

УДК 631.316.022

UDC 631.316.022

РАСЧЕТ ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЧИЗЕЛЬНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ ПОСЛОЙНОЙ БЕЗОТВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ**CALCULATION OF MAGNETIC RESISTANCE OF A CHISEL WORKING ORGAN FOR FIBREWISE SUBSURFACE TILLAGE**

Божко Игорь Владимирович

Bozhko Igor Vladimirovich

*Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, (ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии) г. Зерноград, Ростовской области, ул. им. Ленина 14
347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. им. Ленина 14*

*North Caucasus Research Institute of mechanization and electrification of agriculture, (GNU SKNIIMESKH RAAS) g. Zernograd, Rostov Region, str. im. Lenina 14
347740, Rostov Region, g. Zernograd, str. im. Lenina 14*

В статье приведен расчет тягового сопротивления чизельного рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы и предложена конструкция рабочего органа для безотвальной обработки почвы с эллиптическим элементом. Приведен сравнительный анализ тягового сопротивления рабочих органов для послойной и отвальной обработки почвы

The article presents a calculation of traction resistance chisel working organ for layered subsurface soil treatment and proposed the construction of a working body for subsurface tillage with an elliptical element. We have also included a comparative analysis of traction resistance of workers to the waterline and moldboard tillage

Ключевые слова: РАСЧЕТ ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ, ЧИЗЕЛЬНЫЙ РАБОЧИЙ ОРГАН, БЕЗОТВАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ПОЧВЫ, ЭЛЛИПТИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ

Keywords: CALCULATION OF MAGNETIC RESISTANCE, CHISEL WORKING BODIES, SUBSURFACE TILLAGE, ELLIPTIC ELEMENTS

В соответствии с Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 – 2020 годы, учитывая тенденции развития сельскохозяйственных машин и агрегатов, применение чизелей – глубоких рыхлителей позволяет экономить энергоресурсы при обработке почвы, способствует предотвращению водной и ветровой эрозии на эродированных и склоновых землях, улучшает структурный состав почвы, а так же положительно влияет на плодородие почвы.

В настоящее время известно огромное количество рабочих органов выполняющих чизелевание почвы, различной конструкции. За прототип нами принят рабочий орган чизеля-глубокорыхлителя КАО – 2, выполненный по типу «Параплау» к верхней стойке которого присоединена плоско-режущая лапа [1]. Рабочий орган включает в себя стойку с наклоном в сто-

рону, долото и плоскорежущую лапу, осуществляющую подрезание сорняков в корневой зоне растений. Так как, плоскорежущая лапа установлена на ширину захвата долота с одной стороны стойки, а с другой стороны на меньшую ширину для подрезания корневых остатков вслед идущему рабочему органу, нетрудно заметить, что имеется так называемая «мёртвая зона» работы всего рабочего органа. Она находится непосредственно в перпендикулярной плоскости движения стойки, т.е. у ее основания.

Предлагаемый рабочий орган включает в себя стойку, с установленным на ней долотом. В передней части стойки установлен направитель, под углом относительно горизонтальной плоскости на котором смонтирован разомкнутый кольцевой элемент, что обеспечивает требуемое крошение пласта.

Применение рабочего органа с разомкнутым кольцевым элементом позволит улучшить безотвальную обработку почвы непосредственно в зоне растительных остатков, осуществлением послойной мелкой (до 16 см) обработки в выше указанной зоне и глубокого рыхления долотом (25 – 35 см). Послойное рыхление обеспечивает различные по плотности и структурному составу слои почвы, что позволяет влаге в засушливых условиях накапливаться внутри пласта и перемещаться под влиянием термодиффузионных процессов в область залегания корневой системы растений.

Поскольку поверхность поля предполагается топографически гладкой на макроуровне, кольцевой элемент трансформируется в разомкнутое в сторону дневной поверхности полукольцо, изогнутое по форме полуэллипса, концы которого расположены на одном уровне в горизонтальной плоскости. Тем самым исключается забивание рабочего органа комками почвы и растительными остатками.

При рыхлении почвы предлагаемым рабочим органом за счет малой толщины каждого обрабатываемого слоя, трещины внутри пласта наблю-

даются как в продольном, так и в поперечном направлениях, что позволяет получить требуемое качество крошения.

