

УДК 631.361+574

DOI: 10.17277/voprosy.2023.04.pp.007-023

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСЛОВИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ КОРМОВ ДЛЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

А. В. Брусенков, Н. П. Пучков

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический
университет», Тамбов, Россия*

Ключевые слова: зоотехнические требования; измельчение; конструктивно-режимные параметры устройства; кормо-приготовление; корнеплоды; лабораторные испытания технологии экологического производства; поточно-технологическая линия; резание; экологически чистое приготовление кормов.

Аннотация: На основе проведенного анализа экологической эффективности предприятий переработки корнеклубнеплодов предложена новая конструктивно-технологическая схема их измельчения, показавшая свою эффективность в процессе экспериментальных исследований. Дана оценка влияния конструктивно-режимных параметров измельчителей на производительность, энергоемкость и качество выходного продукта. Обосновано улучшение экологической обстановки производства за счет изменения технологии процесса резания.

Введение

На повышение качества усвояемости любого кормового продукта большое влияние оказывают способы его подготовки и переработки. Мировой и отечественный опыт показывает, что для сельскохозяйственных животных наиболее эффективно использование полнорационных кормосмесей с предварительно приготовленными компонентами и добавками, включая и корнеклубнеплоды [1 – 8]. В связи с этим требуется освоение новых энергосберегающих технологий и эффективного использования дешевых, отвечающих самым жестким требованиям качества высокоэнергетических кормов, производство безопасных продуктов. Помимо

Брусенков Алексей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Агроинженерия», e-mail: aleksei_brusenkov@mail.ru; Пучков Николай Петрович – доктор педагогических наук, профессор кафедры «Высшая математика», ТамбГТУ, Тамбов, Россия.

того, стремление все большего использования отходов в качестве вторичных кормовых ресурсов имеет существенное экологическое и природоохранное значение [9].

Одним из основных способов повышения эффективности использования корнеклубнеплодов является их измельчение, которое проводят в целях ускорения процессов их переваривания в желудке животных, повышения усвояемости питательных веществ и, как следствие, – увеличения продуктивности и качества получаемой продукции. В зависимости от того, каким животным предназначены корнеклубнеплоды, зоотехническими требованиями предусмотрены следующие параметры: толщина резки корнеклубнеплодов для скармливания крупному рогатому скоту (в смеси) составляет – 10...15 мм, телятам и свиньям – 5...10 мм, птице – 3...4 мм при ширине 10...30 мм и длине, равной длине продукта; допускается загрязненность не более 3 %. По имеющимся данным загрязненность корнеклубнеплодов в зависимости от природно-климатических условий, сроков и способов уборки достигает 28 %. Современной технологией не предусмотрено возвращение отделенной почвы на поля, что является одной из причин зарождения экологической катастрофы. При закладке корнеклубнеплодов в составе комбисилосов требования к загрязненности и качеству измельчения те же, что и при выдаче животным в составе смеси с другими кормами [1, 4]. В то же время, для лучшего смачивания кормов клеточным соком и оптимального их перемешивания можно использовать и более мелкое измельчение, например, при скармливании в смеси с концентрированными и грубыми кормами, так как это улучшает их усвояемость и поедаемость [10, 11].

Рационы кормления сельскохозяйственных животных постоянно изменяются, находят применение много новых различных компонентов, соответственно совершенствуется и усложняется процесс кормоприготовления, его становится трудно механизировать одной серийной машиной. В результате для механизации производственных процессов на животноводческих фермах и комплексах используют различные машины и оборудование, как индивидуально, так и в составе поточно-технологических линий (ПТЛ). Учитывая тот факт, что несоблюдение режима кормления и объема поедания животными снижает их продуктивность, любая машина, входящая в ПТЛ, должна быть достаточно производительной, все оборудование – максимально надежным; обслуживать все поголовье животных и обеспечивать эффективное выполнение всего процесса [12, 13]. Скармливание животным, например коровам, кормосмесей, приготавливаемых в таких цехах, в сравнении с отдельным скармливанием компонентов рациона, заметно повышает рентабельность производства молока за счет увеличения продуктивности коров и снижения удельного расхода на их содержание, но при этом используемое оборудование отличается высокой себестоимостью и большими затратами на энергоресурсы.

Применяемые для кормления сельскохозяйственных животных корма различаются по таким физико-механическим свойствам, как размерные характеристики, объемная масса, плотность, влажность, усилия для их разрушения и так далее, от которых зависит, в конечном счете, энергоемкость всего процесса переработки [14 – 16]. Эти свойства необходимо изу-

чать применительно к конкретным технологическим условиям и начальным этапам их исследования. Практика использования оборудования позволяет утверждать, что из-за большого разнообразия физико-механических свойств кормов, а также широкого спектра конструкций машин процесс измельчения корнеклубнеплодов исследован недостаточно, не обозначены пути и методы его оптимизации. Анализ конструкций машин для измельчения корнеклубнеплодов показывает, что выпускаемые промышленностью машины металлоемки, имеют достаточно низкие показатели качества измельчения, высокую энергоемкость выполняемого процесса, а конечное качество корма не всегда отвечает зоотехническим требованиям [16 – 22]. Исходя из этих обстоятельств, основная *цель дальнейших исследований* – отыскание условий и режимов работы измельчающих кормовую продукцию машин с наименьшими затратами энергии при соответствии качества получаемой продукции зоотехническим требованиям.

Материалы и методы

Процессы взаимодействия рабочих органов машин для резания корнеклубнеплодов достаточно сложны, поэтому их описание точными математическими уравнениями связано с большими трудностями, а в ряде случаев практически невозможно, поэтому выбор способов измельчения, как и параметров измельчителей, осуществляется экспериментально. При выборе способа измельчения и конструирования рабочих органов необходимо учитывать, что резание является наиболее выгодным, так как разрушающие напряжения скалывания меньше нормальных напряжений. Процесс резания кормов – это частный вид измельчения, имеющий свои особенности. Качественные показатели измельченных сочных кормов характеризуются степенью измельчения и относительным соковыделением, а количество выделившегося сока, в свою очередь, зависит от способа измельчения – наибольшее соковыделение опосредовано более высокими удельными затратами на измельчение [23, 24].

