

ТРАНСПОРТИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ РОТОРА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ РЫХЛИТЕЛЬНО-СЕПАРИРУЮЩЕЙ МАШИНЫ

THE TRANSPORTING ABILITY OF THE ROTOR OF THE SOIL-CULTIVATING LOOSENING AND SEPARATING VEHICLE

В.Ф. ПАЩЕНКО, д.т.н.
Ю.Н. СЫРОМЯТНИКОВ

Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства им. П.М. Василенко, Харьков,
Украина, gara176@meta.ua

V.F. PASHCHENKO, DSc in Engineering
YU.N. SYROMYATNIKOV

Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University
of Agriculture, Kharkiv, Ukraine, gara176@meta.ua

Предметом исследования является процесс взаимодействия рабочих органов ротора почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины. Объектом исследования является нож ротора, транспортирующая способность которого определяется размерами бороздки, оставленной им в почве, с формой поперечного сечения, которая близка к форме трапеции. Рассмотрен физический процесс взаимодействия с почвой ножа ротора рыхлительно-сепарирующего устройства. В первой фазе, при заглублении ножа в почву перед ножом образуется нарост почвы. Во второй фазе работы ножа почва находится под воздействием нароста, величина которого увеличивается до тех пор, пока внутренние напряжения в нем не достигнут предельных значений и не произойдет его частичное разрушение. В третьей фазе воздействия ножа на почву нарост начинает отделяться от основной части почвы и сбрасывается с сепарирующей решетки. Определены направление и величина смещения почвы, а также параметры и форма бороздки, образованной после прохода ножа. Установлено, что наибольшую силу влияния на транспортирующую способность ножа ротора оказывает толщина подаваемого слоя почвы к рыхлительно-сепарирующему устройству и угол излома ножа ротора, наименьшую силу влияния оказывает ширина ножа ротора. Доказано, что увеличение транспортирующей способности ротора в начальный момент входа ножа в почву может быть достигнуто, в основном, за счет снижения величины угла вхождения ножей ротора в почву. При выполнении работы применены теоретические исследования с использованием механико-математического моделирования взаимодействия рабочих органов с почвой. Исходная информация для обоснования исследования получена экспериментально и путем анализа литературных источников. Актуальность состоит в том, что увеличение транспортирующей способности ротора за счет снижения величины угла вхождения ножей в почву даст возможность не изменять величины радиуса и угловой скорости ротора, которые определяют энергетические показатели работы рыхлительно-сепарирующего устройства.

Ключевые слова: процесс, ротор, сепарирующая решетка, качество, энергоёмкость, нож, почва, форма, агрегат, крошение.

The subject of research is the process of interaction between the working bodies of the rotor of a soil-cultivating loosening and separating vehicle. The object of the study is a rotor knife, the transporting capacity of which is determined by the size of the grooves left in the soil with a cross-sectional shape close to the trapezoid shape. The physical process of interaction with the soil of the rotor blade of a loosening and separating device is considered. In the first phase, when the knife is buried in the soil, a soil build-up is formed in front of the knife. In the second phase of the knife operation, the soil is under the influence of a build-up, the magnitude of which increases until the internal stresses in it reach the limit values and do not partially break it down. In the third phase of the impact of the knife on the soil, the build-up begins to separate from the main part of the soil and is discharged from the separation grid. The direction and magnitude of the displacement of the soil, as well as the parameters and shape of the grooves formed after the passage of the knife, are determined. It has been established that the thickness of the applied soil layer to the loosening and separating device and the angle of the rotor knife break have the greatest effect on the transporting ability of the rotor blade, the width of the rotor blade has the least effect. It has been proven that an increase in the transporting capacity of the rotor at the initial moment of entry of the knife into the soil can be achieved mainly by reducing the angle of entry of the rotor knives into the soil. The theoretical studies were applied using mechanical and mathematical modeling of the interaction of the working bodies with the soil. Baseline information to substantiate the study was obtained experimentally and by analyzing literary sources. The urgency lies in the fact that increasing the transporting ability of the rotor by reducing the angle of entry of knives into the soil will give the opportunity not to change the magnitude of the radius and angular velocity of the rotor which determine the energy performance of the loosening and separating device.

Keywords: process, rotor, separating grid, quality, energy intensity, knife, soil, form, aggregate, crumbling.

