

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ КОРМОВ

Н. П. Аюгин, С. А. Яковлев, Ю. М. Исаев, И. А. Калашников

Реферат. Актуальность исследования по разработке измельчения кормов обусловлена важностью технологической операции подготовки кормов к скармливанию, которая значительно влияет на их продуктивность и здоровье, а также в целом на экономические показатели животноводства. Эффективность измельчителей кормов обусловлена двумя факторами: энергетическими затратами на измельчение, а также соответствием измельченного корма зоотехническим требованиям. В настоящем исследовании рассматриваются вопросы разработки измельчителя кормов, в основе которого заложены принципы энергосбережения не только за счет оптимизации конструктивных и режимных параметров измельчающего аппарата, но и создания для измельчителя системы «старт-стоп», позволяющей минимизировать работу измельчителя на холостом ходу при циклической и неравномерной подаче измельчаемого корма в загрузочный бункер. Это позволяет снизить нерациональное использование энергоресурсов при измельчении кормов в соответствии с зоотехническими требованиями. Целью работы является снижение энергоемкости измельчения корнеплодов за счет разработки измельчителя кормов, обоснования его конструктивно-режимных параметров и разработки системы «старт-стоп». В конструкции измельчителя предлагается использование плоских ножей в верхнем ярусе и гребенчатых ножей в нижнем, а также гребенчатых противорезов с расстоянием между гребнями 80 мм и сетчатых рамок с ячейкой 25 мм. Удельная энергоемкость измельчения разработанного измельчителя кормов при измельчении моркови составляет 0,23 кВт·ч/т, пропускная способность 2,8 т/ч, доля выхода фракции от 10 до 15 мм - 43,5%. Полученные результаты производственных испытаний, проведенных на базе животноводческого комплекса ООО «Агро-Н» Новопасского района Ульяновской области, позволили подтвердить результаты лабораторных исследований и рекомендовать разработанный измельчитель кормов для сельскохозяйственных предприятий, занимающихся выращиванием крупного рогатого скота.

Ключевые слова: измельчитель, корм, удельная энергоемкость измельчения, фракционный состав, пропускная способность, морковь, «старт-стоп».

Введение. Измельчение корнеплодов перед скармливанием животным является важной технологической операцией подготовки кормов к скармливанию, которая значительно влияет на их продуктивность и здоровье, а также в целом на экономические показатели животноводства [1].

Неизмельченные корнеплоды могут застрять в пищеводе животных, что приводит к блокировке пищевода и может вызвать серьезные проблемы с пищеварением и дыханием. Это, при несвоевременном оказании ветеринарной помощи животному, часто приводит к его летальному исходу.

Измельчение кормов значительно влияет на продуктивность животных из-за повышения усвояемости питательных веществ и ускорения переваривания за счет увеличения площади поверхности измельченных частиц корма и сокращения времени пережевывания [2]. Мелкие частицы корма имеют большую площадь поверхности, что облегчает доступ пищеварительных ферментов к ним. Это позволяет животным более эффективно усваивать такие важные нутриенты, как белки, углеводы и витамины.

По данным некоторых исследований [3, 4] оптимальный размер частиц корма увеличивает коэффициент переваривания на 10...15%, что позволяет снизить расход кормов и в конечном итоге положительно влияет на экономические показатели отрасли животноводства.

Для измельчения кормов используют различные типы измельчителей, отличающиеся по конструкции и принципу разрушения кормов (резание, удар или смятие) [5, 6, 7]. С точки зрения обеспечения минимальных энергозатрат на измельчение корма целесообразным является проектирование измельчителей кормов, работающих по принципу разрушения кормов резанием [8, 9, 10].

Эффективность измельчителей кормов обусловлена двумя факторами: энергетическими затратами на разрушение растительных материалов, используемых при кормлении животных, а также соответствием измельченного продукта зоотехническим требованиям, предъявляемым к измельченным кормам [11, 12, 13].

Цель исследования – снижение энергоемкости измельчения корнеплодов за счет разработки измельчителя кормов и обоснования его конструктивно-режимных параметров и разработки системы «старт-стоп».

Условия, материалы и методы. На кафедре «Технология производства и ремонт машин» ФГБОУ ВО Ульяновского ГАУ был разработан измельчитель кормов (рис. 1), в работе которого были заложены принципы энергосбережения, как за счет оптимизации конструктивных параметров ножей (толщина ножа, угол заточки, угол скольжения, острота режущей кромки), так и режимных параметров работы измельчителя (частота вращения вала измельчителя, реализация принципа работы «старт-стоп»).

