

7. Molodyk N.V. Sovershenstvovanie sistemy tekhnicheskogo servisa v agropromyshlennom komplekse v sovremennykh usloviakh khoziaistvovaniia. – Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2008. S. 211-216.

8. Kravchenko I.N., Chepurin A.V., Kolomoichenko A.A. Proektirovanie predpriatii tekhnicheskogo servisa. Moskva, 2015. 352 s.

9. Kruzhkova T.I., Rushchitskaia O.A., Stozhko K.P., Stozhko D.K. Tekhnicheskii servis v APK kak faktor ustoichivogo razvitiia agrarnoi ekonomiki // Agrarnyi Vestnik Urala. 2020. Spetsialnyi vypusk «Ekonomika». S. 46-53.

10. Solovev S.A, Goriachev S.A. O programme modernizatsii inzhenerno-tekhnicheskoi sistemy APK Rossii, Belorussii i Kazakhstana. – Nauka / Interperiodika (Moskva). Problemy prognozirovaniia. 2016. No. 1. S.149-154.

11. Buraev M.K. Proizvodstvenno-tekhnicheskaiia ekspluatatsiia MTP v sisteme agrotekhservisa // Remont, vosstanovlenie, modernizatsiia. 2008. No. 2. S. 42-46.

12. Anosova A.I., Buraev M.K. Sovershenstvovanie tekhnicheskogo servisa v APK na osnove otsenki i analiza tekhnologicheskogo urovnia remontnykh predpriatii // Dostizheniia nauki i tekhniki APK. 2014. T. 28. No. 10. S. 65-68.



УДК 672.719.9:631.363.25

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-241-11-73-77

И.В. Семенов, Ю.А. Шапошников

I.V. Semenov, Yu.A. Shaposhnikov

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ТРАВЯНОГО СТЕБЛЯ ПРИ НОРМАЛЬНОМ, НАКЛОННОМ И СКОЛЬЗЯЩЕМ РЕЗАНИИ

SIMULATION OF GRASS STEM CHOPPING WITH NORMAL, INCLINED AND SLIDING CUTTING

Ключевые слова: механические свойства растительного сырья, измельчение растительного сырья, усилие резания, энергетика измельчения, математическое моделирование, конечно-элементный анализ.

Исследовательская работа направлена на изучение процесса резания травяных стеблей в режимах нормального, наклонного и скользящего резания. Моделирование исследуемых процессов проводилось в динамических условиях посредством конечно-элементного анализа в программе Ansys. Решаемые в рамках исследования задачи актуальны при конструировании и выборе оптимальных параметров инструмента. Объектом исследования и математического моделирования является технологическая операция измельчения травяного стебля. Предмет исследования – зависимость технологического усилия и работы резания в зависимости от угла наклона лезвия ножа. Цель работы заключалась в оценке эффективности резания ножами с различным углом наклона лезвия. Ход работы включал в себя несколько этапов: выбор механических свойств измельчаемого сырья и создание модели травяного стебля, трехмерного моделирования инструмента и оснастки, проведение конечно-элементного анализа и обработка результатов. Конечно-элементный анализ позволил визуально оценить поведение материала при резании и определить искомые значения усилия и работы резания. Анализ результатов расчета позволил установить, что режимы наклонного и скользящего ре-

зания позволяют снизить удельную нагрузку на лезвие. Установлено также, что переход к наклонному и скользящему режиму не уменьшает удельный расход энергии, по сравнению с нормальным режимом резания. По результатам моделирования зафиксировано, что переход от наклонного режима резания к скользящему происходит уже при наклоне лезвия 30° . В ходе проводимой работы выполнены все исследовательские задачи, в результате достигнута цель проводимого исследования.

Keywords: mechanical properties of plant raw materials, chopping of plant raw materials, cutting force, chopping energy, mathematical simulation, final element analysis.

