

УДК 632.95:631.95

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ СЕМЯН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОМ ПРОТРАВЛИВАТЕЛЕ

А.В. Клочков,

профессор каф. сельскохозяйственных машин БГСХА, докт. техн. наук, профессор

О.В. Гордеенко,

зав. каф. сельскохозяйственных машин БГСХА, канд. техн. наук, доцент

С.С. Шкуратов,

магистр техн. наук, аспирант БГСХА

В.В. Азаренко,

*академик-секретарь Отделения аграрных наук НАН Беларуси, докт. техн. наук, доцент,
член-корр. НАН Беларуси*

В статье описана модель протравливания семян в восходящем воздушном потоке. Рассматривается взаимодействие между непрерывным воздушным потоком с мелкодисперсными частицами протравителя и семенами. Определена зависимость требуемой скорости воздушного потока от подачи семян различных культур для протравливания.

Ключевые слова: протравливание, семена, воздушный поток, пневмокамера протравливания.

The article considers the model of seed treatment in the upward air flow. The interaction between continuous air flow with fine particles of the disinfectant and seeds is considered. The dependence of the required air flow velocity on the supply of different crops seeds for treatment is determined.

Keywords: seed treatment, seeds, air flow, pneumatic treatment chamber.

Введение

Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур связаны с использованием эффективных приемов агротехники, направленных на снижение затрат труда и повышении его качества. Достижение высоких и устойчивых урожаев возможно только при обязательном проведении комплекса мероприятий по защите растений от болезней, вредителей и сорняков. Одно из важнейших мероприятий в этом комплексе – предпосевное протравливание семян. Обработка семян защитно-стимулирующими препаратами (протравливание и инкрустация) относится к наиболее эффективным и экономически выгодным методам химической защиты растений. Качественная предпосевная обработка семян имеет важное, а зачастую и решающее значение при определении первого и последующих сроков наземных обработок. Посев семенами, обработанными защитно-стимулирующими препаратами, позволяет получить прогнозируемое количество всходов, устойчивых к болезням и почвенным вредителям на протяжении до двух месяцев и сократить число наземных обработок растений на 25÷50% [1].

Основная часть

Рациональный выбор технических средств для обработки семян протравителем считается одним из важ-

ных условий качественного посевного материала различных сельскохозяйственных культур. Существующие конструктивные и технологические схемы машин, имеющих специальную камеру протравливания, включают механические транспортеры, обеспечивающие непрерывную подачу и выгрузку семенного материала. Однако это является причиной не только повышенного травмирования, но и интенсивного перемешивания семян, в результате которого происходит осыпание препарата. Кроме этого, в самой камере протравливания создаются неодинаковые условия взаимодействия семян с потоком распыленного рабочего раствора, что оказывает влияние на равномерность распределения препарата, как между семенами, так и по поверхности каждого зерна. Время взаимодействия семян и протравителя ограничено габаритами камеры протравливания и конструктивным исполнением системы введения семян и рабочего раствора протравителя.

Как правило, качество распыла препарата вращающимся распылителем тем выше, чем выше его обороты. При этом высокие обороты приводят к травмированию семян при их ударе о стенку корпуса камеры протравливания, а из-за быстрого прохождения семян зоны обработки в камере протравливания, полнота покрытия препаратом недостаточная.

На основании проведенного анализа конструктивных схем современных протравочных машин

предлагается конструкция пневмомеханического протравливателя, принципиальная схема которого представлена на рис. 1.

Отличительной особенностью представленного пневмомеханического протравливателя является наличие двух камер протравливания: предварительной, включающей в себя вращающийся распределительный диск семян 9 и распылитель 10, и вторичной, включающей в себя распылитель 14 и пневмокамеру 13.

В технологическом аспекте качество протравливания обуславливается, в первую очередь, точным дозированием препарата и семян, что требует управления процессами контролирования потоков химического препарата к распылителям и потока семян. Оба потока должны быть однородными и устойчивыми, а также зависящими от вида обрабатываемых семян и особенностей применяемого протравливателя.