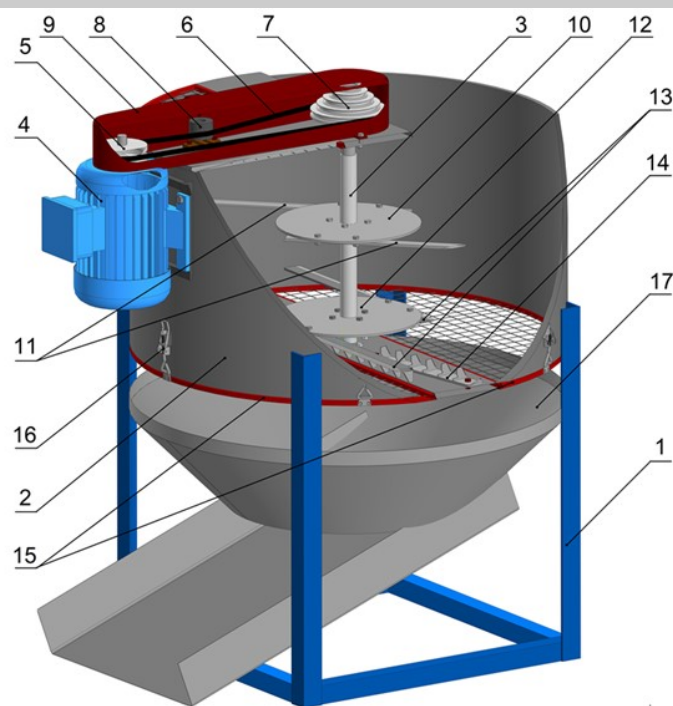


Рис. 1 – 3D модель измельчителя кормов с местным сечением: 1 – рама, 2 – корпус, 3 – вал, 4 – электродвигатель, 5 – шкив электродвигателя, 6 – ремень, 7 – шкив вала, 8 – натяжной ролик, 9 – кожух, 10 – верхний диск, 11 – плоские ножи, 12 – нижний диск, 13 – сменные гребенчатые ножи, 14 – гребенчатые противорезы, 15 – сменные сетчатые рамки, 16 – фиксаторы, 17 – выгрузной лоток

Измельчитель кормов состоит из сварной рамы, на которой размещен корпус. Внутри корпуса установлен механизм привода, в котором электродвигатель через шкив, клиновой ремень, шкив вала и натяжной ролик, закрытые сверху кожухом, вращает находящийся на подшипниках вал.

На вале размещены верхний диск, на котором закреплены плоские ножи, и нижний диск, на котором закреплены сменные гребенчатые ножи с различным расстоянием между сегментами гребенок. Плоские и гребенчатые ножи установлены на дисках со смещением относительно оси вращения, что обеспечивает создание оптимального угла скольжения ножей [14].

Под гребенчатыми ножами установлены сменные гребенчатые противорезы с различным расстоянием между сегментами противорезов. В нижней части корпуса находятся сменные сетчатые рамки, закрепленные на корпусе с помощью фиксаторов. Под корпусом размещен выгрузной лоток.

Измельчитель кормов работает следующим образом. Привод вала, на котором закреплены верхний и нижний диски, осуществляется за счет электродвигателя, передающего крутящий момент на вал измельчителя через клиноременную передачу.

Измельчаемый материал подается в зону резания через отверстие, выполненное в верхней части корпуса. Попадая внутрь корпуса, корма предварительно измельчаются на

крупные частицы вращающимися плоскими ножами, закрепленными на верхнем диске. Измельчение на мелкие частицы осуществляется гребенчатыми сменными ножами с различным расстоянием между сегментами гребенок, закрепленными на нижнем диске. Для создания подпора при резании в нижней части корпуса закреплены противорезы с различным расстоянием между сегментами противорезов. Измельченные частицы корма за счет силы тяжести проваливаются в выгрузной лоток через сменные сетчатые рамки, закрепленные на корпусе с помощью фиксаторов.

Достоинством данной конструкции измельчителя кормов является возможность регулирования размера измельченной фракции корма за счет смены гребенчатых ножей и противорезов, имеющих различное расстояние между гребнями, а также использования сетчатых рамок с различным размером ячеек (от 10 до 50 мм) в соответствии с зоотехническими требованиями, предъявляемыми к измельченным кормам.

Диаметр корпуса измельчителя кормов составляет 900 мм, частота вращения вала может варьироваться в интервале от 159 до 955 мин⁻¹ (угловая скорость 16,65...100 рад/с), диаметр диска для крепления ножей составляет 300 мм, расстояние между гребенками сменных ножей и противорезов 40 мм и 80 мм, размер ячеек сетчатых рамок - 25 мм. Толщина ножей и гребенок составляет 3 мм, а угол их заточки 10 градусов (рис. 2).