The research goal is to study the process of cutting grass stems in the modes of normal, inclined and sliding cutting. The studied processes were simulated in dynamics by using final element analysis in the Ansys software. The tasks solved in the study are relevant for the design and selection of optimal tool parameters. The target of research and mathematical simulation is the technological operation of grass stem chopping. The research subject is the dependence of technological effort and cutting operation on the angle of inclination of the knife blade. The goal was to evaluate the effectiveness of cutting with knives of different blade inclinations angles. The study included several stages - the selection of the mechanical properties of the chopped raw materials and the development of a grass

stem model, three-dimensional simulation of tools and equipment, conducting final element analysis and processing of the results. The final element analysis enabled to visually evaluate the behavior of the material at cutting and determine the desired values of the cutting force and energy consumption. The analysis of the calculation results revealed that the modes of inclined and sliding cutting re-

duced the specific load on the blade. It was also found that the switch to the inclined and sliding modes did not reduce the specific energy consumption compared to the normal cutting mode. According to the simulation results, it was found that the transition from the inclined cutting mode to the sliding one occurred already at the blade inclination of 30°.

Семенов Илья Владимирович, аспирант, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: ilyasemenov9715@mail.ru.

Шапошников Юрий Андреевич, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: u_shaposhnikov@mail.ru.

Semenov Ilya Vladimirovich, post-graduate student, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: ilyasemenov9715@mail.ru.

Shaposhnikov Yuriy Andreevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: u_shaposhnikov@mail.ru.

Введение

В рамках научно-исследовательской работы получена информация о влиянии угла наклона режущей кромки на режим резания (нормальное, наклонное или скользящее) и технологическое усилие резания. Актуальность работы заключается в необходимости математического моделирования процесса измельчения стеблевой массы для экономии ресурсов при проектировании оборудования.

Практическая значимость: сведения об энергоемкости и нагрузках в процессе измельчения, а также наличие апробированной математической модели процесса позволяют оценить эффективность выбранной конструкции ножа. При этом значительно снижаются трудоемкость и время выбора оптимальных параметров конструкции [1-5].

Объектом исследования является технологическая операция измельчения травяного стебля. Предмет исследования – зависимость технологического усилия и работы резания в зависимости от угла наклона лезвия ножа.

Целью проводимого исследования является оценка эффективности резания ножами с различной величиной наклона лезвия при помощи расчетной конечно-элементной модели.

В **задачи** исследования входит определение:

- 1) технологического усилия операций;
- 2) энергетических затрат;
- 3) режима резания, в зависимости от конструкции ножа.

Материалы и методы проведения исследования

Для резания с помощью ножей различной конструкции принято различать процессы трех

типов: нормальное, наклонное и скользящее резание. Нормальное резание осуществляется ножом с нулевым углом наклона лезвия – такое резание принято называть рубкой. При этом не происходит перемещение материала вдоль режущей кромки.

Наклонное резание осуществляется при помощи ножа, лезвие которого имеет угол наклона к горизонту. В этом случае реакция на инструменте складывается из осевой и боковой компоненты, последняя стремится вытолкнуть материал из зоны защемления, но скольжения при этом не происходит. Профессор Н.Е. Резник установил, что при наклонном резании без скольжения резание производится нормальным давлением, но угол заточки лезвия кинематически трансформируется (заостряется).

Академиком В.П. Горячкиным отмечено, что при резании растительных волокон решающее значение имеет скользящее движение ножа. Скользящее резание может осуществляться как наклонным, так и прямым лезвием при движении ножа по двум осям одновременно (движение по касательной и поперечная подача). При скольжении материал разрушается в результате абразивного действия микронеровностей и высокого контактного давления со стороны лезвия [6, 7].

Для проведения исследования была создана трехмерная модель, в которой травяной стебель (длина 25 мм, диаметр 5 мм) уложен на две неподвижные опоры. Нож при этом проходит с зазором 0,5 мм между опорами и разрезает стебель. Механические свойства модели травяного стебля представлены в таблице [8]. В рамках расчета применялись ножи с наклоном лезвия α от 0° до 60° с шагом в 10° (рис. 1).

Перечень механических свойств травяного стебля

Наименование параметра	Плотн., кг/м ³	Мод. упр., ГПа	Коэф. Пуассона	Объем. мод. упр., ГПа	Мод. сдв., ГПа	Проч. растяж., МПа	Проч. сдвиг., МПа
Значение	693	0,7	0,3	0,583	0,269	15	1

В ходе работы был выполнен конечно-элементный анализ резания в расчетной программе Ansys (модуль Explicit Dynamics). Процесс осуществлялся перемещением ножей с заданной скоростью – 30 м/с для всех расчетов. Отклик на нагрузку фиксировался программными средствами по двум параметрам – удельное усилие резания (кН/м) и удельная работа резания (кДж/м²) [1, 2]. Значения усилий определяются по направлению движения инструмента (осевое усилие), а также в направлении наклона режущей кромки (боковое усилие). Следует отметить, что в процессе исследования сравниваются усредненные значения усилия при каждом случае резания. Работа определялась с учетом увеличения хода инструмента, так как высота рабочей части ножей увеличивается пропорционально наклону лезвия α .

