

lokalnykh vodoemov // Izvestiya akademii inzhenernykh nauk im A.M. Prokhorova: nauch.-tekhn. zhurnal. – M. - Nizhniy Novgorod, 2004. – T. 8. – S. 77-88.

6. Shtin S.M. Ozernye sapropeli i ikh kompleksnoe ispolzovanie. – M.: Izd-vo MGU, 2005. – 374 s.

7. Ignatenkov V.G. Povysenie effektivnosti proizvodstva vitaminno-kormovoy dobavki na osnove sapropelya putem obosnovaniya konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov smesitelya-

izmelchitelya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. – Velikie Luki, 2005. – 180 s.

8. Morozov V.V. Tekhnologiya i kompleks mashin dlya posloynnoy razrabotki sapropelya na udobreniya: dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.20.01 – SPb., 1995.

9. Ignatenkov V.G. Povysenie effektivnosti proizvodstva vitaminno-kormovoy dobavki na osnove sapropelya putem obosnovaniya konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov smesitelya-izmelchitelya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01 – Velikie Luki, 2005.



УДК 631.316.6

Ю.Н. Сыромятников
Yu.N. Syromyatnikov

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ РОТОРА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ РЫХЛИТЕЛЬНО-СЕПАРИРУЮЩЕЙ МАШИНЫ

IMPROVEMENT OF ROTOR WORKING PARTS OF A TILLAGE RIPPING-SEPARATING MACHINE

Ключевые слова: почва, крутящий момент, работа ножа, энергия, сепарирующая решетка, ротор.

Предметом исследования является процесс функционирования рабочих органов ротора почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины, изменяющей структуру и плотность обрабатываемого слоя почвы в соответствии с требованиями агрономической науки. Рассмотрена работа ножа ротора рыхлительно-сепарирующей машины в положениях относительно почвы и сепарирующей решетки. Три фазы работы ножа ротора: от момента вхождения ножа в почву до сепарирующей решетки, момента движения ножа над сепарирующей решеткой, от момента движения ножа над сепарирующей решеткой до выхода ножа из почвы. Объектом исследования является нож ротора, форма рабочей кромки которого обеспечивает минимальную затрату энергии на работу как отдельного ножа, так и ротора в целом. При выполнении работы применены теоретические исследования с использованием механико-математического моделирования взаимодействия рабочих органов с почвой. Исходная информация для обоснования исследования получена путем анализа литературных источников. Дано обоснование геометрической формы профиля рабочей части ножа ротора рыхлительно-сепарирующей машины, совершающего минимум работы на выполнение одного полного цикла. Актуальность состоит в том, что теоретически обоснованная форма профиля рабочей части ножа ротора позволит

усовершенствовать методы предпосевной обработки почвы для улучшения ее агротехнических качеств, с минимальными затратами энергии. Целевая группа потребителей информации – конструкторы, специалисты, занимающиеся разработкой почвообрабатывающих рабочих органов.

Keywords: soil, torque, knife operation, energy, separating grid, rotor.

The research area is the process of functioning of the rotor working parts of the tillage ripper-separating machine that changes the structure and density of the tilled soil layer in accordance with the requirements of the agronomical science. The operation of the rotor knife of the ripping-separating machine is considered in positions relative to the soil and separating grid. Three phases of operation of the rotor knife are as following: from the moment the knife enters the soil to the separating grate, the moment the knife moves above the separating grate, from the moment the knife moves over the separating grid to the knife exit from the soil. The research target is the rotor knife, the shape of the working edge which ensures minimal energy consumption for the operation of a separate knife and the rotor as a whole. The research involved the theoretical studies using mechanical-mathematical modeling of the interaction of working parts with soil. The initial information for the study substantiation was obtained by analyzing the literature sources. The substantiation of the geometrical shape of the profile of the work-

ing part of the rotor knife of the ripping-separating machine is performed which makes the minimum work for one complete cycle. The topicality is that the theoretically grounded shape of the profile of the working part of the rotor knife will allow

improving the methods of pre-sowing tillage to improve its agrotechnical qualities, with minimal energy expenditure. The target information consumers are designers and specialists engaged in the development of tilling working tools.

