

i yachmenya na vitaminiy korm [Results of experimental studies to evaluate the effectiveness of UV irradiation, microwave treatment and artificial lighting in the germination of wheat and barley grains for vitamin feed]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*, 2019; 2: 42-50 (In Rus.)

11. Kondrat'eva N.P., Krasnolutsкая M.G. Il'yasov, I.R. Rezul'taty opytov po vliyaniyu UF oblucheniya na semena, iz kotorykh vyrashchivaetsya zeleniy korm na gidroponike [Results of experiments on the effect of UV radiation on seeds, from which green food is hydroponically grown]. *Agrotekhnika i energoobespechenie*, 2016; 4-2 (13): 6-14. (In Rus.)

Критерии авторства

Страхов В.Ю., Вендин С.В., Саенко Ю.В. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Страхов В.Ю., Вендин С.В., Саенко Ю.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 26.02.2021

Одобрена после рецензирования 28.04.2021

Принята к публикации 29.04.2021

Contribution

V.Yu. Strakhov, S.V. Vendin, Yu.V. Saenko performed theoretical studies, and based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. V.Yu. Strakhov, S.V. Vendin, Yu.V. Saenko have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 26.02.2021

Approved after reviewing 28.04.2021

Accepted for publication 29.04.2021

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 539.3

DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-42-48

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ОРГАНА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ

ЗАГОРУЙКО МИХАИЛ ГЕННАДЬЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент¹

zagoru-jko.misha2013@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7826-3773>

ВАСИЛЬЧИКОВ ВАЛЕНТИН ВЛАДИМИРОВИЧ, канд. техн. наук, доцент²

vasilchikovvv@sgau.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1521-3071>

КАТАЕВ ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ✉, канд. техн. наук, доцент¹

ykataev@rgau-msha.ru✉; <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>

МАМАХАЙ АНЖЕЛА КАНВЕКОВНА³

mamakhaeva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8582-108>

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

² Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова; 410012, Российская Федерация, г. Саратов, Театральная пл., 1

³ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

Аннотация. Основным условием приготовления кормов является обеспечение высокого качества готового продукта. При этом необходимо повышать эффективность работы и долговечность кормоизмельчителя путем оптимизации его конструктивных параметров с учётом физико-механических свойств перерабатываемого материала. Авторами исследован технологический принцип измельчения корнеклубнеплодов. Рассмотрен процесс работы промышленного кормоизмельчителя роторного типа при переработке свеклы и моркови. Применен метод планирования эксперимента. Прочностные характеристики элементов измельчителя проверялись в ходе проектировочного (подбор формы и угла заточки ножей) и проверочного расчётов на прочность (оценка прочностных характеристик ножей). Показано влияние основных геометрических параметров рабочего органа измельчителя: наклона ножа и угла заточки ножей – в приготовлении качественных кормов. Выявлено, что угол заточки ножей измельчителя следует рассчитывать

в зависимости от коэффициента трения исходного материала о корпус измельчителя, вида и свойств подаваемого материала. На основании данных, полученных в ходе лабораторного эксперимента и имитационного моделирования, для достижения большей универсальности с кормоизмельчителем выбрана комбинированная форма режущих кромок ножей – с прямой и зубчатой режущей кромкой измельчителя. Образцы режущих кромок в 30-кратном увеличении, полученные с применением инструментального микроскопа ММИ-2, показали, что оптимальной формой ножа является клин с двойным спуском.

Ключевые слова: корма, измельчитель корнеклубнеплодов, многофакторный эксперимент, оптимизация, имитационное моделирование.

Формат цитирования: Загоруйко М.Г., Васильчиков В.В., Катаев Ю.В., Мамахай А.К. Обоснование параметров рабочего органа измельчителя корнеклубнеплодов // *Агроинженерия*. 2021. № 3 (103). С. 42-48. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-42-48.

