

ООО «ДЛВ АГРОДЕЛО», 2016. – 458 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Ministerstvo selskogo khozyaystva i proizvodstva Ryazanskoj oblasti: sayt/ Pravitelstvo Ryazanskoj oblasti. – Ryazan, 2013. – URL: <https://www.ryazagro.ru/spheres/otrasli/zemledelie-i-rasteniyevodstvo> (data obrashcheniya: 25.10.2019). – Rezhim dostupa: svobodnyy.

2. Krygin, S.E. Problemy tekhnicheskogo obespecheniya uborki kartofelya v Ryazanskoj oblasti / S.E. Krygin // Innovatsionnye i nanotekhnologii v sisteme strategicheskogo razvitiya APK regiona: sb. nauchnykh trudov po materialam Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (13-15 noyabrya 2013 goda). – Tver: SFK-ofis, 2013. – S. 201-206.

3. Pötke, E., Schuhmann, P. (Hrsg.): Speisefrischkartoffeln – Qualität erzeugen, erfassen, lagern, vermarkten, Buchedition Agrimedia, Spithal 1997.

4. Kuzmin, A.V. Problemy sovershenstvovaniya kartofeleuborochnykh mashin / A.V. Kuzmin, V.S. Bolokhoyev, V.L. Tsybikov // Vestnik Altayskogo

gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – No. 1 (63). – S. 67-71.

5. Kamaletdinov, R.R. Usovershenstvovanny podkapyvayushchiy rabochiy organ kartofeleuborochnogo kombayna / R.R. Kamaletdinov, F.N. Gallyamov // Mekhanizatsiya i elektrofikatsiya selskogo khozyaystva. – 2007. – No. 10. – S. 4-5.

6. Makeev, D.V. Razrabotka printsipialnoy skhemy odnoryadnogo kombayna dlya uborki kartofelya / D.V. Makeev, S.E. Krygin, M.B. Uglanov // Agrotekhnika i energoobespechenie. – 2014. – No. 1 (1). – S. 34-40.

7. Analiz ekspluatatsionno-tekhnologicheskikh trebovaniy k kartofeleuborochnym mashinam i pokazateley ikh raboty v usloviyakh Ryazanskoj oblasti / G.K Rembalovich, I.A. Uspenskiy, A.A. Golikov [i dr.] // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva. – 2013. – No. 1 (17). – S. 64-68.

8. GOST R 54781-2011. Mashiny dlya uborki kartofelya. Metody ispytaniy. – Moskva: FGUP «Standartinform», 2012. – 32 s.

9. Kartofel. Vyrashchivanie, udobreniya, khranenie / D. Shpaar, A. Bykin, D. Dreger [i dr.] // pod obshchey redaktsiyey D. Shpaara. – Moskva: ООО «ДЛВ АГРОДЕЛО», 2016. – 458 с.



УДК 631.316.6

Ю.Н. Сыромятников

Yu.N. Syromyatnikov

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛОСКОРЕЖУЩЕЙ ЛАПЫ ДЛЯ РАЗУПЛОТНЕНИЯ ПОЧВЫ ПРИ ЕЕ ПОСЛОЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

THE SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF A FLAT HOE FOR SOIL LOOSENING AT GRADED TILLAGE

Ключевые слова: почва, уплотнение, качество крошения, вариационное исчисление, наральник, плоскорез.

Keywords: soil, compaction, soil pulverization quality, energy, variational calculus, cultivator point, flat hoe.