Удельная работа по резанию зависит от углов скольжения и, как показано в работах [14, 15], ее минимальное значение имеет место при углах скольжения $35...45^\circ$, хотя в работе [21] – при углах $10...15^\circ$. Такой разброс данных наталкивает на мысль их уточнения в условиях использования конкретной машины.

Автором работы [14] установлено, что в диапазоне скоростей резания $3...10$ м/с (скорость прохождения готового продукта через режущее устройство) минимальное значение энергоемкости измельчения наблюдается при углах скольжения $30...35^\circ$. Уменьшение угла скольжения приводит к увеличению усилий резания, при углах скольжения более 35° возрастает сила трения между фасками ножа и измельчаемым материалом [7, 15].

Важным показателем, имеющим существенное влияние на качество получаемой продукции и энергоемкость процесса, являются скоростные характеристики рабочих органов технологических машин. Исследования многих авторов показывают, что скорость резания находится в пределах $1,2...25$ м/с. В работе [25] установлено, что в диапазоне скоростей $12...30$ м/с

при резании сельскохозяйственных культур удельное сопротивление резанию уменьшается, хотя в некоторых работах представлено, что с увеличением скорости резания удельный расход энергии при измельчении корнеклубнеплодов увеличивается [21, 26]. Это можно объяснить тем, что с увеличением скоростных характеристик рабочих органов возрастает количество более мелких частиц, приводящее к увеличению потерь, обусловленных соковыделением.

В работах [14, 15, 17, 18, 21, 23, 24, 26] и ряде других применительно к предлагаемым конструкциям определены рациональные и относительные конструктивные и режимные параметры работы измельчителей, обеспечивающие снижение удельных затрат энергии. Однако полученные результаты применимы только для конкретных, предложенных в этих работах, конструкций. В то же время, энергоемкость и качество измельченных корнеклубнеплодов зависят не только от скоростных характеристик его рабочих органов, конструкции режущих элементов, но и применения современных технологий изготовления узлов и деталей машин. Поэтому затраты на производство готового корма будут определяться не только стоимостью конструкции, но и эксплуатационными расходами на поддержание ее в рабочем состоянии.

Подводя итог анализа существующих конструкций машин и вопросов, касающихся исследований процесса измельчения корнеклубнеплодов, можно сделать следующие выводы:

- одной из эффективных операций при подготовке корнеклубнеплодов к скармливанию является их измельчение, позволяющее повысить продуктивность животных, эффективность использования готового продукта и, таким образом, снизить его себестоимость. Измельчение корнеклубнеплодов резанием наиболее перспективно для использования и совершенствования;

- применяемые до настоящего времени серийные и экспериментальные машины для измельчения корнеклубнеплодов не отвечают в полной мере современным требованиям из-за несовершенства технологического процесса и конструкции рабочих органов, требующих высоких удельных затрат энергии;

- в качестве основного направления совершенствования измельчающих устройств следует считать проведение предварительных лабораторных исследований свойств корнеклубнеплодов и режимов их переработки;

- наиболее перспективной конструктивно-технологической схемой измельчителя является одноступенчатое измельчающее устройство с вертикальным расположением шнекового питателя и горизонтальным неподвижным режущим барабаном с плоскими кольцевыми ножами, выбранными и установленными, в соответствии с зоотехническими требованиями [27].

- организованный на предлагаемом устройстве технологический процесс измельчения требует дополнительных исследований, в частности, экспериментального подтверждения его универсальности и оптимальности, возможностей циклической переработки кормов с целью уровня их экологического качества.

В целях снижения энергоемкости и повышения производительности оборудования и качества приготовления кормов на животноводческих

фермах и комплексах авторами разработана перспективная конструктивно-технологическая схема измельчителя корнеплодов [20] и на ее основе изготовлена экспериментальная лабораторная установка (рис. 1), которая включает в себя корпус 1 с загрузочным и выгрузными окнами (отмечены стрелками). В нижней части корпуса 1 неподвижно установлен сменный горизонтальный режущий барабан 2, состоящий из кольцевых ножей. Через центр режущего барабана 2 проходит вал 3 со шнековой навивкой и усеченным конусом 4, по образующей которого корнеклубнеплоды равномерно перемещаются к блоку кольцевых ножей. Вал 3 приводится во вращение мотор-редуктором 5. С валом 3 жестко связаны водила 6 с вальцами 7. С торца каждого водила 6 закреплены гребенки 8 с внутренними выступами для проталкивания корнеклубнеплодов и очистки межножевых пространств режущего барабана 2. Степень измельчения корнеклубнеплодов регулируется наличием сменного блока кольцевых ножей режущего барабана 4, отличающихся различными расстояниями между ними.

За основу конструкции установки взята мойка-измельчитель ИКМ-Ф-10, где выполнена модернизация режущей части, обеспечивающая возможность оперативной смены кольцевых ножей, регулирования зазора между вальцом и ножами, а также дополнительно включено специальное устройство – гребенка для очистки межножевого пространства.

