



З НЕНАДРУКОВАНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ Д.Т.Н., ПРОФЕСОРА П.П. КАРПУШИ

УДК. 631.311

ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ИГОЛЬЧАТЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ, УСТАНОВЛЕННЫХ ПОД ОСТРЫМ УГЛОМ АТАКИ, ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРОПАШНЫХ КУЛЬТУР

Матеріал склали та підготували до публікації учні
П.П. Карпуши – к.т.н. Білокопитов О.В., к.т.н. Саньков С.М.,
к.т.н. Рябцев Г.А.

Кафедра сільськогосподарських машин

Таврійського державного агротехнологічного університету

Тел/факс: +380(619)42-21-32

Аннотация – в работе представлены аналитические и экспериментальные исследования игольчатых рабочих органов, установленных под острым углом атаки для обработки пропашных культур.

Ключевые слова – игольчатый рабочий орган, игла, угол атаки, угол трения, угол трения скольжения, коэффициент скольжения, кинематика.

Постановка проблемы. Проводимые многочисленные исследования по эффективности и фитотоксичности используемых гербицидов, о влиянии их на микробиологические процессы в почве, осуществлялись по двум направлениям: влияние гербицидов на биологические процессы в почве, а также метаболизм и детоксикацию их почвенными микроорганизмами. Вопрос актуален, поскольку необходимо знать, в какой степени применение гербицидов сказывается на жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и как это, в свою очередь, влияет на плодородие почвы и питание растений [1-5].

Так, внесение высоких доз некоторых гербицидов может привести к более длительному ингибированию активности почвенной микрофлоры. Значительные площади пашни выбывают из хозяйственного использования из-за разных форм деградации, то есть порчи грунта. Значительные затраты на мелиорацию часто уже не могут остановить этот процесс.

Основными причинами утраты части земельных ресурсов сельского хозяйства являются: эрозия почвы; потеря гумуса и снижение плодородия вследствие неправильной агротехники; подтопление и вторичное засоление почвы; машинная деградация почвы; химическое и радиационное загрязнение почвы [1-5].

Химические способы борьбы с сорной растительностью в сель-



ском хозяйстве приносят такие негативные явления, как нарушение биологического равновесия, уменьшение видового разнообразия сообществ животного мира и почвенных организмов, снижение биохимических процессов, изменение физико-химических свойств почвы, снижение устойчивости почвенной экосистемы к неблагоприятным факторам внешней среды.

При современном уровне химизации сельского хозяйства возникает вопрос об охране почв, и в первую очередь в получении экологически чистой продукции (ЭЧП) [6].

Производство ЭЧП - это очень сложный процесс взаимодействия с окружающей средой, почвой, животными, машинами, складами, транспортом, предприятиями перерабатывающей промышленности, упаковкой, рынком (магазин). Отдельно система сертификации (контроль, анализ, сертификация, маркировка) [6].

Среди основных принципов получения ЭЧП и ведения органического сельского хозяйства на этапе производства продукции являются [6-8]:

- обработка земельных угодий, как минимум, в течение трех лет без применения химических удобрений;
- проведение мероприятий, предотвращающих эрозионный процесс;
- запрет на использование пестицидов, азотосодержащих и других химических удобрений;
- применение биологических и физических способов борьбы с вредителями (барьеры, шум, ультразвук, свет, ловушки, и т. д.).

Исходя из выше приведенных принципов производства ЭЧП, значительную роль приобретает борьба с сорняками с использованием механических средств. Система обработки почвы должна разрабатываться с учетом местных условий, биологических особенностей возделываемых культур. Она должна быть почвозащитной, ресурсосберегающей, способствующей сохранению плодородия, уменьшению видов эрозии и, в то же время, повышающей урожайность сельскохозяйственных культур [6-8].

Следует помнить, что предпочтение в выборе средств и способов борьбы с сорной растительностью требуется отдавать механическому перед химическим.

Анализ последних исследований. История развития ротационных рабочих органов игольчатого типа уходит глубоко в древность [9]. В 20-м столетии игольчатые рабочие органы, в том виде в каком они сегодня существуют, получили дальнейшее развитие в работах П.А. Самойлова [10], О. Сапарова [11], Н.В. Чайчица [12], В.Я. Шатина [13], В.Т. Клетченко [14], И.Т. Коврикова [15], В.К. Бакулина [16], Н.А. Седнева [17] А.А. Конищева [18], А.В. Коптева [19] и многих других. В каждом конкретном случае, тех или иных исследований, решались определенные задачи, диапазон которых очень велик.

К 100 - летию со дня рождения П.П. Карпуши публикуются малоизвестные его исследования по борьбе с сорняками в рядах пропашных культур с использованием игольчатых рабочих органов, установленных под углом атаки, материалы которых восстановлены его учениками, а незначительная их часть опубликована в работе [20].

Работа представляет широкий интерес исследователей в области обработки почвы, в подходах к аналитическим и экспериментальным исследованиям, где анализируется весь технологический процесс.

Цель исследования - разработка и анализ аналитических и экспериментальных исследований игольчатых рабочих органов, установленных под углом атаки для обработки пропашных культур.

Основная часть.

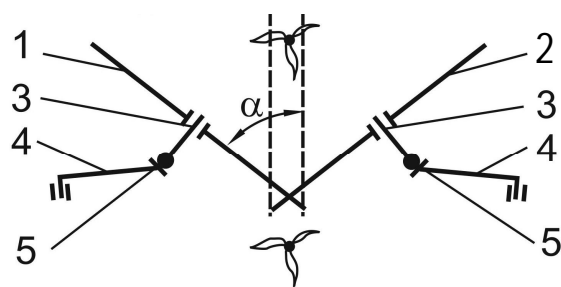
АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Действующие силы и кинематика движения иглы диска

Схема установки рабочих органов игольчатых дисков по отношению к ряду растений пропашных культур показана на рисунке 1.



а



б

Рис. 1. Установки рабочих органов игольчатых дисков по отношению к ряду растений пропашных культур:

1, 2 – диск игольчатый; 3 – ось; 4 – кронштейн; 5 – шарнир с фиксатором; а – общий вид; б – схема.

Диски 1 и 2 при помощи осей 3 устанавливаются в кронштейнах 4, которые крепятся в держателях стоек лап секции культиватора. Каждый диск вместе с осью 4 можно повернуть в шарнире с фиксатором 5, обеспечивая его установку на требуемый угол атаки α по отношению к направлению ряда (направлению движения агрегата).

При движении агрегата вдоль ряда, каждый диск, перемещается вместе с агрегатом, вращаясь на оси 3. В результате такого сложного движения каждая игла делает бороздку в направлении результирующей силы, действующей со стороны зуба на почву.

Схема действия сил на иглу «К» представлена на рисунке 2.