С целью снижения тягового сопротивления и разуплотнения почвы при послойной обработке разработана плоскорезущая лапа с переменным углом крошения. После оптимизации в зоне стойки лапы угол крошения наральника, по аналогии с рабочими органами чизельного плуга, предлагается увеличить до 20-30°, а крыло лапы изготовить в виде плоскорезущей лапы с углом крошения до 15-20°. Для обоснования профиля лапы в зоне стойки составлено статическое уравнение действия сил в зависимости от формы кривой профиля наральника. Определена закономерность распределения удельных давлений почвы на лапе. Проверка достоверности результатов теоретических исследований проведена экспериментально. В условиях рядовой эксплуатации секции культиватора КПШ-5 за колесом трактора устанавливался грядиль с 4 предлагаемыми лапами, причем лапы первого ряда установили на глубину 7 см, а лапы второго ряда, идущие по следу лап первого ряда, – на глубину 15 см. С использованием метода просеивания почвы на ситах с круглыми отверстиями определен структурно-агрегатный состав почвы по следу трактора при послойной обработке. Коэффициент структурности разуплотнённой почвы при традиционной культивации составляет 0,07, тогда как коэффициент структурности почвы обработанной послойно – 0,34. Максимальный размер комков на участке, обработанном традиционно, составляет 105 мм, тогда как максимальный размер комков на участке, обработанном послойно, – 80 мм, что на 24% меньше.

Сыромятников Юрий Николаевич, к.т.н., ассист. каф. земледелия им. О.М. Можейко, Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева, Украина. E-mail: gara176@meta.ua.

Введение

Проблемой уплотнения почвы ходовыми системами тракторов и негативными последствиями этих процессов занимались многие исследователи [1-5]. Было установлено, что в результате уплотнения почвы машинами и МТА чернозем теряет межагрегатные поры, почва переуплотняется, снижается ее способность противостоять разрушению при механических воздействиях, ухудшается качество обработки, усиливается водная и ветровая эрозия [6]. Кроме того, вследствие переуплотнения, затрудняется заделка семян в почву. В целом, указанная совокупность негативных факторов приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур на 10-15%.

The subject of the study is the process of interaction of the hoe with the soil. Graded tillage contributes to increased tillage costs. In this connection, in order to reduce traction resistance, a hoe with a variable angle of soil pulverization was developed. In the area of the hoe tine, it is proposed to increase the angle by the analogy with the working tools of the chisel plow to 30°, and the wing of the hoe in the form of a flat-cutting hoe with a small angle of pulverization. To justify the profile of the hoes in the rack area, a static equation of the action of forces is made depending on the shape of the curve of the wedge. The regularity of the distribution of specific soil pressures on the hoe is determined. In order to verify the reliability of the results of theoretical studies, a field experiment was conducted. A tractor bed with 4 proposed hoes was installed behind the tractor wheel, the hoes of the first row were set to a depth of 7 cm, and the hoes of the second row following the tracks of the hoes of the first to a depth of 15 cm. Using the method of sifting soil on sieves with round holes, the structural-aggregate composition of the soil was determined. The distributed soil on the screens was weighed and the relative weight of each fraction was calculated. The coefficient of structurality of decompressed soil during traditional cultivation was 0.07 on average over the site. Whereas the coefficient of structurality of the soil treated in layers was 0.34. The maximum size of lumps in the area treated traditionally is 105 mm, while the maximum size of clods in the area tilled in layers is 80 mm which was by 24% less. The graded tillage in the areas compacted by tractors made it possible to improve the quality of soil crumbling and thereby reduced the negative factors of compaction. The target groups of information consumers are designers, specialists involved in the development of tillage working tools.

Syromyatnikov Yuriy Nikolayevich, Cand. Tech. Sci., Asst. V.V. Dokuchaev Kharkov National Agricultural University, Ukraine. E-mail: gara176@meta.ua.

Одним из эффективных методов борьбы с переуплотнением почвы является ее рыхление [7]. Применение для этого серийных универсальных стрелчатых лап нецелесообразно в виду высокой энергоемкости процесса и низких показателей качества крошения ими почвы [8]. Плоскорезущие же лапы серийных культиваторов не обеспечивают должной заглубляемости и в связи с низким качеством крошения способствуют образованию глыб. При этом основная часть корневой системы большинства сельскохозяйственных культур уходит вглубь до 20 см, что и определяет глубину обработки почвы, уплотненной ходовыми системами машин и МТА [9].