Принцип работы заключается в следующем: при движении агрегата на заданной глубине долото, установленное на стойке, производит раскалывание и глубокое рыхление почвенного пласта на 25 – 35 см. Направитель, установленный в передней части стойки, производит скалывание почвы благодаря углу заточки лезвия, что позволяет убрать так называемую «мертвую зону» непосредственно в передней части стойки. Разомкнутый кольцевой элемент, смонтированный на направителе, осуществляет мелкую обработку верхних слоев почвы, с одновременным подрезанием растительных остатков. Диапазон мелкой обработки почвы задан параметрами разомкнутого кольцевого элемента, выполненного в форме полуэллипса [2]. Подрезание растительных остатков осуществляется за счет двухсторонней заточки рабочей кромки полуэллипса, как с внешней так и с внутренней стороны. Угол заточки для внешней рабочей части составляет 20° - 25° ; для внутренней рабочей части составляет 30° - 35° .

С точки зрения физической математики, эллипс является наилучшей кривой, обладающей свойством минимума [2].

Известное свойство эллипса о сходимости лучей после отражения из одного фокуса в другом по аналогии можно применить к обработке почвы. Так поток почвы при движении агрегата, отталкиваясь при соударении о поверхность рабочего органа, перемещается из одного фокуса эллипса в другой. При этом наблюдается дополнительное крошение и некоторая сепарация слоя с вынесением на поверхность более прочных макроагрегатов почвы и просыпанием в щели между ними эрозионно-опасных частиц, которые остаются внутри пласта.

Модель предлагаемого рабочего органа приведена на рисунке 1.

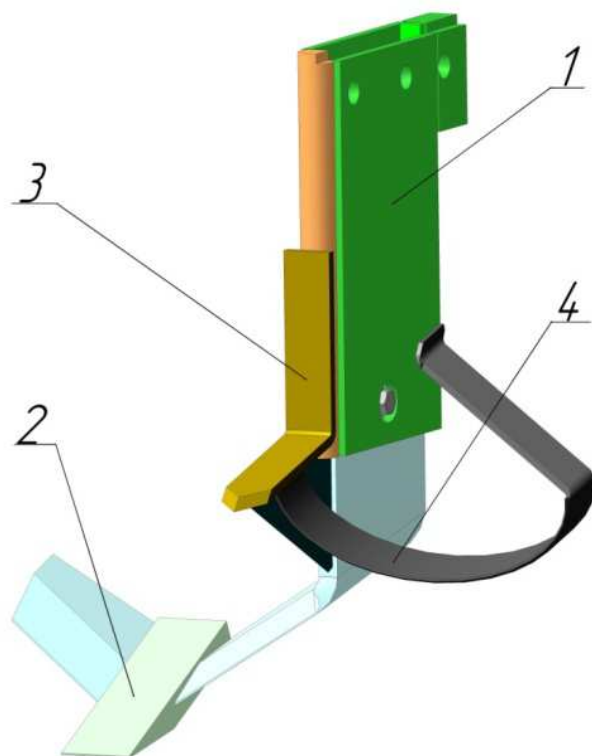


Рисунок 1 – Модель предлагаемого рабочего органа
 1 – стойка; 2 – долото; 3 – направлятель; 4 – разомкнутый
 кольцевой элемент

Из всего вышеизложенного следует отметить, что при помощи предлагаемого рабочего органа обеспечивается послойное безотвальное рыхление, при этом осуществляется одновременно мелкая и глубокая обработка почвы и создается мульчирующий слой из растительных остатков на поверхности поля.

Общая формула для определения тягового сопротивления почвообрабатывающей машины представлена в следующем виде [3]:

-

$$,$$

(1)

где P_T – тяговое сопротивление, кН; k_1, k_2, k_3 – положительные константы; a, b – глубина и ширина захвата рабочего органа, м; w – влажность почвы, %.

Данная формула является уравнением параболы с вершиной соответствующей минимальному значению тягового сопротивления при оптимальной влажности. Константы k_1, k_2, k_3 определяются эмпирическим путем измерения тягового сопротивления машины на данном участке при различных почвенно – климатических условиях.

Авторы [3] отмечают, что график зависимости тягового сопротивления от влажности почвы, имеющий вид параболы с вершиной, соответствующей минимальному значению часто оказывается не соответствующим

действительности, поскольку функция P_T неоднозначна и уменьшается в зависимости от параметров и режимов работы машины, физико-механических свойств почвы и других факторов.

Известна следующая общая формула [4]:

$$P_T = k_1 + k_2 \cdot w + k_3 \cdot w^2 \quad (2)$$

где v – скорость машины, м/с; Z и ε – константы, которые определяются по результатам измерений тягового сопротивления (P_T) при различных параметрах и режимах работы машины (a, b и v). Данным методом пользовались многие исследователи [3,4,5,6].