© Загоруйко М.Г., Васильчиков В.В., Катаев Ю.В., Мамахай А.К., 2021



ORIGINAL PAPER

DETERMINATION OF PARAMETERS OF THE WORKING IMPLEMENT OF A ROOT CROPPER

MIKHAIL G. ZAGORUIKO, PhD (Ag), Associate Professor¹

zagoru-jko.misha2013@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7826-3773>

VALENTIN V. VASILCHIKOV, PhD (Ag), Associate Professor²

vasilchikovvv@sgau.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1521-3071>

YURI V. KATAEV[✉], PhD (Ag), Associate Professor¹

ykataev@rgau-msha.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>

ANZHELA K. MAMAKHAY³

mamakhaeva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8582-108>

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya st., 49

² Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov; 410012, Russian Federation, Saratov, Teatralnaya Sq., 1

³ Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutskiy Proezd Str., 5

Abstract. The main condition for feed preparation is to ensure the high quality of the finished product. At the same time, it is necessary to increase the efficiency and durability of the feed chopper by optimizing its design parameters, taking into account the physical and mechanical properties of the processed material. The authors studied the technological principle of crushing root and tuber crops. The paper considers the operation of an industrial rotary feed chopper when processing beets and carrots. The experiment planning method is applied. The strength characteristics of the grinder elements were checked during design (selection of the shape and sharpening angle of knives) and verification calculations for strength (assessment of the strength characteristics of knives). The authors show the influence of the main geometric parameters of the working implement of the grinder – the knife inclination and the sharpening angle of the knives – on the preparation of high-quality feed. It was revealed that the sharpening angle of the grinder knives should be calculated depending on the friction coefficient of the initial material against the grinder body, as well as the type and properties of the supplied material. Based on the data obtained during the laboratory experiment and simulation modeling, in order to achieve greater versatility with the feed chopper, a combined shape of the cutting edges of the knives was chosen – that with a straight and serrated cutting edge of the chopper. Samples of cutting edges at 30x magnification, obtained using an instrumental microscope MMI-2, showed that the optimal shape of the knife is a wedge with a double escapement.

Key words: forage, root and tuber crusher, multifactor experiment, optimization, simulation.

For citation: Zagoruiko M.G., Vasilchikov V.V., Kataev Yu.V., Mamakhay A.K. Determination of parameters of the working implement of a root cropper. *Agricultural Engineering*, 2021; 3 (103): 42-48. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-42-48.

Введение. В современных условиях одним из путей совершенствования производства продукции животноводства является применение рациональных схем рабочего

оборудования при приготовлении и кормлении животных сочными кормами, которые в свою очередь служат ценным источником обогащения рациона [1, 2].

Для решения данной задачи необходимо широко внедрять практику использования несложных технологий и технических средств при приготовлении сочных кормов. Следует учесть, что особая эффективность от применения данного вида корма в рационах животных будет достигнута при условии его измельченного или запаренного вида. Внедрение, использование машин и оборудования для приготовления сочных кормов, позволяющих снижать энергозатраты при повышении продуктивности животных, являются важным условием для достижения экономического эффекта [1, 3-5].

К качеству и виду измельчения кормов корнеклубнеплодов предъявляются различные требования. Они определяются видом обработки и того, каким животным предназначены.

Зоотехническими требованиями для различных видов животных размеры измельчения варьируются по ширине 10...30 мм и толщине 5...10 мм [6, 7].

Анализ выпускаемых промышленностью измельчителей и машин для приготовления кормов показал их невысокие эксплуатационные показатели, а именно большую энергоёмкость и металлоёмкость.

При разработке данного типа машин необходимо учесть и технологические особенности процесса приготовления корма. Так, измельчение и приготовление корма за 1,5-2 ч до скармливания могут повлечь за собой порчу этого корма.

К перерабатываемым корнеклубнеплоды машинам предъявляются следующие зооинженерные требования [1]:

- возможность переработки широкого вида корнеклубнеплодов;
- исключение порчи корнеклубнеплодов рабочими органами машины;

- возможность регулирования качества подготовки корнеклубнеплодов в зависимости от его загрязнённости (мойка);
- наличие устройства для удаления механических примесей (камнеотборник);
- доступность обслуживания рабочих органов;
- максимальная автоматизация и цифровизация точной линии;
- достаточная производительность, обеспечивающая необходимый технологический процесс кормления;
- обеспеченность минимального отхода в виде сока и мезги рациональной схемой резки;
- обеспечение сохранности рабочих органов при аварийных ситуациях (предохранители);
- минимальные металлоёмкость, размеры;
- надёжность и простота в эксплуатации.

