

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ЧАСТИ АГРЕГАТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПОСЕВА

*С. Л. Дёмшин, ГНУ НИИСХ Северо-Востока им.
Н. В. Рудницкого*

Аннотация. В работе предложена перспективная технология предпосевной обработки почвы и посева, а также конструктивно-технологическая схема комбинированного агрегата для ее осуществления, основу почвообрабатывающей части которого составляет бесприводной ротационный рыхлитель. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований по определению рациональных параметров почвообрабатывающей части агрегата.

Ключевые слова: комбинированный агрегат, фреза, тросовый рыхлитель, тяговое сопротивление, ресурсосберегающая технология, обработка почвы, посев.

Развитие адаптивно-ландшафтного земледелия предъявляет повышенные требования к выбору рационального способа обработки почвы, как к начальному этапу производства продукции растениеводства. При этом следует учитывать, что механическая обработка почвы является энергоёмким и дорогостоящим приёмом, на который приходится около 40 % энергетических и 25 % трудовых затрат при возделывании сельскохозяйственных культур [1]. Одно из перспективных направлений модернизации сельскохозяйственной техники для почвообработки - разработка комбинированных агрегатов, которые за один технологический проход выполняют комплекс агротехнических операций. Наиболее рационально использование комбини-

рованных агрегатов при совмещении операций предпосев-ной обработки почвы и посева. Применение почвообра-бывающе-посевных агрегатов создает благоприятные ус-ловия для вегетации растений за счёт лучшего качества обработки, сохранения почвенной влаги, а также сокращает длительность производственного цикла, уменьшает вредное воздействие ходовых систем машин на структуру и плотность почвы.

Комбинированный агрегат

В НИИСХ Северо-Востока предложена технология обработки почвы и посева, обеспечивающая улучшенные условия для развития и роста высеянных семян сельскохо-зяйственных культур, и комбинированный агрегат (рис. 1) для ее осуществления [2]. Данная технология заключается в том, что за один проход осуществляются следующие операции:

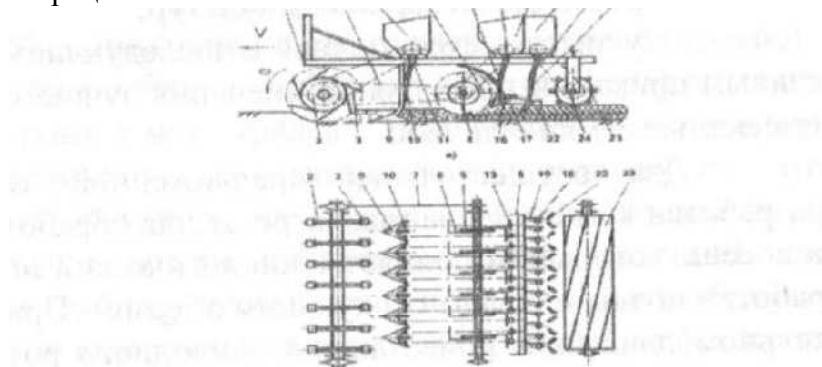


Рис. 1. Комбинированный агрегат для обработки почвы и посева:

а) вид сбоку; б) схема размещения рабочих органов:

1 - рама; 2 - ротор приводной; 3 - почвозащепы; 4 - ротор из-мельчающий; 5 - диск фрезы; 6 - Г-образные ножи; 7 - цепная пере-дача; 8 - защитный кожух; 9 - лапы культиваторные; 10 - туконаправители; 11 - тукопроводы; 12 - туковый ящик; 13, 18 - сошники; 14, 20 - семяпроводы; 15, 21 - семенной ящик; 16 - выравни-ватель; 17 - брус крепления сошников; 19 - поводки сошников; 22 -