Для расширения области применения формулы (2), автор [7] ввел дополнительную константу (x) в показатель степени при скорости (v):

$$P_T = k_1 + k_2 \cdot w + k_3 \cdot w^2 \cdot v^x \quad (3)$$

где Z – константа, определяемая опытным путем.

Задавшись той же целью, исследователями получена уточненная формула [6]:

$$P = fG + Kab + \varepsilon abv^2 \quad (4)$$

где C - константа; φ - угол внешнего трения (рабочего органа о почву).

Тяговое сопротивление корпуса плуга по рациональной формуле В.П. Горячкина имеет вид:

$$P = fG + Kab + \varepsilon abv^2 \quad (5)$$

где G – вес корпуса, Н; a - глубина обработки почвы, м; b – ширина захвата корпуса плуга, м; f – коэффициент трения почвы по металлу; K - коэффициент удельного сопротивления почвы, учитывающий физические свойства почвы и геометрическую форму рабочего органа, Па; ε - скоростной коэффициент, ; v - скорость перемещения рабочего органа, м/с.

В выражении (5) первое слагаемое характеризует сопротивление корпуса плуга, определяемое перемещением рабочего органа в открытой борозде. Второе слагаемое характеризует сопротивление почвы, возникающее при деформации и разрушении почвенного пласта, размер сечения которого ab . Третье слагаемое определяет усилие на отбрасывание пласта при скорости агрегата v . Возникают некоторые сложности с определением величин коэффициентов f , K и ε .

Бахтин П.У. установил взаимосвязь между влажностью почвы и ее удельным сопротивлением при обработке, на основании которой предложил способ определения удельного сопротивления почвы в виде зависимости:

$$, \quad (6)$$

где W – весовая влажность, %.

Метод Щучкина Н.В. основан на определении коэффициента удельного сопротивления почвы в зависимости от твердости и коэффициента трения почвы о сталь (внешнего трения). Прототипом явилась рациональная формула Горячкина В.П.

$$, \quad (7)$$

где f – коэффициент трения почвы о сталь; G – вес почвообрабатывающего орудия, Н; m – коэффициент, выражающий отношение удельного сопротивления к твердости почвы; x – твердость пахотного слоя почвы, Па.

Как и в предыдущих случаях, недостатком данного метода является сложность в определении эмпирического коэффициента.

Оганесян А.П. [7] предложил формулу определения удельного сопротивления. Основным элементом этой формулы является сопротивление раскалыванию:

$$, \quad (8)$$

где K – удельное сопротивление почвы при ее обработке, Па; θ - показания прибора, кг; f – коэффициент трения частей прибора; F – площадь поперечного сечения плунжера, м².

Недостатком применения метода является то, что физические свойства почвы определены одним параметром – сопротивлением раскалыванию, что недостаточно учитывает физико-механические свойства почвы, и необходимы дополнительные затраты времени на тарировку приборов.

Метод, который учитывает физическую характеристику почвы и не зависит от вида рабочего органа, оказывающего на нее воздействие, предложили П.М. Сапожников и А.Н. Прохоров [8, 9]. В основу расчетов положена зависимость удельного сопротивления от влажности, причем, минимальному удельному сопротивлению соответствует влажность первого критического потенциала, а максимальное удельное сопротивление наблюдается при максимальной плотности почвы (при наибольшем ее сцеплении), при влажности близкой наименьшей влагоемкости. Аналитическое представление метода выглядит так:

$$, \quad (9)$$

где rF – логарифм потенциала влаги, м;

K – минимальное удельное сопротивление почвы (*min* и *max*), Па.

Недостатком является то, что расчетное выражение имеет смысл в сравнительно узком интервале варьирования влажности почвы, что вызывает определенные трудности и ограниченность применения данного метода. Достоинством этого метода является учет основных свойств почвы, определяющих её физическое состояние.

Исследованиями Гудкова А.Н. [10] установлено, что при разрушении связей между частицами почвы уменьшенного слоя (послойная обработка), ведет к уменьшению энергоемкости процесса вспашки. Поэтому при послойной обработке почвы он предлагает определять тяговое сопротивление рабочего органа по выражению:

$$, \quad (10)$$

где a_1 - высота волны, м; $\frac{du}{dn}$ - изменение скорости движения частиц почвы; S – величина площади соприкасающихся поверхностей частиц почвы, м²; a_2 - величина относительного перемещения частицы почвы, м.

По данному выражению определяют непосредственно сопротивление рабочего органа, так как в нем не учитывается первое слагаемое (сопротивление протаскиванию) рациональной формулы В.П. Горячкина, что обеспечивает ее преимущество перед другими [9].

