

Математическая модель взаимодействия дискового сошника с почвой

*Б.О. Киргинцев, аспирант, С.Н. Кокошин, к.т.н.,
ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья*

При посеве сельскохозяйственных культур одним из условий высокого урожая является соблюдение глубины посева семян. В Тюменской области для посева зерновых культур в силу применяемых технологий используют сеялки с дисковыми сошниками. При работе дисковой сеялки основным фактором, влияющим на траекторию его движения, являются физико-механические свойства почвы [1]. С увеличением рабочих скоростей посевного агрегата частота и амплитуда перемещения диска сошника относительно оси подвеса также увеличивается. В результате неустойчивого хода сошника появляется неравномерность

глубины посева семян, что приводит к снижению урожайности.

Для обеспечения установленной глубины необходимо исследовать процесс взаимодействия дискового сошника с почвой. Но существующие модели данного процесса недостаточно полно отображают влияние изменения глубины. Дело в том, что при заглублении сошника меняется не только значение силы, но и точка её приложения, а также угол между линией действия силы и горизонтом. В литературе данный процесс представлен абстрактно и в различных источниках точка приложения силы сопротивления почвы трактуется неоднозначно [2, 3]. Соответственно существующие уравнения равномерного движения сошника при посеве имеют определённую погрешность,

которая возрастает с увеличением скорости движения агрегата.

Цель исследования – установить закономерности значения силы сопротивления почвы, действующей на дисковый сошник, в зависимости от глубины посева.

Материал и методы исследования. Опыты измерений твёрдости почвы показывают, что сила сопротивления пахотного слоя, в который производится посев, увеличивается прямо пропорционально глубине [2]. Исходя из этого, мы предлагаем модель взаимодействия сошника с почвой, представленную на рисунке 1.

При движении агрегата сошник заглубляют на требуемую глубину h . При этом сила сопротивления почвы распределяется по поверхности дуги диска сошника OD . Предполагаем, что сила сопротивления характеризуется фигурой ODB , где все элементарные силы направлены по нормали к касательным в каждой точке дуги OD . В результате получаем, что силы, действующие на диск сошника, представляют собой равномерно распределённую нагрузку.

Таким образом, для определения сосредоточенного усилия необходимо определить центр тяжести данной фигуры и учесть, что линия действия данной силы будет проходить через центр вращения сошника (угол ψ) [3]. Это можно выполнить, применив метод математического анализа с заменой декартовых координат полярными. Выберем начало координат в точке O . Тогда глубина хода сошника h будет соответствовать координате y .

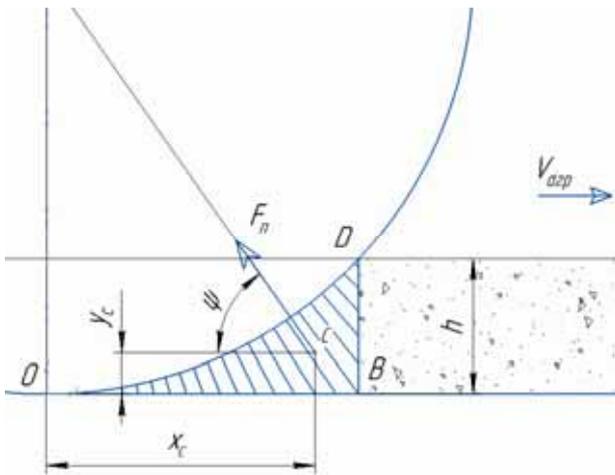


Рис. 1 – Предлагаемая схема взаимодействия сошника с почвой

Особенность данной модели заключается в том, что при изменении глубины хода сошника h , точка D перемещается по дуге окружности и образуемая фигура меняет свою площадь, координату центра тяжести и угол наклона сосредоточенной силы к горизонту. В совокупности данные параметры связывают тяговую составляющую секции с глубиной хода сошника.

Результаты исследования. Для определения площади данной фигуры необходимо выразить зависимость координаты X_D от изменения глубины хода сошника – Y_D (рис. 2).

