

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ГРУБЫХ И СТЕБЕЛЬЧАТЫХ КОРМОВ

Николай Брагинец, Александр Вертий

Луганский национальный аграрный университет

Ул. Артема, 44, Харьков, 61002, Украина. E-mail: rector_lnau@ukr.net

Nikolay Braginets, Aleksandr Vertiy

Lugansk National Agrarian University

St. Artema, 44, Kharkov, 61002, Ukraine. E-mail: rector_lnau@ukr.net

Аннотация. На основе проведенных теоретических исследований поставлена задача экспериментальной проверки разработанного и изготовленного измельчителя грубых и стебельчатых кормов, в котором используется комбинированный рабочий орган, состоящий из пяти ножей, четыре из которых осуществляют поперечное резание и один – продольное резание.

Экспериментальные исследования позволяют определить конструктивно-технологические параметры рабочих органов и режимов работы установки, обеспечивающих выполнение ее технологического процесса с минимальной энергоемкостью и максимальной производительностью при высоких показателях качества измельчения указанных кормов. С точки зрения системного подхода указанный измельчитель стебельчатых и грубых кормов как система, состоит из трех подсистем: загрузки, измельчения и выгрузки.

Исследования проводились на кафедре механизации производственных процессов в животноводстве Луганского национального аграрного университета и учебного научно-производственного аграрного комплекса «Колос» в 2012 – 2014 гг. по пяти этапам: лабораторно-экспериментальные, изучение механико-технологических свойств измельчаемых кормов, однофакторные и многофакторные эксперименты.

Оценку удельных затрат энергии учитывали по параметрам, которые характеризуют работу измельчителя грубых и стебельчатых кормов: производительности и мощности, а также его качество измельчения кормов: степень измельчения и коэффициент продольного расщепления.

Для проведения факторного эксперимента были отобраны пятнадцать факторов, из которых определены более значимые, эффективно влияющие на параметры и режимы работы измельчителя грубых и стебельчатых кормов: частота вращения ротора измельчителя, подача кормов в измельчитель, размеры ячеек решет и расположения плавающих ножей, а также их уровни и интервалы варьирования.

Для выяснения влияния вариантов расположения ножей на роторе на критерий оптимизации и был проведен однофакторный эксперимент с фиксацией других факторов на нулевом уровне, а для выявления факторов $x_1...x_4$ на критерий оптимизации

провели четырехфакторный эксперимент по плану Бокса близким к Д-оптимальному.

При проведении экспериментальных исследований использовалось специально изготовленное и стандартное оборудование.

Ключевые слова: комбинированный рабочий орган, продольное резание, система, подсистемы, коэффициент продольного расщепления, плавающие ножи, факторный эксперимент.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Разработанный и изготовленный измельчитель грубых и стебельчатых кормов требует экспериментальной проверки и проверки его эффективности в работе.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Обоснованный и разработанный комбинированный рабочий орган, состоящий из двух типов ножей, которые одновременно осуществляют поперечное и продольное резание связан с общей теорией измельчения грубых и стебельчатых кормов, которая рассмотрена в работах известных ученых: В.П. Горячкина, В.А. Желиговского, Н.Е. Резника, С.В. Мельникова, Г.М. Кукты и др. [1–9].

Научно-техническая информация, приведенная в указанных работах, требует дальнейшей разработки и проверки в экспериментальных исследованиях.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для проведения экспериментальных исследований была разработана экспериментальная установка, новизна которой подтверждена патентом Украины № 69756 (рис. 1).

В данной установке используется комбинированный рабочий орган, состоящий из пяти ножей, четыре из которых осуществляют поперечное резание и один – продольное резание (рис. 2).

Программой экспериментальных исследований предусмотрено подтверждение теоретических исследований, определение конструктивно-технологических параметров рабочих органов и режимов работы установки, обеспечивающей выполнение технологического процесса с минимальной энергоемкостью, максимальной производительностью при высоких показателях качества измельчения.

Измельчитель работает следующим образом: в питатель, состоящий из горизонтального (ленточного) и наклонного (пластинчатого) транспортера подается корм в спрессованном виде, измельчается рабочими органами и выгружается через решетку в выгрузную горловину в емкость [10].

С точки зрения системного подхода измельчитель грубых кормов, как система, включает три подсистемы: загрузки (ПЗ), измельчения (ПИ) и выгрузки (ПВ) (рис. 1).