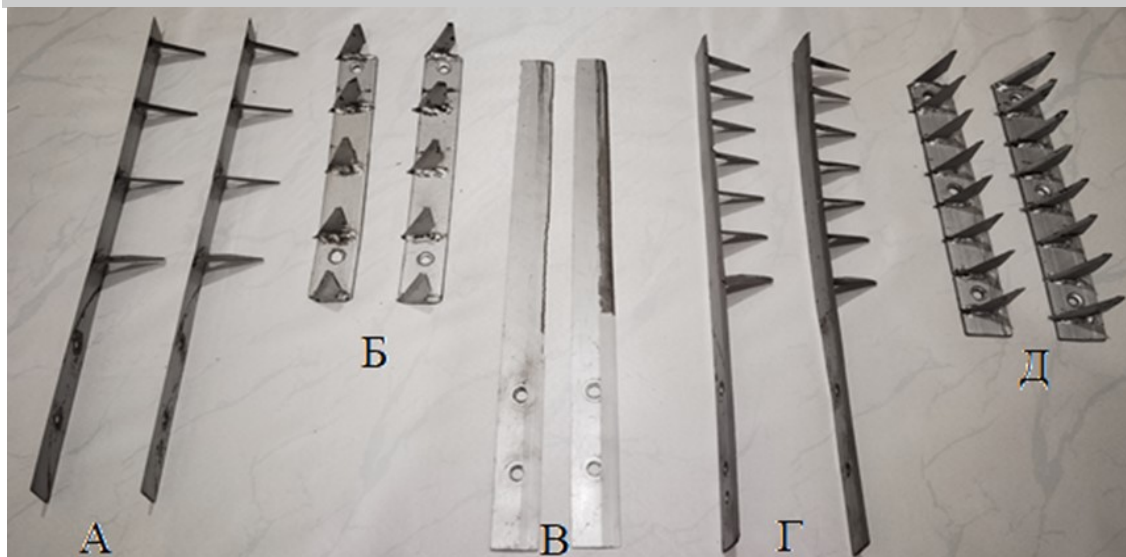


Рис. 2 - Ножи и противорезы, использованные при проведении лабораторных исследований: А – гребенчатые ножи с расстоянием между гребнями 80 мм, Б - противорезы с расстоянием между гребнями 80 мм, В – плоские ножи, Г – гребенчатые ножи с расстоянием между гребнями 40 мм, Д - противорезы с расстоянием между гребнями 40 мм

Лабораторные исследования измельчителя были проведены на базе «Умной фермы» Ульяновского ГАУ. В качестве измельчаемого продукта использовали морковь сорта «Шантанэ королевская», урожая 2025 года, средней влажностью 87,1%.

Перед измельчением были заготовлены порции моркови, массой 60 кг каждая.

Измельчение моркови осуществляли на частоте вращения вала измельчителя 159, 318, 477, 637, 796 и 955 мин⁻¹, что соответствует средней линейной скорости ножей 5, 10, 15, 20, 25, 30 м/с, определяемой по точке, расположенной на середине ножа.

Для определения частоты вращения вала измельчителя использовали цифровой лазерный тахометр АТ-6, учет энергопотребления измельчителя осуществляли счетчиком Меркурий 230 AR-01 R, подключенным к ПК через Bluetooth адаптер Меркурий 251, соединенного со счетчиком проводным интерфейсом CAN.

При проведении исследования использовали сменные гребенчатые ножи и противорезы с расстоянием между гребнями 40 мм и 80 мм, сетчатые рамки с размером ячеек равным 25 мм.

Количество повторности проведения опытов приняты равное трем. После измельчения порции корма определяли фракционный состав измельченного корма.

Фракционный состав измельченного корма определяли методом просеивания через набор сит с размерами ячеек 10, 15 и 20 мм. Для этого порцию измельченного корма массой 20 кг, прошедшего через сетчатые рамки измельчителя, просеивали сначала через сита с вышеуказанными размерами ячеек, массу навески фракции определяли, используя динамометр цифровой АМФ-500. После определения массы навесок каждой фракции измельченного

корма рассчитывали процентное содержание каждой фракции.

Статистическую обработку полученных результатов осуществляли с использованием надстройки «Пакет анализа» в программе Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. Для снижения энергоемкости измельчения кормов в разработанном измельчителе была предусмотрена система «старт-стоп», которая отключает электродвигатели при отсутствии в бункере или на ленте транспортера измельчаемого корма.

Разработанная система «старт-стоп» выполнена на базе микроконтроллера Arduino Uno R3 с использованием двух ультразвуковых датчиков расстояния HC-SR04, 6-и канального блока реле, а также звукового модуля КУ-012.