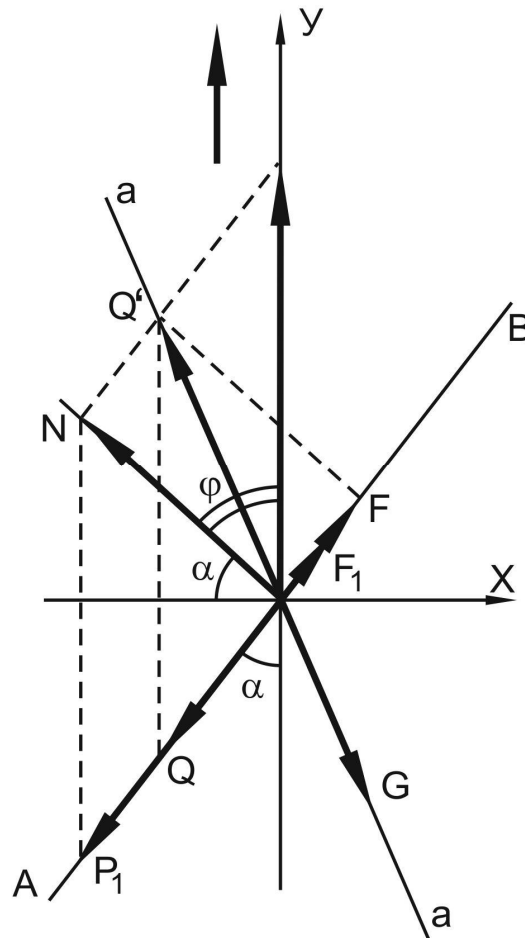


Рис. 2. Схема действия сил на иглу «К».

Агрегат вместе с диском перемещается в направлении координаты «У». Диск, шарнирно закрепленный на оси «О», перемещаясь в направлении «У» за счет сцепления с почвой вращается в плоскости AB по часовой стрелке. Пользуясь методом В.А. Желиговского [21] действующие силы можно представить следующим образом.

Игла действует на почву с силой N . Разложив ее на составляющие, по направлению движения агрегата и в плоскости вращения AB (рис. 2) сила P_1 , действующая в плоскости вращения будет преодолевать сопротивление трения иглы о почву F и сопротивление трению F_1 в ступице диска. Однако для преодоления сопротивления $F + F_1$ (которое, очевидно, можно назвать сопротивлением перекатыванию диска в плоскости AB) прикладывается часть силы P_1 равная $F + F_1 = Q$.

Сложив оставшуюся часть силы P_1 с P , получим равнодействующую силу N , с которой игла воздействует на почву. Сила N будет уравновешиваться сопротивлением почвы деформации G ее иглой, действующим в противоположном направлении. Очевидно, игла под действием силы N будет перемещаться в направлении $a - a$. Так как



$Q = Q' = F + F_1$, то сила N , будет отклонена от нормали на угол ξ

$$\xi = \alpha + \varphi + \varphi_1, \quad (1)$$

где α – угол атаки, угол между плоскостью диска и направлением движения агрегата;

φ – угол трения иглы о почву;

φ_1 – приведенный к игле угол трения в ступице диска.

Диск перестанет вращаться, и игла будет описывать прямую линию в направлении движения при условии

$$\alpha \geq 90 - (\varphi + \varphi_1), \quad (2)$$

Соответствующие коэффициенты трения обозначим $f = \operatorname{tg}\varphi$ – коэффициент трения иглы о почву, и $f_1 = \operatorname{tg}\varphi_1$ – коэффициент трения в ступице диска, приведенный к игле.

Чтобы связать параметры движения игл диска, составим параметрическое уравнение траектории конца иглы. Начало координат (рис. 3) поместим на поверхности поля против оси диска в точке « O ». Ось « Y » направим по направлению движения агрегата, а ось « X » перпендикулярно. Точку « K » поместим в начало координат. Когда диск AB займет новое положение $A'B'$, точка « K » переместится в положение « K' », а агрегат переместится на расстояние $Y = OO_1$.

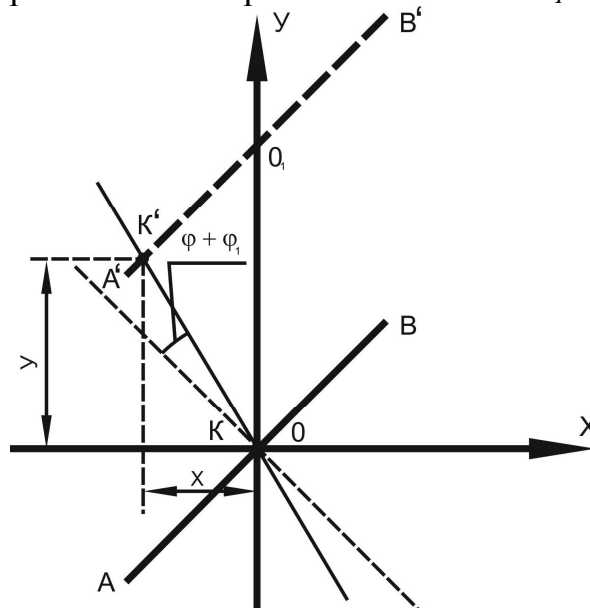


Рис. 3.Схема к составлению уравнения движения конца иглы.

Уравнение траектории точки « K » в параметрической форме запишется :

$$X = R \cdot \sin\alpha \cdot \sin\omega t, \quad (3)$$

где R – радиус игольчатого диска.

Из рисунка 3 следует

$$X = y \cdot \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi + \varphi_1), \quad (4)$$

или подставляя значение X уравнения (4) в уравнение (3) и решая его



получим

$$Y = R \sin \alpha \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi + \varphi_1) \cdot \sin \omega t. \quad (5)$$

$$z = R \cdot (1 - \cos \omega t). \quad (6)$$

Если в уравнении (3) и (4) исключить ωt , получим траекторию кривой, которую описывает проекция точки «K» в плоскости ZOX при движении игольчатого диска.

Выразим уравнение (3) и (6) относительно:

- из уравнения (3)

$$\frac{x}{R \cdot \sin \alpha} = \sin \omega t; \quad (7)$$

- из уравнения (6)

$$1 - \frac{z}{R} = \cos \omega t. \quad (8)$$

Возведя обе части каждого уравнения в квадрат и сложив их получим:

$$\frac{x^2}{R^2 \cdot \sin^2 \alpha} + \left(1 - \frac{z}{R}\right)^2 = \sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t = 1 \quad (9)$$

или:

$$\frac{x^2}{R^2 \cdot \sin^2 \alpha} + \frac{(R - z)^2}{R^2} = 1. \quad (10)$$

Заменив $R \cdot \sin \alpha = b$ и $R = a$, получим:

$$\frac{x^2}{b^2} + \frac{(R - z)^2}{a^2} = 1. \quad (11)$$

Полученное уравнение (11) является уравнением эллипса, большая ось которого смещена от начала координат на величину R в плоскости ZOX .

Поступая аналогично, получим уравнение проекции траектории точки «K» в прямоугольных координатах в плоскости ZOY

$$\frac{y^2}{R^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha + \varphi + \varphi_1)} + \frac{(R - z)^2}{R^2} = 1. \quad (12)$$

Это также уравнение эллипса с полуосями, где $R \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi + \varphi_1) = b$ и $R = a$. Очевидно, каждая игла в плоскости ZOY также описывает эллипс. При этом с увеличением угла атаки α увеличивается и малая полуось. Характер траектории иглы точки "K" в пределах от $\pi/2$ до $3\pi/4$ будет иным. Когда диск повернется на угол, превышающий $\pi/2$, она начинает двигаться с большей скоростью, чем в нижних четвертях окружности.