Последние результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса взаимодействия клина стрелчатой лапы с почвой, приведенные в [10], показали, что для улучшения качества обработки почвы такими рабочими органами можно эффективно использовать ее послойную обработку. Однако послойное рыхление почвы одновременно приводит и к увеличению затрат энергии, времени, материалов. В связи с чем для снижения затрат, а также тягового сопротивления рекомендуется увеличить величину угла крошения почвы стрелчатой лапой до 20-30°. Кроме того, с уменьшением угла крошения снижается степень перемешивания почвы, что способствует сохранению в ней влаги. Однако сроки и условия использования почвообрабатывающих машин, как правило, определяются самой возможностью заглубления их рабочих органов в почву, заглубляемость зависит от угла крошения лапы и остроты её лезвия. При этом величина угла крошения должна быть, наоборот, небольшой. Для обеспечения прочности лезвия угол заточки вообще должен находиться в пределах 15-20° [10]. При этом для обеспечения устойчивого хода стрелчатой лапы по глубине затылочный угол должен составлять не менее 10°, следовательно, для улучшения заглубляемости рабочих органов угол крошения должен быть переменным и изменяться в интервале 15-30° [10].

Основываясь на вышеизложенном, необходимо разработать новую конструкцию (форму) плоскорезущей лапы с переменным углом крошения. В зоне её стойки угол крошения наральника, по аналогии с рабочими органами чизельного плуга, предлагается увеличить до 30°, а крыло лапы изготовить с углом крошения н.м. 15°.

Целью работы являлось обоснование формы и предельных величин угла крошения плоскорезущей лапы, предназначенной для разуплотнения почвы по следу ходовых систем машин и МТА при ее послойной обработке.

Теоретическая часть

Для обоснования профиля лапы в зоне стойки можно воспользоваться статическим уравнением действия сил в зависимости от профиля наральника из [11, 12].

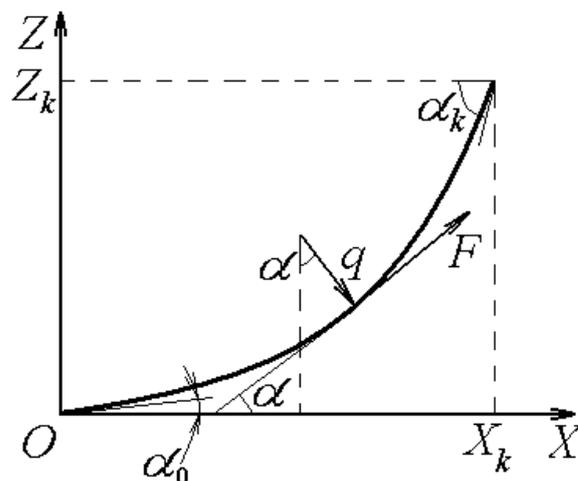


Рис. 1. Схема к обоснованию теоретического профиля наральника

На наральник воздействуют распределенные нормальные (удельные) силы давления почвы q и силы трения F . В точке O кривая проходит под углом α_0 , а в точке $X_k Z_k$ – под углом α_k . Если теперь допустить, что распределение сил по ширине наральника в зоне его стойки является равномерным, то задача сводится к двумерному случаю (рис. 1).

Для решения этой задачи воспользуемся методом прямого вариационного исчисления [13]. Равнодействующая проекция сил по направлению движения наральника определяется из функционала [14]:

$$R_x = \int_{x_0}^{x_k} q(f + Z') dx, \quad (1)$$

где f – коэффициент трения почвы о металл;

Z' – искомая функция, описывающая профиль наральника;

x_0, x_k – координаты начальной и конечной точки в принятой подвижной системе координат XOZ .