Принцип работы данной системы сводится к следующему: ультразвуковые датчики расстояния HC-SR04, расположенные на корпусе бункера и выгрузного окна транспортера, в режиме реального времени осуществляют контроль за заполнением бункера или ленты транспортера. При фиксировании ультразвуковыми датчиками отсутствия измельчаемого продукта в бункере или на ленте транспортера в течение 20 секунд микроконтроллер Arduino Uno R3 подает сигнал на 6-канальный релейный модуль для отключения электродвигателей транспортера и измельчителя, подключенных через реле. В этот же момент микроконтроллер подает сигнал на звуковой модуль КУ-012, работа которого служит для оператора звуковым сигналом о приостановке работы измельчителя и транспортера. При загрузке измельчаемого корма на ленту транспортера или в бункер ультразвуковые датчики HC-SR04 фиксируют изменение расстояния от датчика до измельчаемого корма и подают сигнал на микроконтроллер Arduino Uno R3,

который в свою очередь через 6-канальный блок реле инициирует подачу электрического тока на электродвигатели измельчителя и транспортера, а также на отключение звукового модуля.

Использование предложенной системы «старт-стоп» не требует постоянного контроля наполнения бункера измельчителя со стороны оператора, позволяет минимизировать работу измельчителя на холостом ходу при циклической и неравномерной подаче измельчаемого корма в бункер и тем

самым предотвратить нерациональные энергозатраты.

Использование звукового модуля позволяет повысить безопасность использования измельчителя за счет подачи звукового сигнала оператору о готовности установки к работе, но отсутствии измельчаемого материала в бункере.

Результаты лабораторных исследований экспериментального измельчителя кормов (рис. 3) при измельчении моркови представлены на рисунках 4 и 5.



Рис. 3 - Разработанный измельчитель кормов при проведении лабораторных исследований:
1 – измельчитель кормов, 2 – транспортер, 3 – загрузочный бункер, 4 - пульт управления

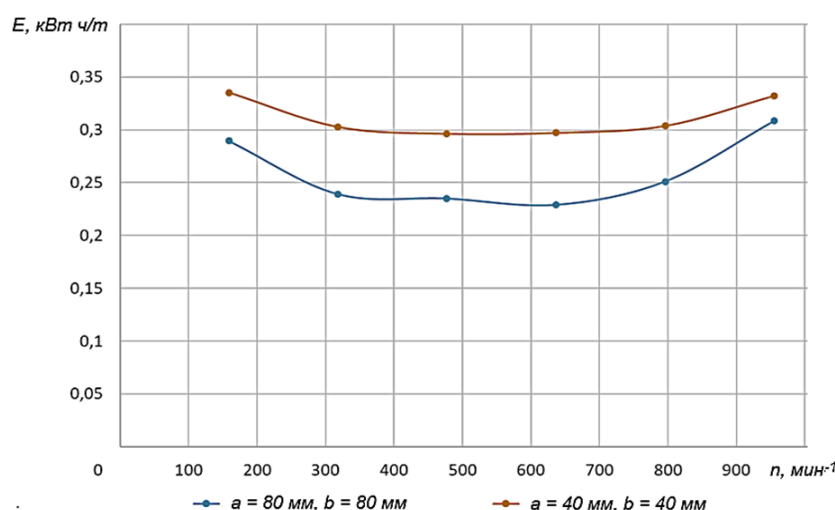


Рис. 4 - Влияние частоты вращения вала измельчителя на удельную энергоёмкость измельчения моркови при использовании ячейки сетчатых рамок 25 мм: a – расстояние между гребнями ножей; b – расстояние между гребнями противорезов

Уравнение регрессии, характеризующее влияние частоты вращения вала измельчителя на удельную энергоёмкость измельчения при использовании сменных гребенчатых ножей и противорезов с расстоянием между гребенкой 80 мм, имеет вид

$$E_{80} = 5 \cdot 10^{-7} n^2 - 0,0005n + 0,3537, \quad (1)$$

где E – удельная энергоёмкость измельчения, кВт·ч/т;
 n – частота вращения вала измельчителя, мин⁻¹.

При использовании гребенчатых ножей и противорезов с расстоянием между гребенкой 40 мм

$$E_{40} = 3 \cdot 10^{-7} n^2 - 0,0003n + 0,3718. \quad (2)$$

Значение коэффициента корреляции (равное 0,97) для уравнений 1 и 2 указывает на то, что связь между частотой вращения измельчающего аппарата и энергоемкостью измельчения в разработанном измельчителе значительная.