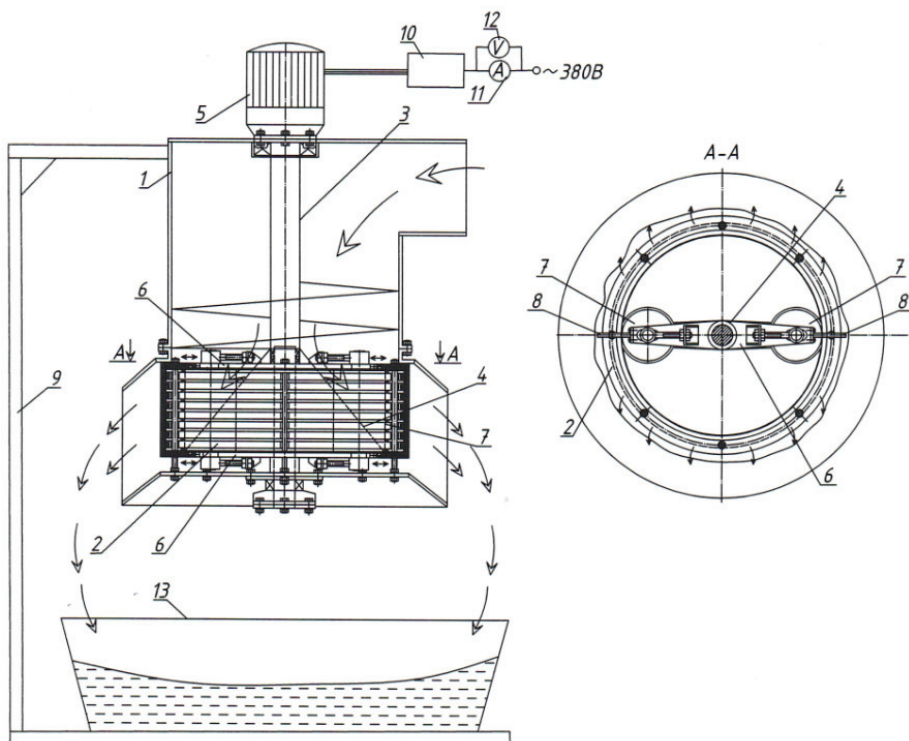


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема лабораторной установки для измельчения корнеклубнеплодов

Все это, в итоге, повысило производительность агрегата, его надежность и привело к снижению энергозатрат при эксплуатации. Принцип работы измельчителя заключается в следующем. Предварительно отмытые корнеклубнеплоды через загрузочное окно непрерывным потоком подаются внутрь корпуса 1, попадают на шнековую навивку вращающегося вала 3, сползают по ней на усеченный конус 4, прижимаются к ножевой решетке и под действием валцов 7 продавливаются в выгрузное окно. Принципиальными для преодоления сопротивления резанию являются геометрия расположения ножей, угол их заточки и сила продавливания, которая зависит от скорости подачи материала на режущий инструмент (скорости резания).

Результаты и их обсуждение

В программу экспериментальных исследований входило тестирование устройства на предмет воспроизводимости результатов, полученных другими исследователями (доказательства промышленной пригодности), а также проверки эффективности предлагаемой модернизации, а именно:

- обеспечение возможности оперативного учета некоторых физико-механических свойства корнеклубнеплодов (плотности, влажности, размерно-массовых характеристик) при настройке режима работы измельчителя;
- изучение влияния конструктивных параметров ножей на усилия резания;
- исследование зависимости производительности оборудования, затрат мощности и удельного расхода энергии от скорости резания;
- оценка качества измельчения в зависимости от режимов работы рабочих органов;
- формулировка для потенциальных пользователей результатов – рекомендации исследований.

Исследования проводились в соответствии с требованиями ОСТ 7.26–77, ГОСТ 8.207–76, НТП АПК 1.10.11.001-00, РД 10.19.2-90 [14, 15, 17, 18, 24, 26, 28] и включали в себя решение несколько конкретных практических задач.

Размерно-массовые характеристики исходного сырья учитывались при определении целого ряда конструктивных параметров измельчающего устройства, например диаметра камеры корпуса измельчителя, толщины лезвий ножей и расстояний между ними, толщины шнековой навивки вала, а также тех, влияние которых обнаруживается в процессе эксплуатации.

Для экспериментальных исследований использовали сахарную свеклу сорта «Спартак» (гибрид), извлеченную непосредственно из буртов. Для оценки ее размерно-массовых характеристик применяли выборочный метод: из разных мест бурта по диагонали с шестикратной последовательностью вручную отбирали равные порции свеклы массой 5...8 кг. Линейные размеры (средний диаметр корня и его длину) определяли штангенциркулем ШЦ II 0-250 ц-0,1 с пределом измерений 0...250 мм, путем взвешивания на весах ВЛКТ-500 g – M определяли массу $M_{св}$.

Влажность определяли путем высушивания образцов в сушильном электрошкафу типа СНОЛ-3,5. Корни сахарной свеклы разрезали на небольшие, примерно равные по объему пластины, толщиной 10 мм и в течение 4 часов подсушивали в шкафу сначала при температуре 50...60 °С,

а затем при 100...105 °С до полного высушивания. Высушенные образцы охлаждали в лаборатории в стеклянном эксикаторе и взвешивали. Сушку и охлаждение проводили до тех пор, пока разница между последними последовательными взвешиваниями не превышала 0,01 г. Влажность корней сахарной свеклы определяли из соотношения

$$W_k = \frac{m_{\text{исп.в}}}{m_{\text{нав}}}, \quad (1)$$

где $m_{\text{исп.в}}$, $m_{\text{нав}}$ – массы испаренной влаги и навески до сушки соответственно, г.

Насыпную плотность сахарной свеклы $\rho_{\text{нас}}$ определяли с использованием ящиков кубической формы с длиной ребра 0,65 м и, следовательно, объемом 0,275 м³, учитывая тот факт, что начиная с такого объема произвольная укладка корней не влияет на численные значения искомой характеристики при расчете на 1 м³ [13, 16]. Значения насыпной плотности ($\rho_{\text{нас}}$, кг/м³) при произвольной укладке определяли, используя выражение

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m_{\text{корн}}}{V_{\text{я}}}, \quad (2)$$

где $m_{\text{к}}$ – масса корней сахарной свеклы в объеме, кг; $V_{\text{я}}$ – объем ящика, м³.

Плотность корнеплодов определяли путем взвешивания образцов, определения их объема при погружении в наполненный водой мерный цилиндр и последующего вычисления по формуле

$$\rho_{\text{корн}} = \frac{m_{\text{обр}}}{V_{\text{обр}}}, \quad (3)$$

где $m_{\text{обр}}$ – масса образца, кг; $V_{\text{обр}}$ – объем образца, м³.