Введение

Улучшение качества обработки почвы за счет увеличения энергоемкости орудия неизбежно приводит к снижению производительности агрегата и затягиванию сроков выполнения технологических операций, что также отрицательно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур и себестоимости их производства [1, 2, 3, 4]. Например, на черноземных почвах среднего и тяжелого механического состава качественное крошение поверхностного слоя почвы обеспечивается фрезерными рабочими органами. Однако из-за высокой энергоемкости в настоящее время фрезы широкого применения в условиях производства не получили.

При обосновании геометрической формы рабочего органа нецелесообразна постановка вопроса о первичности качественных или энергетических показателей работы орудий. Эти два важнейших показателя совершенства орудий необходимо оценивать не как отдельные изолированные элементы системы технических средств, а как неотъемлемые элементы всего замкнутого цикла технологии выращивания сельскохозяйственных культур, т.е. в комплексной взаимосвязи [5, 6].

Принцип работы почвообрабатывающих рабочих органов для обработки пахотного и посевного слоев почвы основан на совмещении операций ее крошения и сепарации по глубине обрабатываемого слоя почвы. Наряду с получением за один проход агрегата требуемого качества обработки почвы в результате ее сепарации обеспечивается перемещение семян сорных растений на глубину, снижающую их всхожесть и выброс корневищ, в том числе и корнеотпрысковых сорных растений на поверхность поля [7]. Все это позволяет улучшить очистку поля от сорных растений механическим способом.

Известна почвообрабатывающая рыхлительно-сепарирующая машина для оптимизации физико-механических свойств обрабатываемого слоя почвы [8].

Машина работает следующим образом. Плоскорежущая лапа (лемех) подрезает пласт почвы и подает его на сепарирующую решетку. Ножи ротора захватывают почву, перемещают ее по сепарирующей решетке с одновременным ее крошением. Мелкие комочки почвы проходят через зазоры сепарирующей решетки, крупные ножами ротора перемещаются в

верхние слои почвы. В результате сепарации обрабатываемого слоя почвы происходит дифференциация его по структурному составу.

Применение на комбинированной машине активного рабочего органа (ротора) позволяет за один проход агрегата обеспечить высокое качество обработки почвы, а взаимодействие активно-пассивных рабочих органов – улучшить качество крошения пласта почвы с одновременным снижением энергетических затрат. Активные рабочие органы крошат пласт почвы, перемещают ее по сепарирующей решетке, перераспределяя по структуре, тем самым обеспечивают в зоне заделки семян мелкокомковатую структуру (рис. 1).

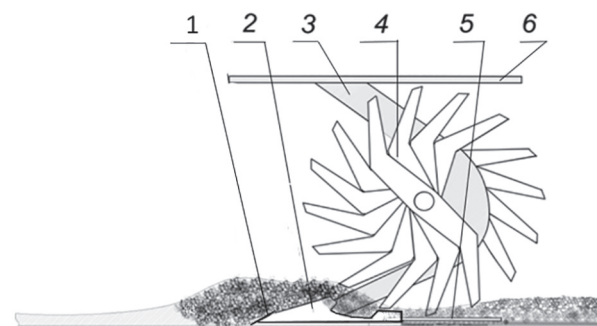


Рис. 1. Принципиальная схема машины:
1 – наральник; 2 – лемех с загнутыми концами крыльев; 3 – стойка; 4 – рабочий орган ротора; 5 – сепарирующая решетка; 6 – рама

Расположение ножей на валу ротора влияет на изменение приводного момента и равномерность хода машины [9]. В связи с этим ножи размещены на валу по винтовой линии с числом заходов, равным числу ножей на валу, причем начало первой винтовой линии должно совпадать в противоположной части вала с концом второй винтовой линии и т.д. Кроме того, ножи необходимо располагать равномерно по всей окружности вала с угловым расстоянием между смежными ножами $\alpha_z = 360^\circ/2s$ (где s – число ножей). Размещение ножей по спирали с постоянным угловым шагом симметрично относительно продольной оси машины дает возможность исключения крутящих моментов в поперечной плоскости, способных нарушить устойчивость хода машины в направлении движения и по глубине.

На рис. 2 рассмотрен пример размещения 18 ножей, закрепленных по парам симметрично относительно продольной оси.