Физическая сущность протравливания состоит в равномерном покрытии каждого зерна слоем пестицида, его водной или пленкообразующей суспензией. Между подачей семян Q_c ($\text{м}^3/\text{с}$) и потоками химического препарата Q_n существует зависимость:

$$Q_n = q_n Q_c, \quad (1)$$

где q_n – норма расхода протравливающего вещества на обработку единицы массы семян, $\text{кг}/\text{кг}$.

Принцип работы пневмомеханического протравливателя заключается в следующем. При вращении крыльчатки вентилятора 1 во всасывающей ветви создается разрежение, которое по пневмопроводу 2 через циклон 3 передается во всасывающий рукав 4 и приемное сопло 5. За счет разрежения семенной материал поступает в циклон и осаждается, а зерновая и механическая пыль поступает по пневмопроводу 2 в фильтр 6. Очищенный воздух нагнетается в эжектор 7 и создает рабочий поток. Семена из циклона 3 самотеком поступают в дозатор 8, а затем на распределительное устройство 9, выполненное из вращающихся дисков с прорезями [2]. Семена попадают в камеру предварительного протравливания равномерно в виде разреженного слоя увеличенной толщины, образуя при этом цилиндрический падающий поток. Рабочий раствор протравливающего вещества подводится к вращающемуся распылителю 10 и через щелевые каналы в виде мелкодисперсных капель выбрасывается в камеру предварительного протравливания, образуя при этом горизонтальный кольцевой поток. Обработ-

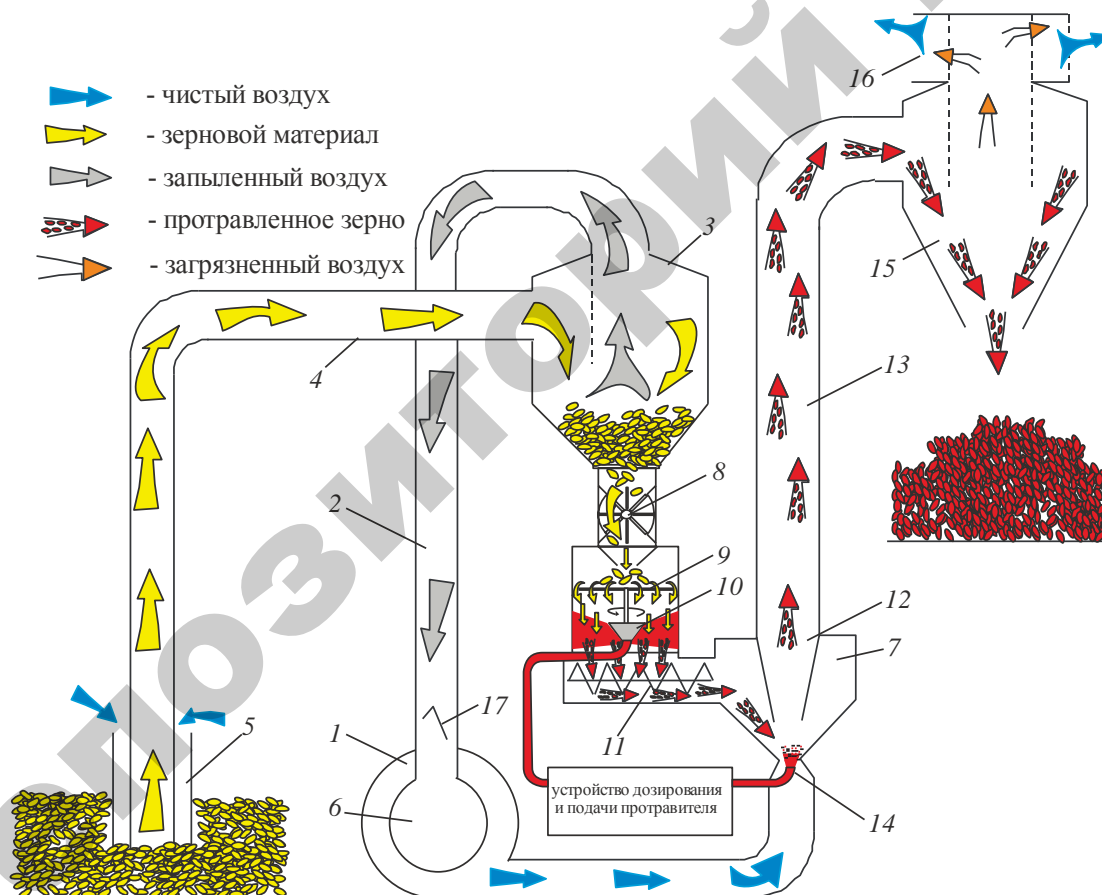


Рис. 1. Принципиальная схема пневмомеханического протравливателя семян:

