3. **Maltsev Piter**, Engineer, Azov and Black Sea Institute of Engineers Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Don State Agrarian University, 347740, Rostov district, Zernograd, Lenin St., 21, e-mail: achgaa@achgaa.ru.

Corn is a unique agricultural crop of multipurpose use, sowing of which is carried out in tight agrotechnical terms. Therefore, corn seeders must ensure a high quality seed distribution at significant operating speeds. The purpose of the present study is to increase the productivity and precision seeding machines, the constructive perfection of which largely determines the quality of maize seed distribution over the field area. One way to increase the productivity of precision seeding machines is to use «adaptive» metering elements formed by the intersection of radial slots in the sowing disk with a figured notch in the vacuum chamber lining. However, theoretical calculations have shown that the use of radial metering elements leads to a deliberate decrease in their tangential size, an increase in inertia force and a resultant resistance force. At high seeding rates this provokes an increase in the probability of formation of «zero» seed feeds. To overcome this disadvantage, it is suggested that elongated slots on

the sowing disk be manufactured in such a way that their long axes are oriented to radial rays at a certain angle α . In this case, the force of inertia will decrease by a factor, the capturing ability of the dosing element will increase, and the probability of formation of gaps will decrease. However, an excessive increase in the angle will lead to a predominance of the tangential positioning of the slot on the disc, which will reduce the quality of the «extra» seeder. It has been experimentally established that the most rational angle is the angle of deviation of the longitudinal axes of the «adaptive» dosing elements of the slots in the sowing disk from the radial direction $\alpha \approx 12$ degrees. In comparison with the serial sowing device, the use of the apparatus of the proposed design led to an increase in the frequency of individual seed feedings by an average of 5 %, while the device with inclined «adaptive» dosing elements ensured a frequency of single seed feeds $p_1 = 97\text{--}100\%$ at angular speeds of the sowing disk up to 5,1 rad / s.

© Несмиян А.Ю., Дубина К.П., Мальцев П.С.

УДК 631.31, 631.316.022

DOI: 10.31563/1684-7628-2018-46-2-117-129

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

РАЗРАБОТКА РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКСА МАШИН ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ЗОНЕ УРАЛА

Ключевые слова: почвенно-климатические условия; свойства почвы; сельскохозяйственные культуры; технология; обработка почвы; посев; комплекс машин; металлоемкость; тяговое сопротивление; производительность; урожайность.

Введение. Почвенно-климатические условия зоны Урала и других регионов России разнообразны. Они отличаются друг от друга величиной положительных температур и осадков в течение года и в вегетационный период; характером рельефа поверхности поля; типом и свойствами почв; подверженности почв различным видам эрозии (водной, ветровой, механической) и другими факторами. Результаты исследований и производственный опыт показывают, что в зависимости от этих факторов и требований высеваемых зерновых, кормовых и технических культур в хозяйствах зоны должны быть внедрены различные способы обра-

ботки почвы и посева, создающие условия для роста и развития растений и обеспечивающие необходимую плотность сложения почвы, а также экономное использование накопленной влаги и получение высоких урожаев [1–9]. В связи с этим существующие ранее технологии возделывания сельскохозяйственных культур (традиционная, почвозащитная, минимальная, нулевая), которые предусматривали ежегодное применение одних и тех же почвообрабатывающих и посевных машин, стали неэффективными, что вызывает необходимость их совершенствования. Поэтому разработка новых технологий и способов обработки почвы, а также

создание комплекса машин для их осуществления являются актуальной задачей и имеют практическое значение.

Цель исследований – разработка универсальной энергосберегающей технологии и спо-

собов обработки почвы и посева, обоснование параметров комплекса машин для возделывания сельскохозяйственных культур в различных почвенно-климатических условиях зоны Урала.

Рисунок 1
Универсальная технология возделывания сельскохозяйственных культур

Материалы и методы исследований. С учетом положительных элементов существующих технологий разработана универсальная ресурсосберегающая технология обработки почвы и посева, которая предусматривает необходимость использования в различных зонах и почвенно-климатических условиях в севообороте под конкретные культуры различные способы обработки почвы и посева, которые направлены на сохранение и накопление влаги, а также на экономное её использование [4–8]. Предлагаемая технология обработки почвы и посева сельскохозяйственных культур (рисунок 1) включает в себя осеннее послеуборочное (вслед за уборкой) поверхностное, влагоаккумулирующее рыхление по стерне на глубину 3–5 см, основную зяблевую отвальную или безотвальную обработку почвы на глубину 10–30 см в зависимости от возделываемой культуры и глубины пахотного слоя или глубокое влагонакопительное чизельное рыхление (один раз в