загортачи; 23 - прикатывающий каток; 24 - механизм регулировки глубины обработки

- полосное рыхление почвы, при котором ширина полосы соответствует ширине лопасти почвозацепа приводного ротора рыхлителя, а глубина полосы - не менее глубины обработки почвы при дальнейшей культивации почвы;

- культивация почвы в необработанных междурядьях с одновременным локальным внесением туков;

- фрезерование верхнего слоя почвы на глубину, превышающую на 2...4 см глубину посева семян зерновых культур, с одновременным созданием уплотненной прослойки между нижним грубоборазрыхленным слоем глубиной, равной глубине культивации, и верхним мелкоагрегатным слоем почвы, посевом семян трав в зонах локального внесения туков и выравниванием поверхности почвы;

- посев семян зерновых культур;

- укрытие семян почвой с последующим послепосевным прикатыванием для обеспечения лучшего контакта высеянных семян с почвой.

Для осуществления предложенной технологии разработан комбинированный агрегат для обработки почвы и посева, который выполняет технологический процесс обработки почвы и посева следующим образом. При поступательном движении почвозацепы приводного ротора, принудительно перекатываясь под действием тяговой силы трактора, производят рыхление почвы полосами и, одновременно, через ускоряющую передачу приводят во вращение измельчающий ротор. В качестве измельчающего ротора могут использоваться как фрезерный барабан с Г-образными ножами, так и тросовый рабочий орган в виде вала с дисками, по внешнему диаметру которых натянуты тросы (рис. 2).

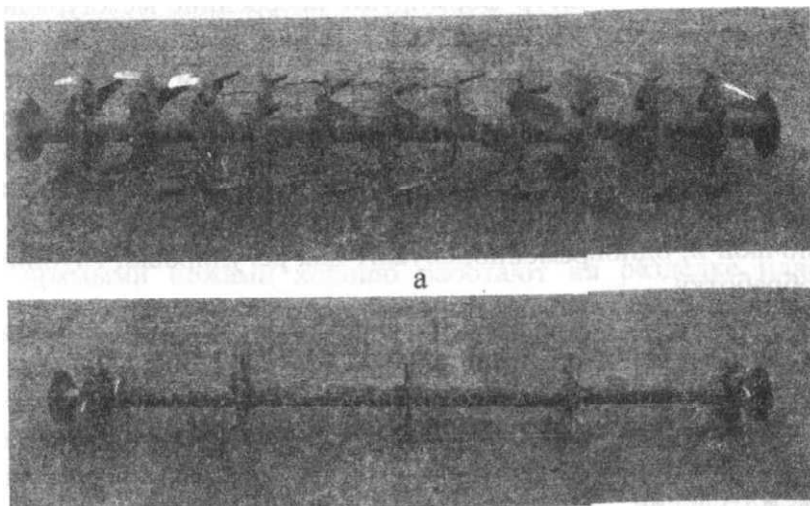


Рис. 2. Измельчающие роторы агрегата
для обработки почвы и посева:

а - фрезерный; б - тросовый

Культиваторные стрельчатые лапы подрезают и рыхлят пласт почвы в необработанных после прохода приводного ротора междурядьях. Одновременно с этим через туконаправители культиваторных лап в почву подаются минеральные удобрения. Далее режущие элементы измельчающего ротора интенсивно рыхлят верхний слой почвы на глубину, превышающую на 2...4 см глубину посева семян зерновых культур. Одновременно с фрезерованием верхнего слоя почвы, в зонах локального внесения туков осуществляется посев семян трав, которые укладываются семянаправителями на требуемую глубину и укрываются слоем почвы, отразившимся от внутренней поверхности защитного кожуха. Неровности микрорельефа почвы сглаживаются выравнивателем поверхности почвы, при этом одновременно происходит выравнивание глубины посева семян трав. Килевидные анкерные сошники для посева зерновых культур формируют посередине междуря-

дий зон локального внесения туков и посева семян трав бороздки, в которые через них по семяпроводам из семенного ящика для зерновых культур подаются семена. Укрытие семян зерновых культур почвой выполняется загортачами. Прутковый каток производит послепосевное прикапывание для обеспечения лучшего контакта высеванных семян с почвой и, одновременно, служит для регулировки глубины обработки.