Сыромятников Юрий Николаевич, аспирант, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, Украина. E-mail: gara176@meta.ua.

Syromyatnikov Yuriy Nikolayevich, post-graduate student, Kharkov National Technical University of Agriculture named after P.M. Vasilenko, Kharkov, Ukraine. E-mail: gara176@meta.ua.

Введение

Предпосевная обработка почвы обычными орудиями неизбежно сопровождается некоторым перераспределением мелких и крупных частиц по глубине обрабатываемого слоя [1]. Рабочие органы орудий, перемещаясь в почве, выталкивают крупные комочки почвы на поверхность, а мелкие просыпаются вниз. С увеличением количества обработок перераспределение частиц почвы по глубине усиливается. Причем, обработка почвы перед посевом глубже семян приводит обычно к увеличению крупных частиц в зоне их заделки, что является нежелательным [2]. Применение рабочих органов на упругой подвеске приводит к тому, что мелкие частицы почвы более интенсивно просыпаются вниз, а на поверхность выталкиваются более крупные ее фракции. Обычные типы рабочих органов не обеспечивают высокого качества перераспределения частиц почвы по глубине посевного слоя, а увеличение количества обработок перед посевом с целью улучшения ее сепарации нецелесообразно, поскольку оно сопряжено с потерями влаги, распылением, уплотнением почвы и повышением энергозатрат [3].

Поверхностная обработка почвы рыхлительно-сепарирующей машиной проводится с целью крошения пласта ее верхнего слоя, при этом на поверхность выбрасываются крупные комки, пожнивные остатки, сорняки с корнем [4-6]. В результате происходит сепарация и расслоение по структурному составу, уничтожение сорных растений путем их механического вычесывания из обрабатываемого слоя без повреждения корневой системы, а на поверхности образуется мульчирующий слой. Применение роторных рабочих органов обеспечивает достаточно хорошее измельчение комочков почвы в поверхностном слое и в сравнении с рабочими органами борон и культиваторов оставляют на поле после своего прохода микронеровности с меньшей амплитудой и периодом колебаний [7].

Применение активных рабочих органов в почвообрабатывающих машинах позволяет за один проход агрегата обеспечить высокое качество обработки почвы. Как правило, в таких машинах применяется комбинация рабочих органов.

Роторные рабочие органы обеспечивают достаточно хорошее измельчение комочков почвы в поверхностном слое и в сравнении с рабочими органами борон и культиваторов оставляют на поле после своего прохода меньше микронеровностей.

Однако широкого распространения почвообрабатывающие машины с активными рабочими органами не получили из-за большой энергоемкости и ненадежности в эксплуатации. Это объясняется тем, что затраты энергии на отбрасывание почвы ножами ротора составляют от 30 до 70% общих затрат в зависимости от глубины обработки почвы [8, 9].

Применение на почвообрабатывающих машинах активно-пассивных рабочих органов позволяет улучшить качество крошения пласта почвы с одновременным снижением энергетических затрат. Активные рабочие органы крошат пласт почвы, пассивные при этом обеспечивают его подпор. Такие рабочие органы при установке одного впереди другого обеспечивают снижение крутящего момента на привод ротора и тягового сопротивления лемеха на 20-40% [10].

В таком случае на привод ротора почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины расходуется около 20% общих затрат энергии.

Одним из возможных вариантов снижения энергоемкости процесса работы роторных рабочих органов является совершенствование геометрической формы ножей ротора.

Цель – изыскать форму ножа ротора почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины, обеспечивающей минимальные затраты энергии на его работу.

Материалы и методы

На нож ротора действует нормальная сила давления почвы, сила трения почвы о его режущую кромку, сила трения о боковую поверхность (рис. 1). Величина элементарного крутящего момента ротора определяется расстоянием от поверхности почвы элементарной площадки, радиуса ротора, угла между направлением действия нормальной силы и перпендикуляром к радиусу вращения силы, силы трения элементарной площадки, радиусом вращения элементарной площадки [11].

При взаимодействии ножа ротора с почвой крутящий момент не является величиной постоянной и изменяется по времени в зависимости от положения относительно сепарирующей решетки. Крутящий момент достигает наибольшей величины при максимальном погружении ножа в почву, то есть в момент входа его в зазоры сепарирующей решетки.