севообороте) на глубину 35–45 см, а весной – поверхностное влагозащитное рыхление на глубину заделки семян, а затем влагосберегающую мульчирующую выровненную предпосевную обработку на ту же глубину с созданием уплотненного семенного ложа и вычесыванием сорняков в начальной стадии их развития, что позволяет создать стабильный тепло-, влаговоздушный режим в посевном слое. Посев с внесением удобрений в зависимости от высеваемой культуры, условий зоны и почвенно-климатических условий года должны быть выполнены рядовым, узкорядным, широкорядным или разбросным способами [9]. В севообороте в последующие годы по мере накопления влаги и в зависимости от степени засухи и почвенных условий можно выполнить только основное влагопоглощающее рыхление почвы на необходимую в зависимости от возделываемой культуры глубину соответствующим рабочим органом и весеннюю предпосевную влагосбе-

регающую обработку почвы с созданием уплотненного семенного ложа и вычесыванием сорняков и посев возделываемых культур. При посеве зерновых культур предпосевная обработка почвы и посев могут быть совмещены при использовании почвообрабатывающих посевных агрегатов.

Особенность предлагаемой технологии – применимость в экстремальных условиях избытка влаги: накопление её ниже пахотного слоя без образования на поле вымачивающих блюдцев и лиманов, а также паводков, смывающих плодородный слой; а в случае засухи – сохранение накопленного запаса влаги до созревания урожая вопреки иссушающему испарению. Рекомендуемая технология обработки почвы и посева сельскохозяйственных культур предусматривает применение следующих типов рабочих органов (рисунки 2 и 3) [9–19]:

- корпус плуга для отвальной обработки почвы при возделывании картофеля, овощных и технических культур, для заделки в почву органических удобрений, а также один раз в севообороте через 5–9 лет при возделывании зерновых культур для перемещения верхнего плодородного слоя почвы вниз с целью их лучшего использования (рисунок 2а);

- лапа стрельчатая шириной захвата 0,4–1,0 м для ежегодной безотвальной обработки почв, подверженных водной и ветровой эрозии, и по мере необходимости при возделывании зерновых культур (рисунок 2б);

- чизельный рабочий орган для разуплотнения подпахотного горизонта на глубину 0,35–0,45 м один раз в севообороте и по мере необходимости для рыхления верхнего слоя почвы на глубину 0,2–0,25 м (рисунок 2в);

- универсальный рабочий орган взамен корпуса плуга, лапы и чизельного рабочего органа (рисунок 2г);

- пружинные рыхлители для разбрасывания измельченной соломы и мульчирования верхнего слоя почвы вслед за уборкой зерновых культур, а также для раннего закрытия влаги (рисунок 3а);

- рыхлители или лапы на пружинной S-образной стойке для закрытия влаги и предпосевной обработки почвы с вычесыванием корневых систем сорняков (рисунок 3б);

- стрельчатые лапы на жесткой или подпружиненной стойке для предпосевной обработки почвы, обработки пара и основной обработки почвы с подрезанием корневых систем сорняков (рисунок 3в, 3 г, 3д);

- дисковые рабочие органы для первичной обработки залежных земель, основной отвальной обработки почвы, предпосевной обработки

и обработки пара с подрезанием корневых систем сорняков и заделкой их в почву (рисунки 3е, 3ж);

- анкерные сошники для рядового посева с одно- и двухстрочным высевам и разноглубинной заделкой семян и удобрений с индивидуальным прикатывающим катком (рисунки 3з, 3и);

- лаповые сошники для подпочвенно-разбросного высева семян и удобрений (рисунок 3к);

- катки прутковые диаметром 0,25 м для выравнивания и мульчирования верхнего слоя почвы, создания семенного ложа для семян, вычесывания корневых систем сорняков;

- катки диаметром 0,4–0,5 м с гладкими полосами или прутками круглого сечения с их расположением перпендикулярно или под углом к направлению движения для измельчения крупных комков, выравнивания и прикатывания верхнего слоя почвы;

- катки сдвоенные, совмещающие различные типы катков для лучшей подготовки твердых почв.

Выбор типа рабочих органов для подготовки почвы под посев и для посева различных культур зависит от почвенно-климатических условий зоны, рельефа поля, подверженности различным видам эрозии, наличия влаги в почве, севооборота и места возделываемой культуры в севообороте. Поскольку все эти условия изменчивы, для создания оптимальных условий роста и развития растений необходимо провести обработку почвы и посев с различными типами рабочих органов. Для уменьшения количества машин, необходимых при выполнении всех технологических операций, вновь создаваемые машины должны быть универсальными, со сменными рабочими органами или сменными модулями, а для сокращения количества проходов агрегатов по полю они должны быть комбинированными, выполняющими несколько технологических операций за один проход агрегата. Степень универсализации машин зависит от размеров площади пашни и направления деятельности хозяйств, а также от количества и класса тяги тракторов, имеющихся в хозяйстве. Расчетами установлено, что для крестьянских и фермерских хозяйств с площадью пашни до 1000–1200 га в севообороте с посевом различных культур необходимо одно орудие для трактора класса тяги 3 с полной универсализацией, возможностью выполнения всех видов основной и дополнительной обработок почвы и посева сельскохозяйственных культур, со сменными рабочими органами и сменными модулями.

