

кова, О. В. Михайлова, М. В. Белова. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2020. – № 5 (108). – С. 16-28.

5. Шевелев, А. В. Электротехнология разделения забруса на фракции / А. В. Шевелев, О. В. Михайлова. – Текст: электронный // Меридиан: научный электронный журнал. – 2020. – № 12 (46). – URL: <http://meridian-journal.ru/site/article?id=4171>.

6. Жданкин, Г. В. Разработка технологии и СВЧ-установки с коническими резонаторами для термообработки непищевых отходов животного происхождения / Г. В. Жданкин, Г. В. Новикова, М. В. Белова, В. В. Гоева. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 10 (89). – С. 55-64.

7. Шамин, Е. А. Обоснование параметров СВЧ-установки для отделения пуха от шкурок кроликов в непрерывном режиме / Е. А. Шамин, Г. В. Новикова, М. В. Белова, О. В. Михайлова. – Текст: непосредственный // Вестник ВГУИТ. – 2019. – № 1. – С. 59-65.

References

1. CST MICROWAVE STUDIO – sistema modelirovaniya SVCh trekhmernykh struktur / Materialy sayta «Eurointech» [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: http://www.eurointech.ru/eda/microwave_design/cst/CST-MICROWAVE-STUDIO.phtml (dostup svobodnyy).

2. Strekalov A.V., Strekalov Yu.A. Elektromagnitnye polya i volny. – Moskva: RIOR: INFRA-M, 2014. – 169 s.

3. Sbornik zadach po kursu «Elektrodinamika i rasprostranenie radiovoln»: uchebn. posobie / S.I. Baskakov, V.G. Kartashev, G.D. Lobov i dr.; pod red. S.I. Baskakova. – Moskva: Vyssh. shkola, 1981. – 208 s.

4. Shevelev A.V., Novikova G.V., Mikhaylova O.V., Belova M.V. SVCh-ustanovka dlya vytopki pchelinogo voska // Vestnik NGIEI. – 2020. – No. 5 (108). – S. 16-28.

5. Shevelev A.V., Mikhaylova O.V. Elektrotekhnologiya razdeleniya zabrusa na fraktsii // Nauchnyy elektronnyy zhurnal «Meridian». – 2020. – No. 12 (46). Rezhim dostupa: <http://meridian-journal.ru/site/article?id=4171>.

6. Zhdankin G.V., Novikova G.V., Belova M.V., Goeva V.V. Razrabotka tekhnologii i SVCh-ustanovki s konicheskimi rezonatorami dlya termoobrabotki nepishchevykh otkhodov zhivotnogo proiskhozhdeniya // Vestnik NGIEI. – 2018. – No. 10 (89). – S. 55-64.

7. Shamin E.A., Novikova G.V., Belova M.V., Mikhaylova O.V. Obosnovanie parametrov SVCh-ustanovki dlya otdeleniya pukha ot shkurok krolikov v nepreryvnom rezhime // Vestnik VGUIT. – 2019. – No. 1. – S. 59-65.



УДК 631.31

Н.С. Крюковская
N.S. Kryukovskaya

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ УПРОЧНЕНИЯ СТРЕЛЬЧАТЫХ ЛАП НАПЛАВКОЙ ОТДЕЛЬНЫХ ВАЛИКОВ

DETERMINATION OF OPERATING PARAMETERS FOR V-SHAPED SWEEPS REINFORCEMENT BY SINGLE BEADS BUILDING-UP

Ключевые слова: *наплавочное армирование, упрочняющие валики, режимы наплавки, упрочнение стрелчатых лап, износостойкость, температурные поля при наплавке, установка для наплавки типа 4D, геометрические параметры наплавки.*

С целью упрочнения стрелчатых лап культиватора и увеличения их износостойкости в 2-3 раза на рабочую поверхность лап наплавляются отдельные валики из износостойкого материала. Наплавляемые валики имеют определенные ширину и высоту и наносятся на