Богомягких В.А. и др. [11] после преобразования получили формулу В.П. Горячкина в следующем виде:

$$P = fG + kab + \frac{\rho}{2}abv^2 \left(1 + (1 - 0,5 \sin \varphi) \left(\frac{v}{v_H} \right)^2 \right), \quad (11)$$

где ρ - плотность почвы; φ - угол трения почвы о рабочий орган; v_H - скорость распространения продольных напряжений в почве.

Зависимость (11) учитывает влияние скорости распространения деформаций в почве на тяговое сопротивление рабочего органа.

Анализ известных исследований позволяет сделать вывод о том, что формула В.П. Горячкина наиболее полно отвечает условиям рыхления почвы с оборотом пласта. Вышеперечисленные авторы её дополняли, усовершенствовали и адаптировали к различным почвенно-климатическим условиям, режимам работы агрегата, но по-прежнему обрабатываемый пласт рассматривается как прямоугольник в поперечном сечении, т.е. рабочий орган осуществляет сплошное рыхление на всю глубину, которое имеет место лишь при отвальной обработке. При чизелевании рыхление осуществляется с недорезом пласта по ширине захвата машины (несплошное резание). Помимо этого необходимо учитывать площади пласта, обра-

ботанного элементом рабочего органа для мелкого рыхления. Таким образом, рациональную формулу В.П. Горячкина необходимо преобразовать для расчета тягового сопротивления чизельных рабочих органов для послойной обработки почвы.

Чизель осуществляет несколько иной технологический процесс по сравнению с плугом. Отличие технологического процесса лемешно – отвального плуга, осуществляющего сплошное рыхление на полную глубину хода рабочих органов с оборотом пласта, не позволяет применить формулу Горячкина В.П. для определения тягового сопротивления чизеля, осуществляющего рыхление без оборота пласта с образованием неразрушенных гребней над дном борозды (с недорезом пласта по ширине захвата машины), т.е. отвальный плуг обрабатывает полностью пласт почвы с площадью поперечного сечения ab .

Если определить площадь поперечного сечения пласта, обрабатываемого безотвальным рабочим органом, осуществляющим несплошное рыхление, то подставив его в формулу Горячкина В.П., можно рассчитать тяговое сопротивление чизеля.

Перепишем формулу Горячкина (5) следующим образом:

$$P_T = fG + F(K + \varepsilon v^2), \quad (12)$$

где F – площадь сечения обработанного пласта в поперечно – вертикальной плоскости (для отвального плуга $F = ab$), m^2 .

На рисунке 2 показана обработанная площадь пласта, конфигурация которой обусловлена конструктивными особенностями разрабатываемого рабочего органа.