Цель исследования: повышение эффективности измельчителя корнеплодов и долговечности его элементов путем оптимизации конструктивных параметров с учетом физико-механических свойств перерабатываемого материала.

Материалы и методы. Основными конструктивными параметрами измельчителя являются диаметр, шаг витка, глубина нарезки, зазор между гребнем и корпусом шнека, угол наклона винтовой нарезки, ширина гребня [8].

Исследование технологического принципа резания основано на изучении систематического перемещения материала вращающимся шнеком.

Рассмотрим процесс работы измельчителя с ножами различной конфигурации.

В статье рассматривается промышленный кормоизмельчитель роторного типа (рис. 1), на который получен патент РФ № 2017116509 от 11.05.2017 г.

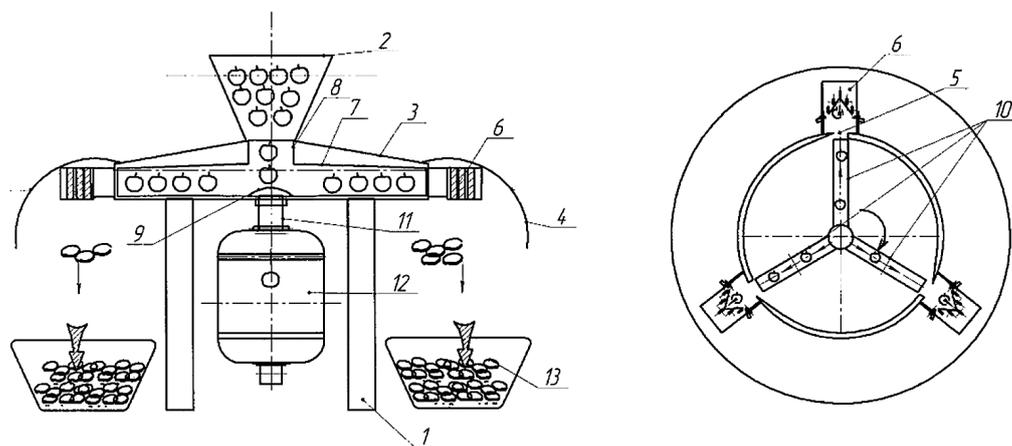


Рис. 1. Роторный измельчитель корнеклубнеплодов:

- 1 – станина; 2 – загрузочный бункер; 3 – корпус; 4 – отражатели; 5 – выпускные отверстия; 6 – ножевые стенки; 7 – центробежный ротор; 8 – горловина; 9 – сферический колпак; 10 – направляющие трубы; 11 – вал; 12 – электродвигатель; 13 – выгрузные ёмкости

Fig. 1. Rotary chopper of root crops:

- 1 – bed; 2 – loading hopper; 3 – housing; 4 – reflectors; 5 – outlet openings; 6 – knife walls; 7 – centrifugal rotor; 8 – neck; 9 – spherical cap; 10 – guide pipes; 11 – shaft; 12 – electric motor; 13 – discharge tanks

Принцип работы заключается в следующем. Перед загрузкой материала необходимо запустить электродвигатель 12 измельчителя, который задает

центробежному ротору 7 необходимую частоту вращения. Обрабатываемый материал через загрузочный бункер 2 поступает в горловину 8. Посредством

передачи крутящего момента валом 11 электродвигателя 12 центробежный ротор 7 через сферический колпак 9 равномерно распределяет материал по трём направляющим трубам 10.

В результате центробежной силы материал прижимается к цилиндрическому корпусу 3 и удаляется через выгрузные отверстия 5 в направлении ножевых стенок 6 с линейной скоростью, необходимой для полного разрезания. При этом материал проникает сквозь ножевые стенки 6, измельчается на ломтики необходимой толщины и далее через отражатели 4 поступает в выгрузные ёмкости 13.