Анализ влияния частоты вращения на удельную энергоемкость резания моркови свидетельствует, что наименьшая энергоемкость измельчения моркови при использовании разработанного измельчителя кормов наблюдается при частоте вращения от 300 до 800 мин⁻¹. Снижение энергоемкости измельчения моркови при увеличении частоты вращения в интервале от 159 мин⁻¹ до 300 мин⁻¹ связано со снижением удельного усилия резания моркови по мере увеличения скорости, что подтверждается ранее полученными данными по изучению влияния скорости резания на удельное усилие резания корнеплодов [15, 16]. Увеличение энергоемкости измельчения от 600 мин⁻¹ до 955 мин⁻¹ связано с многократным воздействием ножей на

измельчаемый продукт и избыточным его переизмельчением.

Энергоемкость измельчения моркови при использовании ножей и противорезов с расстоянием между гребенками 80 мм в интервале частоты вращения вала измельчителя от 159 мин⁻¹ до 300 мин⁻¹ по сравнению с ножами и противорезами, имеющими расстояние между гребенками равное 40 мм, ниже на 20...23%.

Кроме энергоемкости измельчения не менее важным параметром является пропускная способность измельчителя. Согласно зоотехническим требованиям измельченные корнеплоды должны быть скормлены животным не более чем через 2 часа после измельчения из-за интенсивного протекания микробиологических процессов в измельченном продукте. Результаты исследований влияния частоты вращения вала измельчителя на его пропускную способность при использовании ячейки сетчатых рамок 25 мм представлены на рисунке 5.

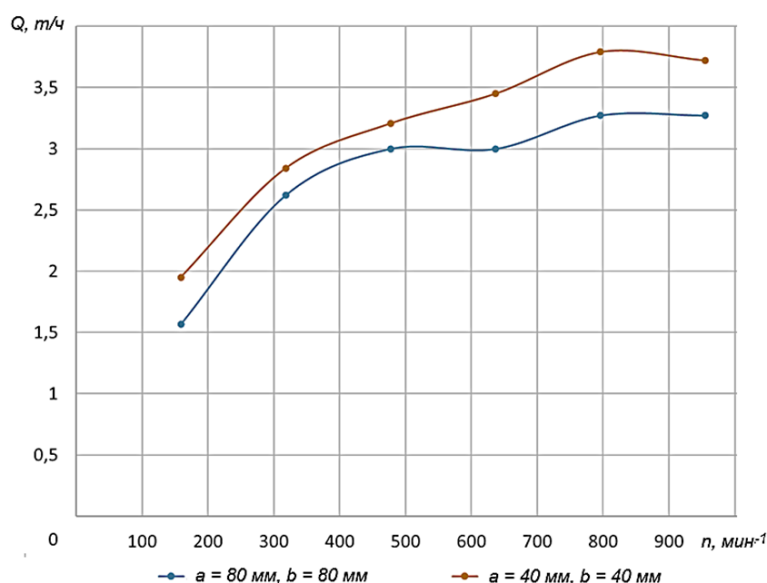


Рис. 5- Влияние частоты вращения вала измельчителя на его пропускную способность при использовании ячейки сетчатых рамок 25 мм: a – расстояние между гребнями ножей; b – расстояние между гребнями противорезов

Уравнение регрессии, характеризующее влияние частоты вращения вала измельчителя на его пропускную способность при использовании сменных гребенчатых ножей и противорезов с расстоянием между гребенкой 80 мм, имеет вид

$$Q_{80} = -4 \cdot 10^{-6} n^2 + 0,0064n + 0,7901, \quad (3)$$

где Q – пропускная способность измельчителя, т/ч.

При использовании гребенчатых ножей и противорезов с расстоянием между гребенкой 40 мм

$$Q_{40} = -3 \cdot 10^{-6} n^2 + 0,006n + 1,1492. \quad (4)$$

Коэффициенты корреляции, равные 0,94 для уравнения (3) и 0,98 для уравнения (4), указывают на значительную связь между

частотой вращения вала измельчающего аппарата и пропускной способностью измельчителя.

При анализе полученных данных лабораторных исследований по определению пропускной способности измельчителя в зависимости от частоты вращения вала измельчающего аппарата установлено, что наиболее интенсивное увеличение пропускной способности наблюдается при увеличении частоты вращения вала измельчающего аппарата до 400 мин⁻¹. Максимальная пропускная способность достигается при частоте вращения вала измельчителя 800 мин⁻¹, пропускная способность при использовании ножей и противорезов с расстоянием между гребнями 80 мм

достигает 3,3 т/ч, а при использовании ножей и противорезов с расстоянием между гребнями 40 мм - 3,8 т/ч.

Использование ножей и противорезов с расстоянием между гребенками 40 мм по сравнению с расстоянием 80 мм обеспечивает увеличение пропускной способности на 15%.