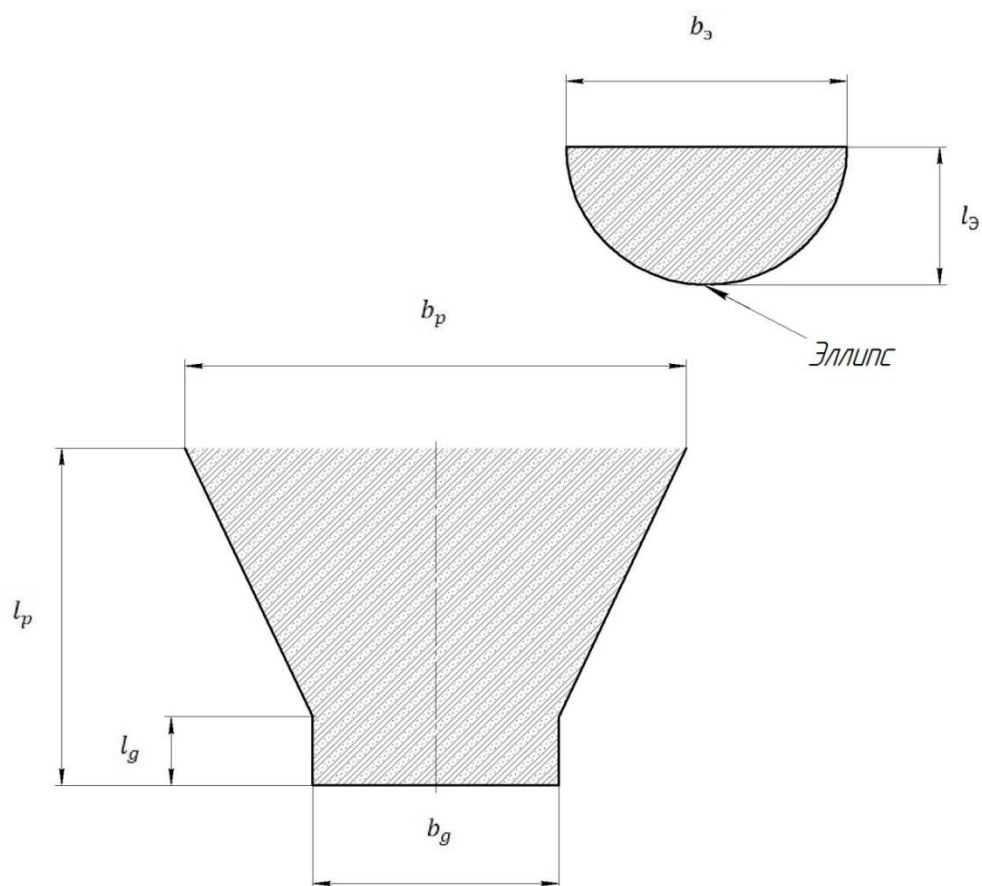


Рисунок 2 – Обработанная площадь пласта в поперечном сечении

Обработанная площадь пласта представляет собой сумму площадей: прямоугольника от проекции выступающей части долота на поперечно – вертикальную плоскость; трапеции, ограниченной проекциями боковых ножей рыхлителя и полуэллипса:

$$F = l_g b_g + \frac{1}{2} (b_g + b_p) (l_p - l_g) + \frac{F_{\text{э}}}{2}, \quad (13)$$

$$F_{\text{э}} = \pi l_{\text{э}} \frac{b_{\text{э}}}{2}, \quad (14)$$

откуда:

$$\frac{F_{\text{э}}}{2} = \frac{\pi l_{\text{э}} b_{\text{э}}}{4}. \quad (15)$$

В общем случае, при наклоне полуэллипса, вводится поправочный коэффициент ($\cos \alpha_{\text{э}}$) в формулу (15):

$$\frac{F_{\text{Э}}}{2} = \frac{\pi l_{\text{Э}} b_{\text{Э}} \cos \alpha_{\text{Э}}}{4}, \quad (16)$$

где $\alpha_{\text{Э}}$ - угол отклонения плоскости расположения полуэллипса от вертикали.

Ранее мы получили формулу для определения параметра (коэффициента сжатия) эллипса $\varepsilon_{\text{Э}} = \frac{\pi - (\beta + \varphi + \rho)}{2}$ [2], $l_{\text{Э}} = b_{\text{Э}} \cos \varepsilon_{\text{Э}}$,

где $\varepsilon_{\text{Э}}$ - параметр кольцевого эллиптического элемента рабочего органа.

Подставив ее в выражение (16), получим:

$$\frac{F_{\text{Э}}}{2} = \pi \frac{b_{\text{Э}}^2}{4} \cos \left(\frac{\pi - (\beta + \varphi + \rho)}{2} \right) \cos \alpha_{\text{Э}} = \pi \frac{b_{\text{Э}}^2}{4} \left| \sin \frac{\beta + \varphi + \rho}{2} \right| \cos \alpha_{\text{Э}}, \quad (17)$$

где R – большая полуось, $R = \frac{1}{2} b_{\text{Э}}$.

Проекция длины режущей части долота L на поперечно – вертикальную плоскость соответствует размеру $l_{\text{р}}$, т.е.:

$$l_{\text{р}} = L \sin \beta, \quad (18)$$

где β - угол крошения.

Откуда:

$$l_{\text{г}} = L' \sin \beta, \quad (19)$$

где L' - длина режущей части долота, выступающая за пределы ножей рыхлителя.

Подставив полученные выражения (19), (17), (18) в формулу (13), определим обработанную площадь пласта в поперечно – вертикальной плоскости разрабатываемым рабочим органом:

$$F = L' \sin \beta b_{\text{г}} + \frac{1}{2} (b_{\text{г}} + b_{\text{р}}) (L - L') \sin \beta + \pi \frac{b_{\text{Э}}^2}{4} \left| \sin \frac{\beta + \varphi + \rho}{2} \right| \cos \alpha_{\text{Э}}, \quad (20)$$

Полученное выражение подставим в формулу (12):

$$P_{\text{т}} = fG + (K + \varepsilon v^2) \left(L' b_{\text{г}} \sin \beta + \frac{b_{\text{г}} + b_{\text{р}}}{2} (L - L') \sin \beta + \pi \frac{b_{\text{Э}}^2}{4} \times \left| \sin \frac{\beta + \varphi + \rho}{2} \right| \cos \alpha_{\text{Э}} \right), \quad (21)$$

На основании полученных данных построим график изменения тягового сопротивления рабочего органа для послойной безотвальной и отвальной обработки почвы (рис. 3).