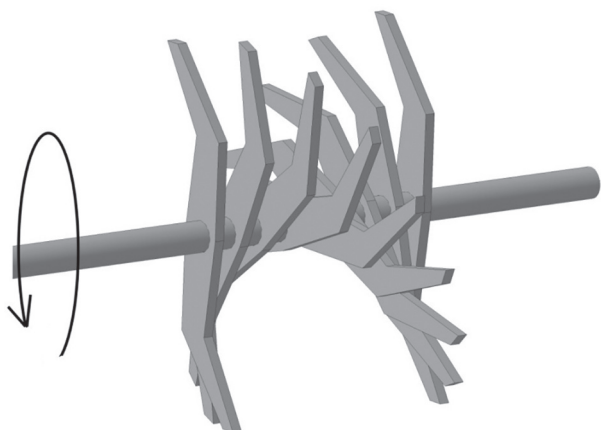


Рис. 2. Ротор почвообрабатывающей машины

Надежность, качество и энергоемкость работы почвообрабатывающей машины во многом определяются способностью ее рыхлительного устройства пропускать почву, поступающую с лемеха. Так как почва перемещается по сепарирующей решетке ножами ротора, пропускная способность устройства в целом зависит от транспортирующей способности ножей, то есть их секундной подачи. Очевидно, что с момента вхождения ножей ротора в почву и до момента сбрасывания ее с сепарирующей решетки транспортирующая их способность не является постоянной. Наихудшие условия для перемещения почвы по решетке создаются в момент входа ножей в почву, когда перед ними образуется почвенный валок, который затрудняет работу ротора, увеличивает затраты энергии на его привод и затрудняет сход почвы с лемеха на сепарирующую решетку.

Цель работы

Увеличение транспортирующей способности ротора рыхлительно-сепарирующего устройства почвообрабатывающей машины.

Материалы и методы

Процесс взаимодействия ножа ротора с почвой можно рассмотреть на основании использования реологических свойств почвы, теории которого посвящены работы А.С. Кушнарера, А.В. Баукова, А.Н. Панченко, В.Н. Кузьмина и др. [10–13].

Почва рассматривается как квазиоднородная трехфазная среда, позволяющая применять к ней законы деформации идеальных тел, с возможностью представления ее реологических свойств как комбинации свойств простых тел. Последнее позволяет рассматривать почву

как соединенные между собой последовательно и параллельно идеально упругие, вязкие и пластические тела. Воздействие рабочих органов сельскохозяйственных машин и орудий на почву, время которого не превышает 0,5 с, приводит к упруго-вязко-пластическим деформациям.

Для объяснения физического процесса взаимодействия с почвой ножа ротора рыхлительно-сепарирующего устройства был проведен эксперимент. На валу редуктора устанавливался нож с радиусом 0,25 м, и под ним располагался ящик, дном которого служила сепарирующая решетка с расстоянием между прутками 0,01 м. Почва перед закладкой в ящик просеивалась, увлажнялась и засыпалась слоями толщиной 0,02 м. Между засыпанными в ящик слоями почвы закладывались меловые прослойки, последняя из которых располагалась ниже глубины хода ножа. На поверхности почвы перпендикулярно плоскости вращения ножа ротора через 0,015 м наносились меловые линии.

После прохода ножа ротора в почве с помощью фотоаппаратуры и замеров определялись направление и величина смещения почвы, а также параметры образованной бороздки. На рис. 3 показана форма бороздки (вид сверху), образованной после прохода ножа. Из рисунка видно, что процесс воздействия ножа на почву

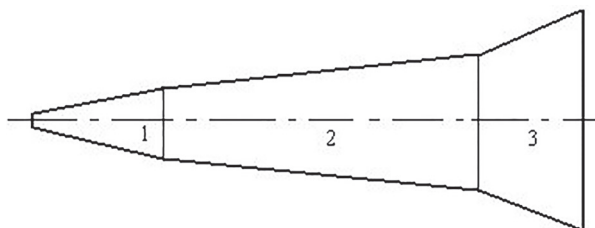


Рис. 3. Форма бороздки после прохода ножа ротора в почве в первой, второй и третьей фазах его работы (вид сверху)

можно разделить на три фазы. Процессы, происходящие в почве под воздействием ножа ротора, можно объяснить на основании результатов исследований А.С. Кушнарера и А.В. Баукова.

В первой фазе, при заглаблении ножа в почву, касательные напряжения не превосходят по своей величине внутреннего сопротивления почвы сдвигу и почва ведет себя как линейно-деформируемая среда. Как только напряжение достигает предельного равновесия, в почве появляются локальные пластические деформации, скорость нарастания которых начинает превышать скорость увеличения нагрузки. При этом перед ножом образуется нарост почвы.