Составим уравнение траектории движения иглы в двух верхних четвертях окружности, при повороте диска от $\pi/2$ до $3\pi/4$.

Предположим, точка «K» (вершина нижней иглы), перемещается по прямой $n - n$, как это было рассмотрено выше (рис. 4).

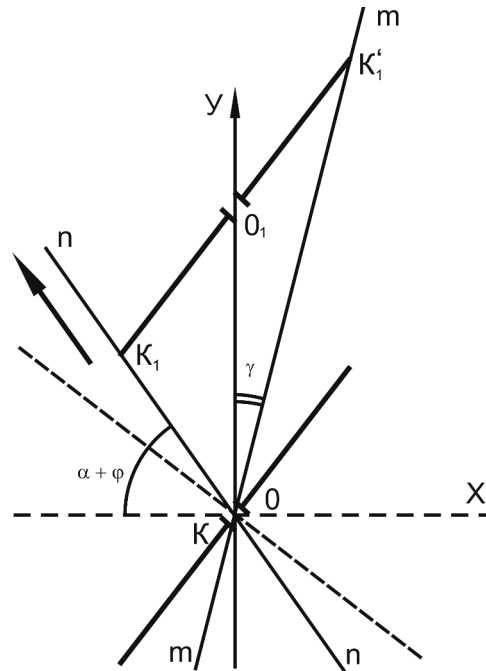


Рис. 4. Схема к определению основных геометрических параметров иглы.

Диск, перемещаясь в направлении оси « Y », занял новое положение, а его ось расположилась в точке « O_1 », точка « K », перемещаясь по линии $n - n$, займет новое положение « K_1 ». Диаметрально противоположная ей точка (вершина иглы) также, как и точка « K », находящаяся в начале координат в начале движения, сместится в положение « K'_1 ». Так как угол поворота игл « K » и « K_1 » относительно оси диска одинаков (обе точки находятся на одном диске), то и смещение их от оси будет одинаково. Соединив начало координат т. « O » (« K ») с точкой « K'_1 » найдем линию, которая является траекторией движения точки « K » в плоскости XOY (прямая $m - m$). Чтобы составить уравнение траектории движения точки « K » в направлении прямой, необходимо знать углы β и γ , а также расстояние между точками « O » и « K'_1 ». Обозначим $OK'_1 - d$; $OO_1 - s$; $K_1K'_1 - L$; $OK - C$.

Из треугольника OO_1K запишем соотношение :

$$\frac{s}{\sin(90 + \phi + \phi_1)} = \frac{l}{2 \sin[90 - (\alpha + \phi + \phi_1)]} \quad (13)$$

Очевидно,

$$\frac{l}{2} = R \cdot \cos \omega t \quad (14)$$

отсчет от диаметра, параллельного горизонтальной плоскости.

Обозначив $\phi + \phi_1 = \phi'$, после преобразования полученных отношений будем иметь:

$$s = R \cdot \frac{\cos \phi'}{\cos(\alpha + \phi')} \cdot \cos \omega t \quad (15)$$

Из этого же треугольника OO_1K можно записать следующее



соотношение :

$$\frac{c}{\sin \alpha} = \frac{l}{2 \sin(\alpha + \phi')} \quad (16)$$

или

$$c = \frac{R \cdot \sin \alpha}{\sin(\alpha + \phi')} \cdot \cos \omega t. \quad (17)$$

Отрезок S является медианой треугольника OKK'_1 . Выразив её как медиану треугольника через стороны L , S , и d , определим значение величины d .

$$s = \frac{\sqrt{2(c^2 + d^2) - l^2}}{2} \quad (18)$$

или, заменив их величины значениями, будем иметь:

$$R \cdot \frac{\cos \phi'}{\cos(\alpha + \phi')} \cdot \cos \omega t = \frac{\sqrt{2 \left(R^2 \cdot \frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2(\alpha + \phi')} \cdot \cos^2 \omega t + d^2 \right) - 4R^2}}{2}. \quad (19)$$

Возведя обе стороны в квадрат, и выполнив преобразования, получим:

$$d^2 = R^2 \cdot \cos^2 \omega t \cdot \left[\frac{2 \cos^2 \phi'}{\cos^2(\alpha + \phi')} - \frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2(\alpha + \phi')} - 2 \right].$$

Откуда, после преобразований получим значение величины d

$$d = R \cdot \cos \omega t \cdot \sqrt{s \cdot c^2 \cdot (\alpha + \phi') \cdot (2 \cos^2 \phi' - \sin^2 \alpha) + 2} \quad (20)$$

Из треугольника OO_1K_1 можно записать соотношение:

$$\sin(180 - \alpha) = \frac{2d \cdot \sin \beta}{l} = \frac{d \cdot \sin \beta}{R \cdot \cos \omega t'} \quad (21)$$

или

$$\sin \alpha = \frac{d \cdot \sin \beta}{R \cdot \cos \omega t'},$$

откуда

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{d} \cdot R \cdot \cos \omega t.$$

Или, после преобразований:

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{s \cdot c^2 \cdot (\alpha + \phi') \cdot (2 \cos^2 \phi' - \sin^2 \alpha) + 2}}$$

или угол β будет:

$$\beta = \arcsin \frac{\sin \alpha}{\sqrt{s \cdot c^2 \cdot (\alpha + \phi') \cdot (2 \cos^2 \phi' - \sin^2 \alpha) + 2}}. \quad (22)$$

Зная угол β легко определить величину угла γ



$$\gamma = \alpha - \beta; \quad (23)$$

Уравнение траектории движения точки «K» в плоскости XOY запишется так:

$$\begin{aligned} x' &= d \cdot \sin(\alpha - \beta) \\ y' &= d \cdot \cos(\alpha - \beta) \\ z' &= R \cdot (2 - \sin \omega t) \end{aligned} \quad (24)$$

или

$$x' = R \cdot \sin(\alpha - \beta) \cdot \cos \omega t \cdot \sqrt{s \cdot c^2 \cdot (\alpha + \phi') \cdot (2 \cos^2 \phi' - \sin^2 \alpha) + 2} \quad (25)$$

$$x' = R \cdot \cos(\alpha - \beta) \cdot \cos \omega t \cdot \sqrt{s \cdot c^2 \cdot (\alpha + \phi') \cdot (2 \cos^2 \phi' - \sin^2 \alpha) + 2} \quad (26)$$

Исключив ωt из выражения для X' и Z' , получим траекторию движения точки «K'» в декартовых координатах в плоскости ZOX

$$\frac{x'^2}{R^2 \cdot \sin^2(\alpha - \beta) \cdot \{s \cdot c^2 \cdot (\alpha + \phi') \cdot [2 \cos^2 \phi' - \sin^2 \alpha] + 2\}} + \frac{(2R - z')^2}{R^2} = 1 \quad (27)$$