Закономерность распределения удельных давлений почвы на плоскорезущую лапу можно определить из уравнения:

$$q = \rho V^2 \left(f - \frac{Z - h_0}{Z_k} \right) \frac{Z'^3}{1 + Z'^2}, \quad (2)$$

где ρ – плотность почвы;

V – скорость движения лапы;

h_0 – постоянная величина, определяющая давление почвы на лапу в точке $Z=Z_k$.

При интегрировании полученного уравнения (1) по x при условии, что плотность почвы и скорость движения лапы являются постоянными величинами, $x_0 = 0$, с учетом уравнения (2) получим:

$$R_x = \rho V^2 \int_0^{x_k} \left(1 - \frac{Z - h_0}{Z_k} \right) \cdot \frac{(f + Z') \cdot Z'^3}{1 + Z'^2} dx. \quad (3)$$

Окончательно, постановка задачи формулируется следующим образом: среди множества кривых, выходящих из точки O под заданным углом Z_0 и проходящих через точки с координатами $x_0 = 0$; $Z_0 = 0$ и $x = x_k$; $Z = Z_k$, нужно найти ту, которая опишет профиль лапы минимальной энергоёмкости (с минимальным тяговым сопротивлением).

$$\frac{dR_x}{dC_i} = \rho V^2 \int_0^{x_k} \left\{ \begin{aligned} & - \frac{(f + Z')Z'^3}{1 + Z'^2} \cdot \frac{dZ}{dC_i} + \left(1 - \frac{Z - h_0}{Z_k} \right) - \\ & - \frac{Z'^2 \{ [Z' + 3(f + Z')] \cdot (1 + Z'^2) - 2(f + Z')Z'^2 \}}{(1 + Z'^2)^2} \times \frac{dZ'}{dC_i} \end{aligned} \right\} dx = 0; \quad (6)$$

где $C_i = 1, 2, \dots$

$$\frac{dZ}{dC_1} = x^2 (x - x_k);$$

$$\frac{dZ}{dC_2} = x^3 (x - x_k);$$

$$\frac{dZ'}{dC_1} = 2x(x - x_k) - x^2;$$

$$\frac{dZ'}{dC_2} = 3x^2 (x - x_k) + x^3.$$

Экспериментальная часть

Систему уравнений (6) решали численно с помощью ПЭВМ в среде MathCad.

Экспериментальная секция культиватора КПШ-5 устанавливалась на серийном орудии, непосредственно за колесом трактора. Компонка МТА позволяла за один проход, соответственно, уплотнение колёсами трактора, получить участки (полосы) почвы, обработанные как

Уравнение искомой кривой будем искать в виде, в котором оно удовлетворяет условиям постановки задачи [15, 16]:

$$Z = Z'_0 x + \frac{x^2 (Z_k - x_k Z'_0)}{x_k^2} + C_i \cdot x^2 (x - x_k) + C_2 x^3 (x - x_k) \quad (4)$$

где Z'_0 – тангенс угла наклона касательной к оси OX в начальной точке;

$Z_k x_k$ – координаты конечной точки;

C_i, C_2 – искомые постоянные коэффициенты, определяющие профиль лапы.

Продифференцировав уравнение (4) по x , получим:

$$Z' = Z'_0 + \frac{2x(Z_k - x_k Z'_0)}{x_k^2} + 2C_1 x(x - x_k) + C_1 x^2 + 3C_2 x^2 (x - x_k) + C_2 x^3 \quad (5)$$

Определив в функционале (3) значение функций Z и Z' , он преобразуется в функцию, которую в дальнейшем исследуем на экстремум. Дифференцируя функцию по искомым коэффициентам C_1 и C_2 и приравнивая их к нулю, получим следующую систему уравнений:

послойно, так и традиционным способом. Влажность почвы в эксперименте составляла 25%.

Для проведения полевого опыта за колесом трактора устанавливался грядиль с 4 предлагаемыми лапами, причем лапы первого ряда устанавливали на глубину 7 см, а лапы второго ряда, идущие по следу лап первого, – на глубину 15 см.

