

Габаев А. Х.

Gabaev A. H.

**РЕГУЛИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ГЛУБИНЫ БОРОЗДЫ
ПРИ ПОСЕВЕ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР**

**REGULATION AND CONTROL OF THE DEPTH OF THE FURROW
WHEN SOWING CEREAL SEEDS**

Наибольшие трудности при изучении динамики сельскохозяйственных машин вызывает определение обобщенных сил и особенно той их части, которая связана с взаимодействием рабочих органов сельскохозяйственных машин и сопротивлением почвы. Это обусловлено тем, что в настоящее время отсутствуют аналитические зависимости, которые достаточно точно описывали бы силовое взаимодействие рабочих органов почвообрабатывающих машин с почвой.

В общем случае почва обладает одновременно упругими, пластическими и вязкими свойствами, которые в зависимости от конкретных условий проявляются по-разному, что в итоге определяет и различный характер протекания деформационных процессов. Неоднородность механического состава и строения почвы, колебания влажности приводят к тому, что процесс взаимодействия имеет статистический характер, в результате силы сопротивления представляют собой случайные функции времени (пути) и не могут быть выражены в виде детерминированных зависимостей.

Исходя из изложенного, целесообразно воспользоваться функциональными зависимостями, полученными методами механики почв, которые связывают силы сопротивления с механическими характеристиками почвы, геометрическими и режимными параметрами.

В механике почв силы сопротивления изучают на основе статических моделей, предполагающих неизменность условий взаимодействия и механических свойств почвы. Следовательно, найденные этими методами зависимости можно рассматривать как статистические характеристики систем «почва – рабочий орган».

С целью выбора необходимых формул для определения сил сопротивления почвы в статье проанализированы результаты исследования различных авторов, посвященных вопросам

формирования борозды при посеве семян зерновых культур и на их основе получены аналитические зависимости влияния свойств почвы на отклонение глубины борозды.

The greatest difficulties in studying the dynamics of agricultural machines are caused by the definition of generalized forces, and especially the part of them that is associated with the interaction of the working bodies of agricultural machines and the resistance of the soil. This is due to the fact that currently there are no analytical dependencies that would accurately describe the force interaction of the working bodies of tillage machines with the soil.

In general, the soil has both elastic, plastic and viscous properties, which, depending on the specific conditions, manifest themselves in different ways, which ultimately determines the different nature of the deformation processes. Inhomogeneity of the mechanical composition and structure of the soil, fluctuations in humidity lead to the fact that the interaction process has a statistical character, as a result, the resistance forces are random functions of time (path) and cannot be expressed in the form of deterministic dependencies.

Based on the above, it is advisable to use the functional dependencies obtained by the methods of soil mechanics, which relate the resistance forces to the mechanical characteristics of the soil, geometric and regime parameters.

In soil mechanics, the resistance forces are studied on the basis of static models that assume the invariance of the interaction conditions and the mechanical properties of the soil. Consequently, the dependencies found by these methods can be considered as the statistical characteristics of the «soil – working organ» systems.

In order to select the necessary formulas for determining the soil resistance forces, the article analyzes the results of research by various authors on the formation of furrows when sowing seeds of grain crops and based on them, analytical

dependences of the influence of soil properties on the deviation of the furrow depth are obtained.

Ключевые слова: почва, диск, сошник, борозда.
Key words: soil, disc, coulter, furrow.

Габаев Алий Халисович –

кандидат технических наук, доцент кафедры механизации сельского хозяйства, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик
Тел.: 8 928 704 35 19
E-mail: Alii_gabaev@bk.ru

Gabaev Alij Halisovich –

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanization of Agriculture, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik
Tel.: 8 928 704 35 19
E-mail: Alii_gabaev@bk.ru

Введение. Основной задачей посева является внесение семян в почву и заделка их на заданную глубину. В зависимости от способа посева эта задача конкретизируется требованиями распределения семян по площади засеваемого поля. В частности, для рядового посева с пунктирным и гнездовым размещением семян такими требованиями являются, соответственно, равномерность распределения интервалов между семенами в ряду и равномерность распределения интервалов между гнездами семян. В последнем случае добавляется еще требование по количеству и компактности размещения семян в гнезде [1].

Следовательно, основными показателями качества работы сеялок точного высева, т. е. выходными оценочными критериями выполняемого ими технологического процесса (выходными переменными), служат равномерность распределения интервалов между семенами в рядке и равномерность глубины заделки семян [2].

Методология проведения работ. В соответствии с агротехническими требованиями [3] указанные показатели качества оцениваются числовыми характеристиками распределений интервалов между семенами и глубины заделки семян: средним арифметическим, средне-квадратическим отклонением (дисперсией) и коэффициентом вариации.