Для определения крутящего момента на привод одного ножа ротора воспользовались результатами известных исследований [11]. Величина элементарного крутящего момента ротора определяется из уравнения:

$$dM_0 = \frac{g\rho(1+tg\theta)\sqrt{1+Z'^2}}{\sqrt{1+tg^2\theta}} dx, \quad (1)$$

$$H = \frac{[K_1 \sin(\alpha_T + \zeta) - \cos(\alpha_T + \zeta)]x - [\sin(\alpha_T + \zeta) + K_T \cos(\alpha_T + \zeta)]Z + R(\cos \alpha_T - K_1 \sin \alpha_T) + b}{\sqrt{K_1^2 + 1}}, \quad (3)$$

где K_1 и b – постоянные коэффициенты, определяющиеся толщиной слоя почвы на решетке и ее расстоянием до оси вращения ротора;

ζ – угол между осью координат Ox и радиусом-векторов;

α_T – текущий угол поворота радиуса-вектора;

R – радиус ротора;

θ – угол между направлением действия нормальной силы и перпендикуляром к радиусу вращения элементарной площадки.

$$tg\theta = \frac{Z'(R \cos \zeta - x) - R \sin \zeta}{Z'(R \sin \zeta - Z) + R \cos \zeta}, \quad (4)$$

где f – коэффициент трения почвы о кромку ножа;

ρ – радиус вращения элементарной площадки, определяется из уравнения:

$$\rho = \sqrt{R^2 - 2R(x \cos \zeta + Z \sin \zeta) + X^2 + Z^2}, \quad (5)$$

Определяем работу, выполненную ножом ротора за один оборот ротора:

$$A = \int_{\Omega} dM_0 d\Omega. \quad (6)$$

С учетом того, что процесс взаимодействия ножа с почвой можно разделить на три фазы:

- а) от момента вхождения ножа в почву до вхождения в зазор сепарирующей решетки;
- б) движение ножа между зазорами сепарирующей решетки;
- в) от момента выхода ножа из решетки до выхода из почвы.

где g – удельное нормальное давление почвы на кромку ножа, определяется:

$$g = KH^{n-1}, \quad (2)$$

где K и n – постоянные коэффициенты;

H – расстояние от поверхности почвы элементарной площадки определяем:

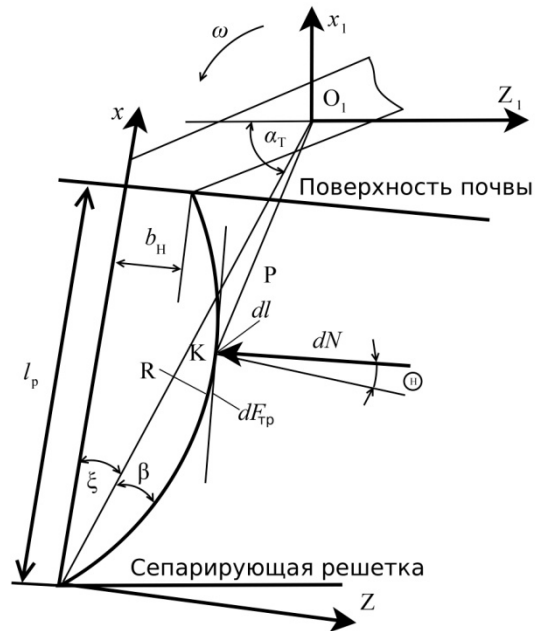


Рис. 1. Силы, действующие на нож ротора [11]

Уравнение принимает вид:

$$A = \int_{X_{n1}}^{X_{K1}} \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} dM_0 d\alpha dx + \int_{X_{n2}}^{X_{K2}} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} dM_0 d\alpha dx + \int_{X_{n3}}^{X_{K3}} \int_{\alpha_2}^{\alpha_3} dM_0 d\alpha dx, \quad (7)$$

где $X_{n1}, X_{n2}, X_{n3}, X_{K1}, X_{K2}, X_{K3}$ – начальные и конечные координаты линии, определяющей режущую кромку ножа ротора в трех фазах его работы;

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – начальные и конечные углы поворота ножа в трех фазах его работы.