Результаты и обсуждение. Для определения оптимальной формы сечения ножей данного измельчителя корнеклубнеплодов рассмотрим взаимодействие рабочего органа измельчителя с корнеклубнеплодами. На рабочий орган измельчителя (нож, резак) действуют следующие силы сопротивлений:

- направленная вниз сжимающая критическая сила сжатия ($P_{кр}$);
- направленная вверх сила сопротивления разрушению материала под режущей кромкой (усилие резания) (P_p);
- горизонтальные силы обжатия лезвия материалом ($P_{об}$);
- направленная вверх сила сопротивления материала сжатию (смятию) фаской лезвия ($P_{сж}$) (рис. 2).

Одними из основных параметров здесь являются усилие резания P_p и разрушающее напряжение σ_p [9].

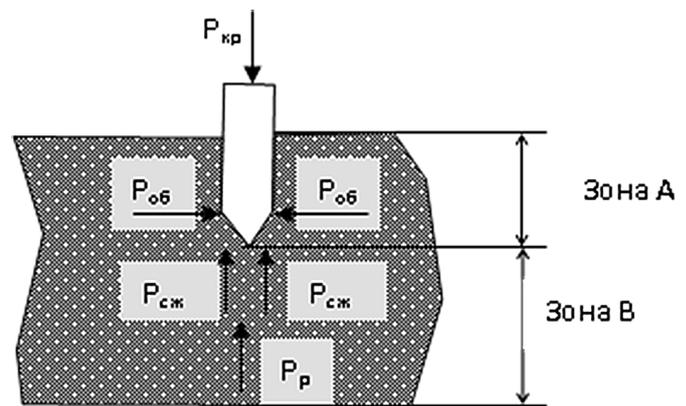


Рис. 2. Схема взаимодействия лезвия ножа с материалом:
Зона А – зона сжатия (малой деформации);
Зона В – зона деформации

Fig. 2. Diagram of the interaction of the knife blade with the material:

Zone A – compression zone (small deformation);
Zone B – deformation zone

Для определения оптимальной формы заточки ножей измельчителя первоначально проведём экспериментальные исследования, в ходе которых определим силы трения между ножом измельчителя и материалом (свекла, морковь). Экспериментальные исследования проведены на лабораторной установке, схема которой показана на рисунке 3.

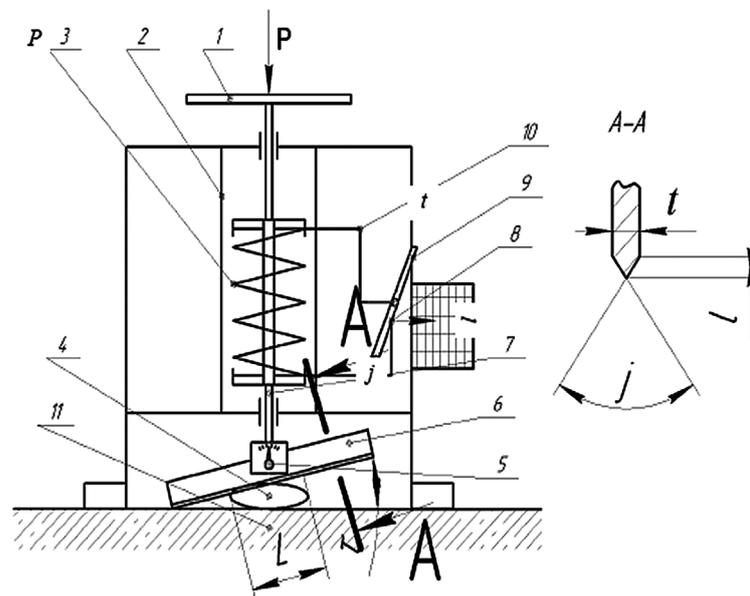


Рис. 3. Установка для исследования усилий разрушения корнеплодов:

- 1 – рукоятка; 2 – рама; 3 – пружина; 4 – исследуемый материал;
- 5 – жёстко зафиксированный нож; 6 – нож; 7 – подвижный вал;
- 8 – устройство регистрации; 9 – каретка самописца; 10 – передаточный механизм;
- 11 – противорежущая площадка; t – толщина ножа; l – длина заточки;
- L – длина режущей кромки, соприкасающейся с материалом; j – угол заточки

Fig. 3. Installation for studying the destruction forces of root crops:

- 1 – handle; 2 – frame; 3 – spring; 4 – studied material;
- 5 – rigidly fixed knife; 6 – knife; 7 – movable shaft;
- 8 – registration device; 9 – recorder carriage;
- 10 – transmission mechanism; 11 – anti-shearing platform; t – thickness of the knife;
- l – length of sharpening; L – length of the cutting edge coming into contact with the material;
- j – angle of sharpening

Возникающие при резке корнеклубнеплодов усилия определяли на установке, которая состоит из рамы 2 и подвижного вала 7 с жёстко зафиксированным на нём ножом 5 (рис. 3).

Подвижный вал имеет рукоятку 1 и пружину 3. При воздействии на рукоятку 1 сжимается пружина 3. Устройство регистрации 8 фиксирует деформацию пружины 3 посредством передаточного механизма 10. Замеры происходят с учетом различных углов режущего ножа относительно противорежущей площадки 11.

В ходе испытаний исследуемый корнеплод помещается в рамку и прижимается к исследуемой поверхности грузом.

Нормальная реакция поверхности может быть определена [1] как

$$R = G_1 + G_2 + G_3, \text{ Н}, \quad (1)$$

где G_1, G_2, G_3 – силы тяжести частей, Н.

Силу трения корнеклубнеплода при контакте с рабочей поверхностью ножа определим из формулы:

$$F_{\text{тр}} = (L_K - L_H)k, \text{ Н}, \quad (2)$$

где L_H, L_K – начальное и конечное положение указателя на регистраторе показаний, м; k – жёсткость пружины, Н/м.

Определим коэффициент трения корнеклубнеплода о поверхность:

$$f = \frac{(L_K - L_H)k}{G_1 + G_2 + G_3}. \quad (3)$$

Для определения теоретического угла заточки ножа замерим толщину ножа t (м) и длину заточки l (м):

$$\beta = ctgt / l. \quad (4)$$

В нашем случае, когда не все геометрические параметры ножей известны, можно задаться стандартными значениями заточки ножей для резки корнеплодов 20...35° [10].

Определим усилие резания из выражения:

$$F = kh, \text{ Н}, \quad (5)$$

где h – высота положения ножа, м. Данный параметр считается с регистрирующего устройства (самописца и т.п.).

Удельная сила резания –

$$P_{\text{рез}} = \frac{kh}{S}, \text{ Н/м}, \quad (6)$$

где S – активная длина лезвия ножа, м.

Если принять, что длина заточки соответствует активной длине ножа, то выражение (5) примет вид:

$$P_p = \frac{kh}{l}, \text{ Н/м}. \quad (7)$$

На основании проведенного двухфакторного эксперимента и полученной зависимости (7) строим график отклика (рис. 4), где зависимость линейная, а за отклик можно выбрать минимальные значения удельной силы резания.