1 – вентилятор; 2, 4 – пневмопроводы; 3, 15 – циклоны; 5 – приемное сопло; 6, 16 – фильтрующие элементы; 7 – камера эжекции; 8 – дозатор семян; 9 – распределительное устройство; 10 – распылитель камеры предварительного протравливания; 11 – шнек; 12 – смесительная камера; 13 – пневмокамера; 14 – распылитель пневмокамеры; 17 – регулятор скорости воздуха

ка семян протравителем происходит во время пересечения цилиндрического падающего потока семян с горизонтальным кольцевым потоком мелкодисперсных капель. Далее семена шнековым дозатором 11 подаются в эжектор 7. Кинетическая энергия рабочего потока чистого нагнетаемого воздуха передается семенному материалу в камере смешивания 12. В результате статическое давление возрастает, а скорость смешанного потока снижается, и материал поступает в пневмокамеру 13, в которую через распылитель 14 вводится дополнительный поток протравливающего вещества, раздробленного воздушным потоком до мелкодисперсного состояния. Кроме этого, в пневмокамеру увлекается воздушным потоком не осевший на семена препарат из камеры предварительного протравливания. В результате взаимодействия капель жидкости с предварительно обработанными и увлажненными семенами, при движении в пневмокамере 13 происходит окончательное покрытие семян со всех сторон тонкой пленкой протравителя. Обработанные семена поступают в выгрузной циклон 15, а загрязненный воздух очищается в фильтре 16 и выводится наружу. Обработка семян различных сельскохозяйственных культур, имеющих разные физико-механические свойства, должна проводиться при определенной скорости воздушного потока, которая автоматически поддерживается регулятором скорости 17.

Теоретически процесс протравливания семян в пневмомеханическом протравливателе можно разделить на две зоны:

1. *Зона обработки семян, сходящих с распределительных дисков с прорезями в камере предварительного протравливания.* В этом случае происходит взаимодействие двух дисперсных взаимно пересекающихся потоков: капель рабочей жидкости, движущихся в горизонтальной плоскости, и семян, движущихся в вертикальной плоскости (воздушная среда принимается за неподвижную), т.е. двухфазный поток.

2. *Зона протравливания семенного материала в пневмокамере.* В этом случае технологический процесс протравливания семян происходит в трехфазном потоке, состоящем из воздушного потока, потока семян и капель протравливающего вещества.

Принципиальные различия в технологии обработки семян в нисходящих и восходящих потоках не позволяют применить теоретические и экспериментальные наработки, используемые при создании пневмомеханического протравливателя, которые заложены в основу существующих протравливающих машин и комплексов.

Рассмотрим модель протравливания семян в восходящем воздушном потоке, т.е. зону протравливания семенного материала в пневмокамере.

Семена большинства сельскохозяйственных культур могут быть отнесены к классу монодисперсных крупнозернистых твердых частиц, движение которых в пневмотранспортных установках оценивается критерием Рейнольдса [3]. В реальных условиях воздействие турбулентных пульсаций на движение грубодисперсных частиц незначительно, и при обосновании техно-

логических параметров протравливания семян, пульсациями воздушного потока можно пренебречь.

Поток аэросмеси, используемый для протравливания семян, включает компоненты:

– направленный воздушный поток с расходом Q_c , кг/с;

– поток семенного материала с подачей Q_c , кг/с;

– поток капель рабочего раствора протравителя с расходом Q_n , кг/с.

В соответствии с технологией процесса, семенной материал поступает в пневмокамеру со средней скоростью v_0 , направленной навстречу воздушному потоку, движущемуся со средней скоростью u (рис. 2). В некоторый момент времени скорость падения семян и скорость воздушного потока окажутся равными по величине и противоположными по направлению. Зерна семенного материала в этот момент окажутся в мгновенно неподвижном (квазистатическом) состоянии.