Общее количество загрязнений корней сахарной свеклы определяли их отмывом. Для этого выбирали пробу массой 25...30 кг, затем отмывали ее водой с помощью щеток, укладывали на бумагу и просушивали до испарения с поверхности корней капельной влаги. Загрязненность определяли как отношение массы загрязнений к массе продукта до мойки по формуле

$$\delta_3 = \frac{m_g - m_h}{m_g} 100 \%, \quad (4)$$

где δ_3 – загрязненность корней сахарной свеклы, %; m_g , m_h – массы порции корней сахарной свеклы до отмывания и после мойки и просушивания соответственно, кг.

Исследование процесса резания корней сахарной свеклы проводили на установке, включающей одноступенчатое измельчающее устройство с электроприводом и контрольно-измерительной аппаратурой, находящееся на раме 9 (см. рис. 1).

Определение производительности, потребляемой мощности и показателей качества проводили в следующей последовательности:

- 1) включали привод 5;

2) частотным преобразователем 10 задавали необходимую скорость вращения вала 3 и контролировали ее значение;

3) через загрузочную горловину заполняли корпус 1 измельчающего устройства сахарной свеклой и в течение эксперимента поддерживали данный процесс на постоянном уровне интенсивности;

4) фиксировали показания амперметра 11 и вольтметра 12;

5) из емкости 13 последовательно проводили отбор нескольких порций измельченной свеклы массой $(m_1, m_2, \dots, m_n)$, полученные в фиксированные моменты времени $(t_1, t_2, \dots, t_n)$;

6) полученные данные заносили в журнал;

7) опыт повторяли несколько раз при различных значениях скорости вращения вала 3;

8) отключали привод 5 рабочих органов и проводили необходимые расчеты.

Мощность $N_{и i}$ на измельчение вычисляли по выражению

$$N_{и i} = N_{\Sigma i} - N_{х.х i}, \quad (5)$$

где $N_{и i}$, $N_{\Sigma i}$, $N_{х.х i}$ – мощности, затрачиваемая на измельчение, суммарная, холостого хода в i -й степени измельчения, Вт.

Среднюю производительность, кг/с, измельчающего устройства определяли по выражению

$$Q_{изм} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (6)$$

где m_i – масса i -й измельченной порции, полученная за i -й интервал времени; t_i – время, в течение которого происходил отбор i -й порции, с (обычно $t_i = 10$ с, [23]); n – количество порций, шт.

Относительные потери сока $П_c$ при измельчении рассчитывали по формуле [28, 29]

$$П_c = \frac{m_{до п} - m_{п.п}}{m_{до п}} 100 \%, \quad (7)$$

где $m_{до п}$, $m_{п.п}$ – массы корней сахарной свеклы до промывки водой и после (стекания воды) соответственно, кг.

Размерно-массовые характеристики измельченной сахарной свеклы, определяющие качество измельчения (соответствия зоотехническим требованиям) находили следующим образом:

1. Отбирали четыре средние порции m_i , кг, полученные при определении производительности измельчающего устройства и каждую из них тщательно перемешивали.

2. Распределяли каждую порцию на столе ровным слоем в форме квадрата, затем квадрат разделяли линейкой на четыре равных сектора,

два из которых по диагонали отбрасывали, а два оставшихся объединяли, тщательно перемешивали и вновь формировали квадратный слой.

3. Пункт 2 повторяли до тех пор, пока вес порции в одном секторе не стали находиться в пределах 0,5...1,0 кг.

4. Взвешивали полученную в секторе порцию сахарной свеклы на весах с точностью до 0,01 г.

5. Для исключения слипания измельченных частиц промывали их струями воды без напора. После чего раскладывали их тонким слоем на бумаге для стекания воды. Считалось, что существенного влияния при- ставшая в результате такого промывания вода на размерно-массовые характеристики измельченного продукта не оказывает. После стекания воды взвешивали порцию на весах с точностью до 0,01 г.

6. Замеряли толщину измельченных частиц d_{ϕ} , м, штангенциркулем и разбирали каждую порцию на фракции по размерам, м: до 0,005; 0,0051...0,01; 0,011...0,02; 0,021...0,03; 0,031...0,040; 0,041...0,050 и более 0,051 [15, 17]. При этом, согласно рекомендациям [7, 17], длину измельченных частиц в расчетах не учитывали.

7. Взвешивали каждую полученную фракцию $P_{\phi i}$ на весах с точностью до 0,01 г.

8. Полученные в пунктах 5 – 7 значения заносили в журнал, и далее проводили обработку полученных значений.

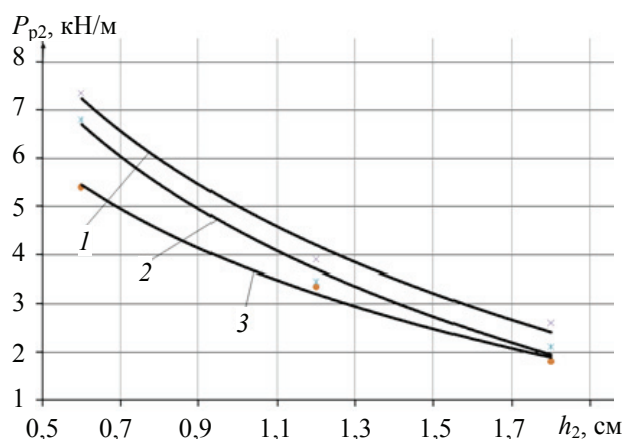
По результатам экспериментальных исследований построены зависимости сопротивления резанию P_{p2} от расстояния между ножами h_2 и угла их заточки γ_2 (рис. 2). Ножи в ножевой решетке располагали параллельно друг другу. Сопротивление резанию оценивали с помощью стандартного твердомера.

Полученные зависимости не являются линейными, поэтому и, таким образом, характеризуются различными скоростями убывания величины сопротивления на различных участках изменения расстояния между ножами.