Для исследования разуплотнения определяли структурно-агрегатный состав почвы методом ее просеивания на ситах с круглыми отверстиями [17, 18]. При этом проба бралась в трехкратной повторности, массой н.м. 2,5 кг, доводилась до воздушно-сухого состояния и просеивалась через сита.

У пробы вычислялись:

- относительная масса каждой фракции по формуле:

$$\Phi = \frac{m}{M} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где m – масса фракции, кг;

M – масса поступившего на анализ образца, кг;

- коэффициент структурности по формуле:

$$K_{стр} = \frac{K_{10-0,25}}{K_{>10} + K_{<0,25}}, \quad (8)$$

где $K_{10-0,25}$ – процент содержания агрономически ценных фракций почвы в пробе от 10 до 0,25 мм;

$K_{>10}$, $K_{<0,25}$ – процент содержания фракций почвы в пробе, соответственно, больше 0,25 мм и меньше 10 мм.

Результаты и их обсуждение

Численное решение системы уравнений (6) при различных вариациях параметров получили при следующих граничных условиях:

$$Z'_0 = \operatorname{tg}30^\circ = 0,56; Z_k = 0,06; x_k = 0,22 \text{ м}; h_c = 0.$$

В результате решения системы уравнений с указанными значениями параметров были получены следующие значения искоемых коэффициентов уравнения (4): $C_1=3,63$; $C_2=-6,97$.

Тогда уравнение (4) можно переписать и(или) для удобства использования аппроксимировать в виде следующего полинома:

$$Z = 0,333x - 1,5724x^2 + 10,4703x^3 - 20,797x^4. \quad (9)$$

Согласно полученному уравнению оптимального профиля стойки лапы была изготовлена серия (4 шт.) экспериментальных лап, угол крошения которых от режущей кромки до основания стойки плавно изменялся в диапазоне от 15 до 30°.

Результаты испытания экспериментальных лап представлены на рисунке 2 и в таблице.

Кривая линия, описывающая теоретический (оптимальный) профиль наральника с минимальным тяговым сопротивлением, построенная по уравнению (7), показывает форму стойки культиваторной плоскорежущей лапы и приведена на рисунке 2.

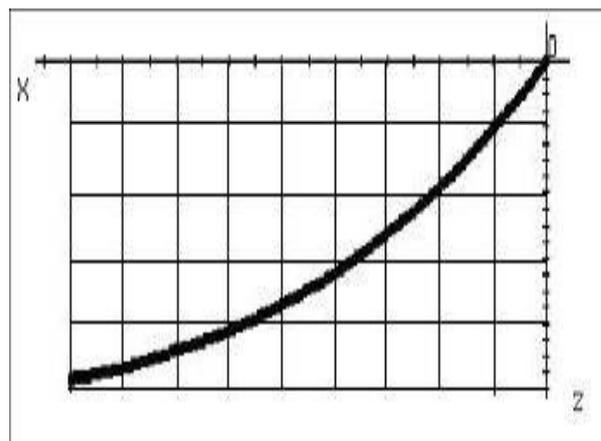


Рис. 2. Оптимальный профиль культиваторной плоскорежущей лапы

На основании полученного аппроксимационного уравнения (9) кривой, приведенной на рисунке 2, были определены значения частных производных, позволяющие рассчитать оптимальный угол крошения лапы в реальных точках ее профиля с координатами $x_1 = 0,02$ и $x_k = 0,22$ м, отвечающих местоположению конца фрезированной (заточенной) кромки лапы и начала стойки. Соответствующие (расчетные) оптимальные значения углов, обеспечивающие минимальное тяговое сопротивление плоскорежущей лапы, составили: $\alpha_1 = 15-20^\circ$; $\alpha_k = 20-30^\circ$.

Анализ данных таблицы показывает, что коэффициент структурности разуплотнённой почвы при традиционной культивации составляет 0,07 в среднем по участку. Тогда как коэффициент структурности почвы, обработанной послойно, экспериментальными лапами составляет 0,34, что говорит об улучшении качества крошения почти в 6 (!) раз.

