

## Интеллектуальная система управления глубиной хода дисковых сошников при посеве

*С.Н. Кокошин, к.т.н., Б.О. Киргинцев, руководитель НИРС, В.И. Ташланов, аспирант, ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья*

Развитие цифрового сельского хозяйства в России подразумевает повышение качественных показателей технологических процессов в животноводстве и непосредственно в растениеводстве [1, 2]. Основными этапами при возделывании сельскохозяйственных культур можно выделить следующие: подготовка почвы, посев, уход за посевами, уборка урожая, сушка, сортировка и хранение. Наиболее энергозатратными и основополагающими технологическими операциями для получения высокого

урожая являются обработка почвы и посев [3]. Особенность данных операций заключается во взаимодействии рабочих органов с почвой, имеющей определённые физико-механические свойства, оказывающие влияние на тяговое сопротивление агрегата. К посеву предъявляются высокие требования, так как необходимо правильно разместить семена по площади поля и по глубине заделки. При этом основными факторами, способствующими улучшению данных показателей, являются конструктивные особенности сеялки, а именно сошниковая группа и высевальная система. В серийных конструкциях дисковых сеялок для удерживания сошника на установленной глубине используется

упругий элемент – пружина. В сеялках для мелко-семянных культур используется копирующее колесо для равномерного распределения семян по глубине относительно рельефа поля [4, 5]. Но необходимо учитывать, что со временем плотность и пористость поля изменяется и появляется необходимость в дополнительных технологических операциях по её обработке и регулированию глубины посева [6].

Равномерной глубине заделки семян способствуют как конструктивные особенности сошника [7, 8], так и применение различных систем слежения и управления [9]. Современные системы слежения, основанные на спутниковой навигации, в настоящее время широко используются для обеспечения оптимальной траектории движения агрегата по полю, создания карт полей с учётом содержания различных видов удобрений [10]. Сенсоры различного типа позволяют определять различные свойства почвы в режимах on-line и off-line [11], что увеличивает диапазон их использования.

При работе посевного агрегата в поле диски сошников взаимодействуют с различными видами почв, которые имеют непостоянные физико-механические свойства, соответственно и изменяемую силу сопротивления почвы, которая способствует неравномерной глубине посева семян [12]. В связи с этим мы предлагаем адаптивную подвеску дискового сошника [13], в которой пружина заменена на гибкий трубчатый элемент (ГТЭ), позволяющий изменять силу действия на поводок сошника [14].

Значение данной силы зависит от величины гидравлического давления, подаваемого в полость ГТЭ. Поэтому для соблюдения необходимой глубины посева семян необходимо синхронизировать зависимость изменения силы сопротивления почвы с величиной гидравлического давления. Для этого в качестве элемента, отслеживающего изменение силы сопротивления почвы, можно использовать нож 1 с тензометрическим датчиком 9 (рис. 1).

При взаимодействии с почвой нож испытывает действие со стороны обрабатываемой почвы, которое фиксируется тензометрическим датчиком в виде силы сопротивления. Далее сигналы с датчика передаются в блок управления 2, который регулируется гидрораспределителем с электромагнитным клапаном 3, установленным в гидравлической системе трактора, состоящей из бака 5, шестерённого насоса 4. Полость ГТЭ 7 через штуцер соединяется шлангами 6 с гидрораспределителем. Для обеспечения прочности ГТЭ в данной схеме предусмотрен предохранительный клапан 8, который стравливает избыточное давление в системе.

В связи с тем, что предлагаемая система управления имеет достаточно высокую точность, было решено проанализировать процесс взаимодействия дискового сошника с почвой и методику определения силы сопротивления почвы. На рисунке 2 показана классическая схема действия силы сопротивления почвы на дисковый сошник в процессе посева [4].

Данная схема подходит только для приближённых расчётов и не может использоваться для программирования интеллектуальной системы управления, так как имеет большую погрешность.

**Материал и методы исследования.** Линия действия равнодействующей силы сопротивления почвы  $R$  проходит через центр диска сошника  $O_1$  и расположена под углом  $\psi$  относительно горизонта. В расчётах не учитывается, что при изменении глубины хода сошника точка приложения и угол наклона вектора силы изменяются. Поэтому мы предлагаем модель взаимодействия дискового сошника с почвой, учитывающую данные параметры (рис. 3).