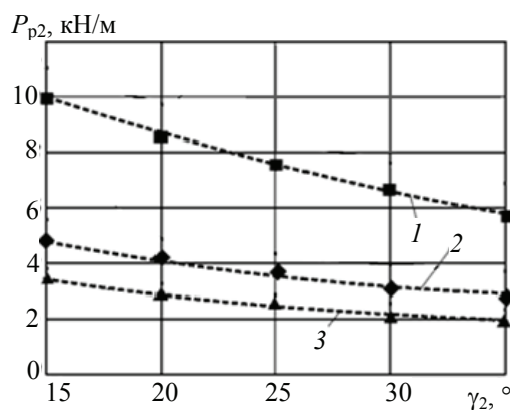
Можно заметить, что при увеличении расстояния h_2 от 0,6 до 1,2 см, сопротивление резанию снижается почти в 2 раза, а при увеличении h_2 от 1,5 до 1,8 см – менее чем на 20 %. Это связано с тем, что при продавливании кормопродукта между ножами его клубни интенсивно сжимаются и при величине относительной деформации $\varepsilon = 0,29$ начинают разрушаться не только под действием усилий резания, но и напряжений деформации.

При расстоянии $h_2 > 1,5$ см будут нарушаться зоотехнические требования к измельчению, поэтому данные значения не стоит рассматривать. Следовательно, в целях минимизации сопротивления резанию при проектировании измельчающих аппаратов с ножевой решеткой величину h_2 следует выбирать в пределах 1,2...1,5 см.

По результатам исследований процесса резания корней сахарной свеклы одноступенчатым измельчающим аппаратом шнекового типа построены зависимости изменения удельного расхода энергии $N_{уд}$, энергоёмкости процесса измельчения $\mathcal{E}_{изм}$ и производительности измельчителя $N_{изм}$ от скорости выхода $v_{вых}$ измельчаемой массы корней сахарной свеклы через ножевую решетку.



а)



б)

Рис. 2. Зависимости сопротивления P_{p2} резанию двойными ножами:

а – от расстояния h_2 между ними при различных углах заточки, °: 1 – 25; 2 – 30; 3 – 35;

б – от угла заточки ножей γ_2 при различных расстояниях между ножами, мм:

1 – 6; 2 – 12; 3 – 18

Зависимость удельного расхода энергии от скорости выхода измельченных корнеплодов (продукта резания) представлена на рис. 3, а. Скорость выхода продукта, м/с, можно оценивать как отношение его объема, м³, к площади режущей решетки, м², в единицу времени. При достижении скорости выхода $v_{\text{вых}}$ корней сахарной свеклы до 1,16 м/с через окна ножевой решетки удельный расход энергии снижается, что связано с ростом производительности за счет увеличения коэффициента заполнения цилиндрического корпуса измельчителя. Минимальное значение удельного расхода энергии составило $N_{\text{уд}} = 483,3 \dots 484,5$ Вт при следующих значениях: угол заточки лезвия ножей – 35°, скорость выхода – 1,16 м/с, толщина резки – 1,2 см

Зависимость энергоемкости процесса измельчения от скорости выхода измельченной сахарной свеклы между ножами представлена на рис. 3, б.

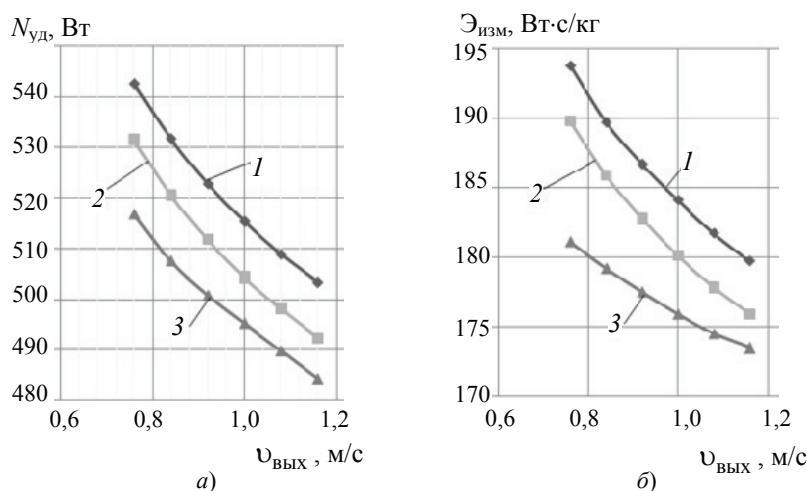


Рис. 3. Зависимость удельного расхода энергии (а) и энергоёмкости процесса измельчения (б) от скорости выхода измельченной сахарной свеклы между ножами при различных углах заточки:
1 – 25°; 2 – 30°; 3 – 35°

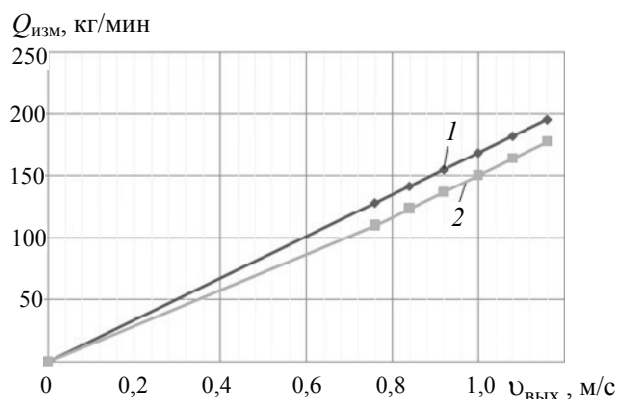


Рис. 4. Зависимость производительности измельчителя от скорости выхода измельченной сахарной свеклы между ножами:
1 – теоретическая; 2 – экспериментальная

Наименьшие затраты энергии составят 172,0...173,5 Вт·с/кг, если угол заточки ножей будет равен 35°.