Культиваторные лапы установлены между приводным и измельчающим роторами, что снижает, согласно опытным данным, на 15...20 %, буксование приводного ротора и тем самым повышает степень крошения почвы [3]. Стойки культиваторных лап расположены посередине междуследий почвозацепов приводного ротора, что уменьшает размеры орудия и позволяет использовать их в качестве сошников для внесения минеральных удобрений.

Выравнивание поверхности почвы после фрезерования обеспечивает ровный микрорельеф поверхности поля. В этом случае для копирования микрорельефа, чтобы обеспечить одинаковую глубину посева семян зерновых культур, достаточно амплитуды хода прицепа пружины кручения, в виде которых выполнены поводки сошников. Для установки сошников для зерновых культур на заданную глубину посева в различных почвенных условиях усилие заглублиения сошника обеспечиваются поворотом бруса крепления и изменением расстояния от оси пружины кручения до точки крепления сошника.

Исследования

В качестве основного рабочего органа агрегата для обработки почвы и посева использован бесприводной роторный рыхлитель, состоящий из приводного и измельчающего роторов, связанных между собой ускоряющей передачей. Наибольшее влияние на качество и энерго-

ёмкость обработки измельчающим ротором оказывает количество режущих элементов и его окружная скорость.

В качестве режущих элементов измельчающего ротора бесприводных ротационных рыхлителей чаще всего используются рабочие органы полевых фрез с Г-образными или прямыми ножами. Фрезерные роторы с прямыми ножами хорошо работают на разделке пласта многолетних трав, но на предпосевной обработке почвы не обеспечивают должного качества обработки почвы [4]. Фрезы с Г-образными ножами более качественно подготавливают почву под посев, но их применение более энергоёмко. Кроме того, изготовление прямых и Г-образных ножей из дорогостоящих износостойчивых сталей требует специальной оснастки, что при суммировании затрат значительно увеличивает стоимость измельчающего ротора. Применение тросов в качестве режущих элементов измельчающего ротора, кроме снижения стоимости изготовления, позволит снизить энергоёмкость процесса обработки за счёт уменьшения отбрасывания почвы при сохранении качества обработки.

Особенностью обработки почвы ротационными машинами является неровность подошвы под разрыхлённым слоем. Поэтому при выбранном режиме движения агрегата количество режущих элементов на измельчающем роторе определяется исходя из агротехнических требований на гребнистость дна борозды после обработки (рис. 3). Согласно этому высота гребней не должна превышать 10...20 % от заданной глубины обработки a , м [5]. При этом действительная высота $h_{гд}$, м гребней будет меньше теоретической, так как при движении режущих элементов в почве происходит скалывание вершин гребней:

$$h_{гд} = h_{гр} \cdot k_c, (1)$$

где $h_{гр}$ - теоретическая высота гребней, м;

k_c - коэффициент, учитывающий уменьшение высоты гребней за счёт скалывания почвы, $k_c = 1..2$ [6].

При расчётах принимаем $k_c = 2$, так как измельчающий ротор производит фрезерование почвы после обработки её стрельчатыми лапами.