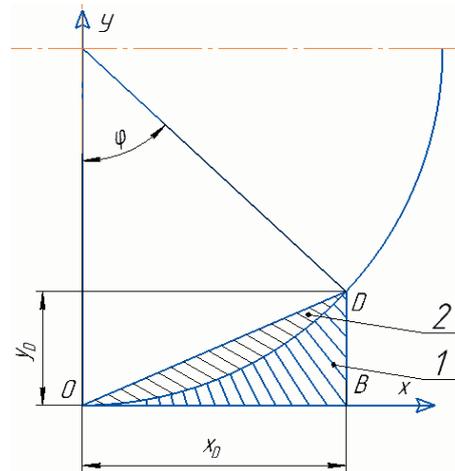


Рис. 2 – Схема определения координат точки D

Установим взаимосвязь данных координат через угол сектора ϕ , который образует дугу диска сошника OD . Началом координат будем считать нижнюю точку сошника O . Тогда:

$$\begin{cases} X_D = R \cdot \sin \phi; \\ Y_D = R - R \cdot \cos \phi, \end{cases} \quad (1)$$

где R – радиус диска сошника, мм.

Выразим угол ϕ через Y_D и подставим в выражение X_D :

$$\phi = \arccos \left(1 - \frac{Y_D}{R} \right). \quad (2)$$

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

Для определения центра тяжести фигуры OAB воспользуемся понятием статического момента площади фигуры [4]:

$$S_x = \int_A y dA; \quad S_y = \int_A x dA. \quad (4)$$

С использованием статического момента можно определить координаты центра тяжести заданной фигуры:

$$X_c = \frac{\sum S_y}{\sum A}; \quad y_c = \frac{\sum S_x}{\sum A},$$

где $\sum S_y$, $\sum S_x$ – суммы статических моментов простейших фигур, из которых состоит сечение, мм³.

В нашем случае искомую площадь фигуры представим как разность площадей треугольника ODB и сегмента OD (рис. 2).

Для определения координат искомой точки необходимо рассчитать значения координат центров тяжести и площадей обеих фигур.

Используя статический момент плоского сечения, определим координаты центра тяжести криволинейной фигуры ODB :

$$X_C = \frac{X_1 \cdot A_1 - X_2 \cdot A_2}{A_1 - A_2};$$

$$Y_C = \frac{X_1 \cdot A_1 - X_2 \cdot A_2}{A_1 - A_2},$$
(6)

где X_1, Y_1, A_1 – координаты, X, Y и площадь треугольника соответственно;

X_2, Y_2, A_2 – координаты, X, Y и площадь сегмента соответственно;

где X_1, Y_1, A_1 – координаты, X, Y и площадь треугольника соответственно;

X_2, Y_2, A_2 – координаты, X, Y и площадь сегмента соответственно.

Решение системы уравнений проводилось с использованием математического пакета MathCAD. Результатом решения выражений (6) являются зависимости изменения координаты точки приложения сосредоточенной силы сопротивления почвы (центр тяжести рассматриваемой фигуры) в зависимости от глубины хода сошника (рис. 3). Для анализа задаёмся радиусом сошника, равным 200 мм.

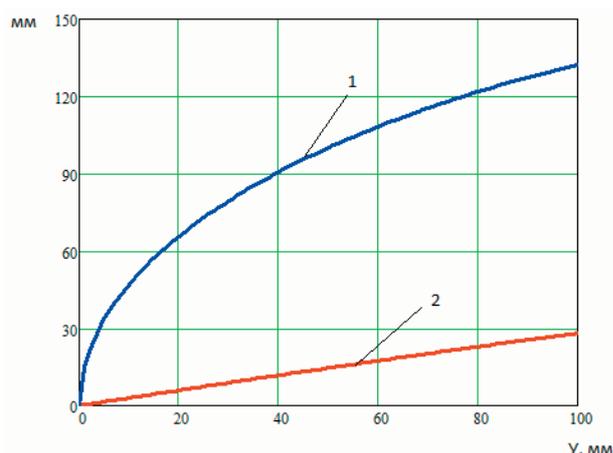


Рис. 3 – Зависимости координат центра тяжести от глубины хода сошника:

1 – координата по оси OX; 2 – координата по оси OY

Как видно из представленных зависимостей, координата X увеличивается с большей интенсивностью, чем Y . На основании этого можно предположить, что сила сопротивления почвы, линия действия которой проходит через данную точку и центр диска сошника, при увеличении глубины хода в большей степени оказывает влияние на увеличение тяговой составляющей. Но при рассмотрении равновесия сошника относительно шарнира крепления данная проекция силы на ось OX также создаёт момент, который влияет на глубину хода диска. Через отношение данных координат можно выразить зависимость изменения угла между линией действия силы сопротивления почвы и горизонтальной осью OX (рис. 1):

$$\tan \psi = \frac{R - Y_C}{X_C} \rightarrow \psi = a \tan \frac{R - Y_C}{X_C}. \quad (7)$$

Как видно из выражения (7), на угол наклона силы сопротивления почвы оказывает влияние и радиус сошника. В конструкциях современных сеялок дисковые сошники имеют радиусы в диапазоне 150–200 мм. На рисунке 4 представлены зависимости данного угла от глубины хода и радиуса сошника.

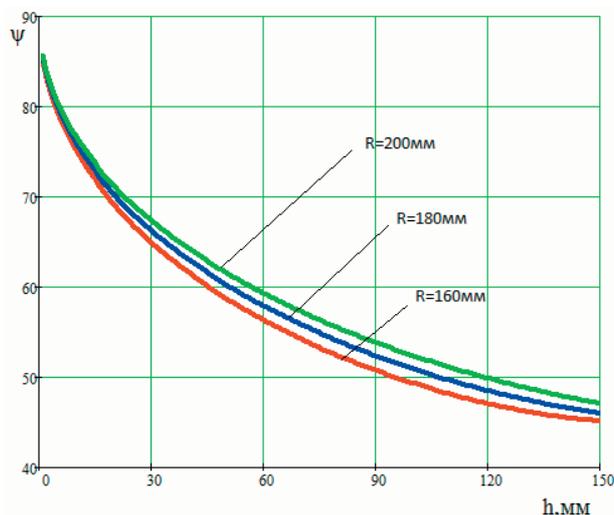


Рис. 4 – Зависимости угла наклона силы сопротивления почвы от глубины хода сошника

При посеве на одинаковой глубине сошниками с большим радиусом угол между линией действия силы и горизонтом будет выше, чем на дисках с меньшим радиусом. А при увеличении глубины посева данный угол уменьшается, что приведёт к более интенсивному увеличению горизонтальной составляющей проекции силы сопротивления почвы. Необходимо отметить, что характер данной зависимости не линейный.

Определив зависимость угла наклона и точку приложения силы сопротивления почвы, можем разложить последнюю на составляющие по вертикальной и горизонтальной оси:

$$\begin{cases} F_x = F_n \cdot \cos \psi \\ F_y = F_n \cdot \sin \psi \end{cases}, \quad (8)$$

где F_n – значение силы сопротивления почвы.

Сила сопротивления почвы зависит от глубины её обработки и физико-механических свойств. Но также необходимо учитывать и наличие сорняков, присутствие которых позволяет отнести почву к анизотропным материалам [5]. Поэтому для анализа зависимостей силы сопротивления почвы от глубины посева используем формулу Горячкина [6].

Для определения характера зависимостей зададимся параметрами: удельное сопротивление почвы при посеве $k = 5 \cdot 10^{-2}$ МПа, ширина захвата дискового сошника $b = 150$ мм; диаметр диска сошника 200 мм (рис. 5).

Для компенсации действия силы сопротивления почвы в серийных дисковых сошниках используют стальные пружины. Но эти устройства имеют