Зависимость производительности измельчителя от скорости выхода измельченной сахарной свеклы через ножевую решетку представлена на рис. 4. Теоретическая зависимость 1 производительности построена с учетом коэффициента заполнения ψ_3 и располагается над экспериментальной кривой 2, что связано с условиями заполнения цилиндрического корпуса измельчителя корнями сахарной свеклы и продавливания их через окна ножевой решетки. Значение коэффициента заполнения изменяется в зависимости от числа оборотов шнека и находится в пределах $0,24 \pm 0,045$, что можно объяснить тем, что корни сахарной свеклы не успевают полностью заполнить весь межвитковый объем шнека.

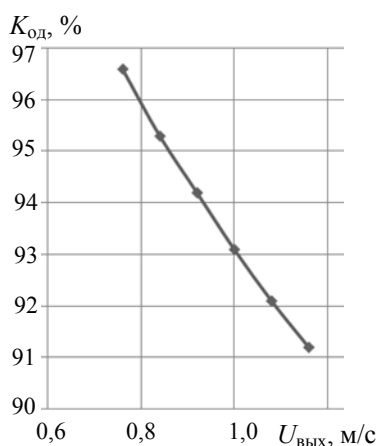


Рис. 5. Зависимость изменения коэффициента однородности $K_{\text{од}}$ от скорости выхода



Рис. 6. Общий вид измельченных корней сахарной свеклы

Зависимость коэффициента однородности от скорости выхода измельченной сахарной свеклы между ножами представлена на рис. 5.

При увеличении скорости выхода от 0,76 до 1,16 м/с коэффициент однородности (качество измельчаемых корней) понижается с 96,6 до 91,2 %. Это связано с дополнительным воздействием нижней грани витка шнека измельчителя на корни сахарной свеклы, что приводит к некоторому переизмельчению. Общий вид измельченных корней сахарной свеклы представлен на рис. 6.

Лабораторные исследования относительных зависимостей потерь сока Π_c при измельчении корней сахарной свеклы от скорости выхода показали, что при изменении частоты вращения рабочего органа они существенно не изменяются и не превышают 0,15 %, что соответствует действующим нормативным документам экологии кормоприготовления.

Заключение

Предложенная конструкция одноступенчатого измельчителя корнеклубнеплодов с вертикальным расположением шнекового питателя и горизонтальным неподвижным режущим барабаном с плоскими кольцевыми ножами и подтвержденная патентом РФ № 2783518 более надежно обеспечивает качество кормов для животных, улучшает их поедаемость и усвояемость, гарантируя тем самым экологическую чистоту мясных и молочных продуктов для населения. В то же время обнаружено, что использование представленной конструкции позволяет получать продукцию, в большей степени соответствующую зоотехническим требованиям, а быстрая замена в случае необходимости блоков кольцевых ножей (например, в соответствии со свойствами перерабатываемого материала), наличие гребенки и вальцов, а также наличие в предлагаемой конструкции постоянного подпора перерабатываемого материала со стороны шнековой навивки вала уменьшают энергоемкость агрегата, уровень загрязненности

окружающей среды, повышают его эксплуатационную надежность и производительность. Получаемая продукция более пригодна для очистки от загрязнений и их повторного использования в среде выращивания в целях сохранения экологии почвы. Предлагаемая технология кормоприготовления позволяет осуществить переработку отходов в качестве вторичных кормовых ресурсов, что имеет большое экологическое и природоохранное значение.

Полученные результаты можно улучшить при организации более комплексного исследования физико-механических свойств перерабатываемых корнеплодов путем усовершенствования параметров их экологической чистоты, а также исследования возможностей снижения удельной материалоемкости оборудования, и, следовательно, потребностей добычи полезных ископаемых.

Список литературы

1. Боярский, Л. Г. Технология кормов и полноценное кормление сельскохозяйственных животных / Л. Г. Боярский. – Ростов н/Д : Феникс, 2001. – 416 с.
2. Зеленков, П. И. Технология производства, хранения и переработки говядины / П. И. Зеленков, А. В. Плахов, А. П. Зеленков. – Ростов н/Д : Феникс, 2002. – 352 с.
3. Практикум по кормлению сельскохозяйственных животных / Л. В. Топорова, А. В. Архипов, Р. В. Басарабова [и др.]. – М. : Колос, 2007. – 296 с.
4. Родионов, В. Г. Технология производства и переработки животноводческой продукции / В. Г. Родионов, Л. П. Табакова, Г. П. Табаков. – М. : Колосс, 2005. – 512 с.
5. Хазанов, Е. Е. Технология и механизация молочного животноводства : учеб. пособие / Е. Е. Хазанов, В. В. Гордеев, В. Е. Хазанов ; под общей ред. Е. Е. Хазанова. – СПб. : Лань, 2010. – 352 с.
6. Чиркун, В. Я. Анализ направлений совершенствования техники для приготовления кормов на животноводческих фермах / В. Я. Чиркун // Научно-технический бюллетень. – 1996. – Вып. 25. – С. 8 – 9.
7. Ясенецкий, В. А. Машины для измельчения кормов / В. А. Ясенецкий, П. В. Гончаренко. – Киев : Техника, 1990. – 165 с.
8. Повышение эффективности производства продукции животноводства : рекомендации / Н. М. Морозов, И. И. Хусаинов, В. Н. Базонов, Л. М. Цой, Е. Л. Ревякин. – М. : Росинформагротех, 2008. – 168 с.
9. Афанасьев, В. Н. Современное состояние и пути повышения экологической безопасности животноводства и птицеводства / В. Н. Афанасьев // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 1996. – № 66. – С. 86 – 93.
10. Батищев, В. Д. Оборудование для приготовления кормосмесей / В. Д. Батищев // Сельское хозяйство за рубежом. – 1983. – № 1. – С. 59 – 64.
11. Хайдаров, Р. Р. Универсальный измельчитель корнеклубнеплодов ИКХ-5,5 / Р. Р. Хайдаров, Б. Г. Зиганшин // Вестник Казанского ГАУ. – 2012. – № 1(23). – С. 109 – 111.
12. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года / В. И. Фисинин [и др.]. – М. : Росинформагротех, 2009. – 80 с.