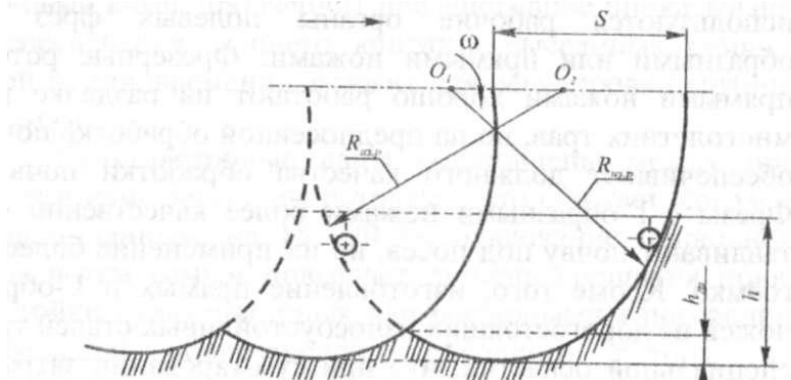


Рис. 3. Траектория движения тросового измельчающего ротора

Для рабочих органов, которые приводятся во вращение от ВОМ трактора, число режущих элементов n , шт. измельчающего ротора находится из условия обеспечения заданной гребнистости дна $h_{гр}$, м, [7]:

$$n = \frac{\pi \cdot R_{из.р.}}{(\lambda \sqrt{2R_{из.р.} \cdot h_{гр} - h_{гр}^2} - R_{из.р.} \cdot \arccos(1 - h_{гр} : R_{из.р.}))}, \quad (2)$$

где $R_{из.р.}$ - радиус измельчающего ротора, м;

λ - показатель кинематического режима.

Показатель кинематического режима λ измельчающего ротора бесприводных ротационных рыхлителей определяется соотношением скоростей относительного $V_{окр. изр.}$, м/с и переносного V , м/с движения:

$$\lambda = \frac{V_{окр. изр.}}{V} = \frac{\omega_{изр.} \cdot R_{из.р.}}{V}, \quad (3)$$

где $\omega_{из.р.}$ - угловая скорость измельчающего ротора, c^{-1} .

Угловая скорость измельчающего ротора определяется по формуле:

$$\omega_{из.р.} = 2\pi \cdot n_{из.р.}, \quad (4)$$

где $n_{из.р.}$ - частота вращения измельчающего ротора, c^{-1} .

Частота вращения измельчающего ротора равна

$$n_{из.р.} = n_{пр.р.} \cdot i, \quad (5)$$

где $n_{пр.р.}$ - частота вращения приводного ротора, c ;

i - передаточное отношение передачи между приводным и измельчающим роторами ротационного рыхлителя.

Частота вращения приводного ротора

$$n_{пр.р.} = \omega_{пр.р.} : 2\pi, \quad (6)$$

где $\omega_{пр.р.}$ - угловая скорость приводного ротора, c^{-1} .

Так как $\omega_{пр.р.} = V_{ОКР из.р.} : R_{пр.р.}$;

где $R_{пр.р.}$ - радиус приводного ротора, m ;

а окружная скорость приводного ротора находится по формуле:

$$V_{ОКР пр.р.} = V \cdot (1 - \delta_{пр.р.}), \quad (8)$$

где $\delta_{пр.р.}$ - скольжение приводного ротора, $\delta_{пр.р.} = 0,05 \dots 0,1$ [8].

После преобразований формула для определения частоты вращения приводного ротора ротационного рыхлителя выглядит следующим образом

$$n_{пр.р.} = V \cdot (1 - \delta_{пр.р.}) : 2\pi \cdot R_{пр.р.} \cdot \psi, \quad (9)$$

где ψ - коэффициент, учитывающий фактический радиус приводного ротора.

Коэффициент, учитывающий фактический радиус приводного ротора при перекачивании в полевых условиях, находился экспериментально-теоретическим способом при помощи лабораторно-полевой установки, оборудованной приводным ротором. Для его определения регистрировалась количество оборотов приводного ротора, движущегося по полю.

щегося без нагрузки в виде крутящего момента потребляемого измельчающим ротором, при прохождении им фиксированного расстояния.

$$\psi = 2\pi \cdot R_{\text{пр.р.}} \cdot n_{\text{об.пр.р.}} : L, \quad (10)$$

где L - длина участка при измерении, м;

$n_{\text{об.пр.р.}}$ - число оборотов приводного ротора.