Ключевым параметром измельчения корнеплодов является фракционный состав измельченного продукта, поскольку это

является одним из критериев соответствия измельченного корма зоотехническим требованиям [17, 18, 19]. Для крупного рогатого скота рекомендуется фракционный состав 10...15 мм.

В таблице 1 представлены результаты определения фракционного состава измельченной в предлагаемом измельчителе моркови при использовании гребенчатых ножей и противорезов с расстоянием между гребнями 80 мм.

Таблица 1 - Фракционный состав измельченной моркови при использовании гребенчатых ножей и противорезов с расстоянием между гребнями 80 мм

Процентное содержание измельченных частиц по фракциям, %	Частота вращения вала измельчителя кормов, мин ⁻¹			
	318	477	637	796
до 10 мм	25	29,4	33,9	40,1
10...15 мм	44,6	42,4	40,5	39,6
15...20 мм	14,3	14,8	13,7	11,4
20...25 мм	16,1	13,4	11,9	8,9

Учитывая комплексное влияние частоты вращения вала измельчителя на пропускную способность, удельную энергоёмкость измельчения и фракционный состав измельченного продукта, выбор частоты вращения вала является важной составляющей оптимизации параметров разработанного измельчителя кормов. Проанализировав данные, представленные на рисунках 4 и 5, а также показатели таблицы, установлено, что наиболее рациональной частотой вращения вала электродвигателя измельчителя является 400 мин⁻¹. При этом пропускная способность измельчителя составляет 2,8 т/ч, удельная энергоёмкость измельчения – 0,23 кВт·ч/т и доля измельченных частиц размером 10...15 мм составляет 43,5%.

Проведенный анализ научных исследований по изучаемой тематике [3, 4, 19], а также существующих конструкций измельчителей кормов показал, что предлагаемая конструкция измельчителя обеспечивает меньшую энергоёмкость измельчения, равную 0,23 кВт·ч/т.

Разработанная система «старт-стоп» позволяет дополнительно снизить энергозатраты измельчителя кормов за счет минимизации работы измельчителя на холостом ходу. Такая система ранее не применялась на измельчителях кормов, как серийного производства, так и в измельчителях, предложенных другими исследователями.

Полученные результаты производственных испытаний, проведенных на базе животноводческого комплекса ООО «Агро-Н»

Новоспасского района Ульяновской области, позволили подтвердить результаты лабораторных исследований и рекомендовать разработанный измельчитель кормов для сельскохозяйственных предприятий, занимающихся выращиванием крупного рогатого скота.

Выводы. Предложенная конструкция измельчителя кормов, отличающаяся использованием плоских ножей на верхнем ярусе и гребенчатых ножей на нижнем ярусе измельчающего аппарата с гребенчатыми противорезами, имеющими расстояние между гребнями 80 мм, подтвердила его эффективность при измельчении моркови. Толщина ножей и гребенок составляет 3 мм, а угол заточки 10 градусов. Оптимальным режимом работы измельчителя является: частота вращения вала измельчителя 400 мин⁻¹, которая соответствует пропускной способности 2,8 т/ч. Удельная энергоёмкость измельчения равна 0,23 кВт·ч/т, доля измельченных частиц размером 10...15 мм при этом составляет 43,5 %.

Разработанная для измельчителя кормов система «старт-стоп» позволяет минимизировать работу измельчителя на холостом ходу при циклической и неравномерной подачи измельчаемого корма в загрузочный бункер и тем самым снизить нерациональное использование энергоресурсов при измельчении кормов.

Сведения о финансировании. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-26-00057, <https://rscf.ru/project/24-26-00057/>.

Литература

1. Оценка продовольственной безопасности России / И.Н. Сафиуллин, Б.Г. Зиганшин, Э.Ф. Амирова и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 2(62). С. 124-132. doi 10.12737/2073-0462-2021-124-132.
2. Туманова М. И., Тимофеев А. С. Кормление КРС // Новая наука: Теоретический и практический взгляд. 2016. № 4-2 (75). С. 199-201.
3. Хабарова В. В. Разработка измельчителя корнеплодов с обоснованием его параметров и режимов работы: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Уфа, 2011. 83 с.
4. Мамахай А. К. Повышение эффективности использования измельчителя кормовой свёклы: дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01. Волгоград, 2022. 183 с.