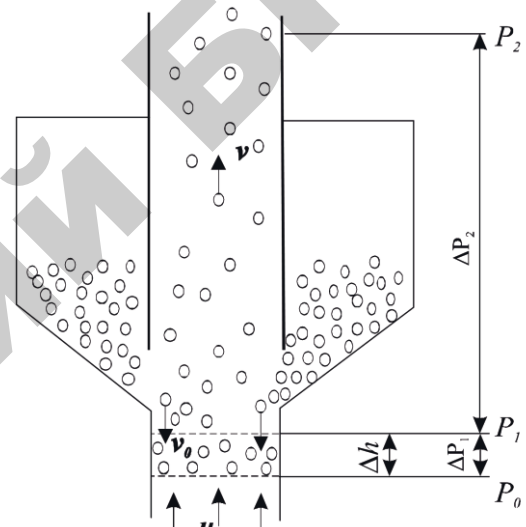


Рис.2. Схема взаимодействия семян с направленным воздушным потоком

Если при неизменных параметрах воздушного потока в камеру будут непрерывно поступать семена, то их концентрация вырастет до значения φ_c , которая определяется зависимостью:

$$\varphi_c = \gamma_c \cdot \frac{1}{S_k} \cdot \frac{Q_c}{v_c}, \quad (2)$$

где $\gamma_c = 10^3 \frac{V_z}{m_c}$ – удельный объем семян, кг/м³;

V_z – объем одного зерна культуры, м³;

m_c – масса 1000 семян культуры, г;

S_k – площадь поперечного сечения пневмокамеры протравливания, м²;

v_c – скорость движения семян, м/с;

Q_c – подача семенного материала, м³/с.

Множество неподвижных семян составят слой толщиной Δh . При определенной толщине этого слоя энергии воздушного потока окажется недостаточно, чтобы удержать его во взвешенном состоянии, и он

начнет оседать (обрушиваться) к основанию аппарата, нарушая, тем самым, технологический процесс.

С учетом концентрации φ_c , массу слоя Δh можно определить по зависимости:

$$m_{\Delta h} = (\rho_c - \rho_e) \varphi_c \cdot \Delta h \cdot S_k, \quad (3)$$

где ρ_c и ρ_e – соответственно плотность семян и воздуха, кг/м³.

В первом приближении свойства двухфазного потока описываются одной функциональной зависимостью между скоростью воздушного потока и разностью давлений на входе P_0 и выходе P_2 из камеры протравливания. Эта зависимость может быть представлена кривой $\Delta P = \Delta P(u)$ (рис. 3), характеризующей различное состояние частиц в двухфазном потоке [4].