Рисунок 2
Рабочие органы для основной обработки почвы

Рисунок 3
Рабочие органы для дополнительной обработки почвы и посева

Средним фермерским хозяйствам с площадью пашни до 7–10 тыс. га необходимы универсальные орудия для тракторов класса тяги 3–5 со сменными рабочими органами для основной обработки почвы (отвальная, безотвальная, чизельная), со сменными модулями для работы на глубину 0,1–0,16 м и почвообрабатывающие посевные агрегаты со сменными модулями для закрытия влаги, предпосевной обработки почвы и посева с различными типами рабочих органов на глубину 0,06–0,1 м. Крупным агрохолдингам необходимы однооперационные комбинированные машины с целью выполнения всех технологических операций для тракторов класса тяги 5–8 [20].

Такие направления в создании машин обеспечивают повышение производительности агрегатов, снижение металлоемкости и стоимости комплекса машин для возделывания сельскохозяйственных культур, что в конечном счете обеспечит снижение себестоимости продукции и повышение рентабельности производства сельскохозяйственной продукции. При этом вновь создаваемый комплекс почвообрабатывающих и посевных машин должен соответствовать требованиям технологии возделывания сельскохозяйственных культур в севообороте для различных почвенно-климатических условий зоны и года; выполнять требования агротехники по глубине обработки, крошению почвы, сохранению стерни, уничтожению сорняков и т. д.; иметь малую металлоемкость, большую прочность и надежность конструк-

ции, малое тяговое сопротивление, высокую производительность, малую стоимость, малый расход топлива; обеспечивать легкость управления и регулирования; отвечать требованиям безопасности жизнедеятельности и экологии.

Почвообрабатывающие и посевные машины выполняются по различным конструктивным схемам (рисунки 4 и 5). В зависимости от типа рабочего органа и характера взаимодействия с почвой на почвообрабатывающих машинах для основной обработки почвы рабочие органы на раме орудия располагаются в шахматном порядке (рисунок 4а) в виде симметричного клина (рисунок 4б) или по плужной схеме с расположением рабочих органов в один и более рядов (рисунки 4в и 4г). На культиваторах для основной и дополнительной обработок почвы рабочие органы на раме располагаются в шахматном порядке в два, три, четыре и более рядов. Наиболее сложную конструктивную схему имеют почвообрабатывающие агрегаты с пневматическим высевом семян, где почвообрабатывающая посевная часть и бункер для семян и удобрений выполняются отдельно (рисунок 5). Бункер для семян и удобрений может быть расположен на отдельном прицепе спереди или сзади почвообрабатывающей посевной части (рисунки 5а, 5б), на прицепе (рисунок 5в) или непосредственно на раме почвообрабатывающей посевной части (рисунок 5г). В зависимости от выбранной конструктивной схемы изменяется металлоемкость проектируемой машины [11, 12].

Рисунок 4

Конструктивные схемы машин для основной обработки почвы

В общем виде сила тяжести почвообрабатывающих посевных машин и агрегатов G_0 , кН, выполненных по различным конструктивным

схемам, состоит из силы тяжести прицепного устройства, рамы, рабочих органов и опорных колес с механизмами регулирования, приспособ-

соблений (катки, боронки, выравниватели и т. д.), бункера для семян и удобрений, ходовой

части бункера и выражается по следующей зависимости [1]:

$$G_0 = 0,5S\gamma B + \beta a_{1i} K_{1i} B L^2 + \alpha a_{1i} K_{1i} B + \sum_{i=1}^n (\eta_i a_{2i} K_{2i} B) + 0,36\sigma B V_a T \left(\frac{Q_c}{\gamma_c} + \frac{Q_y}{\gamma_y} \right) + 0,0036 B V_a T \delta \left[100\sigma \left(\frac{Q_c}{\gamma_c} + \frac{Q_y}{\gamma_y} \right) + Q_c + Q_y \right], \text{ кН}, \quad (1)$$