Во второй фазе работы ножа почва находится под воздействием нароста, величина которого увеличивается до тех пор, пока внутренние напряжения в нем не достигнут предельных значений и не произойдет его частичное разрушение. Оставшаяся часть нароста, или так называемое почвенное ядро, перемещается вместе с ножом, что приводит к образованию следующего нароста и т.д. Впереди ножа образуется относительно стабильное по размерам почвенное ядро, а периодически нарастающая на нем почва перемещается на некоторое расстояние по направлению движения ножа. Этот установившийся процесс происходит до тех пор, пока силы трения нароста почвы о сепарирующую решетку, сцепления с почвой и сопротивления движению его в почве (подпор) не смогут создать в нем напряжений, превышающих допустимые. С этого момента начинается третья фаза воздействия ножа на почву. Нарост начинает отделяться от основной части почвы и сбрасывается с сепарирующей решетки.

После прохода ножа в почве остается бороздка с поперечным сечением в виде трапеции, нижнее основание которой равно ширине ножа. Такой процесс формирования и перемещения впереди ножа ротора почвенного

ядра, образование после прохода в почве ножа бороздки трапецевидной формы согласуется с целым рядом исследований по изучению движения в почве различных вертикально установленных ножевидных рабочих органов [14–16].

По мере углубления ножа в почву увеличиваются глубина и ширина бороздки. Форма продольного сечения бороздки определяется траекторией движения наиболее удаленной точки ножа от оси вращения в почве. При этом нижние слои почвы под воздействием ножа ротора практически не перемещаются.

Основным назначением ротора является перемещение почвы по сепарирующей решетке. Поэтому одним из наиболее важных показателей его работы служит количество почвы, прошедшее через зазоры сепарирующей решетки и сброшенное с нее за один проход ножа.

Результаты и обсуждение

Почва перед закладкой ее в ящик просеивалась на решетке, и после прохода ножа почва, сброшенная с сепарирующей решетки и прошедшая через ее зазоры, взвешивалась.

Кодовые обозначения и уровни варьирования факторов приведены в табл. 1, а матрица 1/8 дробной реплики от 2⁶ и результаты экспериментов – в табл. 2.

По результатам экспериментов получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 0,292 + 0,052x_1 + 0,056x_2 + 0,056x_3 + 0,142x_4 + 0,099x_5 + 0,037x_6.$$

Анализ значений коэффициентов регрессии показывает, что наибольшую силу влияния на транспортирующую способность ножа ротора оказывает толщина слоя почвы, подаваемого к рыхлительно-сепарирующему устройству, и угол излома ножа ротора. Проверка коэффициентов по критерию Стьюдента показала, что выделенные факторы значимы с 95 % вероятно-

Таблица 1

Кодовые обозначения и уровни варьирования факторов

№ п/п	Наименование факторов и их размерность	Код	Уровни факторов	
			–	+
1	Влажность почвы, %	x1	19,2	24,4
2	Частота вращения ротора, с ⁻¹	x2	2,1	4,3
3	Радиус ротора, м	x3	0,19	0,31
4	Толщина слоя почвы на решетке, м	x4	0,05	0,10
5	Угол излома ножа, град	x5	90	270
6	Ширина ножа, м	x6	0,025	0,05

Матрица эксперимента и его результаты

№ опыта	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	y , кг
1	+	+	–	–	–	+	0,117
2	+	–	+	–	–	–	0,118
3	+	–	–	+	+	+	0,562
4	–	+	+	+	–	+	0,484
5	–	+	–	–	+	–	0,212
6	–	–	+	–	+	+	0,209
7	+	+	+	+	+	–	0,637
8	–	–	–	+	–	–	0,111

стью. Наименьшую силу влияния на параметр оптимизации оказывает ширина ножа ротора.

Толщина слоя почвы, подаваемой к рыхлительно-сепарирующему устройству, несущественно зависит от глубины хода лемеха в пределах изменения глубины заделки семян (0,01–0,05 м) из-за сгущивания почвы на нем до создания необходимого подпора для ее относительного движения. Поэтому дальнейшие исследования по изучению влияния угла излома ножа ротора на параметры образованной в почве бороздки проводилось при неизменной толщине слоя почвы (0,12 м). Частота вращения ротора составляла $2,5 \text{ с}^{-1}$ и влажность почвы – 22,6 %.

Результаты эксперимента показаны на графике (рис. 4). При этом достоверность данных равнялась 99 %.