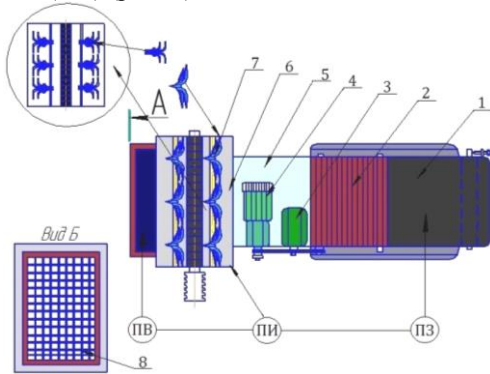


Рис. 1. Схема установки: ПЗ – подсистема загрузки; ПИ – подсистема измельчения; ПВ – подсистема выгрузки; 1 – ленточный транспортер; 2 – наклонно-планчатый транспортер; 3 – редуктор, изменяющий направление вращения; 4 – электродвигатель для привода; 5 – стол; 6 – барабан с ротором и комбинированными ножами; 7 – комбинированный нож; 8 – решетка

Fig. 1. Schema of equipment ПЗ (SF) – Subsystem of filling; ПИ (SG) – Subsystem of grinding; ПВ (ST) – Subsystem of taking out; 1 – belt conveyor; 2 – sideling-lath conveyor; 3 – reduction gear, changing rotation direction; 4 – electric motor for driving gear; 5 – base platform (plate); 6 – drum with rotor and compound knives; 7 – compound knife; 8 – grid

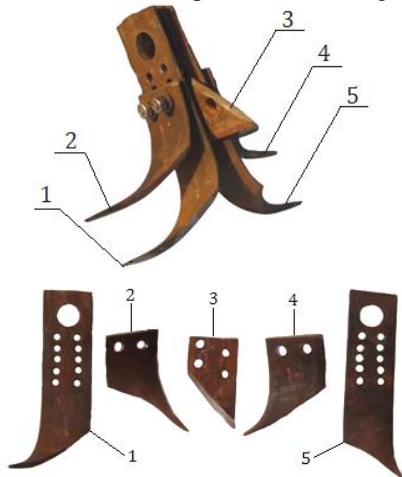


Рис. 2. Комбинированный нож: 1 – основной нож (правый); 2 – плавающий нож; 3 – прямой нож; 4 – регулирующий нож (левый); 5 – основной нож (левый)

Fig. 2. Compound knife: 1 – basic knife (right); 2 – moveable knife; 3 – straight knife; 4 – adjusting knife (left); 5 – basic knife (left)

Исследования указанной системы проводилось по следующим этапам:

1. Изучение механико-технологических свойств измельчаемых кормов.

2. Экспериментальные исследования влияния конструктивных и режимных параметров на технологическую эффективность измельчаемых кормов.

3. Определение производительности измельчителя в зависимости от частоты вращения рабочего органа подачи кормов, угла установки рабочего органа, количества, конструкции и схемы расположения ножей на барабане.

4. Определение затрат энергии на измельчение разных кормов предложенным измельчителем в зависимости от частоты вращения барабана, подачи кормов на измельчение и схемы расположения ножей.

5. Проведение многофакторного эксперимента, оптимизация процесса измельчения.

Для решения указанных задач производились поэтапно экспериментальные исследования в следующей последовательности [11]:

1. Лабораторно-экспериментальные.

2. Изучение механико-технологических свойств измельчаемых кормов.

3. Однофакторные эксперименты.

4. Многофакторные эксперименты.

Экспериментальные исследования проводились на кафедре механизации производственных процессов в животноводстве Луганского национального аграрного университета и учебного научно-производственного аграрного комплекса ЛНАУ «Колос» в 2012 – 2014 годах на основе методик планирования экспериментов, а также методик, разработанных авторами.

В процессе проведения экспериментов определили [12–14]:

– массовую часть влаги в материале;

– объемную массу измельчаемого материала;

– средневзвешенную длину частиц до и после измельчения;

– степень измельчения, однородность измельченного материала, а также качество расщепленных частиц;

– производительность и энергоемкость процесса измельчения.

Для оценки удельных затрат энергии необходимо, кроме учета параметров, характеризующих работу измельчителя (N_u , W_u) учитывать качество измельчения корма (λ) и их расщепления (K_k).