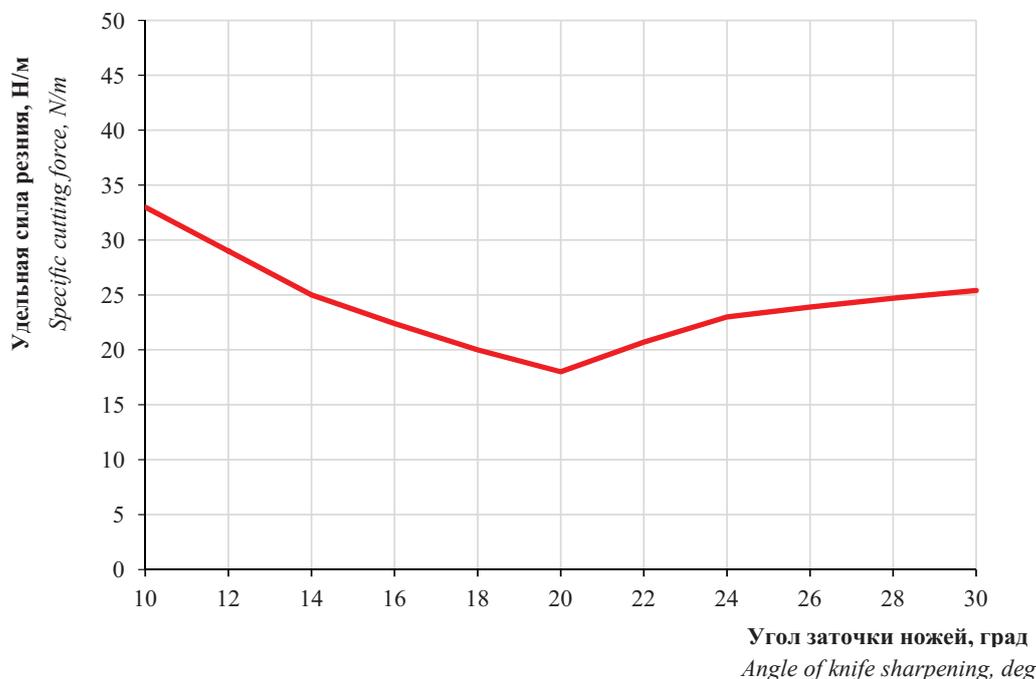


Рис. 4. Зависимость удельной силы резания от угла заточки

Fig. 4. Relationship between the specific cutting force and the sharpening angle

На основании данных, полученных в ходе лабораторного и численного экспериментов (имитационного моделирования) (рис. 5, 6), была выбрана оптимальная

форма ножей для кормоизмельчителя. Форма режущих кромок ножей была выбрана комбинированная: с прямой и зубчатой режущей кромкой измельчителя

для достижения большей универсальности с кормоизмельчителем. Образцы режущих кромок в 30-кратном увеличении, полученные с применением инструментального микроскопа ММИ-2, представлены на рисунке 5.

Оптимальная форма ножей, представленная на рисунке 6, была выбрана на основе прочностного анализа с применением имитационного моделирования нескольких стандартных форм режущих кромок ножей для кормоизмельчителей. Наличие зеленых зон говорит о допустимом уровне напряжений, а красных – о критических значениях. В нашем случае наименьшие напряжения возникали в поперечном сечении ножей зубчатой формы, так как общая площадь волнообразной формы режущей кромки ножей больше, чем у ножей с прямым лезвием. Кроме того, закруглённая форма зубьев позволяет усилиям равномерно распределяться по всей режущей кромке.

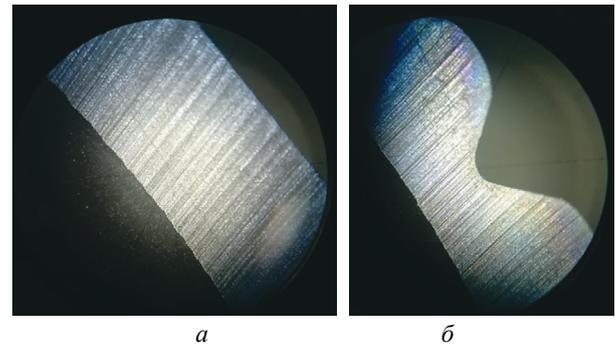


Рис. 5. Режущая кромка ножа измельчителя треугольной формы:
а – с прямым лезвием;
б – с зубчатым лезвием (нож обратного хода)

Fig. 5. Cutting edge of a triangular-shaped chopper knife:
a – with a straight blade;
b – with a serrated blade (reverse knife)