13. Брусенков, А. В. Особенности эксплуатации технологического оборудования в животноводстве / А. В. Брусенков, А. В. Сенько // Современное состояние и перспективы развития научной мысли : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (13 апр. 2017 г., г. Астана, Казахстан). – Нефтекамск, 2017. – С. 41 – 48.
14. Аюгин, Н. П. Снижение энергоемкости измельчения корнеплодов с разработкой измельчителя и обоснованием его конструктивно-режимных параметров : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Аюгин Николай Петрович. – Уфа, 2010. – 214 с.
15. Курдюмов, В. И. Энергосберегающая технология и средства механизации приготовления комбинированного силоса крупному рогатому скоту : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Курдюмов Владимир Иванович. – Рязань, 2002. – 383 с.
16. Кукта, Г. М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г. М. Кукта. – М. : Агропромиздат, 1987. – 303 с.
17. Брусенков, А. В. Разработка технологического процесса и устройства для измельчения корнеклубнеплодов с вальцовым подпором : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Брусенков Алексей Владимирович. – Тамбов, 2015. – 222 с.
18. Резник, Е. И. Совершенствование технологических процессов и технических средств заготовки, приготовления и раздачи кормов на фермах крупного рогатого скота : дис. д-ра техн. наук : 05.20.01 / Резник Евгений Иванович. – М. : 2003. – 299 с.
19. Доценко, С. М. Машины и оборудование для подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию / С. М. Доценко, И. В. Злыгостев. – Новосибирск : СО РАСХН, 2001. – 55 с.
20. Брусенков, А. В. К вопросу оптимизации производственных затрат при измельчении корнеклубнепродуктов / А. В. Брусенков, Н. П. Пучков // Формирование организационно-экономических условий эффективного функционирования АПК : сб. науч. ст. XI Междунар. науч.-практ. конф. (30–31 мая 2019 г., Минск). – Минск, 2019. – С. 104 – 108.
21. Горюшинский, В. С. Совершенствование резания корнеплодов с обоснованием параметров измельчителя : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Горюшинский Валентин Сергеевич. – Пенза, 2004. – 145 с.
22. Коваленко, В. П. Технологические комплексы машин для приготовления кормов: учебное пособие / В. П. Коваленко, И. М. Петренко. – Краснодар : Изд-во КГАУ, 2000. – 170 с.
23. Калининченко, С. Г. Совершенствование технологического процесса двухстадийного измельчения жмыха по показателям энергоемкости : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Калининченко Сергей Георгиевич. – Тамбов, 2004. – 221 с.
24. Лазарев, М. В. Технология обработки корнеклубнеплодов с обоснованием параметров и режимов работы измельчающего аппарата : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Лазарев Михаил Владимирович. – Ульяновск, 2000. – 222 с.
25. Резник, Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н. Е. Резник. – М. : Машиностроение, 1975. – 311 с.
26. Лемаева, М. Н. Разработка измельчителя корнеплодов и обоснование его оптимальных конструктивных параметров и режимов работы : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Лемаева Марина Николаевна. – Саранск, 2007. – 214 с.
27. Пат. 2783518 Российская Федерация, МПК В02С 16/00, В02С 18/06. Измельчитель корнеклубнеплодов / А. В. Брусенков, Н. П. Пучков, В. А. Лутовинов ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». – № 2022119129, заявл. 13.07.2022 ; опубл. 14.11.2022, Бюл. № 32. – 6 с.

28. Титенок, А. В. Повышение эффективности процесса измельчения корнеплодов путем применения пакетов режущих элементов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Титенок Александр Владимирович. – Саратов, 1988. – 21 с.
29. Ромазанов, Л. Н. Исследование и совершенствование конструкций рабочих органов для измельчения сочных кормов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.06.01 / Ромазанов Леонид Николаевич. – Саратов, 1974. – 35 с.
30. Обоснование параметров рабочего органа измельчителя корнеклубнеплодов / М. Г. Загоруйко, В. В. Васильчиков, Ю. В. Катаев, А. К. Мамахай // *Агроинженерия*. – 2021. – № 3(103). – С. 42 – 48. doi: 10.26897/2687-1149-2021-3-42-48

References

1. Boyarsky L.G. *Tekhnologiya kormov i polnotsenno kormleniye sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh* [Feed technology and full feeding of farm animals], Rostov n/Don: Phoenix, 2001, 416 p. (In Russ.)
2. Zelenkov P.I., Plakhov A.V., Zelenkov A.P. *Tekhnologiya proizvodstva, khraneniya i pererabotki govyadiny* [Technology for the production, storage and processing of beef], Rostov n/Don: Phoenix, 2002, 352 p. (In Russ.)
3. Toporova L.V., Arkhipov A.V., Basarabova R.V. [et al.] *Praktikum po kormleniyu sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh* [Workshop on feeding farm animals], Moscow: Kolos, 2007, 296 p. (In Russ.)
4. Rodionov V.G., Tabakova L.P., Tabakov G.P. *Tekhnologiya proizvodstva i pererabotki zhivotnovodcheskoy produktsii* [Technology of production and processing of livestock products], Moscow: Colossus, 2005, 512 p. (In Russ.)
5. Khazanov E.E., Gordeev V.V., Khazanov V.E. (Ed.). *Tekhnologiya i mekhanizatsiya molochnogo zhivotnovodstva: ucheb. posobiye* [Technology and mechanization of dairy farming: textbook], St. Petersburg: Lan', 2010, 352 p. (In Russ.)
6. Chirkun V.Ya. [Analysis of directions of improvement of equipment for fodder preparation at livestock farms], *Nauchno-tekhnicheskii byulleten'* [Scientific and Technical Bulletin], 1996, Is. 25, pp. 8-9. (In Russ., abstract in Eng.)
7. Yasenetsky V.A., Goncharenko P.V. *Mashiny dlya izmel'cheniya kormov* [Machines for crushing feed], Kiyev: Tekhnika, 1990, 165 p. (In Russ.)
8. Morozov N.M., Khusainov I.I., Bazonov V.N., Tsoy L.M., Revyakin E.L. *Povysheniye effektivnosti proizvodstva produktsii zhivotnovodstva: rekomendatsii* [Improving the efficiency of livestock production: Recommendations], Moscow: Rosinformagrotekh, 2008, 168 p. (In Russ.)
9. Afanas'yev V.N. [Current state and ways to improve the environmental safety of livestock and poultry farming], *Tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rasteniyevodstva i zhivotnovodstva* [Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products], 1996, no. 66, pp. 86-93. (In Russ., abstract in Eng.)
10. Batishchev V.D. [Equipment for the preparation of feed mixtures], *Sel'skoye khozyaystvo za rubezhom* [Agriculture abroad], 1983, no 1, pp. 59-64. (In Russ., abstract in Eng.)
11. Khaydarov R.R., Ziganshin B.G. [Universal shredder of root crops IKH-5.5], *Vestnik Kazanskogo GAU* [Bulletin of the Kazan State Agrarian University], 2012, no. 1(23), pp. 109-111. (In Russ., abstract in Eng.)
12. Fisinin V.I. [et al.] *Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii na period do 2020 goda* [Strategy of machine-technological modernization of agriculture in Russia for the period up to 2020], Moscow: Rosinformagrotekh, 2009, 80 p. (In Russ.)