Основным критерием качества измельчения грубых кормов [15] предложено считать вес фракции заданного размера и количество расщепленных частиц пробы, которые определяются через коэффициент качества (K_k) из зависимости:

$$K_k = \frac{\sum P_i - P_{зад}}{G} \cdot I \rightarrow \min, \quad (1)$$

где: K_k – безразмерный коэффициент качества; $\sum P_i$ – масса пробы, г; $P_{зад}$ – масса фракции, состоящая из частиц физиологически обоснованных размеров, г; G – масса расщепленных частиц, г; I – сумма квадратов

относительного отклонения фактической длины частиц от физиологически обоснованной длины:

$$I = \sum \left(1 - \frac{l_i}{l_{\text{зад}}} \right)^2 \frac{P_i}{\sum P_i} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где: l_i – средний размер частиц данной фракции, мм; $l_{\text{зад}}$ – физиологически обоснованный размер частиц, учитывающий размеры наиболее ценных в физиологическом подходе частиц, заданных зоотехническими требованиями, так и размеры переизмельченных и недостаточно измельченных частиц, мм; P_i – масса частиц заданной фракции, г.

Указанный показатель качества позволяет учитывать качество измельчения как при переизмельчении корма, так и при недостаточном его измельчении.

Поэтому, удельную энергоёмкость процесса измельчения грубых кормов целесообразно определять с учетом степени измельчения и качества измельченных частиц по математической зависимости [15, 16]:

$$\mathcal{E} = \frac{N_c K_k}{W \lambda}, \quad (3)$$

где: \mathcal{E} – удельная энергоёмкость процесса измельчения грубых и стебельчатых кормов с учетом степени и качества измельчения, кДж/кг; N_c – суммарная мощность процесса измельчения, кВт; K_k – безразмерный коэффициент качества; W – производительность измельчителя кормов, кг/с; λ – степень измельчения кормов.

При этом нами учитывалось, число и размеры измельченного корма ограниченных зоотехническими требованиями, в соответствии с которыми длина резки корма для крупного рогатого скота должна находиться в пределах 30 – 50 мм. При увеличении частиц корма энергозатраты на процесс измельчения уменьшаются, но увеличиваются затраты энергии животных на переваривание корма [7, 8].

Математическая зависимость (3) позволяет более объективно определять удельную энергоёмкость процесса измельчения грубых кормов при различных степенях измельчения и качества измельченных частиц и более точно характеризовать степень совершенства рабочего процесса универсального измельчителя кормов.

На основании проведенных теоретических исследований и анализа литературных источников для проведения экспериментальных исследований нового измельчителя были отобраны следующие факторы (табл. 1), для проведения многофакторного эксперимента [17, 18].

К наиболее значимым фактором, влияющим на параметры и режимы работы измельчителя грубых и стебельчатых кормов, следует отнести: частоту вращения ротора измельчителя; подачу корма в измельчитель, размеры решет и расположение плавающих ножей.

При дальнейших исследованиях указанные факторы фиксировали на оптимальном уровне.

Для выявления влияния факторов $x_1 \dots x_4$ на критерий оптимизации провели четырехфакторный эксперимент по плану Бокса (B_4) близким к Д-оптимальному.

Таблица 1. Факторы, влияющие на процесс работы универсального измельчителя грубых и стебельчатых кормов

Table 1. Conditions, that influence the working process of universal grinding machine of gross and stem forages

№	Факторы	Значения
1	Диаметр ротора, мм	250
2	Диаметр ротора с закрепленными ножами, мм	550
3	Диаметр камеры измельчения, мм	600
4	Количество рядов пальцев, шт	6
5	Общая длина комбинированного ножа, мм	170
6	Количество комбинированных ножей, шт	18
7	Состав комбинированного ножа: основных ножей; плавающих ножей; прямых ножей.	2 2 1
8	Количество регулировок плавающих ножей и шаг регулировок, мм	5 10
9	Варианты расположения комбинированных ножей	123123 321321 132132 231231
10	Варианты расположения плавающих ножей, мм (l_i)	0, 20, 40
11	Частота вращения ротора, об/мин (n_p)	830, 930, 1030
12	Подача корма в измельчитель, кг/с (q)	18, 22, 26
13	Размеры отверстий решета, мм (l)	20, 30, 40, 50
14	Влажность измельчаемого корма	20–22
15	Материал	Солома озимой пшеницы, стебли кукурузы

На основании анализа проведенных исследований выбираем интервалы и уровни варьирования факторов и сводим в таблицу 2. Для определения влияния факторов $x_1 \dots x_4$ на критерий оптимизации проводим эксперимент по четырех мерной матрице оптимального плана Бокса-Бенкина (B_u) для четырех исследуемых факторов [19, 20].