поверхность стрелчатой лапы в форме дуг с определенным радиусом и шагом. Наплавка стрелчатых лап выполняется в автоматическом режиме на установке с числовым программным управлением типа 4D (с 4 степенями свободы), разработанной в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Исследование упрочнения данным методом проводится на примере стрелчатой лапы КПС-4-330. Для наплавки упрочняющих валиков выбрана порошковая проволока марки ОК Tubrodur 58 O/G M с учетом требований к твердости и износостойкости валиков и совместимости материала проволоки с материалом

стрельчатой лапы (сталь 65Г). Качественная наплавка валиков подобранной проволокой обеспечивается при соблюдении режимов, рекомендованных производителем: напряжение 26-28 В, сила тока 160-170 А и скорость подачи проволоки 11,7-21 см/с. Также желательное использование углекислого газа в качестве защитной среды при наплавке. Выведено уравнение, связывающее ширину и высоту наплавляемых валиков и скоростей подачи проволоки и движения сварочной головки. Выполнена графическая интерпретация полученного уравнения в виде поверхности отклика и ее изолиний. Исследовано распределение температурных полей на поверхности стрельчатой лапы КПС-4-330 при наплавке на нее упрочняющих валиков. Исходя из этого определено, что наплавка упрочняющих валиков на стрельчатую лапу должна выполняться в направлении от края к центру лапы.

Keywords: *build-up reinforcement, reinforcing beads, build-up conditions, V-shaped sweeps reinforcement, wear resistance, temperature patterns generated during building-up, 4D building-up unit, build-up dimensions.*

Wear-resistant single beads are built-up on the effective surface of cultivator V-shaped sweeps to ensure their reinforcement and 2...3 times enhance their wear resistance. Beads have certain width and height and are

deposited in the shape of arcs of the set radius and pitch on the surface of V-shaped sweeps. Building-up is performed automatically using the CNC-controlled 4D unit (with 4 degrees of variance) developed by the Federal Research Agricultural Engineering Centre VIM. Investigation on reinforcement using this method is carried out as exemplified by KPS-4-330 V-shaped sweeps. Flux-cored wires of OK Tubrodur 58 O/G M type are used for building-up the reinforcing beads considering the requirements for beads hardness and wear resistance and for compatibility of the wire material and V-shaped sweeps material (65G steel). High-quality build-up of beads using the selected wire can be executed provided that the operating parameters recommended by the manufacturer are observed: voltage of 26...28 V, current strength of 160...170 A and wire feeding rate of 11.7...21 cm/s. It is also recommended to use carbon dioxide as the gas shield during building-up. The equation relating the width and the height of the built-up beads and wire feeding rates and welding heads travel rates was derived. The derived equation was graphically interpreted in the form of surface response plot and isometric lines. Distribution of temperature patterns along the surface of KPS-4-330 V-shaped sweeps during reinforcing beads building-up was studied. Hence, it was determined that reinforcing beads building-up on V-shaped sweeps could be carried out in the direction from the edge to the centre of the sweep.

Крюковская Наталья Сергеевна, н.с., Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва. E-mail: robotchch@gmail.com.

Kryukovskaya Natalya Sergeevna, Staff Scientist, Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM, Moscow. E-mail: robotchch@gmail.com.

Введение

Упрочнение стрельчатых лап культиватора наплавкой отдельных износостойких валиков на их рабочую поверхность позволяет увеличить износостойкость лап в 2-3 раза. Расстояние между наплавляемыми валиками должно быть больше их ширины. При культивации почвы между валиками образуются зоны застоя почвы, защищающие рабочую поверхность стрельчатой лапы от изнашивающего воздействия движущегося почвенного пласта [1-3]. Таким образом, износу подвергаются только вершины наплавленных валиков.

Наплавка упрочняющих валиков на стрельчатые лапы культиваторов для обеспечения высокого качества наплавки и производительности процесса выполняется в автоматическом режиме с использованием установок с числовым программным управлением (ЧПУ) типа 4D. Для обеспечения максимальной износостойкости наплавляемые валики должны иметь форму дуг с определенными геометрическими характеристиками: ширина и высота валиков, радиус и шаг дуг. Радиус и шаг дуг валиков определяются при

получении управляющей программы для установки типа 4D [3]. Необходимые ширина и высота валиков должны обеспечиваться за счет соблюдения определенных режимов наплавки.

Цель исследований – определение режимных параметров наплавки упрочняющих валиков с заданными геометрическими характеристиками на рабочие поверхности стрельчатых лап культиваторов.