Качество крошения почвы по следу колес трактора

| Условия обработки | Коэффициент структурности | Размер комков, мм |
|---|---------------------------|-------------------|
| Рыхление почвы вне зоны уплотнения (контроль) | 0,95 | 37 |
| Рыхление почвы лапами КПШ-5 | 0,065 | 100 |
| Послойное рыхление почвы | 0,35 | 75 |

Максимальный размер комков на участке, обработанном традиционно, составляет 105 мм, тогда как максимальный размер комков на участке, обработанном послойно, экспериментальными лапами составляет 80 мм, что на 24% меньше.

Выводы

1. Оптимальная конструкция (форма) плоскорезущей лапы должна иметь переменный профиль (угол) крошения: от 15 до 20° на ее кромке и от 20 до 30° у начала стойки (по аналогии с рабочими органами чизельного плуга).

2. Для лучшего разуплотнения почвы по следу машины и(или) МТА рекомендуется ее одновременная, двухслойная обработка лапами, размещенными на глубине 7 и 15 см, идущими друг за другом.

3. Применение послойной обработки почвы плоскорезущими лапами с оптимальным (переменным) профилем крошения на уплотнённых участках, позволяет улучшить качество крошения почвы (коэффициент структурности, размер комков) и тем самым уменьшить негативные факторы переуплотнения почвы.

Библиографический список

1. Николаев, В. А. Изменение агрофизических свойств почвы в зависимости от уплотняющего воздействия колесных тракторов / В. А. Николаев. – Текст: непосредственный // Земледелие. – 2015.

2. Сыромятников, Ю. Н. Пути снижения удельного давления колесных движителей на почву / Ю. Н. Сыромятников. – Текст: электрон-

ный // Сельское хозяйство. – 2017. – № 4. – С. 95-103. – DOI 10.7256/2453-8809.2017.4.26797. – URL: http://e-notabene.ru/sh/article_26797.html.

3. Патент України на корисну модель UA 88865 U (12) UA 88865 U UA 88865 U 5 10 15 20 25 30. Спосіб регулювання тиску повітря в шинах колес транспортного засобу зі здвоєними базовими колесами / Пащенко В. Ф., Сиромятников Ю. М., – № u 2013 09111; заявл. 19.07.2013; опубл. 10.04.2014. – Бюл. № 7/2014

4. Окунев, Г. А. Воздействие машинных агрегатов на почву и тенденции формирования машинно-тракторного парка / Г. А. Окунев, Н. А. Кузнецов, А. А. Бражников. – Текст: непосредственный // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 2014. – Т. 69. – С. 51-54.

5. Beckett C. T. S. et al. Compaction conditions greatly affect growth during early plant establishment // Ecological Engineering. – 2017. – Т. 106. – С. 471-481.

6. Медведев, В. В. Агротехника как новое 4-мерное полигенетическое образование / В. В. Медведев. – Текст: непосредственный // Gruntoznavstvo. – 2016. – №. 17, no. 1-2. – С. 5-21.

7. Smirnov, M., Smirnov, P., Alexeev, E., et al. (2019). Influence of soil-protective technologies on the characteristics of the soils of hop plants. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 346. 012018. DOI: 10.1088/1755-1315/346/1/012018.

8. Бабаева, А. В. Агротехнические показатели культиватора с право- и левосторонними

лезвенными лапами / А. В. Бабаева, С. Р. Хабиров. – Текст: непосредственный // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях. – 2018. – С. 410-413.

9. Pagès, L., Vercambre, G., Drouet, J., et al. (2004). Root Typ: A generic model to depict and analyse the root system architecture. *Plant and Soil*. 258: 103-119. DOI: 10.1023/B:PLSO.0000016540.47134.03.

10. Kornienko, S., Pashenko, V., Melnik, V., et al. (2016). Developing the method of constructing mathematical models of soil condition under the action of a wedge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 5: 34-43. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.79912.