Учитывая выражение (3), запишем:

$$dM_0 = \frac{K[K_1 \sin(\alpha + \zeta) - \cos(\alpha + \zeta)]x - [\sin(\alpha + \zeta) + K_1 \cos(\alpha + \zeta)]Z + R(\cos \alpha - K_1 \sin \alpha + f) + b\rho(1 + ftg\theta\sqrt{1 + Z'^2})}{\sqrt{1 + tg^2\theta}\sqrt{K_1^2 + 1}}. \quad (8)$$

Вводим обозначения:

$$B_1 = \frac{K\rho(1 + ftg\theta\sqrt{1 + Z'^2})}{\sqrt{1 + tg^2\theta}}, \quad (9)$$

$$B_2 = [XK_1 \sin(\alpha + \zeta) - X \cos(\alpha + \zeta) - Z \sin(\alpha + \zeta) - ZK_1 \cos(\alpha + \zeta) - R \cos \alpha + RK_1 \sin(\alpha + \zeta)]. \quad (10)$$

Уравнение будет иметь вид:

$$A = \int_{X_{n1}}^{X_{K1}} B_1 B_2 \Big|_{\alpha_0}^{\alpha_1} dx + \int_{X_{n2}}^{X_{K2}} B_1 B_2 \Big|_{\alpha_1}^{\alpha_2} dx + \int_{X_{n3}}^{X_{K3}} B_1 B_2 \Big|_{\alpha_2}^{\alpha_3} dx. \quad (11)$$

Задача состоит в следующем: найти кривую, которая описывает профиль ножа ротора, обеспечивающий минимум функционалу и проходит через две заданных граничных точки X_0, Z_0 и X_K, Z_K и выходит с начальной точки под заданным углом [12].

Уравнение линии будем искать в виде, удовлетворяющем условия постановки задачи:

$$Z = XZ'_0 + X^2 \frac{Z_K - X_K Z'_0}{X_K^2} + X^2 (X - X_K)C_1 + X^3 (X - X_K)C_2 + X(X - X_K)C_3, \quad (12)$$

где C_1, C_2, C_3 – постоянные коэффициенты;

X_K, Z_K – конечные граничные коэффициенты уравнения;

$$Z'_0 = tg(\beta + \theta).$$

После подстановки уравнения (12) в (11) задача сводится к нахождению значения постоянных коэффициентов C_1, C_2, C_3 , определяющих форму ножа ротора, которая обеспечивает минимальную величину крутящего момента его привода.

Находим частные производные от уравнения (11) по C_1, C_2, C_3 и приравняем их к нулю.

$$\frac{\partial A}{\partial C_1} = \int_{X_{n1}}^{X_{K1}} \left(\frac{\partial B_1}{\partial C_1} B_2 + B_1 \frac{\partial B_2}{\partial C_1} \right) \Big|_{\alpha_0}^{\alpha_1} dx + \int_{X_{n2}}^{X_{K2}} \left(\frac{\partial B_1}{\partial C_1} B_2 + B_1 \frac{\partial B_2}{\partial C_1} \right) \Big|_{\alpha_1}^{\alpha_2} dx + \int_{X_{n3}}^{X_{K3}} \left(\frac{\partial B_1}{\partial C_1} B_2 + B_1 \frac{\partial B_2}{\partial C_1} \right) \Big|_{\alpha_2}^{\alpha_3} dx = 0,$$

где

$$\frac{\partial B_1}{\partial C_i} = \frac{\sqrt{1 + tg\theta} \left\{ g\sqrt{1 + Z'^2} (ftg\theta - 1) \frac{\partial \rho}{\partial C_i} + \rho \sqrt{1 + Z'^2} (ftg\theta - 1) \frac{\partial g}{\partial C_i} + g \left[\frac{Z'(ftg(\theta - 1))}{\sqrt{1 + Z'^2}} \frac{\partial Z}{\partial C_i} + \sqrt{1 + Z'^2} f \frac{\partial tg\theta}{\partial C_i} \right] \right\} - \rho g \sqrt{1 + Z'^2} (ftg\theta - 1) \frac{\partial tg\theta}{\partial C_i}}{1 + tg^2\theta} dx = 0;$$