Аналогично получаем уравнение траектории движения точки «K''» в плоскости Y'OZ'

$$\frac{y'^2}{R^2 \cdot \cos^2(\alpha - \beta) \cdot \{s \cdot c^2 \cdot (\alpha + \phi') \cdot [2 \cos^2 \phi' - \sin^2 \alpha] + 2\}} + \frac{(2R - z')^2}{R^2} = 1. \quad (28)$$

Уравнения (27) и (28) являются уравнениями эллипса, смещенного по оси Z на величину $2R$. Разложив $\sin(\alpha - \beta)$ и проведя соответствующие преобразования легко доказать, что в уравнении (27) малая полуось будет:

$$b = R \cdot \sin(\alpha - \beta) \cdot \sqrt{s \cdot c^2 \cdot (\alpha + \phi') \cdot (2 \cos^2 \phi' - \sin^2 \alpha) + 2} = R \cdot \sin \alpha, \quad (29)$$

то есть, эллипсы являются такими же, как и в случае движения точки "K" в нижних квадрантах окружности диска

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Анализ аналитических и экспериментальных исследований

1. Природа угла φ и $\varphi_1 = \varphi'$.

С целью проверки соответствия действительной траектории иглы зуба с теоретической, были проведены эксперименты в почвенном канале и в полевых условиях на почвах с различной плотностью. Во всех случаях проекция траектории носка иглы на горизонтальную плоскость, что является следом иглы на почве, оказалась прямой линией, а следы всех игл параллельны между собой. При изменении угла наклона диска к направлению движения направление следа иглы также меняется, но следы (а-а; а₁-а₁; а₂-а₂) от соседних игл остаются параллельными (рис. 5).

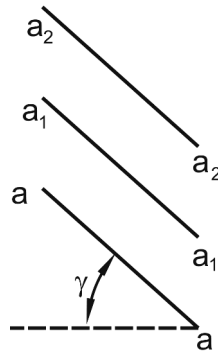


Рис. 5. Схема к определению направления следа иглы диска.

Угол γ является суммой углов ($\alpha + \varphi + \varphi_I$). Замерив этот угол и зная угол α – угол атаки, легко определить сумму $\varphi + \varphi_I$ из зависимости:

$$\varphi' = \varphi + \varphi_I = \gamma - \alpha \quad (30)$$

Этот угол остаётся постоянным при изменении угла α . Более точные замеры с многократной повторностью позволили установить, что он колеблется в очень узких пределах ($\varphi' = \varphi + \varphi_I = 18...21$ град) для различных сухих почв. Так на черноземе, он колеблется в пределах $20^\circ...21^\circ$; на сухом песке $18^\circ...18^\circ30'$. Для сравнения и выяснения характера трения скольжения различных материалов о сталь при помощи линейки академика Желиговского В.А. [21] в таблице 1 приведены значения углов различных материалов. Поверхность – стальная пластина, по которой скользил опытный образец материала, обработанный мелким напильником и слегка наждачной бумагой.

Таблица 1 - Таблица значений угла трения различных материалов о сталь

№ п.п.	Материал	Угол трения (материал о сталь)
1	Песок (сухой)	18° ;
2	Чернозем (сухой)	$20^\circ...21^\circ$;
3	Чернозем (влажность 15 %)	25° ;
4	Чернозем (влажность 27 %)	$29^\circ...31^\circ$;
5	Чернозем о чернозем	$35^\circ...42^\circ$;
6	Известняк	$19^\circ 20'$;
7	Гранит	$18^\circ 20'$;

Как видно из приведенных выше данных угол φ' , полученный при испытании игольчатого диска для сухого песка и чернозема, находятся в пределах $18...21^\circ$, а угол трения скольжения φ для тех же материалов, но полученных с помощью линейки В.А. Желиговского,



также в пределах $18...21^\circ$. Очевидно, это тот самый угол φ , а приведенный угол φ_1 – очень мал. Так как диски были хорошо смазаны, то вполне вероятно, что силы трения в опоре очень малы, а приведенная сила к концу иглы ощутимого влияния на движение самой иглы не оказывает. Учитывая эти обстоятельства, этой силой можно пренебречь, а принимать во внимание только силу трения скольжения иглы о материал среды, и будем обозначать $\varphi + \varphi_1 = \varphi'$

2. Частные случаи

1. Из уравнения (12), малая полуось эллипса $b = R \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi')$ изменяется с изменением угла атаки диска α . Так как с увеличением угла атаки α значение $\operatorname{tg}(\alpha + \varphi')$ может приобрести значение больше единицы, то можно получить установку, когда малая и большая полуоси будут равны. Учитывая, что $a = R$, приравниваем значения a и b , тогда:

$$R \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi') = R \quad (31)$$

или

$$\sin \alpha \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi') = 1. \quad (32)$$

Принимая, $\varphi' = 20^\circ$ и решая уравнение (31), получим значение $\alpha = 38^\circ$, а при $\varphi' = 30^\circ$ - угол $\alpha = 32^\circ$.

2. При значениях $X = Y$ из уравнения (2) получим, $\operatorname{ctg}(\alpha + \varphi') = 1$. Тогда и $\operatorname{tg}(\alpha + \varphi') = 1$.

Подставляя это значение в уравнение (12), получим

$$\frac{y^2}{R^2 \cdot \sin^2 \alpha} + \frac{(R + z)^2}{R^2} = 1, \quad (33)$$

то есть полуоси эллипса такие же, как и в уравнении (10).

Очевидно, при такой установке диска в плоскости VOZ и XOZ , проекции траекторий точки K будут одинаковыми. Это будет при условии $(\alpha + \varphi') = 45^\circ$. Принимая, что $\varphi' = 20^\circ$ и решая уравнение (32), получим значение $\alpha = 45^\circ - 20^\circ = 25^\circ$, а при $\varphi' = 30^\circ$ - $\alpha = 45^\circ - 30^\circ = 15^\circ$.

3. Если игольчатый диск установить плоскостью по направлению движения, то есть $\alpha = 0$, то при перекачивании, пройденный путь не соответствует теоретическому - $2 \cdot \pi \cdot R \cdot n$. Очевидно, имеет место изменение радиуса качения, так как это несоответствие на «плотной» почве мало, а на «сыпучей» - велико. Величина изменения радиуса качения бывает:

- на плотной почве $\varepsilon = R_\partial / R_m = 0,95...0,98$;
- на культивированной $\varepsilon = R_\partial / R_T = 0,9...0,93$.

Процент скольжения наклоненного к направлению движения диска можно определить из зависимости:

$$\mu_t = (1 - \eta) \cdot 100, \quad (34)$$

где η – коэффициент скольжения-буксования (отношение теоретической длины пути пройденного диском к действительной).

Очевидно, η учитывает и изменения радиуса качения. При увеличении угла атаки α – уменьшается величина η , то есть увеличивается процент скольжения. Пользуясь рисунком 6 величину η можно определить аналитическим путем при любом значении угла атаки диска.