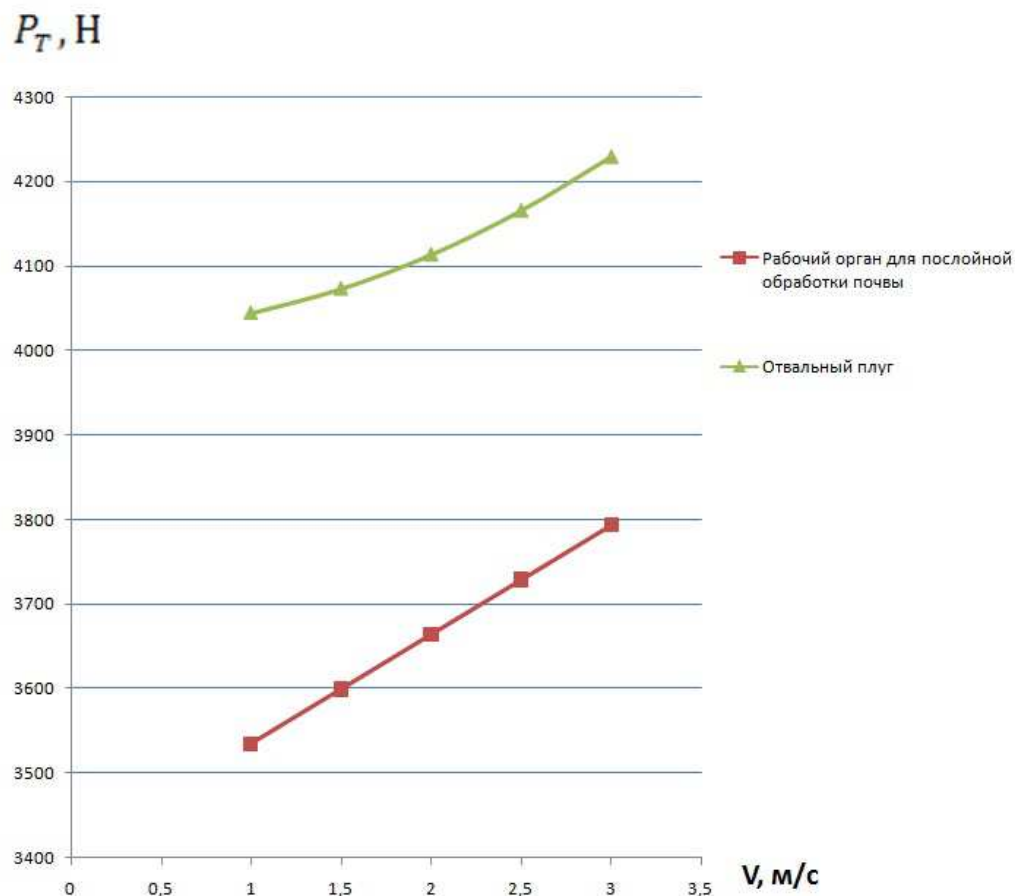


Рисунок 3 – Тяговое сопротивление рабочих органов для послойной и отвальной обработки почвы

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что график изменения тягового сопротивления рабочего органа для послойной обработки почвы в зависимости от скорости агрегата, практически прямолинейный, что сказывается на меньших затратах энергии разрабатываемого орудия по сравнению с отвальным плугом, у которого вышеупомянутая кривая имеет характер квадратичной функции.

Сравнивая закономерности изменения тягового сопротивления от скорости для отвального плуга, следует отметить, что у чизельного рабоче-

го органа для послойной безотвальной обработки почвы тяговое сопротивление P_T увеличивается с возрастанием скорости v с неизменной разницей между последующими и предыдущими значениями аргумента, т.е. с арифметической прогрессией, а у отвального плуга, напротив, почти с геометрической прогрессией, т.е. в несколько раз, что обуславливает криволинейный характер данной зависимости. Таким образом, энергозатраты на отвальную обработку почвы, зависящие от скорости, повышаются в геометрической прогрессии с её увеличением.