13. Brusenkov A.V., Senko A.V. *Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya nauchnoy mysli: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (13 apr. 2017, Astana, Kazakhstan)* [Current state and prospects for the development of scientific thought: materials of the International. scientific-practical conf. (April 13, 2017, Astana, Kazakhstan)], Neftekamsk, 2017, pp. 41-48. (In Russ.)
14. Ayugin N.P. *Candidate's of Engineering thesis*, Ufa, 2010, 214 p. (In Russ.)
15. Kurdyumov V.I. *Doctor's of Engineering thesis*, Ryazan, 2002, 383 p. (In Russ.)
16. Kukta G.M. *Mashiny i oborudovaniye dlya prigotovleniya kormov* [Machines and equipment for the preparation of feed], Moscow: Agropromizdat, 1987, 303 p. (In Russ.)
17. Brusenkov A.V. *Candidate's of Engineering thesis*, Tambov, 2015, 222 p. (In Russ.)
18. Reznik E.I. *Doctor's of Engineering thesis*, Moscow: 2003, 299 p. (In Russ.)
19. Dotsenko S.M., Zlygostev I.V. *Mashiny i oborudovaniye dlya podgotovki korneklubneplodov k skarmlivaniyu* [Machines and equipment for preparing root crops for feeding], Novosibirsk: SO RASKHN, 2001, 55 p. (In Russ.)
20. Brusenkov A.V., Puchkov N.P.; Ganush G.I. (Ed.). *Formirovaniye organizatsionno-ekonomicheskikh usloviy effektivnogo funktsionirovaniya APK: sb. nauch. st. XI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Formation of organizational and economic conditions for the effective functioning of the agro-industrial complex: collection of scientific articles of the XI Scientific and Practical International Conference (Minsk, May 30-31, 2019)], Minsk: BGATU, 2019, pp.104-108. (In Russ.)
21. Goryushinsky V.S. *Candidate's of Engineering thesis*, Penza, 2004, 145 p. (In Russ.)
22. Kovalenko V.P., Petrenko I.M. *Tekhnologicheskiye komplekсы mashin dlya prigotovleniya kormov: uchebnoye posobiye* [Technological complexes of machines for the preparation of feed: textbook], Krasnodar: Izdatel'stvo KGAU, 2000, 170p. (In Russ.)
23. Kalinichenko S.G. *Candidate's of Engineering thesis*, Tambov, 2004, 221 p. (In Russ.)
24. Lazarev M.V. *Extended abstract of Candidate's of Engineering thesis*, Ulyanovsk, 2000, 222 p. (In Russ.)
25. Reznik N.E. *Teoriya rezaniya lezviyem i osnovy rascheta rezhushchikh apparatov* [The theory of cutting with a blade and the basics of calculating cutting devices], Moscow: Mashinostroyeniye, 1975, 311 p. (In Russ.)
26. Lemaeva M.N. *Extended abstract of Candidate's of Engineering thesis*, Saransk, 2007, 214 p. (In Russ.)
27. Brusenkov A.V., Puchkov N.P., Lutovinov V.A. *Izmel'chitel' korneklubneplodov* [Shredder of root crops], Russian Federation, 2022, Pat. 2783518. (In Russ.)
28. Titenok A.V. *Extended abstract of Candidate's of Engineering thesis*, Saratov, 1988, 21 p. (In Russ.)
29. Ramazanov L.N. *Extended abstract of Candidate's of Engineering thesis*, Saratov, 1974, 35 p. (In Russ.)
30. Zagoruiko M.G., Vasilchikov V.V., Kataev Yu.V., Mamakhai A.K. [Substantiation of the parameters of the working organ of the shredder of root crops], *Agroinzheneriya* [Agroengineering], 2021, no. 3(103), pp. 42-48. doi: 10.26897/2687-1149-2021-3-42-48 (In Russ., abstract in Eng.)

Experimental Studies of Conditions for Preparation of Environmentally Friendly Feed for Cattle

A. V. Brusenkov, N. P. Puchkov

Tambov State Technical University, Tambov, Russia

Keywords: zootechnical requirements; grinding; design and operational parameters of the device; feed preparation; roots; laboratory testing of ecological production technology; production line; cutting; environmentally friendly preparation of feed.

Abstract: Based on the analysis of the environmental efficiency of root crop processing enterprises, a new design and technological scheme for their grinding has been proposed; it has shown its effectiveness in the process of experimental research. The influence of the design and operating parameters of grinders on productivity, energy intensity and quality of the output product is measured. The improvement of the environmental conditions of production by changing the technology of the cutting process is justified.

© А. В. Брусенков, Н. П. Пучков, 2023