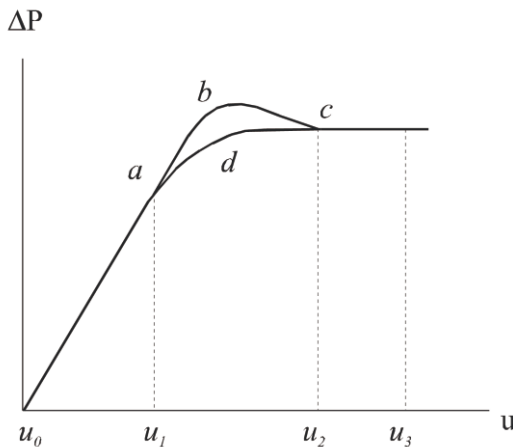


Рис.3. Зависимость потерь давления от скорости воздуха

Если плавно повышать скорость воздушного потока от значения $u=u_0$, то формирование неподвижного слоя семян, толщиной Δh (рис. 2), начнется при скорости u_1 . При скорости воздуха $u=u_2$ начинается отрыв отдельных частиц от слоя (отдельные семена начинают поступать в пневмокамеру), а дальнейшее повышение скорости воздуха до значения $u=u_3$ приведет к изменению квазистатического состояния слоя зерна, толщиной Δh , подъему и хаотическому движению семян в пневмокамере протравливания по всей высоте. Если же скорость воздуха увеличить до значения $u>u_3$, то начнется вылет семенного материала из пневмокамеры протравливания. При уменьшении скорости воздушного потока от значения u_3 до u_1 семена начнут оседать к основанию пневмокамеры. При этом неизбежны соударения между отдельными семенами, т.е. часть кинетической энергии превратится в тепловую. Вследствие этого, кривая оседания частиц cda (рис. 3) будет располагаться ниже кривой подъема abc . При изменении скорости воздушного потока от u_2 до u_1 , на участке ca образуется гистерезисная петля. Поэтому скорость оседания частиц будет выше, чем при подъеме. Таким образом, изменение скорости воздушного потока от u_1 до u_2 характеризует предельное равновесное состояние неподвижного слоя Δh (режим фильтрации) (рис. 2). Следует

отметить, что скорость воздушного потока u_1 должна быть равна скорости витания семян, а скорость u_2 равна предельной (критической) скорости воздушного потока, соответствующей началу разрушения неподвижного слоя. Следовательно, при $u_1 < u < u_2$ энергия воздушного потока расходуется на преодоление сил сопротивления фильтрации (сопротивление прохождению воздуха в промежутки между семенами) и аэродинамического сопротивления частиц. Суммарная сила сопротивления неподвижного слоя может быть определена по зависимости [5]

$$F_{\Sigma} = \frac{\nu_e \rho_e u}{k(1-\varphi_c)} \left[1 + \lambda \frac{u}{1-\varphi_c} \right] \cdot \Delta h S_k, \quad (4)$$

где ν_e – кинематическая вязкость воздуха, м²/с; k и λ – функции, зависящие от концентрации семян в неподвижном слое, причем

$$k = a_1 \frac{d_s^2 (1-\varphi_c)^2}{\varphi_c^2}, \quad \lambda = a_2 \frac{d_s (1-\varphi_c)}{\nu_e \varphi_c}, \quad (5)$$

где d_s – средний размер твердых частиц, определяемый как среднее геометрическое значение толщины, ширины и длины зерна, м;

a_1 и a_2 – соответственно коэффициенты аэродинамического сопротивления подъему и фильтрации неподвижного слоя.

Условие предельного статического равновесия определяется равенством сил тяжести неподвижного слоя (3) и сил суммарного аэродинамического сопротивления (4), отнесенным к единице объема

$$\frac{\nu_e \rho_e u}{k(1-\varphi_c)} \left[1 + \lambda \frac{u}{(1-\varphi_c)} \right] = (\rho_c - \rho_e) \cdot g \cdot \varphi_c. \quad (6)$$

Подставляя в зависимость (6) выражение (5), после преобразований получим

$$\rho_e u (\nu_e \varphi_c + a_2 d_s u) = a_1 d_s^2 \rho g (1-\varphi_c)^3, \quad (7)$$

где $\rho = \rho_c - \rho_e$ – разность между плотностью частиц и воздуха, кг/м³.

Замечая, что вязкость воздуха при нормальных условиях равна $\nu_e = 1,57 \cdot 10^{-5}$ м²/с, а максимальная объемная концентрация частиц в двухфазном потоке промышленных установок не превышает 0,03, то в уравнении (7) произведением $\nu_e \varphi_c \leq 4,71 \cdot 10^{-7}$ можно пренебречь как малой величиной по отношению ко всем остальным слагаемым. С учетом этого упрощенное уравнение (7) примет вид

$$f \rho_e u^2 = d_s \rho g (1-\varphi_c)^3, \quad (8)$$

где $f = a_2/a_1$ – отношение коэффициента сопротивления фильтрации к аэродинамическому коэффициенту сопротивления подъему.

Подставив в уравнение (8) вместо параметра φ_c выражение (2), получим зависимость между скоростью воздуха и производительностью агрегата в режиме предельного равновесия

$$f \rho_e u^5 - d_s \rho g (u - j Q_c)^3 = 0, \quad (9)$$

где $j = 10^3 \frac{V_3}{m_c S_k \alpha_{ск}}$ – комплекс физических величин (постоянная установки);

$\alpha_{ск} = \frac{v_c}{u}$ – коэффициент скольжения фаз, равный отношению средней скорости потока семян к средней скорости воздушного потока.