Тогда формула для определения показателя кинематического режима λ измельчающего ротора имеет вид:

$$\lambda = \frac{R_{\text{из.р.}} \cdot i \cdot (1 - \delta_{\text{пр.р.}})}{R_{\text{пр.р.}} \cdot \psi} \quad (11)$$

В этом случае число режущих элементов измельчающего ротора ротационного рыхлителя, удовлетворяющее условию обеспечения заданной гребнистости дна, определяется следующим выражением:

$$n = \pi \cdot \left[\frac{i(1 - \delta_{\text{пр.р.}})}{R_{\text{пр.р.}} \cdot \psi} \sqrt{2R_{\text{из.р.}} h_{\text{гр.}} - h_{\text{гр.}}^2} - \arccos(1 - h_{\text{гр.}} : R_{\text{из.р.}}) \right] \quad (12)$$

Анализ уравнения (12) показывает, что при постоянном числе режущих элементов наибольшее влияние на качество обработки почвы, в частности на гребнистость дна борозды, оказывают диаметры приводного и измельчающего роторов и передаточное отношение между ними.

При подстановке числовых значений, обусловленных конструкцией опытного образца агрегата: $R_{\text{пр.р.}} = 0,32$ м, $R_{\text{из.р.}} = 0,16$ м, $\delta_{\text{пр.р.}} = 0,05$ построены зависимости количества режущих элементов n , шт., от передаточного отношения i передачи между приводным и измельчающим роторами для двух значений допустимой высоты гребней дна борозды $h_{\text{гр.д. макс}} = 0,008$ и $h_{\text{гр.д. мин}} = 0,016$ м (рис. 4).

При анализе графиков $n = f(i)$ видно, что измельчающий ротор, оснащённый режущими элементами в виде тросов в количестве 8... 12 штук, обеспечивает обработку почвы в соответствии с агротехническими требованиями

при передаточном отношении цепной передачи $i = 2,7 \dots 3,2$.

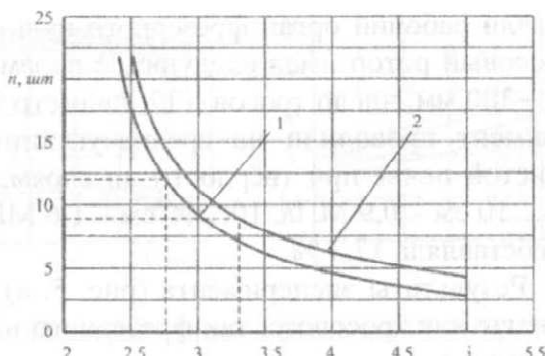


Рис. 4. Зависимость числа режущих элементов p , шт. от передаточного отношения i для следующих значений высоты гребней дна борозды: 1 - $h_{гр. д. \min} = 0,008$ м; 2 - $h_{гр. д. \max} = 0,016$ м

Результаты экспериментальных исследований

Для сравнения агротехнических и энергетических показателей работы измельчающего ротора с режущими элементами в виде Г-образных ножей и тросов проведен лабораторно-полевой опыт, в ходе которого исследовали влияние скорости агрегата на качество и энергоемкость обработки почвы для двух передаточных отношений между приводным и измельчающим роторами. Кроме гребнистости дна борозды, важный агротехнический критерий качества предпосевной обработки - степень крошения почвы P , %. Для сравнительной оценки энергоемкости определяли удельное тяговое сопротивление агрегата $P_{тяг}$, кН/м.

Экспериментальные исследования проводили на лабораторно-полевой установке, позволяющей определять тяговое усилие рабочих органов, скольжение приводного ротора и имитировать мощность, потребляемую измель-

чающим ротором, посредством тормозного механизма за счет изменения усилия пружин сжатия и изменения количества пар дисков сцепления.