Часть почвы, взаимодействующую с диском, можно представить в виде фигуры  $OBD$ . Она оказывает воздействие на диск сошника в виде распределённой нагрузки с равнодействующей  $R$ ,

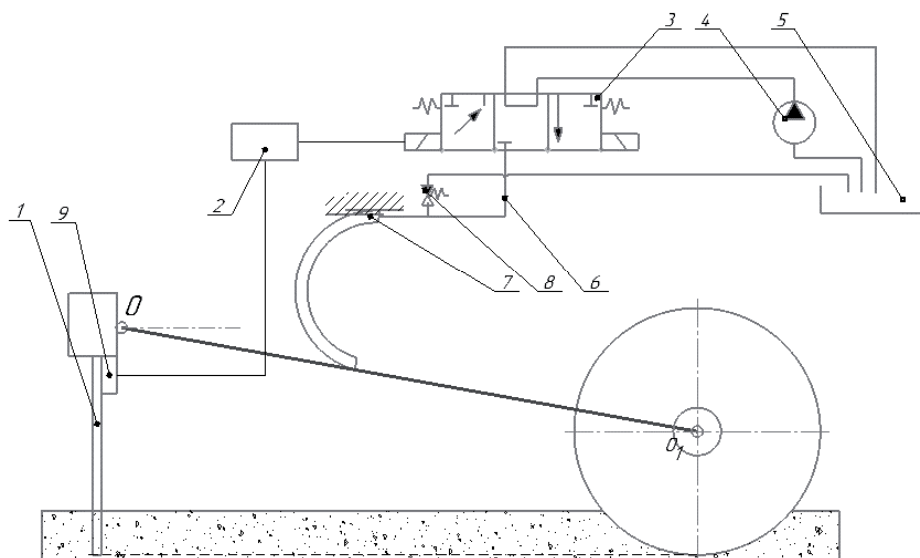


Рис. 1 – Принципиальная схема интеллектуальной системы контроля глубины хода дискового сошника

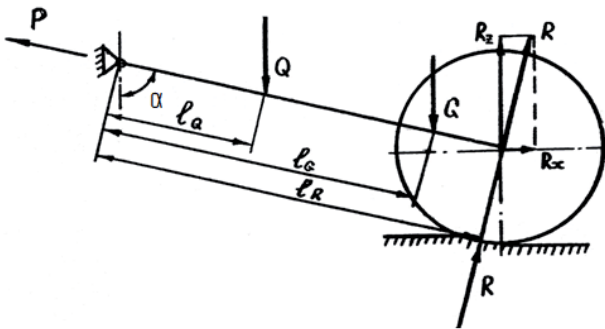


Рис. 2 – Схема расчёта равновесия сошника

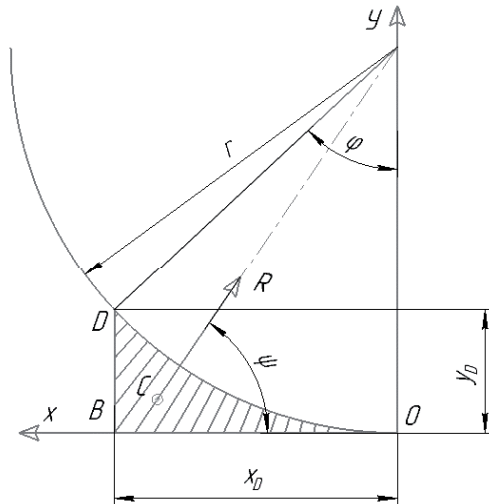


Рис. 3 – Модель взаимодействия диска с почвой

приложенной в центре тяжести – точке  $C$  данной фигуры. При изменении глубины посева координаты точки  $C$  изменяются совместно с углом  $\varphi$ .

Выразим координаты точки  $D$  через угол сектора  $\varphi$ , приняв за начало координат точку  $O$ :

$$\begin{aligned} X_D &= r \cdot \sin \varphi; \\ Y_D &= r - r \cdot \cos \varphi, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $r$  – радиус сошника.