Действительный корень уравнения (9), определенный по методу Ньютона и удовлетворяющий физической сущности поставленной задачи, определяется выражением

$$u_* = \frac{4f\rho_2 w^5 - d_p \rho g [2w^3 - 3w^2 j Q_c + j^3 Q_c^3]}{5f\rho_2 w^4 - d_p \rho g [3w^2 + 6wj Q_c - 3j^2 Q_c^2]}, \quad (10)$$

где $u_* = u_2$ – предельная (критическая) скорость воздушного потока, при которой начинается разрушение неподвижного слоя (рис. 3), м/с;

$u_l = w$ – скорость воздушного потока, равная скорости витания частиц, при которой начинает формироваться неподвижный слой, м/с.

Параметры, входящие в формулу (10), не ограничены размерами семян какой-либо конкретной культуры, а носят общий характер. Поэтому формула (10) может быть использована для определения начальных условий полета семян различных культур в пневмокамере в зависимости от заданной производительности установки по зерну.

Графики изменения критической скорости в зависимости от производительности аппарата для протравливания семян различных культур, рассчитанные по формуле (10), представлены на рис. 4. Характер изменения этих кривых указывает на зависимость, близкую к линейной между критической скоростью и производительностью агрегата.

Зависимость (10) позволяет определить скорость воздушного потока, при которой происходит разрушение неподвижного слоя семян. Пренебрегая затратами энергии на преодоление сил трения семян о стенки пневмокамеры, определим величину динамического давления воздуха, необходимого для перемещения семян на высоту H .

Используя теорему об изменении кинетической энергии для подъема на высоту H ограниченного объема потока аэросмеси, получим

$$mu_6^2 - mu_*^2 = 2mgH. \quad (11)$$

После преобразования зависимости (10), определим скорость воздушного потока u_6 в сечении H от основания пневмокамеры протравливания

$$u_6 = \sqrt{u_*^2 + 2gH}. \quad (12)$$

Из анализа зависимости (12) следует, что при скорости воздушного потока $u > u_6$, семена покинут камеру протравливания. Если же скорость воздушного потока будет больше u_* , определяемой по зависимости (10), но меньше или равна скорости u_6 , то семена будут находиться во взвешенном состоянии, совершая хаотические движения в пределах пневмокамеры протравливания. Таким образом, скорость u_6 является граничной величиной, позволяющей установить определенный режим обработки семян: для обеспечения непрерывности технологического процесса действительная скорость воздушного потока u должна превышать скорость u_6 на величину Δu . Однако, чем меньше величина Δu , тем меньше удельные энергозатраты на транспортировку семян, меньше скорость движения, а следовательно, больше время нахождения семян в камере протравливания, т.е. выше качество обработки.

Заключение

Использование двух камер протравливания в пневмомеханическом протравливателе способно обеспечить эффект многократного покрытия семян защитно-стимулирующими препаратами в виде аэрозоля, рециркуляцию и вторичное использование не осевшего на семена препарата.

Степень протравливания семян в аппаратах данного типа определяется дисперсностью распыленной жидкости и временем взаимодействия семян с препаратом.

Объемную концентрацию, а, следовательно, и качество протравливания семян в пневмомеханическом протравливателе можно изменять:

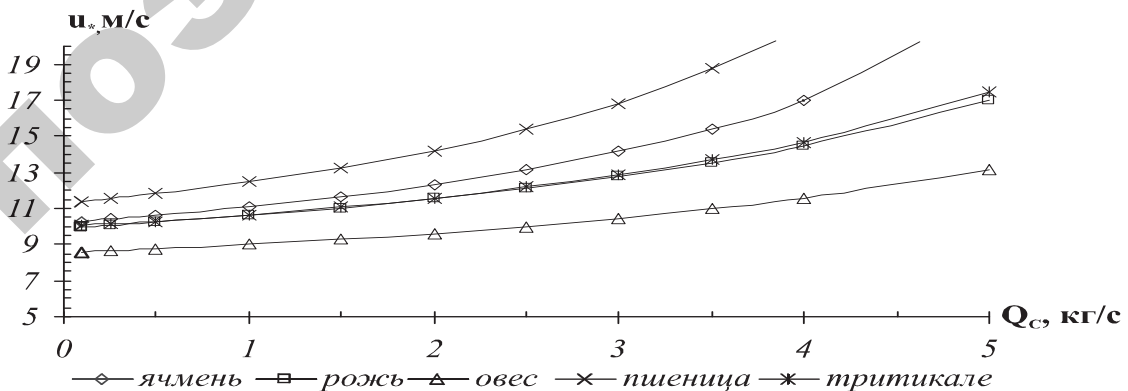


Рис. 4. Зависимость критической скорости воздушного потока от производительности протравливателя по условию разрушения неподвижного слоя семян

а) увеличением подачи семян распределительными дисками с прорезями, что при постоянной скорости воздушного потока приводит к уменьшению средней скорости потока семян, а, следовательно, к увеличению времени их пребывания в пневмокамере протравливания;

б) увеличением скорости воздушного потока при постоянной подаче семян, что приводит к увеличению средней скорости движения семян и уменьшению времени пребывания их в камере протравливания

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буга, С.Ф. Ретроспективный анализ данных по эффективности протравителей семян яровых зерновых культур, применяемых в Республике Беларусь в последние годы / С.Ф. Буга // Ахова раслін.–2002.–№ 1.–С. 29-35.

2. Ключков, А.В. Анализ способов и технических средств протравливания семян и перспективы их раз-

вития /А.В. Ключков, О.В. Гордеенко, С.С. Шкуратов, В.В. Азаренко // Агропанорама. –2019. – № 2 (132).–С. 20-25.

3. Успенский, В.А. Пневматический транспорт материалов во взвешенном состоянии / В.А. Успенский. – Свердловск: Metallurgizdat, 1952. – 146 с.

4. Ключков, А.В. Обоснование параметров технологического процесса протравливания семян в восходящем воздушном потоке / А.В. Ключков, И.В. Гордеенко // Математическое моделирование сельскохозяйственных объектов – основа проектирования технологий и машин XXI века: матер. междунар. науч.-практич. конф. / Акад. аграр. наук Респ. Беларусь; Беларус. науч.-исслед. ин-т механизации с.-х. – Минск, 2001. – С. 56-61.

5. Гупало, Ю.П. О переходе слоя твердых частиц во взвешенное состояние / Ю.П. Гупало, Г.П. Черепанов // Изв. Акад. наук СССР. – 1969. – №1.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 31.07.2019

УДК 631.312

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЬЧАТО-ПРУТКОВЫХ КАТКОВ

Ф.И. Назаров,

ассистент каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ

И.С. Крук,

проректор по научной работе – директор НИИМЭСХ БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния конструктивных и технологических параметров кольчато-прутковых катков на качество обработки почвы. Определены рациональные конструктивные и технологические параметры кольчато-прутковых катков. Обоснованы параметры установки катковых приставок относительно корпусов плуга.

Ключевые слова: почва, каток, эксперимент, плотность, кольчато-прутковый рабочий орган, установка.

The article presents the results of experimental studies of structural and technological parameters of ring-rod compactors influence on soil preparation quality. Rational design and technological parameters of ring-rod compactors are determined. The mounting parameters of compactor accessories relative to the plow body are substantiated.

Keywords: soil, compactor, experiment, density, ring-rod working body, mounting.

Введение

Важным направлением в развитии перспективной техники является разработка новых рабочих органов и машин, существенно повышающих качество обработки почвы и посева [1]. С целью улучшения процесса основной обработки почвы и снижения энергетических затрат на последующие технологические операции с плугами, применяются катковые приставки с кольчато-прутковыми рабочими органами (рис. 1), которые крошат, рыхлят и уплотняют

верхний слой обороченного пласта [2, 3]. При этом обеспечивается разрушение почвенных глыб и предотвращение их образования, более тесное размещение почвенных агрегатов, увеличение капиллярной пористости, а также создается более однородное состояние обрабатываемого слоя и частичное выравнивание поверхности почвы. Качественная обработка верхнего слоя почв легкого механического состава рабочими органами приставок позволяет уменьшить количество последующих обработок и сократить сро-