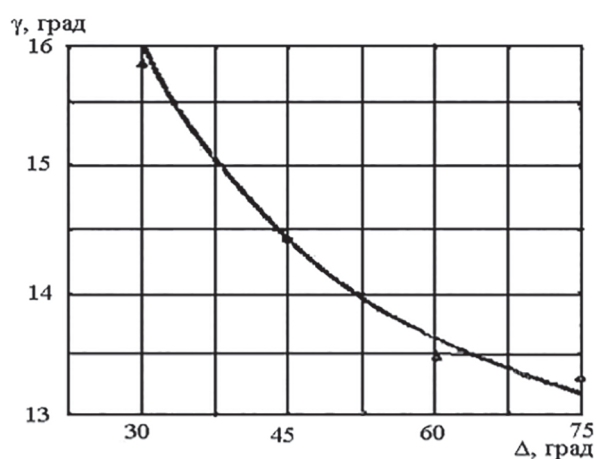


Рис. 4. Зависимость наклона стенки борозды от угла вхождения ножа в почву

В зависимости от угла вхождения ножа в почву – от 30 до 75° , угол наклона стенки бороздки изменяется незначительно – в пределах $13\text{--}15^\circ$. Значение последнего использовали

для проведения теоретических исследований по изучению транспортирующей способности ножа ротора.

Транспортирующая способность ножа ротора определяется размерами бороздки, оставленной им в почве, с формой поперечного сечения, близкой к форме трапеции. На основании результатов экспериментальных исследований по изучению процесса взаимодействия ножа ротора с почвой полагаем, что форма бороздки имеет форму фигуры, изображенной на рис. 5.

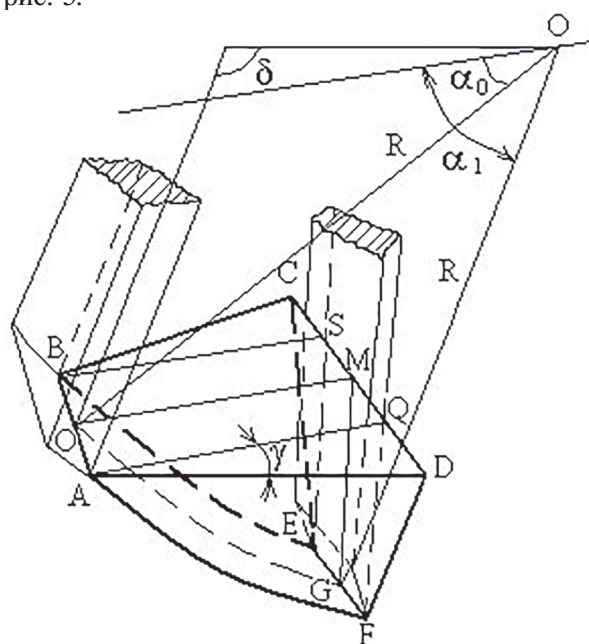


Рис. 5. К определению объема фигуры

Объем фигуры определяется по формуле:

$$V_{ABCDE} = S_{O'MG} \left(QS + \frac{DQ + SC}{3} \right), \quad (1)$$

где $S_{O'MG}$ – площадь сечения фигуры; $QS = AB = EF = a$ – толщина ножа ротора; $DQ = SC$ – высота фигуры.

Площадь сечения $O'MG$ определяется по уравнению:

$$S_{QMG} = \int_{\alpha_0}^{\alpha_T} \int_{R_1}^R R_i dR_i d\alpha \pm \int_{\alpha_2}^{\alpha_T} \int_{R_1}^{R_2} R_i dR_i d\alpha, \quad (2)$$

где R – радиус ротора; α_0 – начальный угол вхождения ножа в почву; α_T – текущий угол поворота ножа ротора; знак «+» или «-» выбирается в зависимости от угла излома ножа.

Пределы интегрирования в формуле (2) равны:

$$\alpha_T = \arctg \frac{R \sin \alpha_0}{R \cos \alpha_0 - \frac{2R \sin [(\alpha_T - \alpha_0)/2] \cos [(\alpha_T - \alpha_0)/2 + \beta]}{\sin(\alpha_T + \beta)}};$$

$$R_1 = \frac{R \sin \alpha_0}{\sin \alpha_T}; \quad R_2 = \frac{R \sin \beta}{\sin(\alpha_T - \alpha_0 + \beta)},$$

где β – угол между касательной к режущей кромке и радиус-вектором ножа.