11. Сыромятников, Ю. Н. Обоснование профиля лемеха с направляющими дисками почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины / Ю. Н. Сыромятников. – Текст: электронный // Сельское хозяйство. – 2017. – № 2. – С. 18-29. – DOI 10.7256/2453-8809.2017.2.23150.

12. Сыромятников, Ю. Н. Обоснование формы наральника минимального тягового сопротивления / Ю. Н. Сыромятников. – Текст: непосредственный // Сільськогосподарські машини. – 2018. – № 39. – С. 117-132.

13. Сыромятников, Ю. Н., Обоснование профиля рыхлительной лапы методом вариационного исчисления / Ю. Н. Сыромятников. – Текст: непосредственный // Агротехника и энергообеспечение. – 2018. – № 3 (20). – С. 76-84.

14. Сыромятников, Ю. Н. Обоснование профиля стрельчатой лапы культиватора методом вариационного исчисления / Ю. Н. Сыромятников. – Текст: непосредственный // Достижения техники и технологий в АПК, посвященной памяти профессора В. Г. Артемьева: материалы Международной научно-практической конференции. – Ульяновск: Ульяновский ГАУ, 2018. – С. 222-230.

15. Сыромятников, Ю. Н. Наральник минимального тягового сопротивления / Ю. Н. Сыромятников, С. А. Войнаш, А. В. Нанка. – Текст: непосредственный // Наука и инновации: векторы развития: материалы Международной научно-практической конференции. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2018. – Кн. 2. – С. 70-73.

16. Сыромятников, Ю. Н. Исследования конструктивных параметров чизельных рабочих органов с целью снижения энергозатрат / Ю. Н. Сыромятников, Н. С. Храмов, С. А. Войнаш. – Текст: непосредственный // Аграрная наука – сельскому хозяйству: материалы XIV Международной научно-практической конференции: сборник материалов в 2 книгах (7-8 февраля 2019 г.). – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2019. – Кн. 2. – 543 с.

17. Сыромятников, Ю. Н. Показатели качества работы почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины / Ю. Н. Сыромятников. – Текст: электронный // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – Т. 12, № 3. – С. 38-44. – DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-3-38-44.

18. Пащенко, В. Ф. Влияние локального рыхления почвы на урожайность сои / В. Ф. Пащенко, Ю. Н. Сыромятников, Н. С. Храмов. – Текст: электронный // Тракторы и сельхозмашины. – 2019. – № 5. – С. 79-86. – DOI 10.31992/0321-4443-2019-5-79-86.

References

1. Nikolaev V.A. Izmenenie agrofizicheskikh svoystv pochvy v zavisimosti ot uplotnyayushchego vozdeystviya kolesnykh traktorov // *Zemledelie*. – 2015.

2. Syromyatnikov Yu.N. Puti snizheniya udelnogo davleniya kolesnykh dvizhiteley na pochvu // *Selskoe khozyaystvo*. – 2017. – No. 4. – S. 95-103. DOI: 10.7256/2453-8809.2017.4.26797. URL: http://e-notabene.ru/sh/article_26797.html.

3. Patent Ukraini na korisnu model UA 88865 U (12) UA 88865 U UA 88865 U 5 10 15 20 25 30. Sposib reguluyvannya tisku povitrya v shinakh koles transportnogo zasobu zi zdvoenimi bazovimi kolesami / V.F. Pashchenko, Yu.M. Siromyatnikov, – No. u 2013 09111; zayavl. 19.07.2013; opubl. 10.04.2014. – Byul. No. 7/2014.

4. Okunev G.A., Kuznetsov N.A., Brazhnikov A.A. Vozdeystvie mashinnykh agregatov na pochvu i tendentsii formirovaniya mashinno-traktornogo parka // *Vestnik Chelyabinskoy gosudarstvennoy univertsitetov*.

darstvennoy agroinzhenernoy akademii. – 2014. – Т. 69. – С. 51-54.