Объекты и методы исследований

Стрельчатые лапы культиватора упрочняются наплавкой отдельных валиков на установке с ЧПУ типа 4D. В качестве упрочняемой лапы используется стрельчатая лапа марки КПС-4-330. Схема расположения наплавляемых валиков представлена на рисунке 1. Материал упрочняющих валиков должен обладать высокой твердостью и износостойкостью и совместим с материалом стрельчатой лапы. Лапа КПС-4-330 изготовлена из стали 65Г. Исходя из этого, для ее упрочнения выбрана проволока порошковая ОК Tubrodur 58 O/G M (диаметр проволоки 1,6 мм), отвечающая заявленным требованиям.

Согласно рекомендациям производителя проволоки, наплавка должна выполняться с соблюдением следующих режимов:

- напряжение: 26-28 В;
- сила тока: 160-170 А;
- скорость подачи проволоки: 11,7-21 см/с.

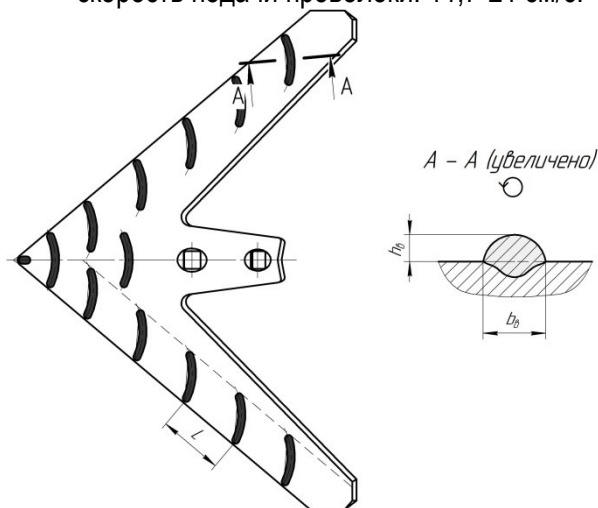


Рис. 1. Схема расположения наплавляемых на рабочую поверхность стрелчатой лапы валиков:
L – расстояние между наплавляемыми валиками; b_g – ширина валика; h_g – высота валика

В качестве защитного газа рекомендуется использовать углекислый газ для обеспечения гарантированно высокого качества наплавки (наплавка без защитного газа также допустима в виду особенностей данной проволоки) [4].

Результаты и обсуждение

Высота и ширина наплавляемых валиков зависят от количества расплавленной проволоки в единицу времени на единицу длины валика, то есть от скоростей подачи проволоки и перемещения сварочной головки. Сечение валика схематично представлено на рисунке 2.

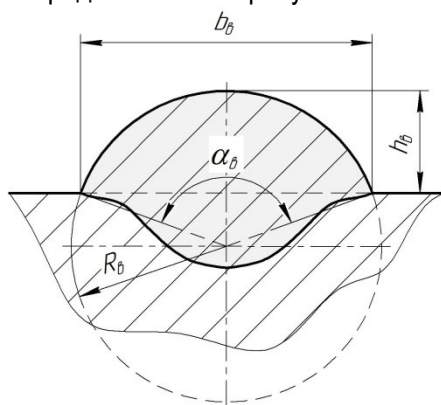


Рис. 2. Расчетная схема сечения наплавленного валика

Площадь сечения валика, выступающего над поверхностью стрелчатой лапы, мм², определяется из рисунка 2 по формуле:

$$S_g = 0,5R_g^2 \cdot (\alpha_g - \sin \alpha_g), \quad (1)$$

где R_g – радиус валика, мм;

α_g – угол дуги выступающего над поверхностью лапы валика, рад.

Угол дуги выступающего над поверхностью лапы валика:

$$\alpha_g = 2 \arccos \left(\frac{b_g^2 - 4h_g^2}{b_g^2 + 4h_g^2} \right), \quad (2)$$

где b_g – ширина выступающей части валика, мм;

h_g – высота выступающей части валика, мм.