В качестве фрезерного измельчающего ротора не пользовали рабочий орган фрезерного культиватора КФГ-3,6. Тросовый ротор имел следующие параметры: диаметр ротора - 300 мм, число тросов - 12, диаметр троса - 5,2 мм. Эксперимент проводили на среднесуглинистой дерново-подзолистой почве при твердости по слоям: 0...5 см - 0,5 МПа, 5... 10 см - 0,9 МПа, 10... 15 см - 1,6 МПа. Влажность почвы составляла 17,3 %.

Результаты эксперимента (рис. 5, а) показали, что применение как тросового, так фрезерного измельчающего ротора позволяет во всем диапазоне скоростей осуществлять предпосевную обработку почвы в соответствии с агротехническими требованиями. Изменение содержания фракций почвы 0...10 и 0...50 мм при обработке тросовым и фрезерным рабочими органами с увеличением скорости имеет одинаковую тенденцию. При повышении скорости с 5,5 до 9,0 км/ч содержание фракции до 50 мм увеличивается в среднем на 5 %. При дальнейшем возрастании скорости для тросового ротора ее доля остается постоянной, в то время как у фрезерного она снижается на 5...8 % из-за повышения буксования приводного ротора. Для обоих видов измельчающего ротора изменение передаточного отношения с 2,5 до 3,5 увеличивает содержание мелких фракций почвы вследствие её более интенсивного измельчения.

Удельное тяговое сопротивление агрегата (рис. 5, б) с тросовым измельчающим ротором в диапазоне рабочих скоростей от 7,0 до 11,5 км/ч меньше на 0,1 ...0,2 кН/м, чем при использовании фрезерного ротора. При этом с повышением скорости тяговое сопротивление орудия растет. При изменении передаточного отношения между роторами

с 2,5 до 3,5 у обоих видов измельчающего ротора наблюдается увеличение удельного тягового сопротивления в среднем на $\Delta P_{\text{тяг}} = 0,3 \dots 0,4$ кН/м.

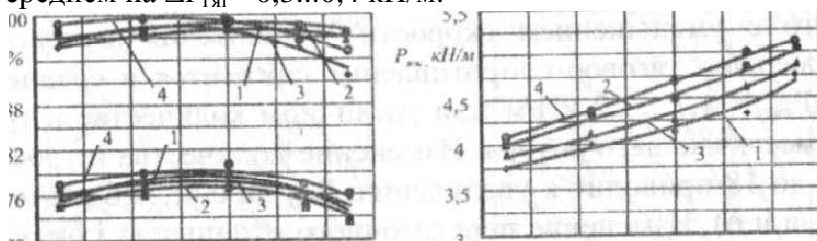


Рис. 5. Влияние типа измельчающего ротора на степень крошения почвы P , фракции почвы 0...10 и 0...50 мм, (а) и удельное тяговое сопротивление $P_{\text{тяг}}$ (б):

1 - тросовый измельчающий ротор при $i = 2,5$; 2 - то же при $i = 3,5$; 3 - фрезерный измельчающий ротор при $i = 2,5$, 4 - то же при $i = 3,5$

Для оптимизации параметров тросового измельчающего ротора необходимо определить влияние числа п режущих элементов ротора, скорости агрегата V , км/ч и величины передаточного отношения i между приводным и измельчающим роторами на удельное тяговое сопротивление $P_{\text{тяг}}$ (Y_1) и содержание P фракции 0...50 мм (Y_2), характеризующее степень крошения почвы. Для этого реализован план эксперимента Бокса-Бенкина второго порядка для трех факторов при следующих интервалах варьирования: $p = 12 \pm 6$, $V = 9,5 \pm 3,0$ км/ч, $i = 2,6 \pm 1,3$. Опыт проводили на среднесуглинистой дерново-подзолистой почве при твердости по слоям 0...5 см - 0,6 МПа, 5... 10 см - 0,8 МПа, 10... 15 см - 1,6 МПа и влажности почвы - 20,5 %.