$$\frac{\partial B_2}{\partial C_i} = -\frac{\partial Z}{\partial C_i} \sin(\alpha + \zeta) + \frac{\partial Z}{\partial C_i} K_1 \cos(\alpha + \theta);$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial C_1} = \frac{Z \frac{\partial Z}{\partial C_1} - R \sin \zeta \frac{\partial Z}{\partial C_i}}{\sqrt{R^2 - 2R(Z \sin \zeta + X \cos \zeta) + Z^2 + X^2}};$$

$$\frac{\partial g}{\partial C_1} = K(n-1)H^{n-2} \left(-\frac{\sin(\alpha_T + \zeta) + K_1 \cos(\alpha_T + \zeta)}{\sqrt{K_1^2 + 1}} \frac{\partial Z}{\partial C_1} \right);$$

$$\frac{\partial \operatorname{tg} \theta}{\partial C_i} = \frac{[Z'(R \sin \zeta - Z) + R \cos \zeta - X] \left[(R \cos \zeta - X) \frac{\partial Z}{\partial C_i} + \frac{\partial Z}{\partial C_1} \right]}{[Z'(R \sin \zeta - Z) + R \cos \zeta]^2}$$

$$\frac{[Z'(R \cos \zeta - X) - R \sin \zeta + Z] \left[(R \sin \zeta - Z) \frac{\partial Z}{\partial C_i} - Z' \frac{\partial Z'}{\partial C_i} \right]}{[Z'(R \cos \zeta - X) - R \sin \zeta + Z]^2};$$

$$Z' = Z'_0 + 2X \frac{Z_K - X_K Z'_0}{X_K^2} + 2X(X - X_K)C_1 + X^2 C_1 + 3X^2(X - X_K)C_2 + (X - X_K)C_3 + X C_3;$$

$$\frac{\partial Z}{\partial C_1} = X^2(X - X_K); \quad \frac{\partial Z}{\partial C_2} = X^3(X - X_K); \quad \frac{\partial Z}{\partial C_3} = X(X - X_K);$$

$$\frac{\partial Z'}{\partial C_1} = 2X(X - X_K) + X^2; \quad \frac{\partial Z'}{\partial C_2} = 3X^2(X - X_K) + X^3;$$

$$\frac{\partial Z'}{\partial C_3} = (X - X_K) + X = 2X - X_K.$$

Система уравнений решалась численным методом Ньютона. Расчеты производились при следующих значениях:

$$R = 0,23 \text{ м}; K = 4000; n = 199 \text{ Н/м}^2;$$

$$B = 0,03 \text{ м}; K_1 = -4;$$

$$f = 0,5; B = -0,1; l_p = 0,2 \text{ м};$$

$$\alpha_T = 20^0; \zeta = 12^0; Z'_0 = 0,9.$$

Тогда уравнение (12), описывающее геометрическую форму рабочей кромки ножа ротора, обеспечивающего минимальные затраты энергии, запишется:

$$Z = 147,4458X^3 - 640,8217X^2 - 0,3575X. \quad (13)$$

Результаты и обсуждение

Кривая линия, построенная по уравнению (13), показывает форму профиля рабочей части ножа ротора с минимальными затратами энергии на его работу (рис. 2).

Экспериментально энергетические показатели работы рыхлительно-сепарирующей машины с 6 секциями (рис. 3) оценивались крутящим мо-

ментом привода ротора и его тяговым сопротивлением.

Крутящий момент привода ротора определялся для ножа с обоснованным в результате проведения теоретических исследований профилем. Проведение эксперимента осуществлялось при частоте вращения ротора 2,0 с⁻¹ и влажности почвы 22,5%, среднеквадратическая ошибка эксперимента составила 0,44 Нм. Крутящий момент привода ротора с обоснованной формой составил в среднем 8,41 Нм. Использование ножей с теоретически обоснованным профилем позволяет снизить максимальную величину крутящего момента на его привод до 20,9 Нм, среднее тяговое сопротивление почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины с шестью секциями, при влажности почвы 22,5% и твердости 9,7 Н/м², скорости движения 2,1 м/с, частоте вращения ротора 2,0 с⁻¹ и глубине обработки 0,08 м составило 800 Н.

