препарат под давлением распыляется форсункой 11 в пневматический сеялковод 12. Семена проходят через прогиб сеялпровода, интенсивно смешиваются с распыленным препаратом и покрываются им. На выходе из прогиба в сеялковод подается порошок 14. Часть воздушного потока, отобранная у вентилятора, подается по воздухопроводу 13 к баку для порошка 14 и порошковому эжектору 16. От созданной в

эжекторе разницы давления из бака 14 через дозатор 15 порошок всасывается в эжектор и по магистрали 17 подается к сеялпроводам. Вне-сенный в сеялковод порошковый компонент покрывает увлажненную поверхность семян во время их прохождения через распределительную головку 18 и сеялпроводы 19 и предотвращает их слипание. Инкрустированные семена высеваются сошниками 20 [14].

Результаты полевых исследований показали, что при расходе жидкого препарата до 22 л/т слипание семян не происходит; налипания семян на стенки нет; препарат, осевший на стенки сеялпроводов, удалялся потоком семян; скоплений препарата нет; минимально возможный расход препарата – 2 л/т, дальнейшее снижение расхода приводит к ухудшению равномерности покрытия ниже допустимого значения. Устройство для предпосевной обработки семян в воздушном потоке предполагает наличие спирального смесителя с углом поворота 360°, однако повороты канала сеялпровода в системе транспортировки и распределения семян сеялки Джон Дир 730 выполняют функцию перераспределения концентраций семян и капель препарата в воздушном потоке и снимают необходимость в нем, при этом удается выдержать равномерность покрытия в пределах 85–90 %.

Рисунок 3

Переоборудованный посевной комплекс Джон Дир 730:
а) технологическая схема; б) фотография переоборудованного комплекса

Выводы. Качество обработки семян в воздушном потоке напрямую зависит от концентрации семян и капель препарата в нем. Повышения концентраций без изменения нормы расхода препарата и семян можно добиться путем перераспределения концентраций в воздушном потоке. Для перераспределения концентраций семян и капель препарата предложено использовать спиральную камеру смешивания в виде концентрически загнутого канала. Наиболее эффективным является установка камеры в вертикальной плоскости. По прохождении семенами угла поворота 360° смесителя диаметром 600 мм 90 % аэрозоля осаждается на стенке

смесителя. Устройство для предпосевной обработки семян позволяет достигать равномерности покрытия до 85–90 % за один поворот канала на 360°. Технологический процесс обработки семян в воздушном потоке позволяет проводить обработку с нормой расхода рабочей жидкости от 2 до 25 л/т. Обработка семян во время посева снижает затраты труда и сокращает время на предпосевную обработку семян, обеспечивает высокую эффективность использования новейших микробиологических препаратов, требующих проведения обработки семян непосредственно перед посевом и, как следствие, повышает урожайность на 10–15 %.

Библиографический список

1. Алоян, А.Е. Моделирование динамики и кинетики газовых примесей и аэрозолей в атмосфере [Текст]: монография / А.Е. Алоян. М.: Наука, 2008. 415 с.
2. Биологическая защита растений [Текст] / М.В. Штерншис, Ф.С.-У. Джалилов, И.В. Андреева; под. ред. М.В. Штерншис. М.: КолоС, 2004. 264 с.
3. Ганиев, Н.М. Химические и биологические средства защиты растений [Текст] / Н.М. Ганиев, В.Д. Недорезков. Уфа: Башкирский ГАУ, 2000. 310 с.
4. Камалетдинов, Р.Р. Инкрустатор семян с пневматической камерой смешивания [Текст] / Р.Р. Камалетдинов, Д.Ю. Широков // Научное обеспечение устойчивого развития АПК: материалы всероссийской научно-практической конференции (13–15 декабря 2011 г.). Уфа: ФГБОУ ВПО Башкирский ГАУ, 2011. С. 205–208.
5. Камалетдинов, Р.Р. Модельное представление и машинный анализ процесса инкрустации семян в воздушном потоке [Текст] / Р.Р. Камалетдинов, Д.Ю. Широков // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения известного учёного, профессора А.П. Иофинова (1932–2005 гг.) (13–14 декабря 2012 г.). Уфа: ФГБОУ ВПО Башкирский ГАУ, 2012. С. 23–27.
6. Масло, И.П. Исследование процесса обработки семян защитными препаратами в вертикальном замкнутом воздушном потоке [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / И.П. Масло. Киев, 1971. 131 с.
7. Мударисов, С.Г. Моделирование движения воздушного потока в пневмосистемах сельскохозяйственных машин [Текст] / С.Г. Мударисов, А.В. Шарафутдинов, И.Д. Бадретдинов // Достижения науки - агропромышленному производству. Материалы XLVIII Международной научно-технической конференции. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Департамент научно-технологической политики и образования, ФГОУ ВПО Челябинский государственный агроинженерный университет. 2009. С. 148–151.
8. Мударисов, С.Г. Моделирование пневматической системы зерновой сеялки [Текст] / С.Г. Мударисов, И.Д. Бадретдинов, А.В. Шарафутдинов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 2. С. 10–12.
9. Определение возможности математического описания процесса работы пневматических систем сельскохозяйственных машин как гетерогенная двухфазная среда «газ – твердые частицы» [Текст] / С.Г. Мударисов, З.С. Рахимов, И.Д. Бадретдинов, А.В. Шарафутдинов, А.М. Мухаметдинов // Достижения науки – агропромышленному производству: материалы XLIX Международной научно-технической конференции. 2010. С. 80–82.
10. Поздняков, Ю.В. Механизация защиты семенного материала от болезней и вредителей [Текст] / Ю.В. Поздняков. Екатеринбург: УрГСХА, 2003. 268 с.
11. Смелик, В.А. Предпосевная обработка семян нанесением искусственных оболочек [Текст] / В.А. Смелик, Е.И. Кубеев, В.М. Дринча. СПбГАУ, 2011. 272 с.
12. Хасанов, Э.Р. Моделирование процесса образования монодисперсного аэрозоля при предпосевной обработке семян [Текст] / Э.Р. Хасанов, С.Г. Мударисов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 4 (48). С. 72–74.
13. Хомяков, Д.М. Вопросы увеличения потребления минеральных удобрений в Российской Федерации [Текст] / Д.М. Хомяков, Б.В. Левин // Достижения науки и техники АПК. 2004. № 11. С. 43–44.
14. Широков, Д.Ю. Инкрустатор семян и обоснование его конструктивно-технологических параметров [Текст] / Д.Ю. Широков, Р.Р. Камалетдинов // Инновационному развитию агропромышленного комплекса – научное обеспечение: материалы Международной научно-практической конференции в рамках XXII Международной специализированной выставки «АгроКомплекс-2012». Министерство сельского хозяйства РФ, Министерство сельского хозяйства РБ, Башкирский государственный аграрный университет, Башкирская выставочная компания. 2012. С. 403–407.
15. Mudarisov S., Khasanov E., Rakhimov Z., Gabitov I. Specifying two-phase flow in modeling pneumatic systems performance of farm machines. Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. 2017. Т. 40. № 4. С. 706–715.