5. Заплетников И. Н., Шеина А. В., Гордиенко А. В. Экспериментальные исследования процесса резания растительных материалов // Актуальные вопросы современной науки. 2013. № 3. С. 52-61
6. Обоснование параметров рабочего органа измельчителя корнеклубнеплодов / М. Г. Загоруйко, В. В. Васильчик, Ю. В. Катаев и др. // Агроинженерия. 2021. №3 (103). С. 42-48. doi: 10.26897/2687-1149-2021-3-42-48
7. Савиных П. А., Булатов С. Ю., Смирнов Р. А. Измельчитель корнеклубнеплодов // Сельский механизатор. Москва: ОАО «Кострома», 2013. Вып. 8. С. 40-41.
8. Тимофеев М. Н., Фролов В. Ю., Морозова Н. Ю. Анализ технических средств для измельчения кормов и их классификация // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 132. С. 399-424.
9. Елисеев М. С., Загоруйкой М. Г., Рыбалкин Д. А. Анализ факторов, влияющих на эффективность процесса измельчения // Аграрный научный журнал. 2017. №7. С.62-66.
10. Обоснование конструктивных параметров ножей при резании плоского слоя продукта / С. В. Вендин, В.А. Самсонов, Ю.В. Саенко и др. // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2019. № 4(36). С. 101-104.
11. Антонов Н. М., Лебедь Н. И., Мамахай А. К. Оптимизация конструктивных параметров измельчителя плодов и корнеплодов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 3 (43). С. 231-238.
12. Определение энергоёмкости процесса измельчения резанием в измельчителе кормов / Р. С. Пополднёв, Б. Г. Зиганшин, А. В. Алешкин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 4(72). С. 82-88.
13. Результаты производственных испытаний экспериментального измельчителя корнеплодов / В. В. Новиков, В. С. Зотеев, О.А. Камышева и др. // Известия Оренбургского ГАУ. Оренбург: Изд. центр ОГАУ, 2017. № 2(64). С. 75-77.
14. Spagnoli A. Cutting resistance of soft materials: effects of blade in-clination and friction // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. 2019. No. 101. P. 200-206. doi:10.1016/j.tafmec.2019.02.017
15. Изучение процесса резания кормовой свеклы / Н. П. Аюгин, Н. М. Семашкин, В. И. Курдюмов и др. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024 №4 (68). С. 173-181. doi:10.18286/1816-4501-2024-4-173-181
16. High-speed cutting of foods: Cutting behavior and initial cutting forces S. Schuldt, Y. Schneider, H. Rohm, et al. // Journal of Food Engineering. 2018. Vol. 230. P. 55-62. doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.02.024
17. Borotov A. Cutting length the fodders of green stalks by drum chopper // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020 Vol. 883. No. 1 P. 12160
18. Theoretical aspects of root crop grinder development / N .P. Ayugin, A. V. Morozov, M. V. Ulyanov, et al. // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1045. No. (1). P. 012126. doi:10.1088/1755-1315/1045/1/012126
19. Булатов С. Ю., Смирнов Р. А. Анализ факторов, влияющих на рабочий процесс измельчителя корнеплодов // Вестник НГИЭИ. 2012 № 10 (29). С.15-23.

Сведения об авторах:

Аюгин Николай Петрович - кандидат технических наук, доцент кафедры технологии производства и ремонта машин, e-mail: nikall85g@yandex.ru
 Яковлев Сергей Александрович - доктор технических наук, профессор кафедры технологии производства и ремонта машин, e-mail: jakseal@mail.ru
 Исаев Юрий Михайлович - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой математики и физики, e-mail: isurmi@yandex.ru
 Калашников Илья Андреевич - аспирант, e-mail: surskboy@vk.com
 Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Ульяновск, Россия.

DEVELOPMENT OF ENERGY-EFFICIENT FEED GRINDER

N. P. Ayugin, S. A. Yakovlev, Yu. M. Isaev, I. A. Kalashnikov

Abstract. The relevance of research on the development of feed grinding is determined by the importance of technological process of feed preparation for feeding, which significantly affects the productivity and health of livestock, as well as the overall economic performance of livestock farming. The efficiency of feed grinders is determined by two factors: energy consumption for grinding and compliance of the ground feed with zootechnical requirements. This study examines development of a feed grinder based on energy-saving principles, not only through optimization of design and operating parameters of grinding unit, but also through the creation of a start-stop system for grinder, which minimizes idle operation during cyclical and uneven feed of the ground feed into the loading hopper. This reduces the inefficient use of energy resources when grinding feed in accordance with zootechnical requirements. The goal of this study is to reduce the energy consumption of root crop grinding by developing a feed grinder, substantiating its design and operating parameters, and developing a start-stop system. The design of grinder proposes the use of flat knives in the upper tier and comb knives in the lower tier, as well as comb counter-cuts with an 80 mm spacing between the combs and mesh frames with 25 mm mesh size. The specific energy consumption of developed feed grinder for chopping carrots is 0.23 kWh/t, the throughput is 2.8 t/h and the yield of 10 to 15 mm fraction is 43.5%. The results of production tests conducted at the livestock complex of Agro-N LLC in Novospasskiy district of Ulyanovsk region confirmed the laboratory results and recommended the developed feed grinder for agricultural enterprises raising cattle.