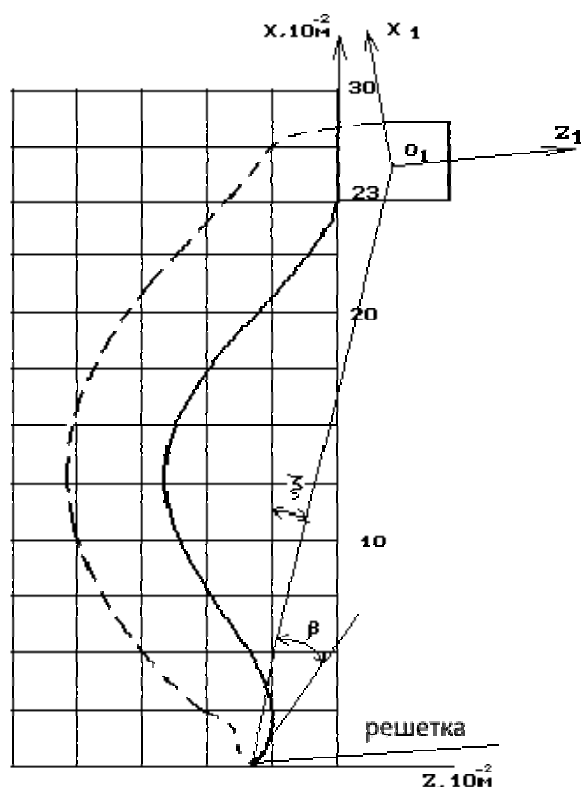


Рис. 2. Профиль рабочей части ножа ротора



Рис. 3. Рыхлительно-сепарирующая почвообрабатывающая машина:

1 – подрезающая лапа;
2 – сепарирующая решетка;
3 – нож ротора с обоснованным в результате проведения теоретических исследований профилем; 4 – рама

Выводы

Обосновано, что теоретически форма профиля рабочей части ножа ротора с минимальными затратами энергии на его работу имеет вид, представленный на рисунке 2. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что на привод ножа ротора с обоснованной формой требуется затрат энергии на 22% меньше в сравнении с ранее известной формой.

Библиографический список

1. Пащенко В.Ф., Сыромятников Ю.Н. Почвообрабатывающая приставка к зерновой сеялке в технологиях «No till» // *Аэкономика: экономика и сельское хозяйство*. – 2018. – № 3 (27). – С. 6.
2. Пащенко 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. Сыромятников Ю.Н. Исследование процесса работы экспериментального культиватора для сплошной обработки почвы // *Аэкономика: экономика и сельское хозяйство*. – 2018. – № 4 (28). – С. 4.
4. Нанка А.В., Сыромятников Ю.Н. Влияние частоты вращения ротора почвообрабатывающей машины на качественные показатели её работы. // *Агротехника и энергообеспечение*. – 2018. – № 2 (19). – С. 101-116.
5. 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.
6. Сыромятников Ю.Н. Обоснование формы наральника минимального тягового сопротивления. // *Сільськогосподарські машини*. – 2018. – № 39. – С. 117-132.
7. Сыромятников Ю.Н. Результаты полевых исследований роторной почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины с экспериментальными рабочими органами. // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2018. – № 5 (163). – С. 184-193.
8. Виноградов В.И., Леонтьев Ю.С. Взаимодействие ротационных рабочих органов с почвой // *Тракторы и сельхозмашины*. – 1968. – № 9. – С. 29-30.
9. Стародинский Д.З. Пути снижения энергоёмкости работы почвенных фрез // *Тракторы и сельхозмашины*. – 1967. – № 4. – С. 8-12.
10. Пащенко В.Ф., Ким В.В., Батул А.А. Теоретические исследования технологического процесса почвообрабатывающей машины ин // *Інженерія природокористування*. – 2015. – № 1. – С. 79-83. – Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/lprk_2015_1_16..
11. Пащенко В.Ф. Механико-технологические средства эколого-экономического усовершенствования

вания процессов обработки почвы: дис. ... докт. техн. наук. – Харьков, 2005. – 335 с.

