

## Разработка и обоснование комбинированной почвообрабатывающей машины

*А.С. Иванов, к.т.н., Р.Ф. Бай, ст. преподаватель,  
ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья*

В настоящее время в России и за рубежом наметились две основные тенденции в механизации обработки почвы: минимальная – с применением безотвальных орудий, в том числе плоскорезных, чизельных, а также комбинированных агрегатов и др., и обычная – с применением отвальных плугов. Дальнейшее совершенствование машин будет направлено на повышение качества обработки почвы, снижение её энергоёмкости и повышение производительности труда [1].

Анализ существующих конструкций комбинированных почвообрабатывающих машин показал, что имеется ряд проблем, связанных с обеспечением эффективного процесса обработки почвы. В частности, некачественное крошение почвы самовращающимися роликами; отсутствие верхнего вращающегося ротора, что не обеспечивает качественное крошение верхнего слоя почвы; возможно сгуживание почвы при затруднённом вращении ролика и, как следствие, увеличение тягового сопротивления [2–4]. В ряде комбинированных машин пласт почвы, поступающей с плоскорезущего рабочего органа, разрушается между двумя встречно вращающимися ротационными рыхлителями за счёт деформации изгиба и сжатия, что приводит к увеличению энергоёмкости процесса. Также форма ротационных рыхлителей в виде шнековой навивки

перемещает почву в поперечном направлении по отношению к направлению движения машины, что увеличивает энергоёмкость процесса и тяговое сопротивление машины [5, 6].

**Цель исследования** – разработка и обоснование комбинированной почвообрабатывающей машины для снижения удельной энергоёмкости обработки почвы.

**Материал и методы исследования.** Предлагаемая почвообрабатывающая машина состоит из рамы 5 с установленными на ней плоскорезущим рабочим органом 10 посредством стойки 7 (рис. 1), коробчатого сечения, механизма привода 1 и 2, ротационных рыхлителей (РР) нижнего 9 и верхнего 4, расположенных друг над другом со смещением оси вращения верхнего РР назад по ходу движения машины относительно оси вращения нижнего РР назад по ходу движения машины относительно оси вращения нижнего РР, опорного колеса 8 и заравнивателя 6. В стойке 7 коробчатого сечения размещена цепная передача для привода нижнего РР 9.

При движении машины плоскорезущий рабочий орган 10 подрезает почву в горизонтальной плоскости и деформирует подрезанный пласт почвы. Перемещаясь по рабочему органу, этот пласт почвы поступает к ротационным рыхлителям 9 и 4, вращающимся встречно. Пласт почвы, сходя с плоскорезущего рабочего органа, набегает на почворазрушающие элементы нижнего РР 9, которые внедряются в почву в нижней части пласта, и за

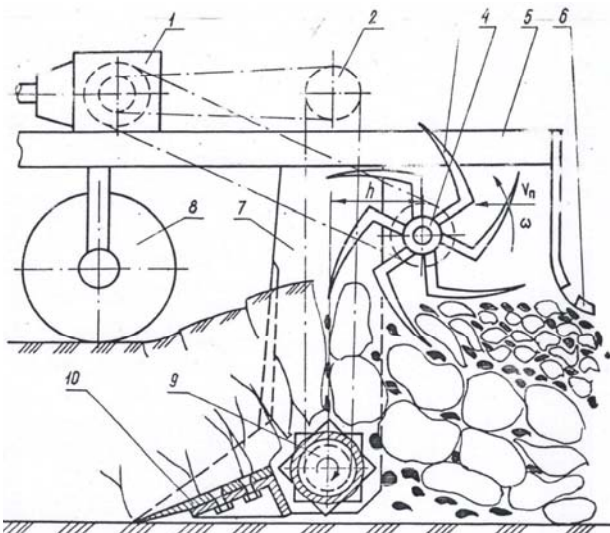


Рис. 1 – Схема предлагаемой комбинированной машины

счёт того, что скорость вращения почворазрушающих элементов нижнего РР 9 больше, чем поступательная скорость машины, разрушает нижнюю часть пласта растяжением. В то же самое время в верхней части пласта острие почворазрушающего элемента 3 верхнего РР 4 входит в почву в точке, расположенной на вертикали, проходящей через ось вращения нижнего РР 9 за счёт смещения верхнего РР 4 на величину  $h$  назад по ходу движения машины.

При входе острия в почву вектор абсолютной скорости острия почворазрушающего элемента 3 верхнего РР 4 перпендикулярен поверхности почвы, а значит, направлен перпендикулярно и к направлению действия напряжений при растяжении верхней части пласта, обусловленных изгибом пласта при проходе его по нижнему РР 9. Следовательно, разрушение пласта происходит с меньшими усилиями. За счёт того, что окружная скорость почворазрушающих элементов 3 верхнего РР 4 больше окружной скорости почворазрушающих элементов нижнего РР 9, отделение почвенных элементов в верхней части пласта осуществляется отрывом.