Анализ технологического процесса работы посевных машин и опыт их эксплуатации показывают, что основными внешними возмущающими воздействиями (входными факторами), оказывающими влияние на распределение семян, являются

профиль поверхности поля, твердость и влажность почвы, скорость движения агрегата, нестабильность работы двигателя, буксование колес трактора и другие. В соответствии с внутренней структурой высевающих систем на распределение интервалов между семенами значительное действие оказывают неравномерность подачи семян высевающими аппаратами, обусловленная колебаниями скорости вращения их высевных устройств, изменчивость параметров движения семян в семяпроводе, сошнике и по дну раскрытой им борозды [4]. Иначе говоря, при нормальном функционировании посевной машины выходные показатели технологического процесса зависят не только от внешних воздействий, но и от внутренней структуры высевающих систем [5].

Вследствие специфических особенностей работы почвообрабатывающих машин, природных свойств почвы и влияния окружающей среды внешние входные воздействия в процессе движения (работы) посевного агрегата непрерывно изменяются, в результате чего на агрегат фактически действуют случайные факторы, совокупность которых во времени образует случайные процессы (случайные функции). Соответственно этому внутренние факторы и выходные параметры (показатели) технологического процесса посева, как результаты действия преобразующей системы (посевной машины), также будут случайными функциями.

Ход исследования. Как уже нами отмечалось, для глубин 2-4, 4-5, 6-8 см,

допускаемое по агротехническим требованиям отклонение, соответственно, равно $\pm 0,5$; $\pm 0,7$; ± 1 см. Необходимо, чтобы предлагаемый сошник обеспечивал указанную равномерность заделки. Так как возможность осыпания почвы со стенок борозды и захвата семян рабочими поверхностями сошника сведена к минимуму, то основным фактором неравномерности глубины заделки семян является изменение глубины хода бороздообразующих накладок [6].

Изменение глубины хода сошника во время работы происходит в результате

изменения внешних воздействий на него. При движении сошника на него действуют следующие силы (рис. 1): G – сила тяжести, Н;

R_x , R_y – вертикальная и горизонтальная составляющие реакции почвы, Н; Q – сила напряжения пружины, Н.

Обозначим: l , l_Q , l_G – расстояния от оси подвеса до точек приложения сил, м; H – высота подвеса сошника, м; h – глубина хода сошника, м; φ – угол отклонения поводка от вертикали [7].

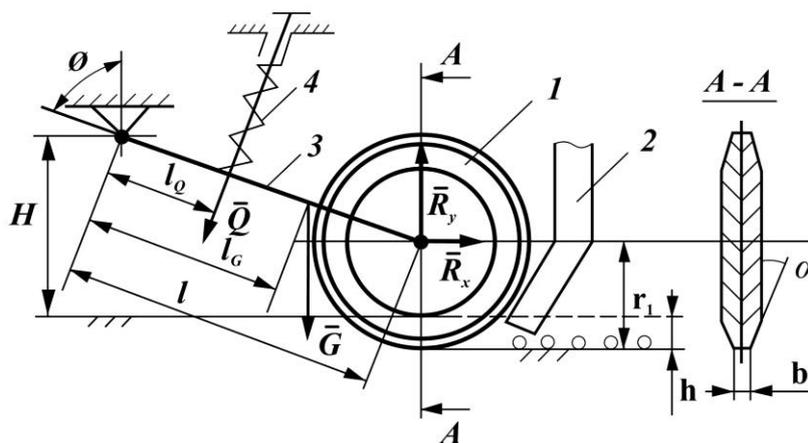


Рисунок 1 – Схема сил, действующих на предлагаемое бороздообразующее устройство
1 – бороздообразующие накладки; 2 – направляющий элемент; 3 – поводок;
4 – нажимная штанга с пружиной

Как видно из рисунка 1:

$$h = l \cos \varphi - H + r_1 \quad (1)$$

При работе сошник будет испытывать внешние воздействия в виде изменений реакции почвы R_x и R_y , зависящих от твердости почвы, и изменения высоты подвеса H , определяемой профилем поверхности поля.

Так как сопротивление почвы, характеризуемое твердостью, оказывает большое влияние на колебание глубины хода сошников, чем профиль поверхности поля. Следовательно, при расчетах можно принять $H = const$. Реакции почвы R_x и R_y , зависят от коэффициента объемного смятия почвы q .

Изменение коэффициента q вызывает колебания сошника относительно положения равновесия. Тогда уравнение колебаний сошника может быть записано [8]:

$$J\varepsilon = -Gl_G \sin \varphi + R_y l \sin \varphi + R_x l \cos \varphi - Ql_Q, \quad (2)$$

где:

J – момент инерции сошника относительно оси подвеса, Н·м²,

ε – угловое ускорение сошника.