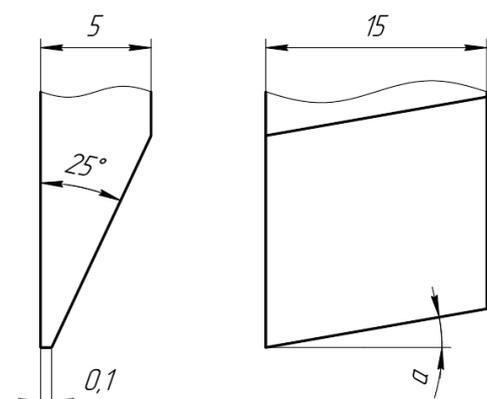


Рис. 1. Эскиз используемых ножей

Результаты исследований и их обсуждение

Моделирование показало успешное разрезание травяного стебля всеми моделями ножей (для примера на рисунке 2 приведен кадр работы ножа с углом наклона лезвия 30°). Во всех случаях резания ножами с наклонным лезвием образец материала испытывал сжатие и начало разрушения раньше, чем смещался в боковом направлении от лезвия. Это объясняется динамичностью нагружения и инерцией самого стебля. При дальнейшем наблюдении установлено, что при углах наклона 10° и 20° материал заминается лезвием, а начиная с 30° лезвие проскальзывает.

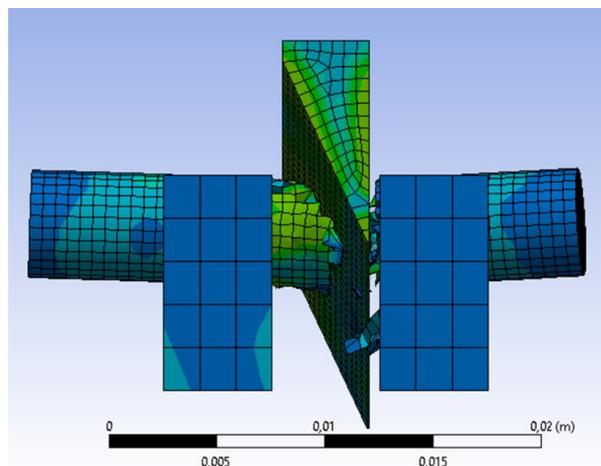


Рис. 2. Перерезание стебля ножом

В результате конечно-элементного анализа определены искомые значения осевого и бокового усилия, а также затраченная энергия. Усредненные значения усилия представлены на графике (рис. 3), где по оси X отложены значения наклона режущей кромки, по оси Y – удельные усилия, по Y₂ – удельная работа.

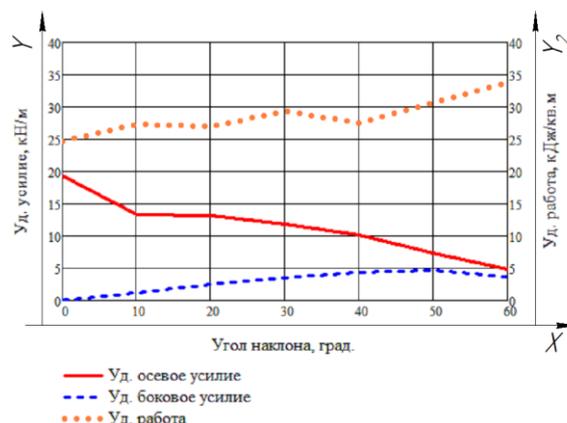


Рис. 3. График удельных значений усилия и работы

На графике можно видеть, что наклон лезвия существенно снижает удельную нагрузку в осевом направлении, по сравнению с нормальным резанием. Важно отметить, что следствием снижения осевой нагрузки является уменьшение нагрузки на клин лезвия. Это усилие изгибает нож в направлении его толщины, где жесткость сечения наименьшая. В то же время происходит

закономерное увеличение боковой компоненты усилия. Действие в боковом направлении стремится изогнуть нож в направлении его ширины, где жесткость сечения наибольшая. Таким образом, работа в наклонном и скользящем режиме резания уменьшает нагрузку на инструмент.

