

Результаты исследования производительности шнекового измельчителя корнеклубнеплодов

В.В. Новиков, к.т.н., профессор, **О.А. Камышева**, инженер, **А.С. Грецов**, инженер, ФГБОУ ВО Самарская ГСХА

Сочные корма значительно отличаются не только по физико-механическим свойствам, но и по величине, в связи с чем возникает необходимость доводить их до определённого размера в соответствии с зоотехническими требованиями [1].

В Самарской ГСХА разработан и изготовлен шнековый измельчитель, в котором гребни шнека разделены на несколько частей. Каждая часть выполняет роль резания и перемещения перерабатываемого продукта (рис. 1) [2].

Цель работы – исследование технологического процесса измельчения кормовой свёклы.

Задачи исследования:

- определить производительность установки;
- получить регрессионные модели;
- определить корреляцию между данными теоретических зависимостей и экспериментальных значений.

Производительность является количественным показателем технологического процесса измельчения корнеклубнеплодов. В лабораторных исследованиях использовали плоды свёклы среднего фракционного состава.

Целью опытов по определению производительности рассматриваемого процесса являлось

получение регрессионных моделей и определение корреляции между данными, полученными на основе теоретических зависимостей, и данными, полученными в результате обработки экспериментальных значений.

Для получения регрессионной модели по производительности реализован полный факторный эксперимент 2^3 , уровни и интервалы варьирования независимых факторов выбирались на основании конструктивных особенностей предложенного технического решения и особенностей рассматриваемого процесса [3–6]. Матрица планирования эксперимента и полученные в ходе реализации опытов данные представлены в таблице 1.

Дальнейшую проверку на однородность и обработку полученных данных проводили по общепринятой методике [7, 8]. В результате обработки было получено уравнение регрессии, адекватно описывающее производительность установки для измельчения кормовой свёклы:

$$Q = 925,892 + 186,4X + 57,4Y + 717,6Z - 22,835X^2 + 22,163Y^2 + 55,161Z^2 - 94,25XY + 159,25XZ + 126,75YZ - 74,25XYZ, \quad (1)$$

$$\text{где } X = \frac{n-51}{20}; Y = \frac{S_{\text{ш}}-120}{40}; Z = \frac{\lambda-0,625}{0,375}. \quad (2)$$

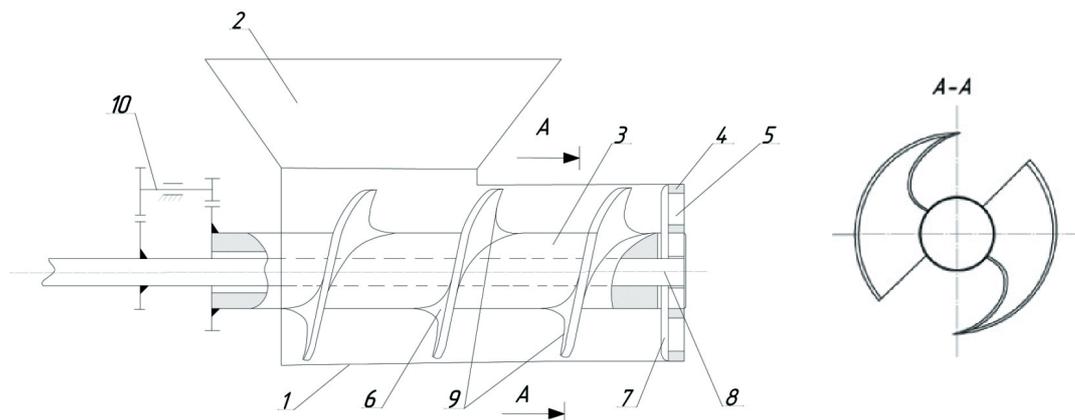


Рис. 1 – Шнековый измельчитель:

1 – корпус; 2 – загрузочная горловина; 3 – подающий шнек; 4 – выгрузное окно; 5 – дека; 6 – серповидный нож; 7 – нож; 8 – вал; 9 – режущая кромка; 10 – редуктор

1. Результаты эксперимента по исследованию производительности

№	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	Q, кг/ч
1	1	31	80	0,25	0,33	0,33	0,33	1	1	1	-1	260
2	1	71	80	0,25	0,33	0,33	0,33	-1	-1	1	1	400
3	1	31	160	0,25	0,33	0,33	0,33	-1	1	-1	1	160
4	1	71	160	0,25	0,33	0,33	0,33	1	-1	-1	-1	220
5	1	31	80	1	0,33	0,33	0,33	1	-1	-1	1	996
6	1	71	80	1	0,33	0,33	0,33	-1	1	-1	-1	2070
7	1	31	160	1	0,33	0,33	0,33	-1	-1	1	-1	1700
8	1	71	160	1	0,33	0,33	0,33	1	1	1	1	2100
9	1	31	120	0,625	0,33	-0,67	-0,67	0	0	0	0	750
10	1	71	120	0,625	0,33	-0,67	-0,67	0	0	0	0	940
11	1	51	80	0,625	-0,67	0,33	-0,67	0	0	0	0	860
12	1	51	160	0,625	-0,67	0,33	-0,67	0	0	0	0	980
13	1	51	120	0,25	-0,67	-0,67	0,33	0	0	0	0	300
14	1	51	120	1	-0,67	-0,67	0,33	0	0	0	0	1650
15	1	51	120	0,625	-0,67	-0,67	-0,67	0	0	0	0	1050