Высота фигур $AQFD$ и $BSEC$ вычисляется по формуле:

$$DQ = SC = AQtg\gamma = \frac{2R \sin \frac{\alpha_T - \alpha_0}{2} \cos \left(\frac{\alpha_T - \alpha_0}{2} + \beta \right) tg\gamma}{\sin(\alpha_T + \beta)}, \quad (3)$$

где γ – угол между сторонами AQ и AD треугольника.

После интегрирования выражения (2) с учетом (3) получим:

$$V_{ABCDEF} = \frac{R^2}{2} \left\{ \begin{array}{l} \alpha_T - \alpha_0 + \sin^2 \alpha_0 [\text{ctg} \alpha_T - \text{ctg} \alpha_0 \pm \\ \pm (\text{ctg} \alpha_T - A_2)] \\ \pm \sin^2 \beta [\text{ctg} \beta - \text{ctg}(\alpha_T + \beta - \arctg A_2)] \end{array} \right\} \left(a + \frac{4}{3} A_1 R tg\gamma \right), \quad (4)$$

где $A_1 = \frac{\sin [(\alpha_T - \alpha_0)/2] \cos [(\alpha_T - \alpha_0)/2 + \beta]}{\sin(\alpha_T + \beta)}$; $A_2 = \frac{\cos \alpha_0 - 2A_1}{\sin \alpha_0}$.

Продифференцировав уравнение (4) по времени, получим математическую модель подачи почвы ножом ротора:

$$\Pi = \frac{R^2}{2} \left\{ \begin{array}{l} \left[1 + \sin^2 \alpha_0 \left[\pm \left(\frac{2A_3}{\sin \alpha_0} - \frac{1}{\sin^2 \alpha_T} \right) - \frac{1}{\sin^2 \alpha_T} \right] \pm \right. \\ \left. \pm \sin^2 \beta \left[\frac{1 - \frac{2A_3}{\sin \alpha_0 (1 + A_2^2)}}{\sin^2(\alpha_T + \beta - \arctg A_2)} \right] \right] \left(a + \frac{4}{3} A_1 R tg\gamma \right) + \\ \left. + \left[\alpha_T - \alpha_0 + \sin^2 \alpha_0 [\text{ctg} \alpha_T - \text{ctg} \alpha_0 \pm (\text{ctg} \alpha_T - A_2)] \pm \right. \right. \\ \left. \left. \pm \sin^2 \beta [\text{ctg} \beta - \text{ctg}(\alpha_T + \beta - \arctg A_2)] \right] \cdot \frac{4}{3} A_3 R tg\gamma \right\} \omega, \quad (5)$$

где $A_3 = \frac{1}{2} A_1 \{ \text{ctg} [(\alpha_T - \alpha_0)/2] - \text{tg} [(\alpha_T - \alpha_0)/2 + \beta] - 2 \text{ctg}(\alpha_T + \beta) \}$; ω – угловая скорость вращения ротора.

Как видно из уравнения (5), подача почвы зависит от радиуса ротора R , угловой скорости его вращения ω , толщины ножа a , углов α_0 и β и угла поворота α_T ($\alpha_T = \omega t$).

Радиус и угловая скорость ротора определяют энергетические показатели работы, и поэтому повышать транспортирующую способность ножа за счет увеличения их нецелесообразно. Толщина ножа ограничена конструктивными особенностями сепарирующей решетки, которые определяются качественными показателями работы машины.

Углы α_0 и β в конечном итоге определяют угол вхождения ножа Δ в почву ($\Delta = \alpha_0 + \beta$). Следовательно, увеличение транспортирующей способности ротора в начальный момент входа ножа в почву может быть достигнуто, в основном, за счет снижения величины угла вхождения ножей ротора в почву. Зависимость подачи почвы ножом от угла Δ показана на рис. 6. Расчеты проводились при радиусе ротора 0,2 м, угловой скорости ротора $15,7 \text{ с}^{-1}$, толщине ножа 0,006 м и $\alpha_0 = 35^\circ$.