После обработки результатов получены следующие модели регрессии, проверенные на адекватность по F-критерию Фишера (вероятность $p = 0,95$),

$$Y_1 = 3,82 + 0,52 \cdot n + 0,58 \cdot V + 0,48 \cdot i + 0,42 \cdot n^2 - 0,3 \cdot n \cdot i; \quad (13)$$

$$Y_2 = 96,7 + 4,08 \cdot n + 3,86 \cdot V + 2,05 \cdot i - 4,25 \cdot n \cdot V - 0,92 \cdot n \cdot i - 1,98 \cdot V^2 - 1,17 \cdot V \cdot i; \quad (14)$$

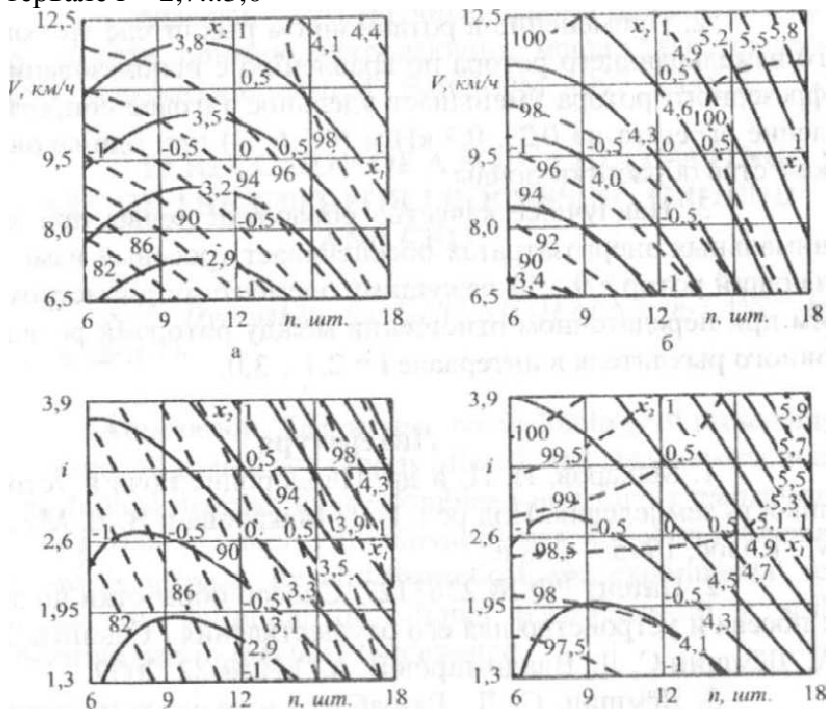
Анализ уравнений регрессии (13, 14) с помощью двумерных сечений поверхности отклика (рис. 6) показал, что с уменьшением скорости V движения агрегата его удельное тяговое сопротивление снижается в среднем на $\Delta P_{\text{тяг}} = 1,1 \dots 1,2$ кН/м при различном количестве n тросов измельчающего ротора. Изменение количества n тросов от 6 до 18 приводит к увеличению $P_{\text{тяг}}$, на $0,4 \dots 1,6$ кН/м (рис. 6, а и б). Изменение передаточного отношения i оказывает значительное влияние на удельное тяговое сопротивление (рис. 6, в и г). При увеличении передаточного отношения i с 1,3 до 3,9 удельное тяговое сопротивление возрастает на $\Delta P_{\text{тяг}} = 0,4 \dots 1,6$ кН/м.

Увеличение числа тросов на измельчающем роторе с 6 до 18 ($i = 1,3$) приводит к повышению содержания фракции почвы 0...50 мм на 12,5... 16,0 %. При увеличении передаточного отношения до $i = 3,9$ и скорости движения до 10,0 км/ч наблюдается аналогичная тенденция. С повышением скорости движения до 12,5 км/ч содержание фракции почвы до 50 мм возрастает на 4... 12 % при любых изменениях передаточного отношения.