Выразим угол  $\varphi$  через координату  $Y_D$ , которая характеризует глубину посева, и подставим в выражение  $X_D$ :

$$\varphi = \arccos\left(1 - \frac{Y_D}{r}\right); \quad (2)$$

$$X_D = R \cdot \sin\left(\arccos\left(1 - \frac{Y_D}{r}\right)\right). \quad (3)$$

Для определения координаты точки  $C$  необходимо воспользоваться статическим моментом фигуры. Для этого представим площадь фигуры  $ODB$  как разницу площадей треугольника  $ODB$  и сегмента  $OD$ . Выразим искомые координаты через характеристики данных фигур:

$$X_C = \frac{\sum S_y}{\sum A}; \quad Y_C = \frac{\sum S_x}{\sum A}, \quad (5)$$

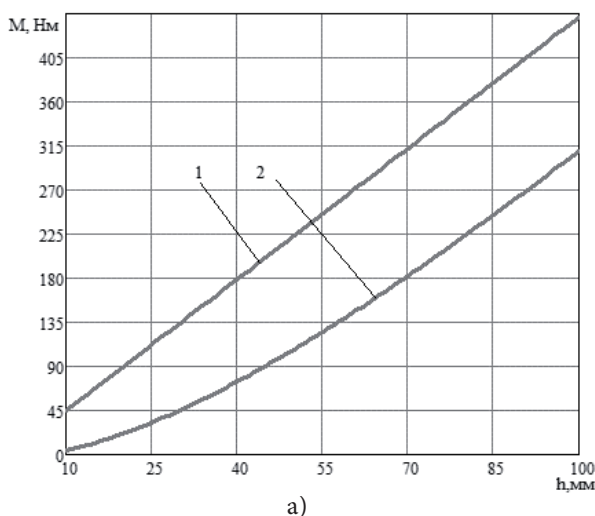
где  $\sum S_y, \sum S_x$  – суммы статических моментов треугольника и сегмента,  $\text{мм}^3$ .

Для решения системы уравнений воспользовались математическим редактором MathCAD. Для решения системы задавали следующие параметры: удельное сопротивление почвы при посеве  $k = 5 \cdot 10^{-2}$  МПа, ширина захвата дискового сошника  $b = 50$  мм; диаметр диска сошника – 360 мм; длина поводка – 850 мм. Геометрические параметры соответствуют сошнику сеялки СЗ-3,6 с длинным поводком.

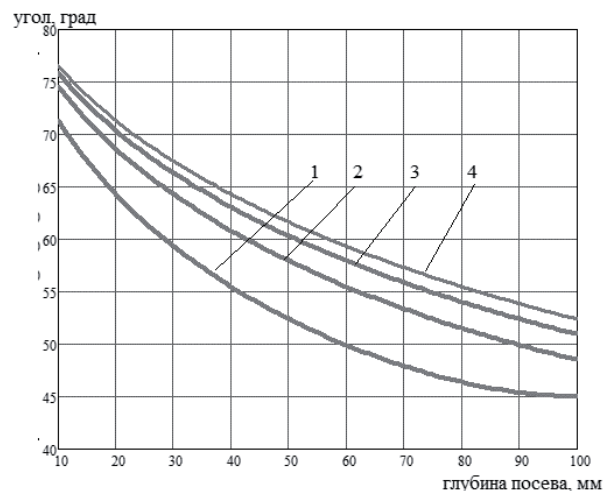
Для равномерного движения сошника в почве необходимо, чтобы моменты силы относительно шарнира крепления поводка суммарно уравновешивались:

$$\sum M(F)_O \rightarrow 0. \quad (6)$$

Исходя из рисунка 2, сила сопротивления почвы  $R$  раскладывается на две проекции –  $R_x$  и  $R_z$ , каждая из которых создаёт момент силы относительно шарнира. С изменением глубины движения сошника проекции силы уменьшаются или увеличиваются пропорционально. Но, по нашей теории, данное изменение проекций силы



а)



б)

Рис. 4 – Изменения момента и угла наклона силы сопротивления почвы от глубины посева:

а) значение момента силы сопротивления почвы; б) зависимость угла наклона силы сопротивления почвы от глубины посева; радиус сошника: 1 – 100 мм, 2 – 150 мм, 3 – 180 мм, 4 – 200 мм

имеют различные интенсивности, т.е. увеличение глубины движения сошника более интенсивно увеличивает тяговое сопротивление ( $R_x$ ), чем силу, выталкивающую сошник ( $R_z$ ).