С другой стороны, площадь сечения валика, мм², выступающего над поверхностью основного металла, можно найти по формуле:

$$S_g = \frac{dV_g}{dl_g} = \frac{\pi d_{np}^2 v_{np} dt}{4(1+0,01\psi)dl_g} = \frac{\pi d_{np}^2 v_{np}}{4(1+0,01\psi)v_n}, \quad (3)$$

где dV_g – объем металла, наплавляемого за единицу времени, мм³;

dl_g – длина валика, наплавляемого в единицу времени, мм;

d_{np} – диаметр проволоки, мм;

v_{np} – скорость подачи проволоки, см/с;

dt – единица времени, с;

ψ – коэффициент потерь металла проволоки при наплавке, %;

v_n – скорость движения сварочной головки, см/с.

Коэффициент потерь металла проволоки равен 1-3% при наплавке под слоем флюса и 3-6% при наплавке в среде защитных газов [5]. Потери металла проволоки при наплавке объясняются его разбрызгиванием, окислением и испарением при горении электрической дуги.

Из (1), (2) и (3) получается уравнение:

$$\delta_v(b_g, h_g) = \frac{v_{np}}{v_n} = \frac{(1+0,01\psi)(b_g^2 + 4h_g^2)^2}{32h_g^2 \pi d_{np}^2} \quad (4)$$

$$\left(2 \arccos \left(\frac{b_g^2 - 4h_g^2}{b_g^2 + 4h_g^2} \right) - \sin \left(2 \arccos \left(\frac{b_g^2 - 4h_g^2}{b_g^2 + 4h_g^2} \right) \right) \right),$$

Подставляя в уравнение (4) значение коэффициента потерь металла проволоки 5% и диаметр проволоки 1,6 мм, получается его графическая интерпретация в виде поверхности отклика и ее изолиний (рис. 3). По ним находится скорость движения сварочной головки, необходимая для обеспечения наплавляемых валиков заданной ширины и высоты.

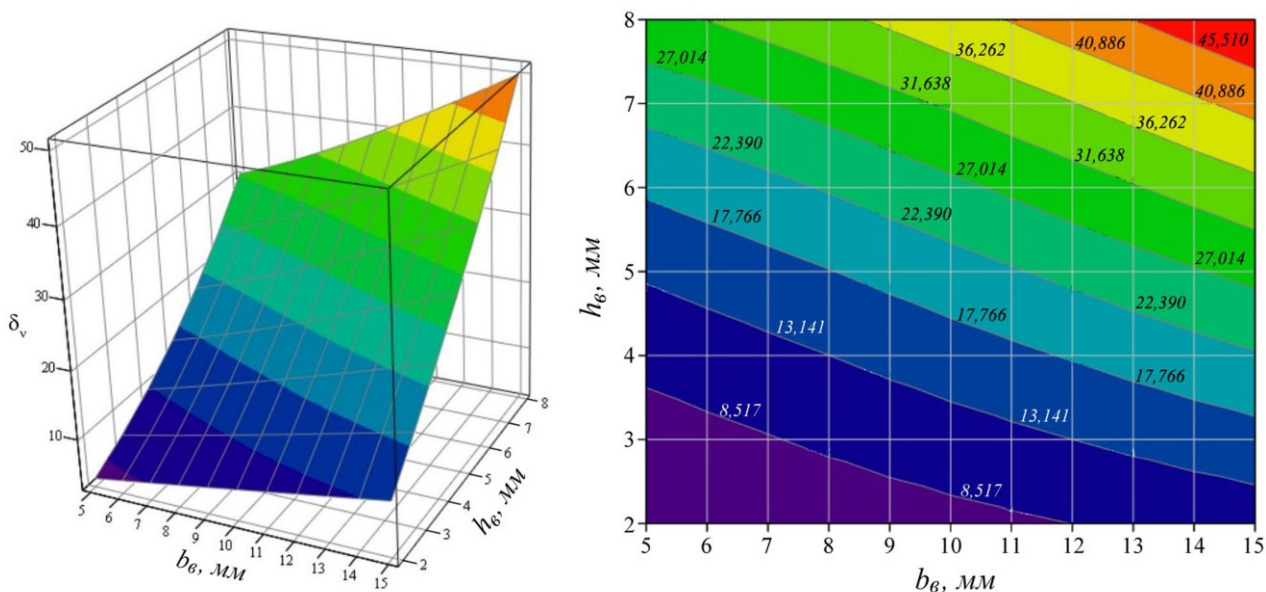


Рис. 3. Поверхность отклика функции $\delta_v(b, h)$ и ее изолинии

Например, необходимая ширина валиков составляет 8 мм, а высота – 4 мм. Из рисунка 3:

$$\delta_v(b, h) = \frac{v_{np}}{v_n} = 13,141, \quad (5)$$

откуда $v_n = 0,9...1,6$ см/с.