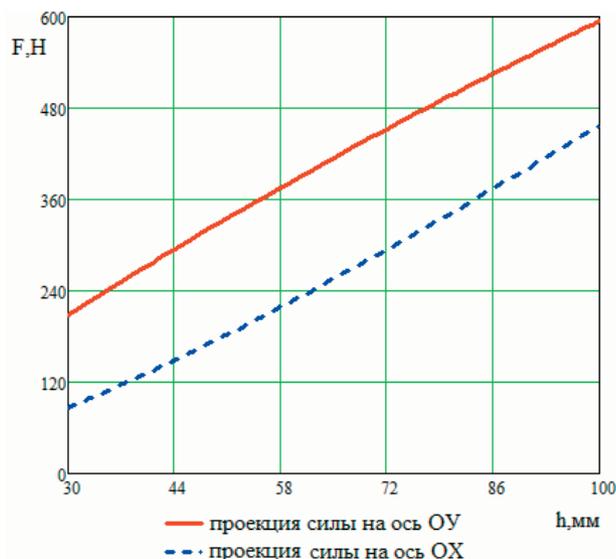


Рис. 5 – Зависимости значений проекции сил от глубины хода сошника

линейную зависимость жёсткости от сжатия [3]. Поэтому они не могут обеспечивать устойчивое движение на установленной глубине на почвах с изменяемыми физико-механическими свойствами, так как зависимость силы сопротивления почвы, действующей на дисковый сошник, не линейная. Соответственно необходим механизм, который сможет изменять свою изгибную жёсткость в противодействие силы сопротивления почвы. Нами предложена конструкция адаптивной подвески дискового сошника, которая позволяет изменять изгибную жёсткость упругого элемента в зависимости от глубины хода диска [7]. В совместном использовании со следящими спутниковыми системами [8] данная конструкция позволит выдерживать установленную глубину посева на почвах с различными физико-механическими свойствами.

При проектировании трубчатого элемента необходимо учитывать максимальные усилия, действующие со стороны почвы, а также тот факт, что эти силы динамические. Для напряжённо-деформированного состояния трубчатого элемента характерно появление кольцевых напряжений σ_1 и напряжений в меридиональном направлении σ_2 , напряжениями в нормальном к срединной поверх-

ности направлении можно пренебречь, так как величина их мала в сравнении с величинами σ_1 и σ_2 . Таким образом, в трубчатом элементе возникает двухосное напряжённое состояние. Основываясь на известных методиках проектирования [9], мы имеем возможность произвести расчёт геометрических параметров гибких трубчатых элементов, которые будут удовлетворять силовым требованиям по обеспечению установленной глубины.

Выводы.

1. В результате математических исследований взаимодействия дискового сошника с почвой была составлена модель, связывающая силу сопротивления почвы с глубиной хода сошника. Полученные выражения более точно описывают изменение действия силы сопротивления почвы от глубины посева и диаметра сошника.

2. Выявлены зависимости между глубиной хода сошника и силой сопротивления почвы. Определён характер изменения горизонтальной и вертикальной проекций силы.

3. Применение гибкого трубчатого элемента в совокупности со следящей системой позволит соблюдать установленную глубину хода сошника на почвах с различными физико-механическими свойствами.

Литература

1. Кокошин С.Н., Киргинцев Б.О. Ранжирование факторов, влияющих на урожайность с/х культур // Вестник ГАУ Северного Зауралья. 2014. № 3. С.
2. Утенков Г.Л., Добролюбов И.П. Автоматизированные технологические комплексы почвообработки. Новосибирск: Россельхозакадемия. Сиб. отд. СибИМЭ, 2006. 380 с.
3. Бледных В.В. Устройство, расчёт и проектирование почвообрабатывающих орудий. Челябинск: ЧГАА, 2010. 203 с.
4. Кочетков В.Т., Кочетков М.В., Павленко А.Д. Сопротивление материалов. СПб.: БВХ-Петербург, 2004. 544 с.
5. Рзаева В.В., Миллер С.С. Засорённость и урожайность полевых культур при возделывании по системам обработки почвы в Северном Зауралье // Агропродовольственная политика России. 2012. № 10. С. 30–32.
6. Халанский В.М., Горбачёв И.В. Сельскохозяйственные машины. М.: КолосС, 2004. 624 с.
7. Механизм подвески дискового сошника: пат. РФ на полезную модель № 164384 / С.Н. Кокошин, Б.О. Киргинцев: заявл. : опубл. 09.08.16. Бюл. № 24. 4 с.
8. Семизоров С.А. Эффективность применения систем спутниковой навигации при посеве зерновых культур // Агропродовольственная политика России. 2015. № 10. С. 31–34.
9. Устинов Н.Н. Расчёт и проектирование тонкостенных манометрических трубчатых пружин с переменной по периметру сечения толщиной стенки: дисс. ... канд. техн. наук: 20.04.04 / Тюменский государственный университет. Тюмень, 2004. 155 с.