Также на графике можно увидеть, что режимы наклонного и скользящего резания не позволяют снизить удельный расход энергии. Удельная работа для ножей с большим наклоном лезвия увеличивается в связи с преодолением сил трения скольжения, так как режущая кромка становится геометрически длиннее.

Заключение

В ходе расчета на математической модели, в среде конечно-элементного анализа, был смоделирован и апробирован процесс резания исходного материала ножами с прямыми и наклонными лезвиями. Обработка результатов математического моделирования позволила сделать следующие выводы:

1) режим наклонного и скользящего резания, при прочих равных с режимом нормального резания, снижает удельную нагрузку на лезвие, что положительно сказывается на прочности и долговечности инструмента;

2) режимы наклонного и скользящего резания не уменьшают удельный расход энергии, по сравнению с нормальным резанием;

3) начало скольжения материала при резании можно зафиксировать уже при наклоне лезвия 30°;

4) наиболее эффективными по силовым и энергетическим характеристикам являются ножи с наклоном лезвия от 30° до 40°. Их использование реализует скользящее резание, а работа сил трения ниже, чем у лезвий с наклоном более 40°. Кроме того, ножи с меньшим наклоном лезвия конструктивно проще устанавливать в технологическом оборудовании, например, в ножевых барабанах.

В результате проделанной работы поставленная цель исследования полностью достигнута.

Библиографический список

1. Семенов, И. В. Моделирование процесса резания стеблей при статической нагрузке / И. В. Семенов, Ю. А. Шапошников. – DOI 10.25699/SSSB.2022.46.6.013. – Текст: непосредственный // Южно-Сибирский научный вест-

ник. – 2022. – № 6 (46). – С. 137-142. – EDN МТТХОQ.

2. Семенов, И. В. Моделирование процесса резания стеблей при динамической нагрузке / И. В. Семенов, Ю. А. Шапошников. – DOI 10.25699/SSSB.2023.48.2.003. – Текст: непосредственный // Южно-Сибирский научный вестник. – 2023. – № 2 (48). – С. 113-118. – EDN JXGQCC.

3. Миренков В. В. Анализ напряженно-деформированного состояния ножа измельчающего барабана кормоуборочного комбайна / В. В. Миренков, В. Ф. Хиженок, П. Е. Родзевич. – Текст: непосредственный // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. – 2014. – № 1 (56). – С. 20-28.

4. Гу, С. Анализ надежности ротора в измельчителе кормов на основе ANSYS / Синвэй Гу, Дэчэн Ван, Гуанхуэй Ван [и др.]. – DOI 10.13031/aim.201700534. – Текст: электронный // Ежегодное международное совещание ASABE 2017, Спокан, штат Вашингтон, 16-19 июля 2017 года / Американское общество инженеров сельского хозяйства и биологии. – Сент-Джозеф, Мичиган, 2017. – с. 1. – URL: https://www.researchgate.net/publication/320790975_Reliability_Analysis_of_The_Rotor_in_The_Forage_Grinder_Based_on_ANSYS.

5. Вольвак, С. Ф. Анализ математической модели технологического процесса измельчения стебельчатых кормов / С. Ф. Вольвак, В. И. Шаповалов. – Текст: непосредственный // Известия Международной академии аграрного образования. – 2015. – Т. 1. – С. 90-93.

6. Мельников, С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С. В. Мельников. – Ленинград: Колос. Ленингр. отд-ние, 1978. – 560 с., ил. – Текст: непосредственный.

7. Механизация животноводческих ферм: [для ин-тов и фак. механизации сел. хоз-ва] / С. В. Мельников, П. В. Андреев, В. Ф. Базенков [и др.]. – Москва: Колос, 1969. – 440 с.: ил.; 22 см. – Текст: непосредственный.

8. Ясинскас, А. Оценка физико-механических свойств травянистых биоэнергетических растений / А. Ясинскас, А. Сакалаускас, Р. Домейка. – Текст: непосредственный // Биомасса и биоэнергия. – 2008. – Т. 32, № 10. – С. 952-958.

References

1. Semenov, I.V. Modelirovanie protsesssa rezaniia steblei pri staticheskoj nagruzke / I.V. Se-

menov, Iu.A. Shaposhnikov // Iuzhno-Sibirskii nauchnyi vestnik. – 2022. – No. 6 (46). – S. 137-142. – DOI 10.25699/SSSB.2022.46.6.013.