где S – площадь поперечного сечения профиля металла прицепного устройства, м^2 ; γ – удельный вес металла, $\text{кН}/\text{м}^3$; B – ширина захвата машины, м ; β – коэффициент удельной металлоемкости рамных конструкций орудия, $1/\text{м}^2$; K_{1i} – удельное сопротивление почвы сменных рабочих органов или сменных модулей, $\text{кН}/\text{м}^2$; a_{1i} – глубина хода сменных рабочих органов или сменных модулей, м ; L – расстояние от оси присоединения переднего бруса рамы к механизму навески трактора или прицепного устройства орудия до точки приложения равнодействующих всех сил с учетом дополнительных рабочих органов, м ; K_{2i} – удельное сопротивление почвы различных типов дополнительных рабочих органов (борон, катков, выравнивателей и т. д.), $\text{кН}/\text{м}^2$; a_{2i} – глубина хода

дополнительных рабочих органов, м ; n – количество одновременно работающих дополнительных рабочих органов и приспособлений, шт.; V_a – скорость движения агрегатов, $\text{м}/\text{с}$; α – коэффициент удельной металлоемкости сменных рабочих органов или модулей; η_i – коэффициент удельной металлоемкости отдельных дополнительных рабочих органов или приспособлений; γ_c – объемная масса семян, засыпаемых в бункер, $\text{кг}/\text{м}^3$; γ_y – объемная масса удобрений, засыпаемых в бункер, $\text{кг}/\text{м}^3$; T – время между заправками бункера, ч ; Q_c – норма высева семян, $\text{кг}/\text{га}$; Q_y – норма высева удобрений, $\text{кг}/\text{га}$; δ – коэффициент металлоемкости ходовой части бункера; σ – коэффициент удельной металлоемкости бункера, $\text{кН}/\text{м}^3$.

Рисунок 5
Конструктивные схемы почвообрабатывающих посевных агрегатов

Согласно формуле (1) можно определить силу тяжести любых почвообрабатывающих и посевных машин и агрегатов, выполненных по различным конструктивным схемам, при известных коэффициентах металлоемкости α , β , η ,

σ , δ , для их совершенствования или при проектировании, проводя прочностные расчеты, определить силу тяжести определенных узлов машин и агрегатов, а также коэффициенты металлоемкости для дальнейшего их использования.

Конструктивную схему почвообрабатывающих и посевных машин в формуле (1) определяет расстояние L , м, которое определяется по следующим зависимостям:

- для расположения рабочих органов – по шахматной схеме (рисунок 4а):

$$L = l_0 + 0,5l_p(c_1 - 1), \text{ м}, \quad (2)$$

- для расположения рабочих органов – в виде симметричного клина (рисунок 4б):

$$L = l_0 + 0,25l_p(c_2 - 1), \text{ м}, \quad (3)$$

- для расположения рабочих органов – по плужной схеме в один или несколько рядов (рисунки 4в и 4г):

$$L = l_0 + \frac{0,5l_p(n_1 - c_3)}{c_3}, \text{ м}, \quad (4)$$

$$P = fG_M + f_1(G_6 + G_x + G_c + G_y) + K_{1i}a_{1i}B + \varepsilon a_{1i}BV_a^2 + \sum_{i=1}^n (K_{2i}a_{2i}B), \quad (5)$$

где f – коэффициент протаскивания почвообрабатывающей машины в борозде; G_M – сила тяжести почвообрабатывающей части машины, кН; f_1 – коэффициент перекачивания колес бункера и машины; G_6 – сила тяжести бункера, кН; G_x – сила тяжести ходовой части бункера, кН; G_c – сила тяжести семян в бункере, кН; G_y – сила тяжести удобрений в бункере, кН; ε – коэффициент, учитывающий влияние скорости движения, свойств почвы и формы рабочей поверхности рабочего органа на тяговое сопротивление, кНс²/м⁴.

В зависимости от конструктивной схемы почвообрабатывающей посевной машины значения коэффициентов, входящих в уравнение, будут различны.

Основным показателем работы почвообрабатывающего посевного агрегата при работе с тракторами различного класса тяги (различной мощности двигателя) является его производительность W , га/ч, которая определяется по формуле:

$$W = \frac{0,36N_e\eta_T\tau\eta}{\frac{fG_M + f_1(G_6 + G_x + G_c + G_y)}{B} + K_{1i}a_{1i} + \varepsilon a_{1i}V_a^2 + \sum_{i=1}^n (K_{2i}a_{2i})}, \quad (9)$$

Подставляя в уравнение (9) значения силы тяжести отдельных частей почвообрабатывающей посевной машины из формулы (1) и решая полученное кубическое уравнение по формуле Кардано, получим значения производительности агрегата для всех типов почвообрабатывающих и посевных машин в зависимости от скорости движения и ширины захвата агрегата для различных марок тракторов, агрегатированных с почвообрабатывающими посевными агрегатами, выполненных по различным конструктивным схемам, с разной степенью универсали-

где l_0 – расстояние от оси присоединения навесного орудия к механизму навески трактора или прицепному устройству машины до центра сопротивления первого рабочего органа или первого ряда рабочих органов, м; l_p – расстояние между рядами рабочих органов по ходу движения, м; C_1 – количество рядов рабочих органов на раме орудия, шт.; C_2 – количество рядов рабочих органов на раме орудия по ходу движения, шт.; C_3 – количество рядов расположения рабочих органов на раме орудия, шт.; n_1 – количество рабочих органов на раме плуга, шт.