Таким образом, разрушение предварительно напряжённого пласта почвы за счёт напряжений при растяжении, обусловленных взаиморасположением рабочих органов и взаимосвязью режимов работы машины, способствует снижению энергоёмкости процесса.

Форма почворазрушающих элементов 3 верхнего РР 4 в виде кривых зубьев, внешняя часть которых описывается уравнением спирали Архимеда, позволяет почворазрушающему элементу заглубляться в почву, не сминая её своей внешней частью, так как во время движения в почве ни одна из точек почворазрушающего элемента не выходит за траекторию, описываемую его остриём. Это позволяет использовать кинематический параметр  $\lambda$

небольших значений. Увеличение значения  $\lambda$  для устранения вышеуказанного недостатка приводит к возрастанию затрат энергии на сообщение почвенным частицам кинематической энергии, а также на резание.

Известно, что предел прочности почвы при деформации растяжения в 2 раза меньше, чем при деформации сдвига, и в 10 раз меньше, чем при деформации сжатия [7, 8]. Следовательно, рыхление почвы с минимальным расходом энергии можно осуществлять путём разрушения связей между почвенными агрегатами с помощью деформации растяжения.

**Результаты исследования.** Для обоснования формы почворазрушающего элемента необходимо рассмотреть условия его движения в почве с минимальными энергозатратами (рис. 2).

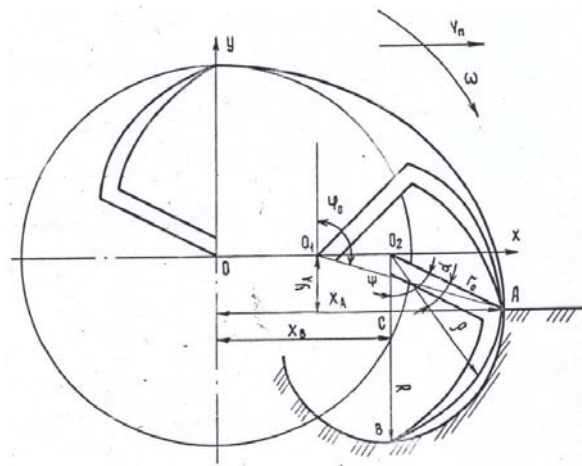


Рис. 2 – Схема взаимодействия рабочего органа с почвой

Оптимальным по энергозатратам будет такой почворазрушающий элемент, тыльная сторона которого не сминает почву перед собой. Исходя из этого требования, опишем профиль тыльной стороны почворазрушающего элемента уравнением участка спирали Архимеда.

Параметры спирали Архимеда для достижения указанного эффекта должны быть тесно увязаны с другими конструктивными параметрами и режимами работы машины.

Вследствие такой увязки почворазрушающий элемент заглубляется в почву, не сминая её своей тыльной стороной, так как во время движения в почве ни одна из точек почворазрушающего элемента не выходит за траекторию, описываемую её остриём.

Запишем это уравнение в системе координат:

$$\rho = r_0 + \frac{R - r_0}{\psi} \cdot \alpha, \quad (1)$$

где  $\rho$  – текущее значение полярного радиуса;  
 $\alpha$  – текущее значение угла поворота ножа;  
 $r_0$  – минимальное значение полярного радиуса, определяется в данном случае выражением:

$$r_0 = \sqrt{(O_2C)^2 + (AC)^2}. \quad (2)$$

Согласно схеме на рисунке 2  $O_2C = Y_A AC = X_A - X_C$ .

Значение координаты  $X_C = X_B$ , где  $X_A, X_B, X_C, Y_A$  – координаты соответствующих точек.

Исходя из этого, будем иметь:

$$r_0 = \sqrt{(Y_A)^2 + (X_A - X_B)^2}. \quad (3)$$

После подстановки значений координат в формулу (3) получим:

$$r_0 = \frac{R}{\lambda} \sqrt{\left[ \arccos\left(-\frac{1}{\lambda}\right) + \sqrt{\lambda^2 - 1} - \pi \right]^2 + 1}. \quad (4)$$

Значение угла поворота полярного радиуса, когда  $\rho = R$ :

$$\psi = \arccos \frac{1}{\sqrt{\left[ \arccos\left(-\frac{1}{\lambda}\right) + \sqrt{\lambda^2 - 1} - \pi \right]^2 + 1}}. \quad (5)$$

Подставляя найденные значения в следующую формулу, получим:

$$\rho = \frac{R}{\lambda} \left[ \frac{\sqrt{\left[ \arccos\left(-\frac{1}{\lambda}\right) + \sqrt{\lambda^2 - 1} - \pi \right]^2 + 1} + \lambda - \sqrt{\left[ \arccos\left(-\frac{1}{\lambda}\right) + \sqrt{\lambda^2 - 1} - \pi \right]^2 + 1}}{\arccos \frac{1}{\sqrt{\left[ \arccos\left(-\frac{1}{\lambda}\right) + \sqrt{\lambda^2 - 1} - \pi \right]^2 + 1}}} \right] \cdot \alpha. \quad (6)$$