Key words: grinder, feed, specific energy consumption, particle size distribution, throughput, carrots, start-stop.

References

1. Safiullin IN, Ziganshin BG, Amirova EF. [Assessment of food security in Russia]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 2(62). 124-132 p. doi 10.12737/2073-0462-2021-124-132.
2. Tumanova MI, Timofeev AS. [Feeding cattle]. Novaya nauka: Teoreticheskiy i prakticheskiy vzglyad. 2016; 4-2 (75). 199-201 p.
3. Khabarova VV. Razrabotka izmelchatelya korneplodov s obosnovaniem ego parametrov i rezhimov raboty: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. [Development of a root crop chopper with justification of its parameters and operating modes:

- dissertation for a degree of Ph.D. of Technical Sciences: 05.20.01]. Ufa. 2011; 83 p.
4. Mamakhay AK. Povyshenie effektivnosti ispolzovaniya izmelchatelya kormovoy svekly: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. [Improving the efficiency of using a fodder beet shredder: dissertation for a degree of Ph.D. of Engineering Sciences: 05.20.01]. Volgograd. 2022; 183 p.
 5. Zapletnikov IN, Sheina AV, Gordienko AV. [Experimental studies of the process of cutting plant materials]. Aktualnye voprosy sovremennoy nauki. 2013; 3. 52-61 p.
 6. Zagoruyko MG, Vasilchiko VV, Kataev YuV. [Justification of parameters of working unit of a root crop shredder]. Agrozhenneriya. 2021; 3(103). 42-48 p. doi: 10.26897/2687-1149-2021-3-42-48
 7. Savinykh PA, Bulatov SYu, Smirnov RA. [Root crop chopper]. Selskiy mekhanizator. Moscow: OAO Kostroma. 2013; issue 8. 40-41 p.
 8. Timofeev MN, Frolov VYu, Morozova NYu. [Analysis of technical means for feed chopping and their classification]. Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017; 132. 399-424 p.
 9. Eliseev MS, Zagoruyko MG, Rybalkin DA. [Analysis of factors influencing the efficiency of the chopping process]. Agrarnyy nauchnyy zhurnal. 2017; 7. 62-66 p.
 10. Vendin SV, Samsonov VA, Saenko YuV. [Justification of design parameters of knives when cutting a flat layer of product]. Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva. 2019; 4 (36). 101-104 p.
 11. Antonov NM, Lebed NI, Mamakhay AK. [Optimization of design parameters of fruit and root crop chopper]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. 2016; 3 (43). 231-238 p.
 12. Popoldnev RS, Ziganshin BG, Aleshkin AV. [Determination of the energy consumption of cutting grinding process in a feed grinder]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 4 (72). 82-88 p.
 13. Novikov VV, Zoteyev VS, Kamyshova OA. [Results of production tests of experimental root crop grinder]. Izvestiya Orenburgskogo GAU. Orenburg: Izd. tsentr OGAU. 2017; 2 (64). 75-77 p.
 14. Spagnoli A. Cutting resistance of soft materials: effects of blade inclination and friction. Theoretical and Applied Fracture Mechanics. 2019; No.101. 200-206 p. doi:10.1016/j.tafmec.2019.02.017
 15. Ayugin NP, Semashkin NM, Kurdyumov VI. [Study of fodder beet cutting process]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2024; 4 (68). 173-181 p. doi:10.18286/1816-4501-2024-4-173-18
 16. Schultdt S, Schneider Y, Rohm H. High-speed cutting of foods: cutting behavior and initial cutting forces. Journal of Food Engineering. 2018; Vol.230. 55-62 p. doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.02.024
 17. Borotov A. Cutting length the fodders of green stalks by drum chopper. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. 2020; Vol.883. No.1. 12160 p.
 18. Ayugin NP, Morozov AV, Ulyanov MV. Theoretical aspects of root crop grinder development. IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2022; Vol.1045. No. (1). 012126. doi:10.1088/1755-1315/1045/1/012126
 19. Bulatov SYu, Smirnov RA. [Analysis of factors influencing on operating process of a root crop chopper]. Vestnik NGIEI. 2012; 10 (29). 15-23 p.

Authors:

Ayugin Nikolay Petrovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Machine Production and Repair Technology, e-mail: nikall85g@yandex.ru
 Yakovlev Sergey Aleksandrovich - Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Machine Production and Repair Technology, e-mail: jakseal@mail.ru
 Isaev Yuriy Mikhaylovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Mathematics and Physics Department, e-mail: isurmi@yandex.ru
 Kalashnikov Ilya Andreevich – post-graduate student, e-mail: surskboy@vk.com
 Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Ulyanovsk, Russia.