Повышение скорости движения с 6,5 до 12,5 км/ч (рис. 6, в и г) вызывает увеличение содержания фракции почвы 0...50 мм на 4... 12 % при различном количестве тросов во всем интервале изменения передаточных отношений. Наилучшие показатели крошения обеспечиваются при более высокой скорости.

Анализ результатов экспериментальных исследований подтвердил результаты теоретических исследований, что наилучшее крошение почвы и наименьшее тяговое сопротивление в исследуемом интервале скоростей движения $V = 6,5 \dots 12,5$ км/ч обеспечивает измельчающий ротор с количеством тросов $n = 9 \dots 11$ при передаточном отно-

шении между приводным и измельчающим ротором в интервале $i = 2,7...3,0$



- удельное тяговое сопротивление; ----- содержание фракции 0...50 мм

Рис. 6. Зависимости удельного тягового сопротивления агрегата P^{TM-} , кН/м и содержания фракции P , %, почвы 0... 50 мм от количества n тросов на измельчающем роторе, скорости движения V агрегата и передаточного отношения i : а - $i = 3$; б - $i = 3,9$; в - $V = 6,5$ км/ч; г - $V = 12,5$ км/ч

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Предложена ресурсосберегающая технология обработки почвы и посева, а также комбинированный агрегат для ее осуществления.

2. Применение в ротационном рыхлителе тросового измельчающего ротора по сравнению с использованием фрезерного ротора уменьшает удельное тяговое сопротивление агрегата на 0,2...0,3 кН/м (4...6 %) при одинаковом качестве обработки почвы.

3. Наилучшее качество обработки почвы при минимальных энергозатратах обеспечивает тросовый измельчающий ротор с 9... 11 режущими элементами диаметром 5 мм при передаточном отношении между роторами ротационного рыхлителя в интервале $i = 2,7.. .3,0$.

Литература

1. Макаров, И. П. и др. Плодородие почв и устойчивость земледелия. Под ред. И. П.Макарова и В. Д. Мухи. М., Колос, 1995. - 288 с.

2. Патент РФ № 2363127. Способ обработки почвы и посева и устройство для его осуществления / Савиных П. А., Дёмшин С. Л., Владимиров Е. А., БИ № 22, 2009.

3. Дёмшин, С. Л., Разработка и результаты исследований комбинированного агрегата для предпосевной обработки почвы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2008. № 11.

4. Протокол № 12-21-89 (9033200) предварительных испытаний опытного образца рыхлителя бесприводного ротационного РБР-4. Оричи: Кировская МИС, 1989. - 24 с.

5. Синеоков, Г. П., Теория и расчёт почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977. - 328 с.

6. Турбин, Б. Г. и др. Сельскохозяйственные машины. Л.: Машиностроение, 1967. - 577 с.

7. Матяшин, Ю. И. и др. Расчёт и проектирование ротационных почвообрабатывающих машин. М.: Агропромиздат, 1988. - 176 с.

8. Инаекян, С. А. Научные основы повышения эффективности почвообрабатывающих машин для предпосевной обработки почвы. М.: ВИСХОМ, 1992. - 115 с.

PERFECTION OF A SOIL-CULTIVATING PART OF THE UNIT FOR PROCESSING GROUND AND CROP

*S. L. Dyomshin, the GNU NIISH of North-EAST by N.
V. Rudnitskiy*

Annotation. The perspective technology of preseeded processing of ground and crop is offered, and also constructive-technological diagram of the combined unit for its realization, makes a basis of which soil-cultivating part driveless rotational hoeing is offered. Results theoretical and experimental researches by definition of rational parameters of a soil-cultivating part of the unit are presented.

The keywords. The combined unit, a mill, rope hoeing, traction resistance, resource saving technology, processing of ground, crop.