При известной силе тяжести почвообрабатывающей и посевной машины по формуле академика В.П. Горячкина можно определить ее тяговое сопротивление при различных условиях работы, ширине захвата и скорости движения агрегата в виде:

$$W = 0,36BV_a\tau, \quad (6)$$

где τ – коэффициент использования времени смены.

Для достижения максимальной производительности агрегата необходимо определить рациональное сочетание ширины захвата машины (B , м) и скорости движения агрегата (V_a , м/с) при известной мощности двигателя трактора (N_e , кВт).

Известно, что мощность на крюке трактора $N_{кр}$, кВт, равна:

$$N_{кр} = N_e\eta_T = P_{кр}V_a = \frac{PV_a}{\eta}. \quad (7)$$

Отсюда

$$V_a = \frac{N_e\eta_T\eta}{P}, \quad (8)$$

где $P_{кр}$ – тяговое усилие на крюке трактора, кН; η_T – коэффициент полезного действия трансмиссии трактора; η – коэффициент использования тягового усилия на крюке трактора.

Подставляя значения P и V_a из формулы (5) и (8) в уравнение (6), получим:

зации для работы в различных почвенно-климатических условиях.

Результаты исследований. Согласно описанной методике определены коэффициенты металлоемкости существующих типов плугов, плоскорезов, глубокорыхлителей, культиваторов, дискаторов, почвообрабатывающих посевных агрегатов отечественного и зарубежного производства. В качестве примера в таблице 1 представлены коэффициенты металлоемкости различных типов орудий, полученных согласно формуле (1) для самых тяжелых условий их

работы. При известных значениях коэффициентов β , α , η , σ и δ можно определить зависимость силы тяжести почвообрабатывающих и посевных машин от ширины захвата для заданных значений глубины обработки, свойств почвы, типа приспособлений и конструктивной схемы орудия. В качестве примера на рисунке 6 представлена зависимость силы тяжести почвообрабатывающих и посевных машин от ширины их захвата при соответствующих максимальных значениях глубины обработки и удельного сопротивления почвы. Видно, что сила тяжести

почвообрабатывающих орудий, выполненных по плужной схеме, возрастает по параболической зависимости, а у машин, выполненных с расположением рабочих органов в шахматном порядке в два и более рядов, возрастает по прямой. Степень возрастания зависит от условий их работы и конструктивного исполнения. Соответственно тяговое сопротивление этих орудий, определяемое по формуле (5), при прочих равных условиях зависит в основном от силы тяжести орудий.

Таблица 1 Значения коэффициентов металлоемкости различных типов машин

№	Наименование почвообрабатывающих и посевных машин	β , 1/м ²	α	η	σ , кН/м ³	δ
1	Плуги навесные типа ПЛН	0,02	0,137	—	—	—
2	Полунавесные оборотные плуги типа ППО	0,026	0,24	—	—	—
3	Полунавесные оборотные плуги Lemken	0,024	0,188	—	—	—
4	Плуги двухсекционные типа ПСН	0,030	0,124	—	—	—
5	Универсальные плуги со сменными рабочими органами	0,019	0,277	—	—	—
6	Плуг чизельный типа ПЧ	0,039	0,032	1,3	—	—
7	Дискаторы БДМ-6	0,17	0,46	0,28	—	—
8	Борона тяжелая игольчатая БТИ-21	0,25	0,9	—	—	—
9	Борона легкая игольчатая БМЗ-24	0,73	0,44	—	—	—
10	Культиваторы типа КЛДН	0,2	0,19	1,17	—	—
11	Почвообрабатывающий посевной агрегат для рядового посева	0,17	0,37	1,1	0,67	0,1
12	Почвообрабатывающий посевной агрегат для разбросного посева	0,2	0,44	1,1	0,67	0,1
13	Культиватор с рыхлителем на пружинной стойке	0,2	0,44	0,37	—	—
14	Культиватор с лапой на жесткой стойке	0,076	0,1	0,28	—	—
15	Культиватор с лапой на подпружиненной стойке	0,076	0,14	0,28	—	—

Рисунок 6

Зависимость производительности машины:

а) для основной обработки почвы; б) для дополнительной обработки почвы; в) почвообрабатывающего посевного агрегата от ширины захвата при тяжелых и легких условиях работы

При известных значениях силы тяжести машин и тягового их сопротивления, согласно зависимости (9), определена производительность агрегатов при работе с различными почвообрабатывающими и посевными машинами, различных значениях скорости движения агрегата и ширины захвата машин. На рисунке 7 представлены в виде графиков эти зависимости для машин основной и дополнительной обработки почвы и почвообрабатывающих посевных машин при различных условиях работы. Полученные зависимости позволяют установить рациональные значения скорости движения агрегата и ширины захвата машины, которые обеспечивают получение максимальной производительности агрегата. На основе проведенных расчетов установлены рациональные значения ширины захвата машин и силы тяжести орудий для тракторов класса тяги 1,4; 3; 5 и 6–7.

Полученные параметры машин использованы конструкторами ООО «Челябинский компрессорный завод» при разработке и постановке на производство различных типов почвообрабатывающих и посевных машин (таблица 2).

Таким образом, разработанный комплекс почвообрабатывающих и посевных машин со сменными рабочими органами и сменными модулями с различными типами рабочих органов позволяет выполнить все виды обработок почвы и посева для рекомендуемой технологии возделывания сельскохозяйственных культур в различных почвенно-климатических условиях зоны Урала.

Разработанный почвообрабатывающий посевной агрегат со сменными модулями имеет следующие преимущества перед зарубежными

аналогами: снижение металлоёмкости в 3–5 раз; снижение потребной мощности в 2 раза; повышение производительности агрегата на 25–50 %; снижение расхода топлива в 2–3 раза; устранение водной, ветровой эрозии и уплотнения почвы; полная всасываемость в зональные технологии возделывания и производства сельскохозяйственных культур при соблюдении установленных экологических требований; возможность быстрой перекомпоновки орудий с различными типами сменных модулей; малую стоимость; дешевый и оперативный сервис.

Внедрение рекомендованной технологии и комплекса машин в полном объеме в фермерском хозяйстве Шумских К.И. в засушливой степной зоне Челябинской области на площади 7 тыс. га обеспечило получение урожая в среднем за пять лет 3,0–3,5 т/га при средней урожайности по району 1,4–1,5 т/га, то есть урожайность зерновых культур увеличилась в 2 и более раз. При этом в хозяйстве себестоимость твердой пшеницы составила 2527 руб./т, ячменя – 1985 руб./т, семян подсолнечника – 7398 руб./га, что обеспечивает высокую рентабельность производства зерновых и других культур в зоне Урала.

Все это показывает, что разработанная по заданию МСХ РФ, ВИМ ресурсосберегающая технология и выпускаемый в ООО «Челябинский компрессорный завод» инновационный импортозамещающий комплекс машин создают условия для роста и развития растений, увеличивают урожайность возделываемых культур и обеспечивают рентабельность производства сельскохозяйственных культур в хозяйствах различных размеров пашни и направления деятельности.

Таблица 2 Комплекс почвообрабатывающих и посевных машин к тракторам различных тяговых классов для рекомендуемой технологии производства зерновых и кормовых культур, выпускаемый в ООО «Челябинский компрессорный завод»

Операция	Тяговый класс тракторов			
	1,4	3	5	6-7
Лущение стерни (дискаторы)	БДН-2,4	БДН-4,0	БДН-6,0 БДН-8,0 БДП-8×4	БДН-8,0 БДП-8×4 БДП-10×4
Основная обработка (отвальная, безотвальная, чизелевание)	–	ПФО-2,4	ПФО-4,0	ПФО-5,6
Основная минимальная обработка почвы	КУН-2,5 БДН-2,4	КУН-4,0 КУП-4,0 БДН-4,0	КУН-6,0 КУП-6,0 КУП-8,0 БДН-6,0 БДН-8,0 БДП-8×4	КУП-10,0 КУП-12,0 БДН-8,0 БДП-8×4 БДП-10×4
Предпосевная обработка почвы	КПО-4,0 КПО-6,0	КПО-6,0 КПО-8,0	КПО-10,0 КПО-12,0	КПО-16,0 КПО-18,0
Посевные машины пневматические	–	ППМ-8,0 ППМ-10,0	ППМ-10,0 ППМ-12,0	ППМ-14,0 ППМ-18,0
Почвообрабатывающие посевные агрегаты со сменными модулями	ППА-5,12	ППА-7,56	ППА-10,2 ППА-12,8	ППА-15,3 ППА-17,9
Обработка посевов. Ротационные бороны	БРН-5,6	БРН-9,0	–	–

Рисунок 7

Зависимость производительности машины:

- а) для основной обработки почвы; б) для дополнительной обработки почвы;
в) почвообрабатывающего посевного агрегата от ширины захвата при тяжелых и легких условиях работы

Выводы. На основе проведенных исследований: 1) разработана универсальная технология обработки почвы и посева, которая предусматривает в зависимости от почвенно-климатических зон, севооборота, условий года, рельефа, свойств почв и типа возделываемой культуры различные способы обработки почвы и посева; 2) установлены типы рабочих органов для основной и дополнительной обработок почвы и посева; 3) установлена необходимость и эффективность создания универсальных и комбинированных машин со сменными рабочими органами или сменными модулями; установлена степень универсализации машин для хозяйств с различными площадями пашни и

направлениями их развития; 4) разработаны требования к вновь создаваемым почвообрабатывающим и посевным машинам; 5) установлены преимущества и недостатки различных конструктивных схем машин; 6) получены формулы для определения силы тяжести и производительности почвообрабатывающих и посевных машин; 7) определены значения коэффициентов металлоемкости различных типов машин и получены зависимости силы тяжести машин от их ширины захвата; 8) получены зависимости тягового сопротивления машин и производительности агрегатов от их ширины захвата к скорости движения агрегата, которые позволили установить рациональные значения

ширины захвата для тракторов различного тягового класса; 9) разработан и поставлен на производство в ООО «Челябинский компрес-

сорный завод» комплекс машин по обоснованным параметрам для тракторов класса тяги 1,4; 3,0; 5,0; 6,0; 7,0.

Библиографический список

1. Козаченко, А.П. Состояние, почвенно-экономическая оценка и приемы реабилитации и использования земель сельскохозяйственного назначения Челябинской области на основе адаптивно-ландшафтной системы земледелия [Текст]: монография / А.П. Козаченко. Челябинск: ООП ЧГАУ, 2004. 380 с.
2. Обработка почвы [Текст]: учебное пособие / А.Г. Таскаева, В.В. Бледных, Р.С. Рахимов. Челябинск: РИО ЧГАА, 2012. 111 с.
3. Бледных, В.В. Устройство, расчет и проектирование почвообрабатывающих орудий [Текст]: учебное пособие / В.В. Бледных. Челябинск: ЧГАА, 2010. 214 с.
4. Противозасушливая ресурсосберегающая технология и машины для производства зерновых культур в зоне Южного Урала [Текст] / Р.С. Рахимов, Н.К. Мазитов [и др.] // Вестник ЧГАА. 2011. Т. 58. С. 84–88.
5. Противозасушливая энергосберегающая технология обработки почвы на основе применения техники регионального сельхозмашиностроения [Текст] / Мазитов Н.К. [и др.] // Вестник РАСХН. 2011. № 3. С. 36–38.
6. Противозасушливая технология обработки почвы [Текст] / Мазитов Н.К. [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. № 1. С. 26–28.
7. Принципы создания и испытания конкурентоспособной почвообрабатывающей техники [Текст] / Н.К. Мазитов, Я.П. Лобачевский [и др.] // Техніка и технології АПК. Київ. 2014. № 4 (55). С. 14–19.
8. Окунев, Г.А. Совершенствование и развитие технологии и технического оснащения зернового производства степных целинных районов СНГ [Текст] / Г.А. Окунев, Р.С. Рахимов // Агроинженерная наука – сельскохозяйственному производству. Кустанай. 2012.
9. Способ обработки почвы [Текст] // Патент на изобретение № 2457651 RU, заяв. № 2011105850/22 от 16.02.2011. Опубл. 10.08.2012.
10. Мазитов, Н.К. Блочно-модульный почвообрабатывающе-посевной комплекс [Текст] / Н.К. Мазитов. М., 2008. 224 с.
11. Рахимов, Р.С. Определение металлоемкости орудий при их проектировании [Текст] / Р.С. Рахимов, И.Р. Рахимов [и др.]; ЮУрГАУ // АПК России. 2015. Т. 74. С. 110–118.
12. Универсальный комбинированный широкозахватный модульный сельскохозяйственный агрегат [Текст] // Патент на полезную модель № 175202. Опубликовано 28.11.2017. бюл. № 34.
13. Синеоков, Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин [Текст] / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. М: Машиностроение, 1977. 328 с.
14. Циммерман, М.З. Рабочие органы почвообрабатывающих машин [Текст] / М.З. Циммерман. М: Машиностроение, 1976. 295 с.
15. Бледных, В.В. Результаты модернизации техники и технологии обработки почвы и посева сельскохозяйственных культур в экстремальных климатических условиях [Текст] / В.В. Бледных [и др.] // Вестник ЧГАА. 2014. С. 5–13.
16. Мазитов, Н.К. Влаго- и энергосберегающие технологии обработки почвы и посева в острозасушливых условиях [Текст] / Н.К. Мазитов [и др.] // Техника и оборудование для села. 2016. № 3. С. 2–6.
17. Мазитов, Н.К. Эффективность модернизированной влагоаккумулирующей технологии обработки почвы [Текст] / Н.К. Мазитов [и др.] // Вестник ЧГАА. 2013. С. 66–70.
18. Хлызов, Н.Т. Обоснование конструктивной схемы и параметров почвообрабатывающих посевных машин на основе обобщенной математической модели [Текст] / Н.Т. Хлызов // Вестник ЧГАА. 2013. С. 104–113.
19. Мазитов, Н.К. Российская технология обработки почвы и посева на основе собственных конкурентоспособных инновационных машин [Текст] / Н.К. Мазитов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 7. С. 68–70.
20. Рахимов, Р.С. Повышение эффективности использования сельскохозяйственных агрегатов с тракторами Агромаш «Руслан» [Текст] / Р.С. Рахимов [и др.] // Материалы конференции Чувашской ГАА. Чебоксары. 2016. С. 211–224.