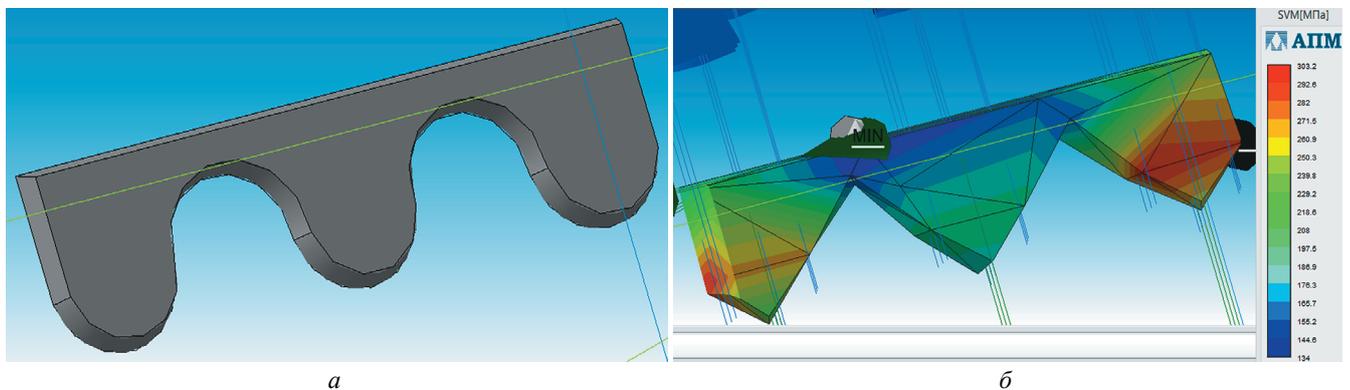


Рис. 6. Прочностной анализ режущей кромки ножа измельчителя треугольной формы МКЭ, реализованный в программном комплексе Компас 3D V16:

а – имитационная модель режущей кромки; б – прочностной анализ методов конечных элементов

Fig. 6. Strength analysis of the cutting edge of the knife of the triangular shape chopper MKE, implemented in the Compass 3D V16 software package:

a – imitation model of the cutting edge; b – strength analysis of finite element methods implemented in software (Kompas 3D)

Выводы

1. На основании проведённого эксперимента с применением имитационного моделирования определено, что одним из наиболее нагруженных элементов конструкции измельчителя является деталь «нож».

2. Оптимальным углом заточки кромок ножей является 20° .

3. Для кормоизмельчителя оптимальной является зубчатая форма режущих кромок ножей.

Библиографический список

1. Изучение измельчителей корнеклубнеплодов: Лабораторные работы / С.М. Ведищев, А.В. Прохоров, А.В. Брусенков. Тамбов: Изд-во Тамбовского государственного технического университета, 2008. 36 с.

2. Frolov V.Y., Kotelevskaya E.A., Tumanova M.I. Theoretical aspects of the working process of a press extruder with a variable step auger for preparation of concentrated feed. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. P. 52003. DOI: 10.1088/1755-1315/548/5/052003

References

1. Vedishchev S.M., Prokhorov A.V., Brusenkov A.V. Izuchenie izmel'chiteley korneklubneplodov: Laboratornye raboty xStudy of root and tuber grinders: Laboratory workshop]. Tambov, Izd-vo Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2008: 36. (In Rus.)

2. Frolov V.Y., Kotelevskaya E.A., Tumanova M.I. Theoretical aspects of the working process of a press extruder with a variable step auger for preparation of concentrated feed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union*

3. Дорохов А.С. Эффективность оценки качества сельскохозяйственной техники и запасных частей // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2015. № 1 (65). С. 31-35.

4. Лебедь Н.И. Обоснования конструктивных параметров и режимов работы измельчителя яблок: Дис. ... канд. техн. наук. Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2013, 192 с.

5. Елисеев М.С., Загоруйко М.Г., Рыбалкин Д.А. Анализ факторов, влияющих на эффективность процесса измельчения // Аграрный научный журнал. 2017. № 7. С. 62-66.

6. Spagnoli A., Brighenti R., Terzano M. et al. (2019) Cutting resistance of soft materials: effects of blade inclination and friction. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 101. Pp. 200-206. DOI:10.1016/j.tafmec.2019.02.017

7. Горюшинский В.С. Совершенствование резания корнеплодов с обоснованием параметров измельчителя: Дис. ... канд. техн. наук. Пенза: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2004. 145 с.