Принимаем направление вектора Q перпендикулярным осевой линии поводка.

Представим $\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi$, где φ_0 – угол, заключенный между вертикалью и линией поводка в равновесном положении; $\Delta\varphi$ – отклонение сошника от положения равновесия. Принимаем, из-за малости $\Delta\varphi$, $\cos \Delta\varphi = 1$;
 $\sin \Delta\varphi = \Delta\varphi$.

Подставляя φ в (2), получим:

$$J\varepsilon = -Gl_G \sin(\varphi_0 + \Delta\varphi) + (R_y^0 + \Delta R_y) \cdot l \sin(\varphi_0 + \Delta\varphi) + (R_x^0 + \Delta R_x) \cdot l \cos(\varphi_0 + \Delta\varphi) - (Q_0 + \Delta Q) \cdot l_Q, \quad (3)$$

где:

R_x^0, R_y^0, Q_0 – значения сил в равновесном положении,

$\Delta R_y, \Delta R_x, \Delta Q_0$ – изменения.

Представим:

$$\varepsilon = \frac{d^2\varphi}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\varphi}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} \right) = \frac{d^2\varphi}{dq^2} \left(\frac{dq}{dt} \right)^2 + \frac{d\varphi}{dq} \cdot \frac{d^2q}{dt^2}; \quad (4)$$

$$\Delta R_x = \left| \frac{\partial R_x}{\partial \varphi} \right|_0 \Delta \varphi + \left| \frac{\partial R_x}{\partial q} \right|_0 \Delta q; \quad (5)$$

$$\Delta R_y = \left| \frac{\partial R_y}{\partial \varphi} \right|_0 \Delta \varphi + \left| \frac{\partial R_y}{\partial q} \right|_0 \Delta q; \quad (6)$$

$$\Delta Q = L_Q \Delta \varphi \cdot k_n, \quad (7)$$

где:

k_n – коэффициент жесткости пружины, Н/м.

Подставив выражения (4), (5), (6), (7) в (3) и выполнив преобразования, получим:

$$J(\Delta \varphi''(q')^2 + \Delta \varphi' q'') = E \Delta \varphi + D \Delta q \quad (8)$$

или, если принять, что $q' = const$, то:

$$J \Delta \varphi''(q')^2 = E \Delta \varphi + D \Delta q, \quad (9)$$

где:

$q' = \frac{dq}{dt}$ – скорость изменения

коэффициента q по времени, Н/(м³·с);

$$\Delta \varphi = \frac{d^2\varphi}{dq^2};$$

$$E = -G l_G \cos \varphi_0 + R_y^0 l \cos \varphi_0 - R_x^0 l \sin \varphi_0 -$$

$$- k_n l_Q^2 + \left| \frac{\partial R_y}{\partial \varphi} \right|_0 l \sin \varphi_0 + \left| \frac{\partial R_x}{\partial \varphi} \right|_0 l \cos \varphi_0;$$

$$D = \left| \frac{\partial R_y}{\partial q} \right|_0 l \sin \varphi_0 + \left| \frac{\partial R_x}{\partial q} \right|_0 l \cos \varphi_0.$$

Решая дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами (9), получим:

$$\Delta \varphi = - \frac{D \sqrt{J} q'}{|E|^{1.5}} \sin \left(\sqrt{\frac{|E|}{J(q')^2}} \Delta q \right) + \frac{D}{|E|} \Delta q, \quad (10)$$

при $E < 0$

$$\Delta \varphi = \frac{D \sqrt{J} q'}{2E^{1.5}} \left(e^{\sqrt{\frac{|E|}{J(q')^2}} \Delta q} - e^{-\sqrt{\frac{|E|}{J(q')^2}} \Delta q} \right) - \frac{D}{E} \Delta q, \quad (11)$$

при $E > 0$

Значение коэффициента E зависит от силы тяжести сошника G и коэффициента жесткости пружины k_n . Поэтому, как видно

из характера зависимостей (10) и (11), чем больше масса сошника и величина коэффициента k_n , тем более устойчиво движется сошник.

Преобразовав уравнение (1), получим:

$$h = h_0 - \Delta \varphi \sqrt{l^2 - (h_0 + H - r_1)^2}, \quad (12)$$

где:

h – глубина хода сошника в равновесном положении;

$\Delta \varphi$ – определяем по выражениям (10) и (11).