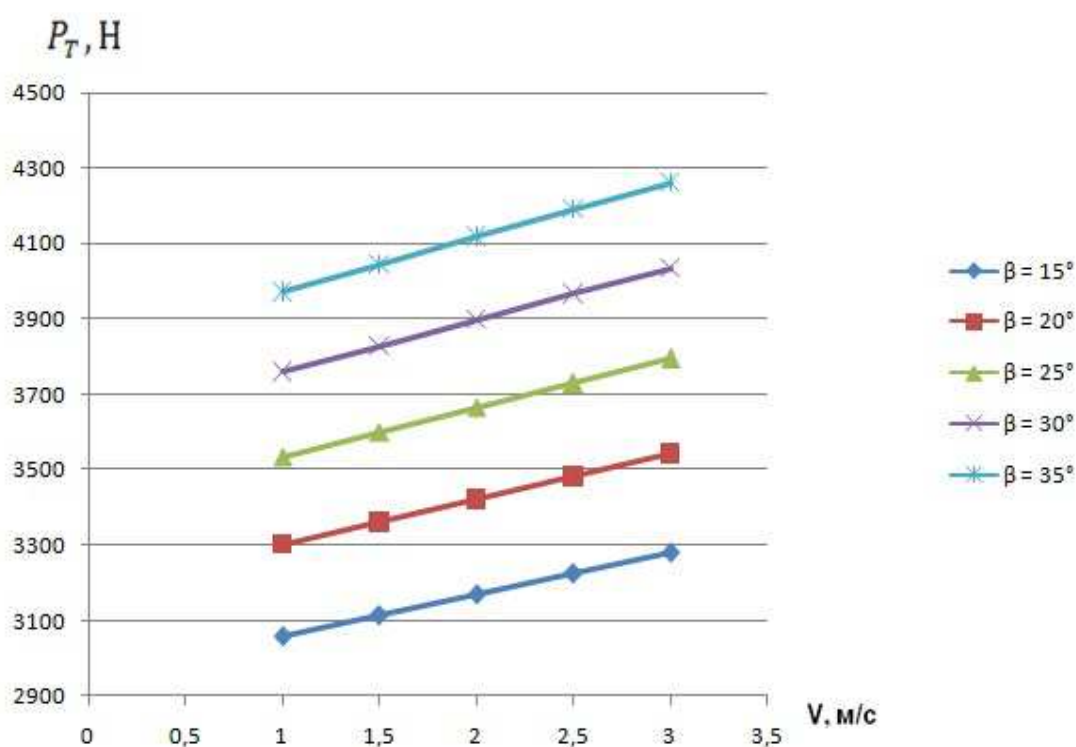


Рисунок 4 – Зависимость тягового сопротивления рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы от угла крошения почвы и скорости агрегата

Из анализа полученных данных (рис. 4) следует, что тяговое сопротивление рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы возрастает при увеличении угла крошения (установки к дну борозды) и увеличении скорости агрегата. Поскольку снижать скорость агрегата не целесообразно, ввиду уменьшения при этом его производительности, по-

этому угол крошения необходимо выбирать наименьший, но при этом обеспечивающий заглубление рабочих органов, т.е. $\beta = 20^\circ$. При этом тяговое сопротивление повышается от минимального не более, чем на 0,5 кН (с 3057,80 Н до 3541,56 Н) при увеличении скорости в 3 раза (с 1 до 3 м/с).

Выводы:

- тяговое сопротивление рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы возрастает с увеличением угла крошения и скорости движения по прямолинейной зависимости;

- скорость движения должна составлять не менее 2 – 2,5 м/с; угол крошения не более 20° .

Список литературы

1. Пархоменко, Г.Г. Снижение тягового сопротивления глубоких рыхлителей / Г.Г. Пархоменко, В.А. Максименко, В.Н. Щиров // Сельский механизатор. – 2010. - №28, - С.10 – 11.
2. Божко, И.В. Кольцевой рабочий орган для обработки почвы / И.В. Божко, Г.Г. Пархоменко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: материалы 7-й международной научно-практической конференции 25 – 28 февраля 2014г., г. Ростов – на – Дону. В рамках 17-й международной агропромышленной выставки «Интерагромаш-2014» (г. Ростов – на – Дону, ВЦ «Вертолэкспо» 25 – 28 февраля 2014 г.). – Ростов-на-Дону. Донской ГТУ, 2014. – С. 78 – 81.
3. Кулен, А. Современная земледельческая механика / А.Кулен, Х.Куиперс // Пер. с англ. А.Э. Габриэляна. под ред. Ю.А. Смирнова. – М.: Агропромиздат, 1986 – 349 с.
4. Bernacki, H. Ergebnisse der Untersuchung an Schnellpflugkorpern / H. Bernacki, // Deutsche Agrartechnik 1963 – 13 – 493 – 494.
5. Sohne, W. Anpassung der Pflugkorperform an hoehere Fahrgeschwindigkeiten / W. Sohne // Grund / Landtechnik – 1960 – 12, - 51 – 62.
6. Telischi, B. Draft measurements for tillage tools / B. Telischi, H. – F. McColly, E. Erickson / Agriculture Engineering – 1956 – 37. – 605 – 608.
7. Zoz, F. – M. Factors affecting the width and speed for least cost tillage / F. – M. Zoz / Agriculture Engineering – 1974 – 29(3). – 75 – 79.
8. Горовой, С.А. Обоснование параметров рабочего органа плуга чизельного для обработки почвы в междурядьях садов предгорной зоны северного Кавказа: дис... канд. техн. наук. / С.А. Горовой. – Краснодар, 2011. – 154 с.
9. Мачанов, Р.И. Влияние формы ножа на сопротивление грунта резанию / Р.И. Мачанов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1969. – №1. – С.19 – 20.
10. Гудков, А.Н. Теоретические положения к выбору новой системы машин для обработки почвы / А.Н. Гудков, Н.В. Зотов // Исследования рабочих процессов сель-