Для минимизации изменений в кристаллической решетке материала стрельчатой лапы культиватора необходимо учитывать распределение температурных полей по поверхности лапы при наплавке упрочняющих валиков. При этом принимаются следующие допущения [6]:

- упрочняемая лапа однородна и изотропна;
- при фазовых и структурных превращениях теплообмена не происходит;
- теплота распространяется исключительно в соответствии с законом теплопроводности Фурье;
- поверхностная теплоотдача, теплопроводность и объемная теплопроводность не зависят от температуры.

При упрочнении стрельчатой лапы наплавкой отдельных валиков на ее рабочую поверхность создается температурное поле, которое описывается уравнением [7]:

$$T(x, r) = \frac{\eta_u \cdot U_n \cdot J_n}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot \delta} \cdot e^{-\frac{v_n x}{2a}} \cdot K_0 \left(\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sqrt{\frac{v_n^2}{4 \cdot a^2} + \frac{b}{a}} \right), \quad (6)$$

где η_u – эффективный КПД нагрева дугой металла лапы;

U_n – напряжение наплавки, В;

J_n – сила тока, А;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/см \otimes °С;

δ – толщина металла лапы в месте наплавки, см;

x – абсцисса точки места воздействия сварочной головки относительно подвижной системы координат, см;

y – ордината точки места воздействия сварочной головки относительно подвижной системы координат, см;

a – коэффициент температуропроводности материала лапы, см²/с.

$K_0(u)$ – модифицированная функция Бесселя 2-го рода нулевого порядка;

b – коэффициент теплоотдачи, 1/с.

При наплавке в углекислом газе $\eta_u = 0,7...0,85$ [7].

Для стали 65Г (материала стрельчатых лап КПС-4-330): $\lambda = 0,30$ Вт/см \otimes °С, $a = 0,064$ м²/с, $b = 8,5 \cdot 10^{-4}$ 1/с (при $\delta = 0,6$ см) [7].

Подставляя в (6) значения параметров:

$$T(x, y) = 2943,9 \cdot e^{-7,81 \cdot v_n \cdot x} \cdot K_0 \left(\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sqrt{61,04 \cdot v_n^2 + 0,013} \right), \quad (7)$$

при ширине валиков 8 мм, высоте 4 мм и скорости подачи проволоки 14 см/с скорость движения сварочной головки из (5) составляет 1,1 см/с. Исходя из этого получается графиче-

ская интерпретация распределения температур на поверхности стрелчатой лапы при наплавке на нее отдельных валиков заданных размеров (рис. 4).