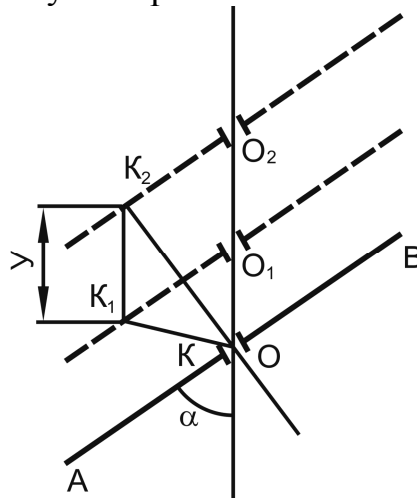


Рис. 6. Схема к определению величины скольжения η аналитическим путем.

Предположим, диск имеет z игл, расстояние между концами которых по дуге окружности $m = \pi \cdot D/z$. Диск перекачивается без трения по какой-то поверхности. При перемещении оси диска «O» на величину «y», она окажется в положении «O₁». При этом диск вращается и его окружная скорость равна скорости поступательного движения. Конец нижней иглы K переместится из точки «O» в точку K₁. Тогда величину $m = OO_1$ можно выразить таким образом :

$$m = \frac{R \cdot \sin \omega t}{\cos \alpha}. \quad (35)$$

При наличии трения и поворота диска на тот же угол точка K переместится в K₂, а ось диска из точки «O» переместится в «O₂». Расстояние $S = OO_2$ можно определить таким образом. Если начало координат, как и при выводе уравнения траектории, поместить в точку «O», то зависимость для определения величины S можно записать:

$$S = y + R \cdot \sin \omega t \cdot \cos \alpha, \quad (36)$$

где $R \cdot \sin \omega t = K_2O_2$



Коеффіцієнт скольження можна определить:

$$\eta = \frac{m \cdot \varepsilon}{s} = \frac{\varepsilon \cdot R \cdot \sin \omega t}{\cos \alpha \cdot (y + R \cdot \sin \omega t \cdot \cos \alpha)} \quad (37)$$

или, подставляя вместо « y » его значения, получим

$$\eta = \frac{\varepsilon \cdot R \cdot \sin \omega t}{\cos \varepsilon \cdot [R \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \phi') \cdot \sin \omega t + R \cdot \sin \omega t \cdot \cos \alpha]} \quad (38)$$

Или, после сокращений и преобразований

$$\eta = \frac{\varepsilon}{\cos \alpha \cdot [\sin \alpha \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \phi') + \cos \alpha]} \quad (39)$$

В таблице 2 приведены значения η , полученные по уравнению (39) для разных углов атаки α , значений $\phi' = 20^\circ$ и $\varepsilon = 0,9$, а также значения η_d , полученных экспериментальным путем в почвенном канале, а в графе б – в полевых условиях на черноземе в процессе культивации

Таблица 2 - Таблица значений коэффициентов скольжения-буксования, полученных на основании аналитических и экспериментальных исследований

№ п.п.	Угол атаки α , град	Значение η при $\varepsilon = 0,9$	Значение η при $\varepsilon = 0,95$	Значение η_d на песке	Значение η_d на черноземе
1	0	0,9	0,95	0,9	0,95
2	10	0,84	0,9		
3	20	0,79	0,83		
4	25	0,74	0,78	0,73	
5	30	0,71	0,75		0,76
6	35	0,68	0,71	0,68	
7	40	0,63	0,65		0,66
8	45	0,61	0,64	0,63	
9	50	0,51	0,54		
10	55	0,43	0,45		
11	60	0,24	0,26		
12	65	0,20	0,21		
13	70	0	0		

3. Обоснование оптимального угла атаки диска

Дифференцируя уравнения (36) можно определить проекцию скорости перемещения конца иглы в направлении рядка по оси « x ».



$$V_x = \frac{dx}{dt} = R \cdot \omega \cdot \sin \alpha \cdot \cos \omega t, \quad (40)$$

где $R\omega$ – окружная скорость носка иглы.

Эту окружную скорость выразим через поступательную скорость движения диска V . Как уже было указано выше, абсолютное перемещение носка иглы состоит из переносного движения вместе с осью и относительного вокруг этой оси. Соответствующие скорости этого движения представлены на рисунке 7.

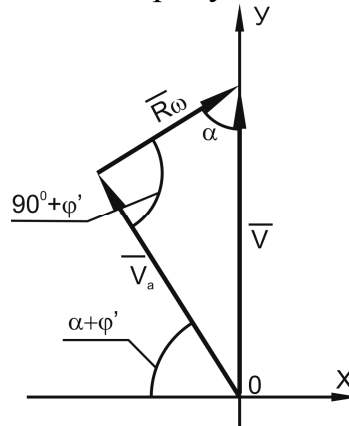


Рис. 7. Схема к определению зависимости между окружной и поступательной скоростью носка иглы.

Зависимость между окружной скоростью $R\omega$ и поступательной V можно составить, используя теорему синусов.

$$\frac{V}{\sin(90 + \phi')} = \frac{R \cdot \omega \cdot \cos \omega t}{\sin[90 - (\alpha + \phi')]} \quad (41)$$

или

$$\frac{V}{\cos \phi'} = \frac{R \cdot \omega \cdot \cos \omega t}{\cos(\alpha + \phi')}. \quad (42)$$

Откуда:

$$R \cdot \omega = \frac{V \cdot \cos(\alpha + \phi')}{\cos \phi' \cdot \cos \omega t}. \quad (43)$$

Подставив полученное значение в уравнение (40), будем иметь:

$$V_x = \frac{dx}{dt} = V \cdot \frac{\cos(\alpha + \phi') \cdot \sin \alpha}{\cos \phi'}. \quad (43)$$

Значение V_x изменяется по косинусоиде при постоянном значении V , α и ϕ' . Однако, установку диска относительно направления движения можно менять. Из уравнения (43) видно, что при значении $\cos(\alpha + \phi') = 0$, значение V_x также равно нулю. Это будет, когда $\alpha + \phi' = 90^\circ$. V_x также равно нулю при $\alpha = 0$. Очевидно, можно найти такое



положение диска, когда зубья игольчатого диска будут наиболее активно воздействовать на сорняки в направлении рядка, то есть когда V_x имеет максимальное значение. Это будет при максимальном значении произведения:

$$\frac{\cos(\alpha + \phi') \cdot \sin \alpha}{\cos \phi'} \quad (44)$$

Считая α аргументом, найдем максимальное значение функции при $\phi' = const$.

$$\frac{d}{d\alpha} \cdot \left[\frac{\cos(\alpha + \phi') \cdot \sin \alpha}{\cos \phi'} \right] = 0; \quad (45)$$

$$\frac{d}{d\alpha} \cdot \left(\frac{\cos \alpha \cdot \cos \phi' - \sin \alpha \cdot \sin \phi'}{\cos \phi'} \right) = 0;$$

$$\frac{d}{d\alpha} \cdot (\cos \alpha \cdot \sin \alpha - \sin^2 \alpha \cdot \operatorname{tg} \phi') = 0;$$

$$\frac{d}{d\alpha} \cdot \left(\frac{1}{2} \sin 2\alpha - \sin^2 \alpha \cdot \operatorname{tg} \phi' \right) = 0;$$

$$\cos 2\alpha - \sin 2\alpha \cdot \operatorname{tg} \phi' = 0$$

или:

$$\operatorname{ctg} 2\alpha = \operatorname{tg} \phi' = 0. \quad (46)$$

Если принять, что $\phi' = 20^\circ$, то $\operatorname{tg} \phi' = 0,364$, угол $2\alpha = 70^\circ$ или $\alpha = 35^\circ$. Значение ϕ' может увеличиваться до $30 \dots 31^\circ$. При $\phi' = 31^\circ$ значение α будет $\operatorname{ctg} 2\alpha = \operatorname{tg} \phi' = \operatorname{tg} 31^\circ$, то $2\alpha = 59^\circ$, $\alpha = 29^\circ 30'$. Очевидно, что наиболее приемлемым углом атаки установки дисков будет угол $\alpha = 32 \dots 33^\circ$.