Сведения об авторах

1. **Рахимов Раис Саитгалеевич**, доктор технических наук, профессор, кафедра «Тракторы, сельскохозяйственные машины и земледелие», ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ, e-mail: ildarr@bk.ru.

2. **Мударисов Салават Гумерович**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой строительно-дорожных, коммунальных и сельскохозяйственных машин, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, e-mail: salavam@gmail.com.

3. **Рахимов Ильдар Раисович**, канд. технических наук, соискатель кафедры строительно-дорожных, коммунальных и сельскохозяйственных машин, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, e-mail: ildarr@bk.ru.

Почвенно-климатические условия, рельеф, свойства почвы и подверженность почв различным видам эрозии, севообороты и возделываемые культуры в различных зонах Урала различны, что требует внедрения в каждой зоне соответствующих этим условиям способов обработки почвы и посева сельскохозяйственных культур. В связи с этим целью исследования являются разработка универсальной энергосберегающей технологии и способов обработки почвы и посева и обоснование параметров комплекса машин для возделывания сельскохозяйственных культур в различных почвенно-климатических условиях зоны Урала. Обоснован набор рабочих органов для основной и дополнительной обработок почвы и посева, необходимых для внедрения рекомендованной технологии, и выявлены требования к вновь создаваемым машинам. Разработана методика опреде-

ления металлоемкости, тягового сопротивления и производительности агрегата с рекомендуемым набором рабочих органов для работы в различных условиях. Результаты расчетов по разработанным зависимостям позволяют определить рациональные параметры ширины захвата орудия и скорости движения агрегата, обеспечивающие максимум производительности агрегата, которые использованы при создании комплекса машин для обработки почвы и посева в ООО «Челябинский компрессорный завод». Результаты испытаний комплекса машин в различных зонах Челябинской области в соответствии с рекомендуемой технологией возделывания сельскохозяйственных культур показали их эффективность. Они обеспечивают создание условий для роста и развития растений, что повышает урожайность возделываемых культур в 1,5–2 раза.

R. Rakhimov, S. Mudarisov, I. Rakhimov

DEVELOPMENT OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY AND JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF MACHINERY COMPLEX FOR AGRICULTURAL CROPS IN THE URALS REGION

Key words: *soil and climatic conditions; soil properties; agricultural crops; technology; soil cultivation; sowing; complex of machines; metal consumption; tractive resistance; productivity; yield productivity.*

Authors' personal details

1. **Rakhimov Rais**, Doctor of technical sciences, professor of the Tractors, farm machinery, farming department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education South Ural State Agrarian University», e-mail: ildarr@bk.ru.

2. **Mudarisov Salavat**, Doctor of technical sciences, 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: salavam@gmail.com.

3. **Rakhimov Ildar**, Candidate of technical sciences, doctoral student 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: ildarr@bk.ru.

Soil-climatic conditions, relief, soil properties and soil susceptibility to various types of erosion, crop rotation and cultivated crops in different zones of the Ural are different, which requires the introduction in each zone of appropriate methods of cultivating soil and sowing crops. In this regard, the goal of the study is the development of a universal energy-saving technology and methods for tillage and sowing and the justification of the pa-

rameters of a complex of machines for cultivating agricultural crops in various soil and climatic conditions of the Ural region. The set of working elements for basic and additional tillage and sowing necessary for introduction of the recommended technology and requirements for newly created machines have been substantiated. The technique of determination of metal consumption, traction resistance and productivity of the unit with a rec-

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]:

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

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; $\rho_{\text{жс}}$ – 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-