Сведения об авторах

1. **Широков Дмитрий Юрьевич**, инженер, г. Уфа, e-mail: 121088@pochta.ru.
2. **Камалетдинов Рим Рашитович**, доктор технических наук, доцент кафедры строительно-дорожных, коммунальных и сельскохозяйственных машин, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, тел.: (347) 228-08-71, e-mail: krr53@mail.ru.

3. **Галлямов Фаиль Наилевич**, доцент кафедры строительно-дорожных, коммунальных и сельскохозяйственных машин, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, тел.: (347) 228-08-71.

Представлена конструкция и обоснование рациональных параметров устройства для об-

работки семян сельскохозяйственных культур в воздушном потоке одновременно с посевом.

D. Shirokov, R. Khamaletdinov, F. Gallyamov

DEVELOPING AND IMPROVING PARAMETERS OF A MACHINE FOR PRE-SOWING TREATMENT OF SEEDS IN THE AIR STREAM

Key words: *disinfection; pre-sowing seed treatment; air flow; dressing; pneumatic mixing chamber.*

Authors' personal details

1. **Shirokov Dmitry**, engineer, Ufa, e-mail: 121088@pochta.ru.

2. **Khamaletdinov Rim**, Candidate of technical sciences, associate professor of the Road Construction, Municipal and Farm Machinery department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letiya Otyabrya st., 34, e-mail: krr53@mail.ru.

3. **Gallyamov Fail**, Candidate of technical sciences, associate professor of the Road Construction, Municipal and Farm Machinery department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letiya Otyabrya st., 34, e-mail: galfail@mail.ru.

The paper discusses design and reasoning of rational parameters of a machine to treat seeds of

crops in the airflow simultaneously with the sowing process.

© Широков Д.Ю., Камалетдинов Р.Р., Галлямов Ф.Н.

УДК 634.0.232.31

DOI: 10.31563/1684-7628-2018-46-2-134-139

С.А. Кабанова, М.А. Данченко

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ВЛИЯНИЯ СТИМУЛЯТОРОВ НА КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЕМЯН И СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Ключевые слова: *сосна обыкновенная; сеянцы; семена; стимуляторы; предпосевная обработка; лабораторная всхожесть.*

Введение. Выращивание продуктивных, устойчивых и долговечных искусственных насаждений во многом зависит от качества посадочного материала, который может быть получен только при соблюдении всех агротехнических приемов. При невыполнении основных технологических требований посадочный материал имеет низкое качество, слабо приживается и растет после посадки его на лесокультурной площади. Одной из основных причин снижения качества сеянцев можно назвать плохую всхожесть, на что влияет нетщательное выполнение предпосевной обработки или полное ее отсутствие. В настоящее время стало уделяться больше внимания проведению предпосевной

обработки семян древесных пород различными стимуляторами [1–5]. Если для овощных растений достаточно широко освещены способы и концентрации применяемых ростовых веществ, то для лесных видов ученые не пришли к единому мнению по выбору оптимальных препаратов для увеличения всхожести семян. По нашим исследованиям видно, что для регионов Казахстана приоритетно применение разных наименований стимуляторов для предпосевной обработки семян сосны обыкновенной.

Материалы и методы исследований. Опытные работы по предпосевной обработке семян ростовыми веществами проводились в Северном филиале Республиканского лесного