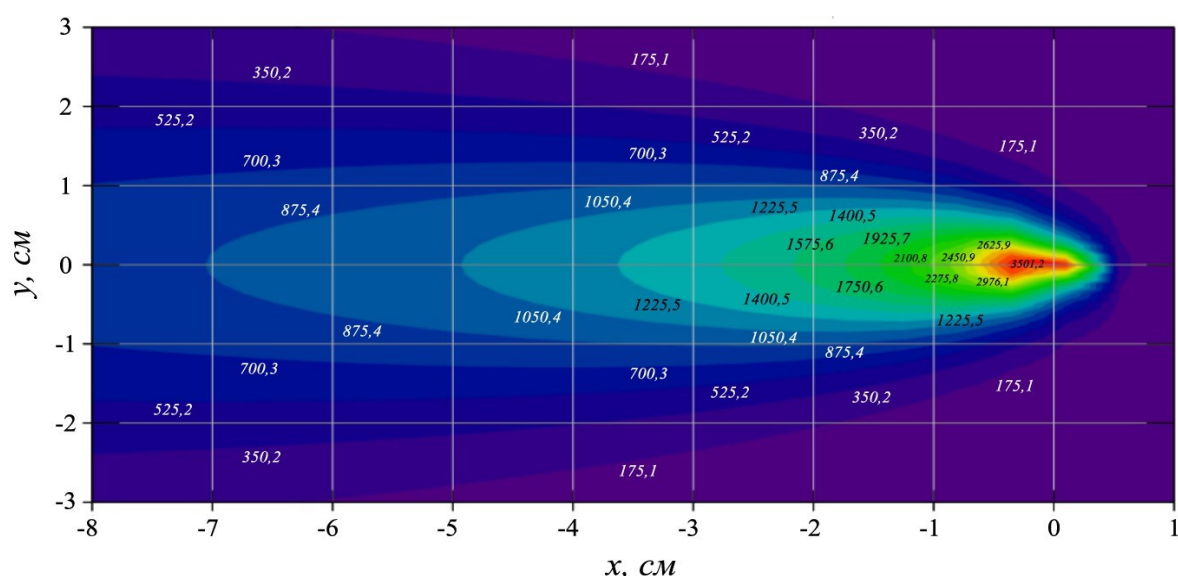


Рис. 4. Распределение температур на поверхности стрелчатой лапы КПС-4-330 при наплавке на нее отдельных валиков ($J_n = 160$ А, $U_n = 26$ В, $v_{np} = 14$ см/с, $v_n = 1,1$ см/с, $d_{np} = 1,6$ мм, ширина валика 8 мм, высота валика 4 мм)

Из рисунка 4 можно сделать вывод, что наплавку упрочняющих валиков необходимо вести в направлении от края к центру лапы.

Заключение

Определены режимы наплавки упрочняющих валиков на рабочую поверхность стрелчатых лап культиватора, обеспечивающие заданную геометрию валиков. Выведено уравнение, описывающее взаимосвязь ширины и высоты валиков от скоростей подачи проволоки и движения сварочной головки. Выполнен анализ температурных полей на поверхности упрочняемой стрелчатой лапы культиватора и выявлены оптимальные параметры наплавки упрочняющих валиков.

Библиографический список

1. Крюковская, Н. С. Современные методы упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих орудий / Н. С. Крюковская. – Текст: непосредственный // Труды ГОСНИТИ. – 2017. – Т. 128. – С. 118-122.
2. Hrabě, P., Muller, M., Hadač, V. (2015). Evaluation of techniques for ploughshare lifetime increase. *Research in Agricultural Engineering*. 61. 72-79. 10.17221/73/2013-RAE.

3. Крюковская, Н. С. Разработка программного модуля, генерирующего файл с G-кодом для наплавки упрочняющих валиков на стрелчатые лапы культиватора различных типоразмеров на установке типа 4D / Н. С. Крюковская. – Текст: непосредственный // Труды ГОСНИТИ. – 2018. – № 132. – С. 207-215.

4. Сварочные материалы для упрочняющей наплавки, восстановления и ремонта: каталог ESAB. – URL: <http://www.tkber.ru/sites/default/files/materials-for-the-repair-and-surfacing.pdf> (дата обращения: 1.06.2020). – Текст: электронный.

5. Катаев, Р. Ф. Расчет основных параметров режима механизированной дуговой сварки плавящимся электродом: методические указания к курсовому и дипломному проектированию / Р. Ф. Катаев. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. – 37 с. – Текст: непосредственный.

6. Рыбачук, А. М. Математическое моделирование физических процессов в дуге и сварочной ванне: учебное пособие / А. М. Рыбачук. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 74 с.: ил. – Текст: непосредственный.

7. Бухмиров, В. В. Справочные материалы для решения задач по курсу «Тепломассообмен»: учебное пособие / В. В. Бухмиров, Д. В. Ракутина, Ю. С. Солнышкова. – Иваново:

ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2009. – 102 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Kryukovskaya, N.S. Sovremennye metody uprochneniya rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh orudiy / N.S. Kryukovskaya // Trudy GOSNITI. – 2017. – T. 128. – S. 118-122.

2. Hrabě, P., Muller, M., Hadač, V. (2015). Evaluation of techniques for ploughshare lifetime increase. *Research in Agricultural Engineering*. 61. 72-79. 10.17221/73/2013-RAE.