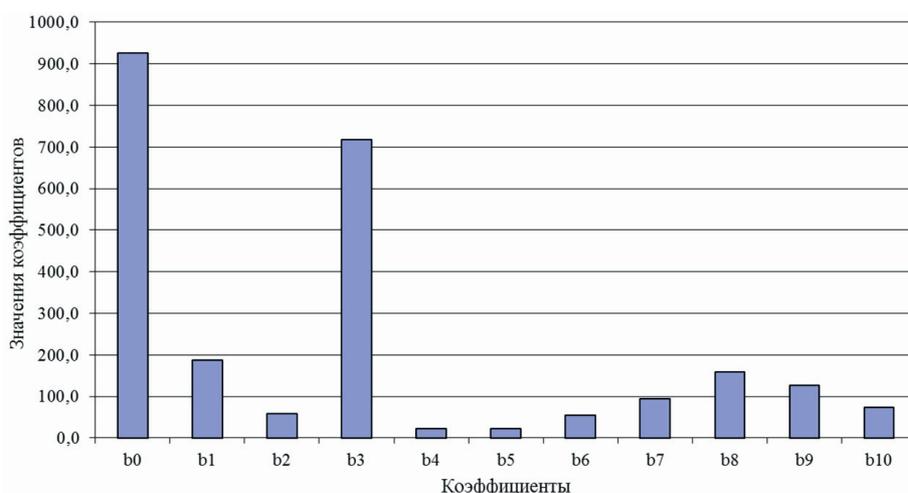


Рис. 2 – Значимость факторов в уравнении (1)

Для наглядного отображения веса каждого фактора в уравнении на рисунке 2 представлена гистограмма значений коэффициентов.

После подстановки уравнений (2) в (1) получим уравнение регрессии для производительности в зависимости от выбранных независимых параметров в раскодированном виде:

$$Q = 240,24 + 8,87n - 1,648S_{ш} - 1256,2\delta - 0,057n^2 + 0,014S_{ш}^2 + 392,26\delta^2 - 0,108nS_{ш} + 32,656n\delta + 9,227S_{ш}\delta - 0,015nS_{ш}\delta, \quad (3)$$

где n – частота вращения ножевого вала, мин⁻¹;
 $S_{ш}$ – шаг расположения ножей на ножевом валу, мм;
 δ – степень открытия выходного отверстия, мм².

Для анализа полученной регрессионной модели (3) зафиксируем один из факторов на соответствующих уровнях варьирования. Таким фактором удобнее выбрать шаг расстановки ножей на валу, так как варьирование двух других факторов возможно в диапазонах между выбранными уровнями свободно, а варьирование значений обозначенного фактора сопряжено с необходимостью более длительной и трудоёмкой настройки измельчителя.

Таким образом, фиксируя шаг ножей на трёх выбранных уровнях с соответствующими значениями, получим три уравнения регрессии:

$$Q^{S_{ш}=80} = 197,07 + 0,207n - 518,06\delta - 0,057n^2 + 392,26\delta^2 + 31,438n\delta; \quad (4)$$

$$Q^{S_{ш}=120} = 241,98 - 4,125n - 148,98\delta - 0,057n^2 + 392,26\delta^2 + 30,829n\delta; \quad (5)$$

$$Q^{S_{ш}=160} = 331,21 - 8,457n + 220,09\delta - 0,057n^2 + 392,26\delta^2 + 30,219n\delta. \quad (6)$$

Для визуального представления полученных уравнений, представляющих собой криволинейные поверхности, в координатах $[n; \delta]$ строим уравнения (4), (5) и (6) (рис. 3).

Как видно по рисунку 3, характер всех трёх поверхностей, построенных по уравнениям (4), (5) и (6), одинаков и свидетельствует о следующих зависимостях производительности измельчителя от конструктивных и режимных параметров: увеличение значений всех трёх независимых параметров, изменяемых в опытах (частота вращения ножевого вала, степень открытия выходного отверстия, шаг ножей) приводит к росту производительности,

2. Значения производительности при различных сочетаниях независимых факторов

Значения	Производительность, Q , кг/ч	Конструктивные и режимные параметры		
		частота вращения n , мин ⁻¹	шаг ножей $S_{ш}$, мм	степень открытия выходного отверстия, δ
Максимальное значение Q_{max}	2200,95	71	160	1
Минимальное значение Q_{min}	58,97	71	160	0,25
Диапазон изменения	58,97–2200,95	31–71	80–160	0,25–1
Оптимальное значение (диапазон)	2200,95	71	160	1