4. Условия сбрасывания сорняков с иглы

При перемещении иглы в почве под углом $90^\circ - (\alpha + \phi')$ к направлению рядка имеется возможность нависания сорняков. Должны быть силы, способствующие сбрасыванию их, иначе игольчатый диск будет забиваться. Перемещение иглы в плоскости XOY происходит таким образом: вначале ускорение, а при выходе из почвы – замедление. Действием силы инерции сорняк будет прижат к игле. Величину ускорения в направлении O_1K_1 (рис. 8) можно определить, если взять вторую производную от перемещения по оси X по времени и спроектировать ее на направление движения иглы.

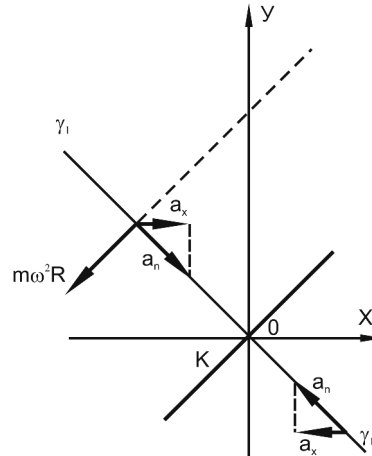


Рис. 8. Схема к определению условия сбрасывания сорняка с иглы.

Со стороны вхождения иглы в почву

$$x = -R \cdot \sin \alpha \cdot \sin \omega t \quad (47)$$

Знак «-», так как $\sin \omega t$ отрицательный в 4-м квадранте:

$$V_x = \frac{dx}{dt} = -R\omega \cdot \sin \alpha \cdot \cos \omega t \quad (48)$$

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} = R\omega^2 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \omega t \quad (49)$$

Ускорение имеет положительный знак, следовательно, оно направлено к точке «0». Ускорение, действующее в направлении абсолютного движения иглы будет:

$$a_n = \frac{a_x}{\cos(\alpha + \phi')} = \frac{R\omega^2 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \omega t}{\cos(\alpha + \phi')} \quad (50)$$

Или, подставляя значение $R\omega$,

$$R\omega = V \cdot \frac{\cos(\alpha + \phi')}{\cos \phi'} \quad (51)$$

получаем

$$a_n = \frac{V^2 \cdot \cos^2(\alpha + \phi') \cdot \sin \alpha \cdot \sin \omega t}{R \cdot \cos^2 \phi' \cdot \cos(\alpha + \phi')} \quad (52)$$

или

$$a_n = \frac{V^2 \cdot \cos(\alpha + \phi') \cdot \sin \alpha \cdot \sin \omega t}{R \cdot \cos^2 \phi'} \quad (53)$$

Сила инерции сорняка

$$j_n = m \cdot a_n = -m \cdot \frac{V^2 \cdot \cos(\alpha + \phi') \cdot \sin \alpha \cdot \sin \omega t}{R \cdot \cos^2 \phi'}, \quad (54)$$

где m – масса сорняка.

Со стороны выхода иглы из почвы ускорение и сила инерции

сорняка по величине такие же как и в уравнении (53) и (54), но имеют противоположный знак, так как направление ускорения будут против направления движения иглы (рис. 9).

$$a_n = \frac{-V^2 \cdot \cos(\alpha + \phi') \cdot \sin \alpha \cdot \sin \omega t}{R \cdot \cos^2 \phi'}; \quad (55)$$

$$j_n = m \cdot \frac{V^2 \cdot \cos(\alpha + \phi') \cdot \sin \alpha \cdot \sin \omega t}{R \cdot \cos^2 \phi'}. \quad (56)$$

Кроме того, на сорняк действует и центробежная сила инерции $m\omega^2 R$. Если бы игла находилась в почве, то сорняк был бы сброшен с нее силами j_n и $m\omega^2 R$. Но на него еще действует сопротивление почвы (против направления движения) и прижимает его к игле. После выхода иглы из почвы сопротивление почвы на сорняк не действует, но остаются силы инерции. При $\omega t = \pi/2$ сила инерции j_n приобретает максимальное значение.

$$j_n = m \cdot \frac{V^2 \cdot \cos(\alpha + \phi') \cdot \sin \alpha}{R \cdot \cos^2 \phi'}. \quad (57)$$

В сумме с центробежной силой они дадут равнодействующую, которая может быть определена по известной зависимости из треугольника. Данная сумма выразится так:

$$U = m \cdot \frac{V^2 \cdot \cos(\alpha + \phi') \cdot \sin \alpha}{R \cdot \cos^2 \phi'} + m \cdot \frac{V^2 \cdot \cos(\alpha + \phi')}{R \cdot \cos^2 \phi'}. \quad (58)$$

Эта сила должна сбросить нависший сорняк с иглы.

5. Обоснование значения радиуса диска

Ширину необработанной зоны А (рис. 9) можно выразить через параметры диска таким образом:

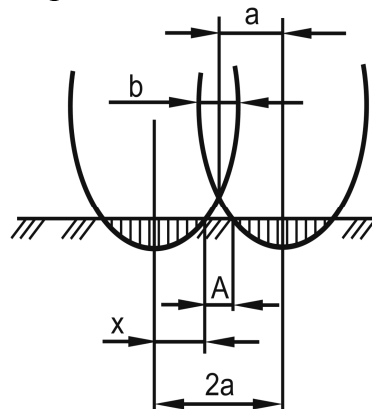


Рис. 9. Схема к определению значения радиуса диска.

$$A = 2a' - 2x = 2R \sin \alpha - b - 2x, \quad (59)$$

где: b – величина перекрытия игл;

α – угол атаки диска;



R – радіус диска.

Определив значение величины « x » из уравнения 10 и подставив в уравнение 59, получим:

$$A = 2R \sin \alpha - 2 \sin \alpha \cdot \sqrt{2R \cdot z - z^2} - b; \quad (60)$$

$$A = 2 \sin \alpha \cdot \left(R - \sqrt{2R \cdot z - z^2} - b \right); \quad (61)$$

$$A = 2R \cdot \sin \alpha \left(1 - \sqrt{\frac{2z}{R} - \frac{z^2}{R^2}} \right) - b. \quad (62)$$

Как видно из уравнения (62) величина необработанной зоны уменьшается с уменьшением угла атаки α и радиуса диска R , с увеличением z и b .