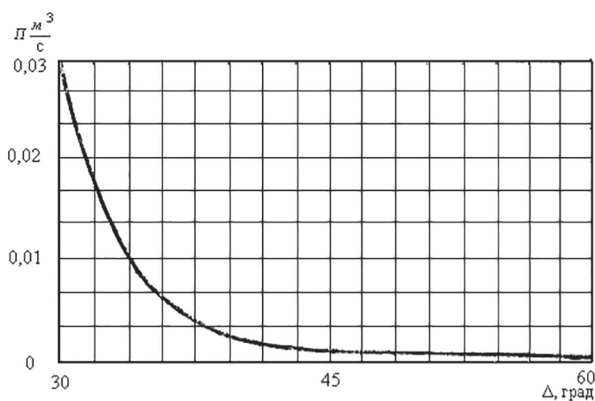


Рис. 6. Зависимость секундной подачи почвы от угла вхождения ножа в почву

Как видно из рисунка, подача увеличивается с уменьшением угла вхождения ножа в почву. Так, уменьшение его с 60 до 45° позволяет увеличить подачу при вхождении ножа в почву в 2,52 раза, а с 45 до 30° – в 42,4 раза.

Существенное влияние на секундную подачу угол вхождения Δ оказывает на интервале 30 – 45° . При дальнейшем увеличении этого угла секундная подача практически не изменяется.

Выводы

Процесс взаимодействия с почвой ножа ротора рыхлительно-сепарирующего устройства можно разделить на три фазы: формиро-

вание почвенного ядра, установившееся движение и сбрасывание почвы с сепарирующей решетки. Наихудшие условия для движения почвы в технологическом процессе работы машины создаются в первой фазе работы ножа – в момент входа в почву, что является причиной образования перед ним почвенного валка. Он способствует повышению энергоёмкости процесса работы машины, снижению надёжности и качества работы машины в целом. Величину почвенного валка перед ротором можно снизить, в основном, за счет увеличения количества его воздействий на почву в единицу времени и уменьшения угла вхождения рабочей кромки ножа в почву.

Литература

1. Сыромятников Ю.Н. Исследование процесса работы экспериментального культиватора для сплошной обработки почвы // *Аэкономика: экономика и сельское хозяйство*. 2018. № 4 (28). С. 4.
2. Пашенко В.Ф., Сыромятников Ю.Н., Храмов Н.С. Физическая сущность процесса взаимодействия с почвой рабочего органа с гибким элементом // *Сельское хозяйство*. 2017. № 3. С. 33–42. DOI: 10.7256/2453-8809.2017.3.24563.
3. Пашенко В.Ф., Сыромятников Ю.Н. Почвообрабатывающая приставка к зерновой сеялке в технологиях «No till» // *Аэкономика: экономика и сельское хозяйство*. 2018. № 3 (27). С. 6.
4. Пашенко В.Ф., Сыромятников Ю.М. и др. Обґрунтування доцільності державної підтримки вітчизняного сільгоспмашинобудування // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2016. № 173. С. 53–68.
5. Сыромятников Ю.Н. Обоснование профиля лемеха с направляющими дисками почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины // *Сельское хозяйство*. 2017. № 2. С. 18–29. DOI: 10.7256/2453-8809.2017.2.23150.
6. Сыромятников Ю.Н. Повышение эффективности технологического процесса движения почвы по лемеху почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины // *Сельское хозяйство*. 2017. № 1. С.48–55. DOI: 10.7256/2453-8809.2017.1.22037.
7. Сыромятников Ю.Н. Совершенствование рабочих органов ротора рыхлительно-сепарирующей почвообрабатывающей машины, обеспечивающих минимальные затраты энергии на его работу // *Інженерія природокористування*. 2018. № 1 (9). С. 91–95.