12. Калиниченко В.И., Дорофеева В.И., Шкребец С.М. Введение в метод конечных элементов [спец. курс]. – Харьков: ХГУ, 1993. – 40 с.

References

1. Pashchenko V.F., Syromyatnikov Yu.N. Pochvoobrabatyvayushchaya pristavka k zernovoy seyalkе v tekhnologiyakh «No till» // *Aekonomika: ekonomika i selskoe khozyaystvo*. – 2018. – № 3 (27). – S. 6.

2. Pashchenko V.F., Syromyatnikov Yu.N., Khranov N.S. Fizicheskaya sushchnost protsessа vzaimodeystviya s pochvoy rabocheго organа s gibkim elementom // *Selskoe khozyaystvo*. – 2017. – № 3. – S. 33-42. DOI: 10.7256/2453-8809.2017.3.24563.

3. Syromyatnikov Yu.N. Issledovanie protsessа raboty eksperimentalnogo kultivatora dlya sploshnoy obrabotki pochvy // *Aekonomika: ekonomika i selskoe khozyaystvo*. – 2018. – № 4 (28). – S. 4.

4. Nanka A.V., Syromyatnikov Yu.N. Vliyanie chastoty vrashcheniya rotora pochvoobrabatyvayushchey mashiny na kachestvennyye pokazateli ee raboty. // *Agrotekhnika i energoobespechenie*. – 2018. – № 2 (19). – S. 101-116.

5. Syromyatnikov Yu.N. Povyshenie effektivnosti tekhnologicheskogo protsessа dvizheniya pochvy po lemekhu pochvoobrabatyvayushchey rykhlytelno-separiruyushchey mashiny. // *Selskoe khozyaystvo*. –

2017. – № 1. – S. 48-55. DOI: 10.7256/2453-8809.2017.1.22037.

6. Syromyatnikov Yu.N. Obosnovanie formy naralnika minimalnogo tyagovogo soprotivleniya // *Silskogospodarski mashini*. – 2018. – № 39. – S. 117-132.

7. Syromyatnikov Yu.N. Rezultaty polevykh issledovaniy rotnoy pochvoobrabatyvayushchey rykhlytelno-separiruyushchey mashiny s eksperimentalnymi rabochimi organami // *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2018. – № 5 (163). – S. 184-193.

8. Vinogradov V.I., Leontev Yu.S. Vzaimodeystvie rotatsionnykh rabocheго organov s pochvoy // *Traktory i selkhoz mashiny*. – 1968. – № 9. – S. 29-30.

9. Starodinskiy D.Z. Puti snizheniya energoemkosti raboty pochvennykh frez // *Traktory i selkhoz mashiny*. – 1967. – № 4. – S. 8-12.

10. Pashchenko V.F., Kim V.V., Batulin A.A. Teoreticheskie issledovaniya tekhnologicheskogo protsessа pochvoobrabatyvayushchey mashiny // *Inzheneriya prirodokoristuvannya*. – 2015. – № 1. – S. 79-83. – Rezhim dostupa: http://nbuv.gov.ua/UJRN/lprk_2015_1_16.

11. Pashchenko V.F. Mekhaniko-tekhnologicheskie sredstva ekologo-ekonomicheskogo usovershenstvovaniya protsessov obrabotki pochvy: dis. ... d-ra tekhn. nauk – Kharkov, 2005. – 335 s.

12. Kalinichenko V.I., Dorofeeva V.I., Shkrebet S.M. Vvedenie v metod konechnykh elementov [spets. kurs]. – Kharkov: KhGU, 1993. – 40 s.



УДК 631.31

Н.С. Храмов
N.S. Khranov

КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИБКОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА

QUALITATIVE INDICES OF THE OPERATION OF EXPERIMENTAL TILLAGE IMPLEMENT WITH A FLEXIBLE WORKING BODY

Ключевые слова: гибкий рабочий орган, коэффициент структурности, комбинированная машина, качество обработки, зависимость, скорость движения, глубина обработки.

Keywords: flexible working body, structural coefficient, combined machine, tillage quality, dependence, speed, tillage depth.