5. Beckett, C., Glenn, D., Bradley, K., et al. (2017). Compaction conditions greatly affect growth during early plant establishment. *Ecological Engineering*. 106: 471-481. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.04.053.

6. Medvedev V.V. Agrozem kak novoe 4-mernoe poligeneticheskoe obrazovanie // *Gruntoznavstvo*. – 2016. – No. 17 (1-2). – С. 5-21.

7. Smirnov, M., Smirnov, P., Alexeev, E., et al. (2019). Influence of soil-protective technologies on the characteristics of the soils of hop plants. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 346. 012018. DOI: 10.1088/1755-1315/346/1/012018.

8. Babaeva A.V., Khabibov S.R. Agrotekhnicheskie pokazateli kultivatora s pravo i levostoronnimi lezvennymi lapami // *Innovatsii v prirodobustroystve i zashchite v chrezvychaynykh situatsiyakh*. – 2018. – С. 410-413.

9. Pagès, L., Vercambre, G., Drouet, J., et al. (2004). Root Typ: A generic model to depict and analyse the root system architecture. *Plant and Soil*. 258: 103-119. DOI: 10.1023/B:PLSO.0000016540.47134.03.

10. Kornienko, S., Pashenko, V., Melnik, V., et al. (2016). Developing the method of constructing mathematical models of soil condition under the action of a wedge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 5: 34-43. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.79912.

11. Syromyatnikov Yu.N. Obosnovanie profilya lemekha s napravlyayushchimi diskami pochvoobrabatyvayushchey rykhlytelno-separiruyushchey mashiny // *Selskoe khozyaystvo*. – 2017. – No. 2. – С. 18-29. DOI: 10.7256/2453-8809.2017.2.23150.

12. Syromyatnikov Yu.N. Obosnovanie formy naralnika minimalnogo tyagovogo soprotivleniya //

Silskogospodarski mashini. – 2018. – No. 39. – С. 117-132.

13. Syromyatnikov Yu.N. Obosnovanie profilya rykhlytelnoy lapy metodom variatsionnogo ischisleniya // *Agrotehnika i energoobespechenie*. – 2018. – No. 3 (20). – С. 76-84.

14. Syromyatnikov Yu.N. Obosnovanie profilya strelchatoy lapy kultivatora metodom variatsionnogo ischisleniya // *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: «Dostizheniya tekhniki i tekhnologiy v APK, posvyashchennoy pamyati professora V.G. Artemeva»* – Ulyanovsk: Ulyanovskiy GAU, 2018. – С. 222-230.

15. Syromyatnikov Yu.N., Voynash S.A., Nanka A.V. Naralnik minimalnogo tyagovogo soprotivleniya // *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: «Nauka i innovatsii: vektory razvitiya»* – Barnaul: RIO Altayskogo GAU, 2018. – Kn. 2. – С. 70-73.

16. Syromyatnikov Yu.N., Khramov N.S., Voynash S.A. Issledovaniya konstruktivnykh parametrov chizelnykh rabochikh organov s tselyu snizheniya energozatrat // *Agrarnaya nauka – selskomu khozyaystvu: sbornik materialov: v 2 kn. / XIV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (7-8 fevralya 2019 g.)*. – Barnaul: RIO Altayskogo GAU, 2019. – Kn. 2.

17. Syromyatnikov Yu.N. Pokazateli kachestva raboty pochvoobrabatyvayushchey rykhlytelno-separiruyushchey mashiny // *Selskokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. – 2018. – Т. 12. – No. 3. – С. 38-44. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-3-38-44.

18. Pashchenko V.F., Syromyatnikov Yu.N., Khramov N.S. Vliyaniye lokalnogo rykhleniya pochvy na urozhaynost soi // *Traktory i selkhoz mashiny*. – 2019. – No. 5. – С. 79-86. DOI: 10.31992/0321-4443-2019-5-79-86.