3. Kryukovskaya, N.S. Razrabotka programmnogo modulya, generiruyushchego fayl s G-kodom dlya naplavki uprochnyayushchikh valikov na strelchatye lapy kultivatora razlichnykh tiporazmerov na ustanovke tipa 4D / N.S. Kryukovskaya // Trudy GOSNITI. – 2018. – No. 132. – S. 207-215.

4. Svarochnye materialy dlya uprochnyayushchey naplavki, vosstanovleniya i remonta: katalog

ESAB. URL: <http://www.tkber.ru/sites/default/files/materials-for-the-repair-and-surfacing.pdf> (data obrashcheniya: 1.06.2020).

5. Kataev, R.F. Raschet osnovnykh parametrov rezhima mekhanizirovannoy dugovoy svarki plavyashchimsya elektrodom: metodicheskie ukazaniya k kursovomu i diplomnomu proektirovaniyu / R.F. Kataev. – Ekaterinburg: UGTU-UPI, 2009. – 37 s.

6. Rybachuk, A.M. Matematicheskoe modelirovanie fizicheskikh protsessov v duge i svarochnoy vanne: uchebnoe posobie / A.M. Rybachuk. – Moskva: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2007. – 74 s.: il.

7. Bukhmirov, V.V. Spravochnye materialy dlya resheniya zadach po kursu «Teplomassoobmen»: uchebnoe posobie / V.V. Bukhmirov, D.V. Rakutina, Yu.S. Solnyshkova. – Ivanovo: GOU VPO «Ivanovskiy gosudarstvennyy energeticheskiy universitet imeni V.I. Lenina», 2009. – 102 s.



УДК 631.3

С.Ю. Булатов, А.И. Моисеев, А.П. Мансуров, Н.П. Шкилев, А.Г. Сергеев
S.Yu. Bulatov, A.I. Moiseyev, A.P. Mansurov, N.P. Shkilev, A.G. Sergeyev

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДЕЗИНТЕГРАТОРА ЗЕРНОВОЙ ПАТОКИ

THE RESEARCH FINDINGS ON THE OPERATION OF GRAIN MOLASSES DISINTEGRATOR

Ключевые слова: время нагрева, зерновая патока, дезинтегратор, качество, критерий оптимизации, крыльчатка, лопатка, температура, эксперимент, удельные энергозатраты, фактор.

Результаты научных исследований отечественных и зарубежных ученых свидетельствуют о положительном влиянии качественных кормов на здоровье и продуктивность животных. Однако в настоящее время в связи с резким сокращением площадей под корнеклубнеплоды произошло снижение содержания углеводов в рационах сельскохозяйственных животных. Их восполнение возможно за счет введения в рацион зерновой патоки, приготовление которой возможно в условиях хозяйства из собственного зерна. Нами предложена конструкция дезинтегратора, позволяющего получить зерновую патоку с наименьшими удельными затратами электроэнергии. Целью исследований является изучение рабочего процесса разработанного дезинтегратора. Исследование рабочего процесса предлагаемого дезинтегратора проводилось в составе уста-

новки для приготовления зерновой патоки. Заводской рабочий орган был заменен крыльчаткой с прямыми лопатками. Исследовалось влияние времени работы и количества лопаток крыльчатки дезинтегратора на температуру патоки и удельные энергозатраты. Для изучения взаимного влияния факторов на критерии оптимизации применяли теорию планирования эксперимента. Был реализован многоуровневый план эксперимента. Получены уравнения для расчета температуры зерновой патоки и удельных энергозатрат на ее приготовление в зависимости от времени приготовления и количества лопаток крыльчатки дезинтегратора. Выявлено, что предлагаемый дезинтегратор с крыльчаткой, имеющей 12 лопаток, позволяет сократить удельные энергозатраты при приготовлении патоки на 11,1% по сравнению с заводским дезинтегратором. При определении качества патоки выявлено, что готовая зерновая патока, приготовленная предлагаемым дезинтегратором с крыльчаткой, имеющей 12 лопаток, не содержит целых зерен, что свидетельствует о ее высокой степени однородности и качестве.