Результаты исследования. Как видно из приведенных выше зависимостей, к конструктивным параметрам непосредственно сошника (без учета подвески), влияющим на изменение глубины его хода, относятся: радиус r_1 , угол конусности α и ширина цилиндрической части b_1 бороздообразующей накладки. Эти параметры оптимизируются в соответствии с требованиями равномерности заделки семян.

Усилие сжатия пружины, необходимое для заглубления сошника на глубину h_0 , определяется из условия статического равновесия:

$$Q_0 = Q_{np} + \Delta \varphi_0 l_Q k_n, \quad (13)$$

где:

Q_{np} – усилие предварительного сжатия пружины, Н;

$\Delta \varphi$ – начальный угол отклонения поводка.

Максимальный угол отклонения поводка:

$$\Delta \varphi_{\max} = \Delta \varphi + \Delta \varphi_0 = \Delta \varphi + \frac{Q_0 - Q_{np}}{l_Q k_n}. \quad (14)$$

Из зависимости (14) видно, что с возрастанием Q_{np} уменьшается $\Delta \varphi_{\max}$.

Вывод. Установлены основные параметры, влияющие на изменение глубины хода сошника, к которым относятся: радиус r_1 , угол конусности α и ширина цилиндрической части b_1 бороздообразующей накладки. Определена зависимость равномерности глубины хода сошника от его основных конструктивных параметров, что важно для энергетической оценки модернизированного бороздообразующего рабочего органа.

Литература

1. Кравченко И.Н., Зорин В.А., Пучин Е.А. Основы надежности машин. – Ч. II. – М.:

Изд-во ВТУ при Федеральном агентстве специального строительства, 2006. – 260 с.

References

1. *Kravchenko I.N., Zorin V.A., Puchin E.A.* Osnovy nadezhnosti mashin. – Ч. II. – М.: Изд-во ВТУ при Федеральном агентстве специального строительства, 2006. – 260 с.

2. *Хахов М. А., Каскулов М.Х.* Исследование процесса работы ребристых катков посевной машины // Известия КБНЦ РАН, №1 (9). – Нальчик, 2003. – С. 31-34.

3. *Горячкин В.П., Гранвуане А.Х.* Теоретическое обоснование сеялок-культиваторов. – М.: Колос, 1986. – 358 с.

4. Патент RU №2511237 С1 А01С7/20 Бюл. №10 от 10. 04. 2014г.

5. *Shekikhachev Y.A., Mishkhozhev V.H., Shekikhacheva L.Z., Zhigunov R.H., Mishhozhev Kan.V., Mishhozhev Kaz.V.* Modeling of disk sowing apparatus operation process // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 548(2). 2020. 022004. DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022004.

6. *Апазhev А.К., Шехихачев Ю.А., Хажметов Л.М.* Модернизация зерновой сеялки для работы в условиях повышенной влажности почв // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 3 (43). – С. 238-245.

7. *Габаев А.Х.* Влияние свойств почвы на процесс образования бороздки для семян // Известия Кабардино-Балкарского ГАУ. – 2013. – № 2. – С67-71.

8. *Габаев А.Х., Нам А.К.* Математическая модель работы бороздообразующего рабочего органа посевной машины и определение его оптимальных конструктивных параметров методом многофакторного эксперимента // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 43. – С. 317-321.

2. *Nahov M. A., Kaskulov M.H.* Issledovanie processa raboty rebristykh katkov posevnoj mashiny // Izvestiya KBNC RAN, №1 (9). – Nal'chik, 2003. – S. 31-34.

3. *Goryachkin V.P., Granvuane A.H.* Teoreticheskoe obosnovanie seyalok-kul'tivatorov. – М.: Kolos, 1986. – 358 s.

4. Patent RU №2511237 S1 A01S7/20 Byul. №10 ot 10. 04. 2014g.

5. *Shekikhachev Y.A., Mishkhozhev V.H., Shekikhacheva L.Z., Zhigunov R.H., Mishhozhev Kan.V., Mishhozhev Kaz.V.* Modeling of disk sowing apparatus operation process // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 548(2). 2020. 022004. DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022004.

6. *Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Hazhmetov L.M.* Modernizaciya zernovoj seyalki dlya raboty v usloviyah povyshennoj vlazhnosti pochv // Izvestiya Nizhnevolskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. – 2016. – № 3 (43). – S. 238-245.

7. *Gabaev A.H.* Vliyanie svojstv pochvy na process obrazovaniya borozdki dlya semyan // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo GAU. – 2013. – № 2. – S67-71.

8. *Gabaev A.H., Nam A.K.* Matematicheskaya model' raboty borozdoobrazuyushchego rabocheho organa posevnoj mashiny i opredelenie ego optimal'nykh konstruktivnykh parametrov metodom mnogofaktornogo eksperimenta // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 43. – S. 317-321.