Если бы у диска были прямые радиальные иглы, то выгодно было бы делать большое перекрытие b . Однако иглы имеют выгнутую форму, поэтому перекрытие можно допустить $b = 20...30$ мм. Очевидно, выгодно применять диск такого радиуса, чтобы обеспечить полное смыкание обрабатываемой зоны, то есть когда $A = 0$.

Допустим ширина защитной зоны с каждой стороны растений составляет $B = 13$ см. Возьмем $X = 16$ см, глубину обработки по оси диска примем $z = 8$ см, $\alpha = 30^\circ$, $b = 2,0$ см.

Определим значение величины радиуса диска:

$$A = 2 \sin \alpha \cdot \left(R - \sqrt{2R \cdot z - z^2} - b \right). \quad (63)$$

И после преобразования получим:

$$R^2 - R \cdot \left(2z + \frac{b}{2 \sin \alpha} \right) + z^2 + \frac{b^2}{4 \sin^2 \alpha} = 0. \quad (64)$$

В представленное параметрическое уравнение, подставляя цифровые значения, получим:

$$R^2 - R \cdot \left(2 \cdot 8 + \frac{2}{2 \cdot 0,5} \right) + 8^2 + \frac{2^2}{4 \cdot 0,25} = 0,$$

решая его, получим

$$R = 9 \pm 3,6 \text{ см}$$

$$R_1 = 12,6 \text{ см}; \quad R_2 = 5,4 \text{ см}.$$

В соответствии со стандартами наибольшее распространение получили диски бороны – мотыги с радиусом $R = 22,5$ см. Для полного перекрытия зоны A необходимо работать именно такими дисками при определенной глубине обработки защитной зоны, которую определим, преобразовав уравнение (62):

$$z^2 - 2R \cdot z + R^2 - \frac{R \cdot b}{2 \sin \alpha} + \frac{b^2}{4 \sin^2 \alpha} = 0, \quad (65)$$

$$z^2 - 45z + 465 = 0 \quad (66)$$

Действительным корнем уравнения является $z_2 = 16,1$ см.

При обработке на глубину 10 см остается ширина необработанной зоны в соответствии с выражением (63):

$$A = 45 \cdot 0,5 - 2 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{450 - 100} - 2 = 1,5 \text{ см},$$

то есть, ширина необработанной зоны A составила 1,5 см. А при глубине обработки в 12 см ширина необработанной зоны $A = 0,5$ см.

6. Обоснование качества рыхления почвы

Рыхление почвы иглами обеспечивается за счет скалывания ее в направлении опасного сечения и сдвига соседней иглой. Зона деформации почвы за счет скалывания зависит от толщины иглы d , глубины обработки h и угла скалывания $\Theta = 42 \dots 56^\circ$, определяющего направление скалывания и зависящего от типа и состояния почвы [22, 23]. Следуя предположению профессора Зеленина ширину зоны деформации можно определить по формуле (из теории Мора) [24].

$$b = d + 2h \cdot \operatorname{tg} \Theta/2, \quad (67)$$

где b – ширина зоны скалывания, см; (рис. 10)

d – толщина иглы, см;

h – глубина обработки, см;

Θ – угол, определяющий направление скалывания.

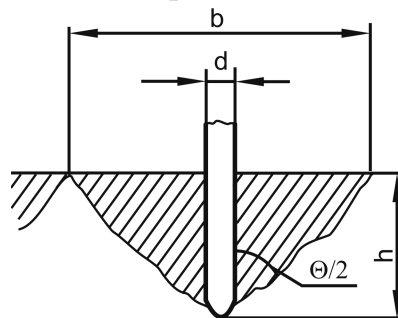


Рис. 10. Схема к определению ширины зоны рыхления.

Достаточное рыхление получается тогда, когда зоны рыхления соседними иглами смыкаются. Очевидно, это будет зависеть от расстояния CC_1 между соседними следами $n-n$ и $m-m$ (рис. 11), которые в свою очередь зависят от расстояния между соседними иглами на диске и угла трения φ' . Из условия равенства зоны рыхления и расстояния



между следами определим наименьшее допустимое расстояние между иглами.

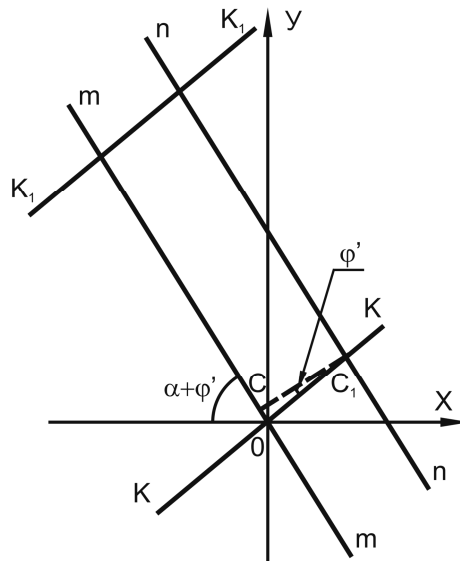


Рис. 11. Схема к определению наименьшего допустимого расстояния между иглами.

На рисунке 11 линиями $n-n$ и $m-m$ изображены следы двух соседних игл, а линиями $K-K$ и K_1-K_1 – два разных положения диска. Расстояние между следами можно определить:

$$CC_1 = S \cdot \cos \varphi'. \quad (68)$$

Зона скалывания будет смыкаться, если $CC_1 = b$. Или,

$$S \cdot \cos \varphi' = d + 2h \cdot \operatorname{tg} \Theta/2 \quad (69)$$

откуда:

$$S = \frac{d + 2h \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\Theta}{2} \right)}{\cos \varphi'} \quad (70)$$

Решая это уравнение для сыпучих легких почв при значении $\varphi' = 20^\circ$; $\Theta = 40^\circ$, $h = 12$ см; $d = 2$ см, получим:

$$S = \frac{2 + 2 \cdot 12 \cdot 0,365}{0,95} = 11,5 \text{ см}$$

для более тяжелых условий: $\varphi' = 31^\circ$; $\Theta = 50^\circ$, $h = 12$ см; $d = 2$ см

$$S = \frac{2 + 2 \cdot 12 \cdot 0,47}{0,90} = 15 \text{ см.}$$

Расстояние между иглами стандартного диска диаметром 450 мм $S = 11,5$ см. Очевидно, в первом случае зоны скалывания при такой глубине обработки будут смыкаться, во втором перекрываться.

Из приведенного анализа видно, что выгоднее применять



игольчатые диски с частой расстановкой игл. Однако иглы деформируют почву не только путем скалывания, но и путем сдвига. При этом каждая следующая игла идет после первой, то есть, когда на расстоянии $CC_1 = b$ от его следа почва уже деформирована, и сдвинуть ее легко.