8. Хабарова В.В. Разработка измельчителя корнеплодов с обоснованием его параметров и режимов работы: Дис. ... канд. техн. наук. Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2011. 183 с.

9. Мухин В.А. Механизация приготовления кормов / В.А. Мухин. Саратов: СГСХА, 1994. 186 с.

10. Нож измельчителя, а также контрнож для измельчительного устройства и способ их изготовления: Патент RU2311015 C2, РФ, МПК A01F 29/00 A01F 29/02, B02C18/18, B21D53/72 / Фланхардт Михель (DE), Платц Карлфрид (DE), Гренинг Манфред (DE) и др. Заявитель и патентообладатель Распе Зюстемтехник ГМБХ УНД КО.КГ (DE). № 2005111506/12. Опубл. 27.11.2007 г. Бюл. № 30.

of Scientific and Engineering Associations. 2020: 52003. DOI: 10.1088/1755-1315/548/5/052003

3. Dorokhov A.S. Effektivnost' otsenki kachestva sel'skokhozyaystvennoy tekhniki i zapasnykh chastey [Effectiveness of assessing the quality of agricultural machinery and spare parts]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2015; 1(65): 31-35. (In Rus.)

4. Lebed' N.I. Obosnovanie konstruktivnykh parametrov i rezhimov raboty izmel'chatelya yablok [Justification of design parameters and operating modes of the apple grinder]: PhD (Eng) thesis. Volgograd, Volgogradskiy gosudarstvennyy agrarniy universitet, 2013: 192. (In Rus.)

5. Eliseev M.S., Zagoruiko M.G., Rybalkin D.A. Analiz faktorov, vliyayushchikh na effektivnost' protsessy izmel'cheniya [Analysis of factors affecting the efficiency of grinding]. *Agrarniy nauchnyy zhurnal*, 2017; 7: 62-66. (In Rus.)

6. Spagnoli A., Brighenti R., Terzano M. et al. Cutting resistance of soft materials: effects of blade inclination and friction. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 2019; 101: 200-206. DOI: 10.1016/j.tafmec.2019.02.017

7. Goryushinsky V.S. Sovershenstvovanie rezaniya korneplodov s obosnovaniem parametrov izmel'chatelya [Improvement of cutting root crops with determination of the grinder parameters]: PhD (Eng) thesis. Penza, Penzenskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya, 2004: 145. (In Rus.)

8. Khabarova V.V. Razrabotka izmel'chatelya korneplodov s obosnovaniem ego parametrov i rezhimov raboty [Development of a root crop grinder with substantiation of its parameters and operating modes]: PhD (Eng) thesis. Ufa, Bashkirskiy gosudarstvennyy agrarniy universitet, 2011: 183. (In Rus.)

9. Mukhin V.A. Mekhanizatsiya prigotovleniya kormov [Mechanization of feed preparation]. Saratov, SGSKhA, 1994: 168. (In Rus.)

10. Flanhardt Michel, Platz Karlfried, Groening Manfred et al. Shredder knife, as well as a counter knife for the shredding device and the method of their manufacture: Patent RU2311015 C2, RF, IPC A01F 29/00 A01F 29/02, B02C18/18, B21D53/72. Applicant and patentee Raspe Süstemtechnik GMBH UND CO.KG (DE), 2007. No. 2005111506/12. Issued on 27.11.2007. Bul. No. 30.

Критерии авторства

Загоруйко М.Г., Васильчиков В.В., Катаев Ю.В., Мамахай А.К. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и подготовили рукопись. Загоруйко М.Г., Васильчиков В.В., Катаев Ю.В., Мамахай А.К. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 12.03.2021

Одобрена после рецензирования 27.05.2021

Принята к публикации 27.05.2021

Contribution

M.G. Zagoruiko, V.V. Vasilchikov, Yu.V. Kataev, A.K. Mamakhay performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. M.G. Zagoruiko, V.V. Vasilchikov, Yu.V. Kataev, A.K. Mamakhay have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 12.03.2021

Approved after reviewing 27.05.2021

Accepted for publication 27.05.2021