В предлагаемой конструкции комбинированной машины предусмотрено смещение верхнего ротационного рыхлителя назад по ходу движения машины относительно нижнего рыхлителя на величину, определённую по формуле:

$$h = R \cdot \sin(\pi - \phi_0), \quad (7)$$

где  $\phi_0 = \arccos\left(-\frac{1}{\lambda}\right)$  – значение угла поворота верх-

него ротационного рыхлителя в момент входа почворазрушающего элемента в почву при условии, что в момент касания почвы вектор абсолютной скорости острия почворазрушающего элемента направлен вертикально вниз;  $R$  – радиус верхнего ротационного рыхлителя;  $\lambda$  – кинетический параметр, характеризующий режим работы верхнего ротационного рыхлителя.

После подстановки  $\phi_0$  в формулу (7) получим:

$$h = R \cdot \sin\left(\arccos\frac{1}{\lambda}\right). \quad (8)$$

Одним из условий разрушения пласта деформацией растяжения в предлагаемой конструкции является предусмотренная определённая взаимосвязь режимов работы верхнего и нижнего ротационных рыхлителей между собой и со скоростью движения машинотракторного агрегата.

Эта взаимосвязь выражается в виде неравенства:

$$V < R_H W_H < RW, \quad (9)$$

где  $R$  и  $W$  – радиус и угловая скорость верхнего ротационного рыхлителя;

$R_H$  и  $W_H$  – радиус и угловая скорость нижнего ротационного рыхлителя;

$V$  – скорость машины.

Учитывая, что  $\lambda = \frac{RW}{V}$  или  $V = \frac{RW}{\lambda}$ , получим:

$$\frac{R \cdot W}{\lambda} < R_H W_H < R \cdot W,$$

и, разделив все части неравенства на  $R \cdot W$ , получим:

$$\frac{1}{\lambda} < \frac{R_H \cdot W_H}{R \cdot W} < 1.$$

С учётом того, что  $i = \frac{W}{W_H}$ , получим окончательное выражение:

$$\frac{R_H}{R} < i < \frac{\lambda \cdot R_H}{R}. \quad (10)$$

**Выводы.** Преимуществом предлагаемой машины перед аналогами является то, что она обеспечивает разрушение почвенного пласта главным образом при деформации растяжения.

Кроме того, предлагаемая форма ротационного рыхлителя, выполненного по спирали Архимеда, не допускает смятия почвы затылком рабочей кромки. Всё это снижает удельные энергозатраты при высоком качестве рыхления почвы.

Удельные энергозатраты на обработку каждого гектара пашни снижаются примерно на 25% по сравнению с аналогами, что позволит повысить производительность почвообрабатывающих агрегатов, сократить сроки выполнения работ и получить значительный экономический эффект.

### Литература

1. Кряжков В.М., Бурченко П.Н. Основные тенденции развития механизации обработки почвы // Теория и расчёт почвообрабатывающих машин: сб. науч. трудов. Т. 120. ВИМ, 1989. С. 6–12.
2. Джамбулатов З.М., Халилов М.Б. Исследование и разработка перспективных приёмов обработки почвы и технологических схем комбинированных почвообрабатывающих машин // Проблемы развития АПК региона. 2017. Т. 4. № 4 (32). С. 49–55.
3. Лепешкин Н.Д., Точицкий А.А., Добрян В.В. Анализ конструктивных схем почвообрабатывающе-посевных агрегатов // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематич. Сб. в 2-х т. Минск, 2010. С. 58–65.
4. Демшин С.Л., Владимиров Е.А. Обоснование типа и параметров измельчающего ротора агрегата для обработки почвы // Техника в сельском хозяйстве. 2008. № 6. С. 41–43.
5. Гафуллин А.И., Булгариев Г.Г. Обзор комбинированных почвообрабатывающе-посевных машин // Агринженерная наука XXI века: науч. труды регион. науч.-практич. конф. Казань, 2018. С. 61–65.
6. Юнусов Г.С., Кропотов Ю.А., Майоров А.В. Исследование работы комбинированного агрегата для поверхностной обработки почвы перед посевом // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2012. Т. 7. № 4 (26). С. 91–93.
7. Матяшин Ю.И., Гринчук И.М., Егоров Г.М. Расчёт и проектирование ротационных почвообрабатывающих машин. М.: Агропромиздат, 1988. 176 с.
8. Матяшин Ю.И., Матяшин Н.Ю. Кинематика ротационных почвообрабатывающих машин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008. № 6. С. 4–7.