Таблица 2. Уровни и интервалы варьирования факторов
Table 2. Levels and intervals of changing conditions

№	Факторы	Кодовое обозначение	Уровни варьирования			Интервал варьирования
			+1	0	-1	
1	Частота вращения ротора, об/мин	x_1	1030	930	830	100
2	Подача корма в измельчитель, т/ч кг/с	x_2	7,0	6,0	5,0	1,0
			26,0	22,0	18,0	4,0
3	Размеры решет, мм	x_3	50	40	30	10
4	Расположение плавающих ножей на основных, мм	x_4	60	40	20	20

При проведении экспериментальных исследований была принята следующая их последовательность.

Для выяснения влияния вариантов расположения ножей в роторе на критерии оптимизации провели однофакторный эксперимент с фиксацией других факторов на нулевых уровнях.

При проведении экспериментов принимали трехкратную повторность опытов [16, 17]. Однородность дисперсий опытов проверяли по критерию Кохнера для 95% уровня вероятности.

Продолжительность каждого опыта составила 3 минуты.

Результаты однофакторного эксперимента обрабатывали методами математической статистики. По результатам многофакторного эксперимента строились математические модели – уравнения регрессии в виде полиномов второго порядка:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^K b_i x_i + \sum_{i < j}^K b_{ij} x_i x_j + \dots + \sum_{i=1}^K b_{ii} x_i^2, \quad (4)$$

где: Y – критерий оптимизации, x_i, x_j – независимые факторы, b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – теоретические коэффициенты регрессии.

К натуральному виду математической модели приводили с помощью зависимости:

$$x_i = (X_i - X_{0i}) / \varepsilon,$$

где x_i – кодированное значение фактора (безразмерная величина), для верхнего уровня, центра эксперимента и нижнего уровня, они обозначены соответственно +1, 0, -1, X_i – натуральное значение факторов, X_{0i} – натуральное значение фактора на нулевом уровне, ε – натуральное значение интервала варьирования фактора, которые определяли из зависимости:

$$\varepsilon = \frac{X_i^B - X_i^H}{2}; \quad (5)$$

где: X_i^B – значение фактора на верхнем уровне; X_i^H – значение фактора на нижнем уровне.

Для обработки опытных данных использовались программы: Statistica 8 for Windows и Mathcad 15, при помощи которых рассчитаны коэффициенты регрессии, по которым составлены математические модели по каждому критерию оптимизации как функции откликов n_p, q, l, l_1 .

Значимость коэффициентов регрессии определили по критерию Стьюдента. Адекватность полученных моделей проверили по критерию Фишера.

С целью изучения поверхности отклика полученных моделей строились двумерные сечения с контурными линиями, которые соответствуют полученным значениям параметров оптимизации.

Для получения двумерных сечений использовались ранее указанные программы.

ВЫВОДЫ

1. С целью обоснования и оптимизации конструктивно-технологических параметров измельчителя грубых и стебельчатых кормов была изготовлена экспериментальная установка, включающая подсистемы загрузки, измельчения и выгрузки.

2. Для исследования влияния конструктивно-технологических параметров измельчителя и механико-технологических свойств грубых и стебельчатых кормов, разработана программа и методика экспериментальных исследований.

3. Для разработки методики экспериментальных исследований измельчителя грубых и сочных кормов использовались общеизвестные, усовершенствованные и оригинальные методики.

4. При проведении экспериментальных исследований использовалось стандартное и специально изготовленное оборудование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Горячкин В.П., 1968.** Собрание сочинений в 3 т / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 484.
2. **Желиговский В.А. 1960.** Элементы теории сельскохозяйственных машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов / В.А. Желиговский. Тбилиси, 342.
3. **Резник Н.Е. 1975.** Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н.Е. Резник. М.: Машиностроение, 311.
4. **Кукта Г.М. 1964.** Испытания сельскохозяйственных машин / Г.М. Кукта. М.: Машиностроение, 223.
5. **Вольвак С.Ф. 1998.** Обоснование технологического процесса и параметров рабочих органов гибкого универсального малогабаритного кормоприготовительного агрегата в варианте измельчения грубых кормов, Луганск, 178.
6. **Братишко В.В. 2007.** Обоснование процесса работы и параметров двухступенчатого измельчителя зеленых кормов для свиней и водоплавающей птицы, Глеваха, 159. (Украина).