скохозяйственных машин: Труды Волгоградского СХН. – Волгоград, 1968, – Т. XXVI. – С. 57 – 62.

11. Богомягих, В.А. О влиянии скорости распространения деформаций в почве на тяговое сопротивление деформатора и крошение пласта / В.А. Богомягих, В.Р. Лебедев, Е.М. Суббота // Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства. – Зерноград, 1974. – Вып. 17. – С. 103 – 107.

References

1. Parhomenko, G.G. Snizhenie t'jagovogo soprotivlenija glubokoryhlitelej / G.G. Parhomenko, V.A. Maksimenko, V.N. Shhirov // Sel'skij mehanizator. – 2010. - №28, - S.10 – 11.

2. Bozhko, I.V. Kol'cevoj rabochij organ dlja obrabotki pochvy / I.V. Bozhko, G.G. Parhomenko // Sostojanie i perspektivy razvitija sel'skohozjajstvennogo mashino-stroenija: materialy 7-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii 25 – 28 fevralja 2014g., g. Rostov – na – Donu. V ramkah 17-j mezhdunarodnoj agropromyshlen-noj vystavki «Interagromash-2014» (g. Rostov – na – Donu, VC «Vertoljekspo» 25 – 28 fevralja 2014 g.). – Rostov-na-Donu. Donskoj GTU, 2014. – S. 78 – 81.

3. Kulen, A. Sovremennaja zemledel'cheskaja mehanika / A.Kulen, H.Kuipers // Per. s angl. A.Je. Gabrijeljana. pod red. Ju.A. Smirnova. – M.: Agropromizdat, 1986 – 349 s.

4. Bernacki, H. Ergebnisse der Untersuchung an Schnellflugkorpern / H. Bernacki, // Deutshe Agrartech 1963 – 13 – 493 – 494.

5. Sohne, W. Anpassung der Pflugkorpevform an hoehere Fahrgeschwindigkeiten / W. Sohne // Grund / Landtechnik – 1960 – 12, – 51 – 62.

6. Telischi, B. Draft measurements for tillage tools / B. Telischi, H. – F. McColly, E. Erickson / Agriculture Engineering – 1956 – 37. – 605 – 608.

7. Zoz, F. – M. Factors affecting the width and speed for least cost tillage / F. – M. Zoz / Agriculture Engineering – 1974 – 29(3). – 75 – 79.

8. Gorovoj, S.A. Obosnovanie parametrov rabocheho organa pluga chizel'nogo dlja obrabotki pochvy v mezhdurjad'jah sadov predgornoj zony severnogo Kavkaza: dis... kand. tehn. nauk. / S.A. Gorovoj. – Krasnodar, 2011. – 154 s.

9. Machanov, R.I. Vlijanie formy nozha na soprotivlenie grunta rezaniju / R.I. Machanov // Mehanizacija i jelektrifikacija socialisticheskogo sel'skogo hozjajstva. – 1969. – №1. – S.19 – 20.

10. Gudkov, A.N. Teoreticheskie polozenija k vyboru novoj sistemy mashin dlja obrabotki pochvy / A.N. Gudkov, N.V. Zotov // Issledovanija rabochih processov sel'skohozjajstvennyh mashin: Trudy Volgogradskogo SHN. – Volgograd, 1968, – Т. HHVI. – S. 57 – 62.

11. Bogomjagkih, V.A. O vlijanii skorosti rasprostranenija deformatsij v pochve na t'jagovoe soprotivlenie deformatora i kroshenie plasta / V.A. Bogomjagkih, V.R. Lebedev, E.M. Subbota // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skohozjajstvennogo proizvodstva. – Zernograd, 1974. – Vyp. 17. – S. 103 – 107.