**Результаты исследования.** Проведём сравнительный математический анализ значений момента силы при условии, что сила  $R$  не меняет своего направления (согласно существующей методике –  $M_1$ ) и в случае, если сила  $R$  меняет точку приложения и угол наклона при заглаблении (предлагаемая методика –  $M_2$ ). Система уравнений была решена в математическом пакете MathCAD, а результаты представлены в виде графиков на рисунке 4.

**Вывод.** Из полученных зависимостей видно, что момент силы относительно шарнира поводка сошника, рассчитанный по предлагаемой методике, имеет меньшие значения. Это обусловлено тем, что при заглаблении сошника горизонтальная составляющая силы сопротивления почвы увеличивается более интенсивно по сравнению с вертикальной, но имея малое плечо до шарнира, оказывает незначительное влияние на глубину посева. Исходная настройка пружины серийных сошников приводит к увеличению глубины посева на почвах, физико-механический состав которых легче тех, относительно которых выполнялась настройка сеялки, и, следовательно, к повышенному расходу топлива. Таким образом, возможность регулирования глубины хода сошника в процессе посева в зависимости от физико-механических свойств почвы позволит не только повысить урожайность за счёт оптимальной глубины посева, но и снизить тяговое сопротивление агрегата, что приведёт к снижению расхода топлива.

## Литература

1. Пукальчик М.А., Шадрин Д.Г., Фёдоров М.В. Глобальные тренды и перспективные направления развития в точном земледелии и сельском хозяйстве // АПК России. 2018. № 3. С. 448–454.
2. Абрамов Н.В., Бакшеев Л.Г., Килин П.М. Инновационные и ресурсосберегающие технологии – основное направление развития АПК Тюменской области // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2004. № 6. С. 35–39.
3. Мударисов С.Г. Повышение качества обработки почвы путём совершенствования рабочих органов машин на основе моделирования технологического процесса: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Челябинский государственный агроинженерный университет. Челябинск, 2007. 40 с.
4. Халанский В.М., Горбачев И.В. Сельскохозяйственные машины. СПб.: Квадро, 2014. 624 с.
5. Демчук Е.В. Машины и оборудование в растениеводстве / Е.В. Демчук, А.А. Кем, А.В. Зильбернагель [и др.]. Омск: ГАУ имени П.А. Столыпина, 2013. 192 с.
6. Ерёмин Д.И., Ерёмкина Д.В., Фисунова Ж.А. Физические свойства выщелоченных чернозёмов Северного Зуралья в условиях длительного сельскохозяйственного использования // Аграрный вестник Урала. 2009. № 4 (58). С. 49–51.
7. Демчук Е.В. Определение равномерности распределения семян двухленточным сошником при помощи программного обеспечения / Е.В. Демчук, А.С. Союнов, В.В. Мяло [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 8. С. 69–71.
8. Горбачёв С.П. Улучшение качественных показателей заделки семян при посеве зерновых культур совершенствованием дискового сошника: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2013. 19 с.
9. Кокошин С.Н., Кизуров А.С. Автоматизация глубины посева зерновых // Агрородовольственная политика России. 2014. № 3 (27). С. 30–32.
10. Семизоров С.А. Эффективность применения систем спутниковой навигации при посеве зерновых культур // Агрородовольственная политика России. 2015. № 10 (46). С. 31–34.
11. Труфляк Е.В. Сенсорика. Краснодар: КубГАУ, 2016. 33 с.
12. Кокошин С.Н., Киргинцев Б.О. Ранжирование факторов, влияющих на урожайность зерновых культур // Вестник государственного аграрного университета Северного Зуралья. 2014. № 3 (26). С. 93–96.
13. Пат. РФ на полезную модель №164384: Механизм подвески дискового сошника / Кокошин С.Н., Киргинцев Б.О.; опубли. 09.08.2016 г.
14. Пирогов С.П., Чуба А.Ю. Применение манометрических трубчатых пружин в сельскохозяйственных машинах // Агрородовольственная политика России. 2017. № 9 (69). С. 82–88.