7. **Завражнов А.И., Николаев Д.И. 1990.** Механизация приготовления и хранения кормов. М. Агропромиздат, 336.
8. **Беляничков Н.Н., Смирнов А.И. 1990.** Механизация животноводства и кормопроизводства. М.: Агропромиздат, 271.
9. **Кукта Г.М. 1986.** Машины и оборудование для приготовления кормов. М.: Агропромиздат, 303.
10. **Брагинец Н.В. 2013.** Изучение конструктивно-технологических параметров рабочего органа для измельчения грубых и стебельчатых кормов / Н.В. Брагинец, А.А. Вергий // Весник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. Петра Василенка, вип. 132, 223–227.
11. **Ялпачик Ф.Е., Ялпачик Г.С. 1987.** Стандарты и показатели качества и энергоёмкости процесса измельчения кормов необходимо улучшить. Механизация и электрификация с.х. № 1, 24 – 25. (Украина).
12. **Крамаренко Л.П. 1936.** Сопротивление растений перерезанию. М.: Сельхозгиз, 536.
13. **Dariusz Andrejko 2011.** – Wplyw obrobki cieplnej promieniami podczerwonymi na proces przemialu ziarna pszenicy odmiany korynta. [Text]: Dariusz Andrejko, Mariusz Kania, Anna Latka, Leszek Rydzak. / Motrol, Motoryzacja I energetyka rolnictwa. – Lublin. Tom 13. – 7-13.
14. **Horynski M. 2005.** Wykorzystanie wlasciwosci elektrycznych do weryfikacji stopnia przemialu ziarna zboz. [Text]: M. Horynski. / Motrol, Motoryzacja I energetyka rolnictwa. – Lublin. Tom 7. – 92-96.
15. **Мурзагалиев К.Г. 1983.** Совершенствование технологического процесса и обоснование параметров измельчителя грубых кормов молоткового типа: Автореферат дис...канд. техн. наук., Саратов, 22.
16. **Мельников С.В. 1972.** Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. Л.: Колос, 200.
17. **Мельников С.В., Алешкин В.П., Рошин П.М. 1980.** Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос, 168.
18. **Ревенко И.И., Хмелевский В.С. 1999.** Совершенствование и обоснование параметров измельчителя и смесителя кормов. Механизация с.х. производства, Киев, 139 – 142. (Украина).
19. **Сабликов Н.В. 1956.** Исследование процесса резания стеблей ножами соломосилосорезок. М.: 191.
20. **Василенко М.П., Василенко И.И. 1985.** Механизация и автоматизация процесса приготовления и дозирования кормов. М.: Агропромиздат, 140.

EXSPERIMENTAL RESEARCHES OF SHREDDING MACHINE OF COARSE AND STALKY FODDER

Summary. On the basis of theoretical research the task of experimental verification of developed and manufactured shredding machine of coarse and stalky fodder is posed. In machine the compound working body is used and it consists of five knives, four of which, do vertical cutting and one – horizontal cutting.

Experimental researches will allow determining the constructional and technology characteristics of working bodies and working modes of the machine and it will ensure the technology process with minimal energy intensity and maximum productivity at high shredding quality of mentioned forages. From the point of system view the shredding machine of coarse and stalky fodder as a system, consists of three subsystems: feeding (inputting), shredding, unloading.

Researchers were hold at Department of Mechanization of Production Processes in Livestock Farming in Luhansk National Agrarian University and Training Science-Productional Agrarian Complex “KOLOS” from 2012 to 2014 years in next stages: laboratory-experimental, study of mechanic-technology characteristics of shredding forage, one and many factors experiment.

The specific energy consumption was evaluated by actual parameters, which characterize the work of shredding machine of coarse and stalky fodder: (productivity and capacity) and also parameters, which characterize quality of shredding forage (reduction ratio and index of longitudinal splitting).

Fifteen factors were selected to carry out the factor experiment. Among them the most important factors which effective influence on the parameters of working modes of shredding machine of coarse and stalky fodder were chose: speed of machine's rotor; forage feeding to shredding machine; cells' size of grid and position of moveable knives and also the levels and intervals of factors changing were considered.

To clarification the influence of rotor knives positions on optimization criterions the single-factor experiment was carried out with fixing of other factors at zero level. To reveal the influence of the x_1, \dots, x_4 factors on optimization criterion the four-factors experiment by Boks plane close to D-optimal was also fulfilled.

Special and standard equipment were used while experimental researchers.

Key words: compound working gear, longitudinal cutting, system, subsystems, the ratio of the longitudinal splitting, moveable knives, factor experiment.