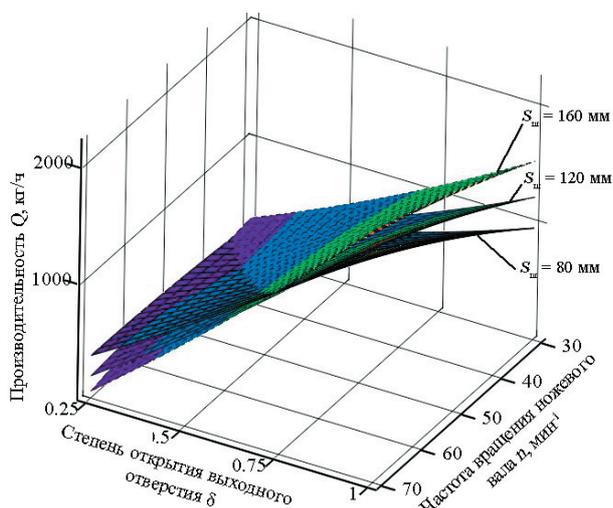


Рис. 3 – Производительность измельчителя в зависимости от частоты вращения ножевого вала n и степени открытия выходного отверстия δ при фиксированных значениях шага ножей $S_{ш}$

однако при увеличении частоты вращения и шага шнека при небольших величинах открытия выходного отверстия приводит к снижению производительности. Такая закономерность изменения производительности объясняется тем, что при больших значениях шага шнека размеры измельчённых частиц корнеклубнеплодов получаются значительно больше размеров выходного отверстия, и они сгущаются возле него, доизмельчаясь серповидным ножом до размеров, позволяющих пройти через выходное отверстие. Данное явление практически не наблюдалось в опытах с шагом ножей 80 мм.

Для определения диапазона варьирования отклика оптимальных значений факторов с помощью программы Mathcad 11.0a были проведены требуемые расчёты и полученные значения занесены в таблицу 2 [5].

Вывод. Таким образом, проведённые в соответствии с методикой многофакторного планирования лабораторные исследования шнекового измельчителя корнеклубнеплодов по определению производительности позволили выявить зависимость производительности устройства от независимых параметров: частоты вращения вала с расположенными на нём рабочими органами, выполненными в виде ножей, представляющими собой часть шнека, шага ножей и степени открытия выходного отверстия, через которое дозируются измельчённые корнеклубнеплоды. Анализ полученной зависимости позволил

определить интервал варьирования производительности устройства, который составил 58,97–2200,95 кг/ч. Кроме того, в процессе проведения опытов, а также в ходе анализа полученных данных было выявлено, что при значениях шага расстановки ножей 120 и 160 мм и при степени открытия выпускного отверстия до 0,3 и до 0,5 соответственно наблюдается снижение производительности при увеличении частоты вращения вала с рабочими органами. Данный факт объясняется тем, что при больших значениях шага расстановки рабочих органов и небольших величинах открытия выпускного отверстия размеры отсечённых кусков корнеклубнеплодов получаются слишком большими, что не позволяет им проходить в выпускное отверстие, приводит к их сгущиванию возле последнего и соответственно снижению производительности. Данное явление практически не наблюдалось при шаге 80 мм. Тем самым можно разграничить интервалы производительности в зависимости от шага ножей: для шага 80 мм интервал производительности составит от 0 до 350 кг/ч, для 120 мм – от 350 до 700 кг/ч, а для шага 160 мм – 700–2200 кг/ч. Однако при этом также необходимо руководствоваться зоотехническими требованиями, регламентирующими степень измельчения корнеклубнеплодов, а также энергетическими затратами. Данные вопросы являются дальнейшим направлением исследований.

Литература

1. Сборник требований на машины и оборудование для механизации и электрификации животноводства. М.: АгроНИИТЭНИТО, 1989. 237 с.
2. Пат. № 142728. РФ, МПК7 A01F29/00. Универсальный шнековый измельчитель кормов / Новиков В.В., Мишанин А.Л., Успенская И.В., Никитин В.А., Камышева О.А.; Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Самарская ГСХА». № 2014100759/13; заявл. 09.01.2014; опубл. 27.06.2014.
3. Лемаева М.Н. Разработка измельчителя корнеплодов и обоснование его оптимальных конструктивных параметров и режимов работы. дисс. ... канд. техн. наук. Специальность: 05.20.01. Саранск, 2007. 218 с.
4. Камышева О.А. Разработка устройства для измельчения корнеплодов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 1 (51). С. 72–74.
5. Камышева О.А., Прокофьев А.С., Молофеев И.Ю. Универсальный шнековый измельчитель кормов // Вклад молодых учёных в инновационное развитие АПК России: сб. матер. Всерос. науч.-практич. конф. Пенза: РИО ПГСХА, 2014. Т. 2. С. 177–179.
6. Новиков В.В., Камышева О.А. Технология измельчения корнеклубнеплодов // Фундаментальные основы научно-технической и технологической модернизации АПК: матер. всерос. науч.-практич. конф. Уфа: Башкирский ГАУ, 2013. Ч. 1. С. 247–253.
7. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. 304 с.
8. Mathcad 6.0 PLUS. Финансовые, инженерные и научные расчёты в среде Windows 95 / перевод с англ. Изд. 2-е, стереотип. М.: Информационно-издательский дом «Филинъ», 1997. 712 с.