2. Semenov, I.V. Modelirovanie protsessa rezaniia stebel' pri dinamicheskoi nagruzke / I.V. Semenov, Iu.A. Shaposhnikov // Iuzhno-Sibirskii nauchnyi vestnik. – 2023. – No. 2 (48). – S. 113-118. – DOI 10.25699/SSSB.2023.48.2.003.

3. Mirenkov, V.V. Analiz napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia nozha izmelchaishego barabana kormoborochnogo kombaina / V.V. Mirenkov, V.F. Khizhenok, P.E. Rodzevich // Vestnik Gomelskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo. – 2014. – № 1 (56). – S. 20-28.

4. Gu Kh. Analiz nadezhnosti rotora v izmelchitele kormov na osnove ANSYS // Ezhegodnoe mezhdunarodnoe soveshchanie ASABE 2017. –

Amerikanskoe obshchestvo inzhenerov selskogo khoziaistva i biologii, 2017. – S. 1.

5. Volvak S.F., Shapovalov V.I. Analiz matematicheskoi modeli tekhnologicheskogo protsessa izmelcheniia stebelchatykh kormov // Izvestiia Mezhdunarodnoi akademii agrarnogo obrazovaniia. 2015. T. 1. S. 90-93.

6. Melnikov S.V. Mekhanizatsiia i avtomatizatsiia zhivotnovodcheskikh ferm. – Leningrad: Kolos. Leningr. otdelenie. 1978. – 560 s., il.

7. Mekhanizatsiia zhivotnovodcheskikh ferm: [Dlia in-tov i fak. mekhanizatsii sel. khoz-va] / S.V. Melnikov, P.V. Andreev, V.F. Bazhenkov i dr. – Moskva: Kolos, 1969. – 440 s.

8. Iasinskas A., Sakalauskas A., Domeika R. Otsenka fiziko-mekhanicheskikh svoistv travianistykh bioenergeticheskikh rastenii // Biomassa i bioenergiia. – 2008. – T. 32. – No. 10. – S. 952-958.



УДК 621.316.1.13

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-241-11-77-84

Р.В. Вензелев

R.V. Venzelev



**ВОЗМОЖНОСТЬ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ
АВТОНОМНОГО УСТРОЙСТВА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ
ПЛОСКОСТНОГО КОНТАКТНОГО СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ШИН
ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

**POSSIBILITY OF DEVELOPING AND USING AN AUTONOMOUS DEVICE
FOR ACOUSTIC EMISSION OF A PLANE CONTACT CONNECTION
OF ELECTRICAL BUSES TO EVALUATE ITS TECHNICAL CONDITION**

Ключевые слова: мониторинг, контроль, техническое состояние, контакты, электрические шины, акустическая эмиссия, дефектоскопия, ультразвук.

Исследуется возможность разработки и применения автономного устройства акустической эмиссии для оценки технического состояния плоскостных контактных соединений электрических шин, используемых в распределительных устройствах напряжением 0,4-35 кВ. В условиях современных энергосистем, где контроль и выявление на ранних стадиях развития дефектов в контактных соединениях играют одну из ключевых ролей, влияющих на уровень надежности электроустановок, предложенное устройство акустической эмиссии может значительно повысить качество контроля, особенно в случаях, когда традиционные методы, например, тепловизионный контроль, не могут быть эффективно применены. Предложенное устрой-

ство включает в себя блок управления, генератор импульсов, излучающий и принимающий пьезоэлектрические преобразователи, аттенюатор, усилитель, аналого-цифровой преобразователь, блок памяти, аккумулятор, датчик температуры и модуль беспроводной передачи данных, что позволяет проводить контроль дистанционно в реальном времени и передавать данные на удаленный пункт управления без необходимости участия оператора. В ходе исследования была предложена усовершенствованная структурная схема дефектоскопа, а также проведены стендовые исследования, которые показали стабильность амплитуды при измерении уровня ультразвукового сигнала, проходящего через контактное соединение, находящееся под напряжением, достигающим 80 кВ. Результаты работы подтверждают эффективность применения устройства ультразвуковой эмиссии контактов шин, реализованного на базе ультразвукового дефектоскопа при его мо-