Проверка полноты деформации почвы нами не проводилась, но визуальные наблюдения говорят о высоком качестве рыхления при глубине хода игл 12...15 см.

Выводы.

1. Выполнены аналитические исследования действующих сил игольчатый рабочий орган и кинематику движения иглы.

2. Выполнены экспериментальные исследования. Сравнительный анализ результатов, полученных аналитическим путем и путем экспериментальных исследований, показали весьма близкие результаты по величине, что подтверждает правильность вышеизложенных соображений при составлении уравнений.

3. Обоснованы технологические параметры, такие как: постановка оптимального угла атаки диска; условия сбрасывания сорняков с иглы; оптимальное значение радиуса диска, а также качество рыхления почвы для конкретных условий их эксплуатации

Литература.

1. *Константинов В.М.* Охрана природы / *В.М. Константинов.* – М.: Издательство: Академия, 2010. – 240 с.
2. *Константинов, В.М.* Рациональное использование природных ресурсов и охрана природы // *В.М. Константинов [и др.].* – М.: Академия, 2009. – 272 с.
3. *Воронков Н.А.* Экология : Общая, социальная, прикладная: (Общественнообразоват. курс): Учеб. пособие для студентов вузов и учителей / *Н.А. Воронков.* – М. : Агар: Рандеву – АМ, 1999. – 422 с.
4. *Боков, В.А.* Геоэкология [Текст]: науч.-метод. книга по экологии / *В.А. Боков, А.В. Симферополь: Таврия, 1996. 384 с.*
5. *Акимова, Т.А., Хаскин В.В.* Экология. Человек – Экономика – Биота – Среда: учебник для студентов вузов/ *Т.А. Акимова. В.В. Хаскин.* – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. – 495 с.
6. *Григорьян Б.Р., Николаева Т.Г. и др.* Концепция создания системы производства, сертификации и оборота экологически чистой продукции в республике Татарстан. <http://shmain.ru/nauchnye-statii/grigoryan-b-r-nikolaeva-t-g-i-dr-koncepciya-sozdaniya-sistemy-proizvodstva-sertifikacii-i-oborota-ekologicheski-chistoj-produkcii-v-respublike-tatarstan.html>
7. *Агрэкология / В.А. Черников, Р.М. Алексахин, А.В. Голубев и др.; под ред. В.А. Черникова, А.И. Чекереса.* – М.: Колос, 2000. – 536 с.



8. *Уразаев Н.А.* Сельскохозяйственная экология/*Н.А. Уразаев, А.А. Вакулин, А.В. Никитин и др.* М.: Колос, 2000. - 304 с.
9. *Белокопытов А.В.* Обоснование рациональных параметров рабочих элементов игольчатых рабочих органов для сплошной обработки почвы в условиях юга Украины: дис.... канд. техн. наук/ *А.В. Белокопытов* Мелитополь, 1997. - 200 с.
10. *Самойлов П.А.* К методике графического анализа рабочего процесса игольчатого диска пропашного культиватора и ротационной мотыги / *П.А. Самойлов* // Труды Киргизского сельскохозяйственного института./ Вып. 14. Т.4. Фрунзе, 1969. с 29-33.
11. *Сапаров О., Федоров А.К.* Кинематика игольчатого дискового рабочего органа, работающего под некоторым углом к направлению движения орудия / *О. Сапаров А.К. Федоров* // Механизация полеводства и животноводства в северном Казахстане / Труды Целиноградского СХИ. Т. 28. Целиноград, 1980. С. 32-36.
12. *Чайчиц Н.В.* К вопросу движения в почвенном слое игольчатых дисков ротационных мотыг / *Н.В. Чайчиц* // Сборник научных трудов БСХА / Т.69. Горки, 1975. – с. 134-137.
13. *Шатин В.Я.* Обоснование параметров ротационных рабочих органов для предпосевной обработки почв на стерневых полях / *В.Я. Шатин.* // Автореф... канд. техн. наук./ Челябинск, 1988. – 20 с.
14. *Клетченко В.Т.* Обоснование параметров игольчатых дисков для поверхностных противоэрозионных обработок почвы в условиях Нечерноземной зоны / *В.Т. Клетченко.* // Совершенствование процессов и средств механизации для обработки почвы и посева / Минск, 1983, ст.104 – 127.
15. *Ковриков И.Т.* Обоснование формы иглы и параметров рабочих органов для поверхностной обработки почвы / *И.Т. Ковриков* // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1978. - №7. – с.22-24.
16. *Бакулин В.К.* Игольчатая борона для твердых почв. *В.К. Бакулин* // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства /. – 1979. - №3. – с.11-13.
17. *Седнев Н.А.* Анализ работы ротационных рабочих органов при движении с затормаживанием / *Н.А. Седнев* // Тракторы и сельхозмашины /. №10. 1978г. с.18...19.
18. *Конищев А.А.* К вопросу о деформации почвы игольчатым диском / *А.А. Конищев* // Экономическая эффективность почвозащитной технологии и комплекса противоэрозионной техники / Труды Целиноградского СХИ. Целиноград, 1974. С. 129-134.
19. *Коптев А.В.* Обоснование параметров ротационных рабочих органов для боронования посевов сельскохозяйственных культур / *А.В. Коптев* // Автореф... канд. техн. наук. / М.: 1986. – 19 с.
20. *Карпуша П.П.* Обоснование некоторых параметров и оценочные показатели работы игольчатых дисков, применяемых для обработки



- защитных зон рядков пропашных культур / П.П. Карпуша, Н.В. Доценко // Механизация и электрификация сельского хозяйства / Республиканский межведомственный математический науч.техн.сб. – К.: 1967. – Вып.8. – с.51-61.
21. Желиговский В.А. Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов / В.А. Желиговский. Тбилиси, изд-во Грузинского СХИ, - 1960. - 145 с.
22. Кленин Н.И., Сакур В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Н.И. Кленин, В.А. Сакур // Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы /. – М.: Колос, 1980. – 671с.
23. Клочков А.В. Зона рыхления почвы зубом / А.В. Клочков // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1979 - №4. – с.45.
24. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическим способом / А.Н. Зеленин - М.: «Машиностроение» 1968.-399 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ГОЛЧАСТИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ВСТАНОВЛЕНИХ ПІД ГОСТРИМ КУТОМ АТАКИ ДЛЯ ОБРОБІТКУ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР

П.П. Карпуша, О.В. Білокопитов, С.М. Саньков, Г.О. Рябцев

Анотація - у роботі представлені аналітичні та експериментальне дослідження голчастих робочих органів встановлених під гострим кутом атаки для обробки просапних культур. Обґрунтовано їх геометричні та технологічні параметри.

THE RESEARCH OF THE NEEDLE-SHAPED WORKING PARTS OPERATING BEING SET AT THE ACUTE ANGLE OF ATTACK FOR ROW CROPS CULTIVATION

P. Karpusha, O. Belokopytov, S. San'kov, G. Riabtsev

Summary

The analytical and experimental research of needle-shaped working parts having been set under the acute angle of attack for row crop cultivation has been presented in the article as well as these working parts geometrical and technological parameters have been substantiated.