8. Сыромятников Ю.Н. Обоснование формы на- ральника минимального тягового сопротивле- ния // Сільськогосподарські машини. 2018. № 39. С. 117–132.
9. Нанка А.В., Сыромятников Ю.Н. Влияние ча- стоты вращения ротора почвообрабатывающей машины на качественные показатели ее работы // Агротехника и энергообеспечение. 2018. № 2 (19). С. 101–116.
10. Бауков А.В., Кушнарев А.С., Бабицкий Л.Ф., Рожнов П.Н. Контактная задача в теории взаимо- действия рабочих органов сельскохозяйственных машин с материалами // Аналитические и графиче- ские методы рационального конструирования по- верхности рабочих органов почвообрабатывающих машин: науч. тр. УСХА. Вып. 165. Киев, 1975.
11. Кушнарев А.С. Механика почв: задачи и состо- яние работ // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1987. № 3. С. 9–13.
12. Кушнарев А.С., Бауков А.В., Найдыш В.М. Про- ектирование рыхлительные рабочих органов культиваторов. Киев, 1979. 18 с.
13. Панченко А.Н. Теория измельчения почв почво- обрабатывающими орудиями. Днепропетровск, 1999. 139 с.
14. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов меха- ническими способами. 2-е изд. М.: Машиностро- ение, 1968. 375 с.
15. Кулен А., Куиперс Х. Современная земледельче- ская механика. М.: Агропромиздат, 1986. 384 с.
16. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет поч- вообрабатывающих машин. М.: Машинострое- ние, 1977.
5. Syromyatnikov YU.N. Substantiation of the plow- share profile with the driving discs of the soil-cul- tivating loosening and separating vehicle. Sel'skoe hozyajstvo. 2017. No 2, pp. 18–29 (in Russ.). DOI: 10.7256/2453-8809.2017.2.23150.
6. Syromyatnikov YU.N. Improving the efficiency of the technological process of the movement of the soil on the plowshare of a soil-cultivating loosening and separating vehicle. Sel'skoe hozyajstvo. 2017. No 1, pp. 48–55 (in Russ.). DOI: 10.7256/2453-8809.2017.1.22037.
7. Syromyatnikov YU.N. Improvement of the working bodies of the rotor of the loosening and separating soil tillage vehicle ensuring the minimum energy expenditure for its work. Inzheneriya prirodo-koristu- vannya. 2018. No 1(9), pp. 91–95 (in Russ.).
8. Syromyatnikov YU.N. Substantiation of the shape of the arm of the minimum traction resistance. Sil'skogospodars'ki mashini. 2018. No 39, pp. 117–132 (in Russ.).
9. Nanka A.V., Syromyatnikov YU.N. The effect of the rotor speed of the tillage machine on the quality indicators of its work. Agrotekhnika i ehnergoobe- spechenie. 2018. No 2(19), pp. 101–116 (in Russ.).
10. Baukov A.V., Kushnarev A.S., Babickij L.F., Rozh- nov P.N. The contact problem in the theory of the interaction of the working bodies of agricultural ve- hicles with materials. Analiticheskie i graficheskie metody racional'nogo kon-struirovaniya poverh- nosti rabochih organov pochvoobratyvyayushchih mashin: Nauch. tr. USKHA. Vyp. 165. Ki-ev, 1975 (in Russ.).
11. Kushnarev A.S. Soil mechanics: tasks and state of work. Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. 1987. No 3, pp. 9–13 (in Russ.).
12. Kushnarev A.S., Baukov A.V., Najdysh V.M. Proektirovanie ryhlitel'nyh rabochih organov kul'ti- vatorov [Design of loosening working bodies of cul- tivators]. Kiev, 1979. 18 p.
13. Panchenko A.N. Teoriya izmel'cheniya pochv poch- voobratyvyayushchimi orudiyami [Theory of grind- ing soil tillage tools]. Dnepropetrovsk, 1999. 139 p.
14. Zelenin A.N. Osnovy razrusheniya gruntov me- khanicheskimi sposobami [Fundamentals of soil destruction by me-chanical methods]. 2-e izd. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1968. 375 p.
15. Kulen A., Kuipers H. Sovremennaya zemle- del'cheskaya mekhanika [Modern agricultural me- chanics]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1986. 384 p.
16. Sineokov G.N., Panov I.M. Teoriya i raschet poch- voobratyvyayushchih mashin [Theory and calcula- tion of tillage machines]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1977.

References

1. Syromyatnikov YU.N. Investigation of the work process of an experimental cultivator for contin- uous tillage. Aehkonomika: ehkonomika i sel'skoe hozyajstvo, 2018. No 4 (28), pp. 4 (in Russ.).
2. Pashchenko V.F., Syromyatnikov YU.N., Hramov N.S. The physical essence of the process of interac- tion with the soil of the working body with a flexible element. Sel'skoe hozyajstvo. 2017. No. 3, pp. 33–42 (in Russ.). DOI: 10.7256/2453-8809.2017.3.24563.
3. Pashchenko V.F., Syromyatnikov YU.N. Soil-cul- tivating machine to a grain seeder in «No till» tech- nologies. Aehkonomika: ehkonomika i sel'skoe hozyajstvo, 2018. No 3 (27), pp. 6 (in Russ.).
4. Pashchenko V.F., Syromyatnikov YU.M. i dr. Justifica- tion of the expediency of state support for domestic agri- cultural machinery. Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo tekhnichnogo universitetu sil'skogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka. 2016. No 173, pp. 53–68 (in Russ.).