

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ КОРНЕПЛОДОВ

Ключевые слова: график, измельчитель, корнеклубнеплоды, критерии оптимизации, факторы, эксперимент.

Аннотация. Проведен анализ факторов, влияющих на рабочий процесс измельчителя корнеклубнеплодов. Представлены методика проведения эксперимента и его результаты.

Обоснование актуальности. Известно, что преимуществами корнеклубнеплодов перед другими кормами являются: высокая удельная объемная энергия; высокая урожайность; хорошая усваиваемость.

Животными переваривается до 80...90 % находящихся в корнеплодах питательных веществ [2, с. 158]. При смешивании кормовых корнеклубнеплодов повышается поедаемость животными других видов кормов [2, с. 148]. Однако чтобы питательные вещества более полно усваивались животными, необходимо провести правильную подготовку их к скармливанию, одной из операций в которой является измельчение.

Процесс измельчения корнеклубнеплодов требует достаточно больших затрат энергии и до конца не исследован, несмотря на большое количество работ, посвященных данной тематике. Особое значение подготовки корнеклубнеплодов связано с формированием малых фермерских предприятий и личных подсобных хозяйств, где требуются машины с невысокой производительностью, низким энергопотреблением и малыми габаритами.

Поэтому задача по созданию новых и совершенствованию существующих измельчителей корнеклубнеплодов, обеспечивающих необходимое качество измельчения, является актуальной и имеет большое значение для экономики.

Цель исследований. Целью исследования является определение наиболее эффективной конструкции режущего диска измельчителя и анализ факторов, влияющих на процесс измельчения.

Методика проведения исследований, приборы. Для изучения процесса измельчения нами был разработан опытный образец измельчителя корнеплодов [1, с. 40].

На первом этапе экспериментальных исследований изучался вопрос о работоспособности измельчителя корнеклубнеплодов при использовании различных вариантов режущего диска и определении наиболее перспективной конструктивно-технологической схемы.

При проведении экспериментальных исследований регистрировали следующие параметры: частоту вращения режущего диска n ; полезную мощность на привод P ; размер измельченных частиц l ; пропускную способность Q .

Испытывались следующие варианты режущих дисков (рис. 1): с двумя горизонтальными ножами (режущий диск № 1, угол резания составлял 110°), с одним горизонтальным ножом (режущий диск № 2, угол резания 70°). Угол резания вертикальных ножей на обоих дисках составлял 45° . Расстояние между вертикальными ножами выбирали, исходя из зоотехнических требований, и оно составляло 20 мм.

Испытания проводили на картофеле, диаметр клубней которого составлял 43...45 мм. Частоту вращения режущего диска задавали равной 1150 мин^{-1} , 1128 мин^{-1} , 880 мин^{-1} , 711 мин^{-1} , что соответствовало линейной скорости 12, 11,8, 9 и 7,5 м/с соответственно.

Эксперимент проводили в следующей последовательности. Устанавливали необходимые конструктивные и технологические параметры, включали электродвигатель, засыпали в бункер заранее взвешенную навеску массой 10 кг, засекали время, за которое произойдет измельчение клубней, и подсчитывали пропускную способность измельчителя по известной формуле:

$$Q = \frac{3,6 \cdot G}{t}, \quad (1)$$

где G – масса навески, кг; t – время опыта, с.

С целью определения энергоемкости процесса измельчения во время проведения опытов с помощью прибора MastechMS2203 фиксировали по приборам следующие показатели: мощность холостого хода, мощность на привод режущего диска при установившемся режиме работы.

Эффективную и полезную мощности определяли по следующим выражениям:

$$W_{\text{эф}} = W_{\text{эл}} \cdot \eta_{\text{рх}} \cdot \eta_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{рем}}, \quad (2)$$

$$W_{\text{пол}} = (W_{\text{эл}} \cdot \eta_{\text{рх}} - W_{\text{ххэл}} \cdot \eta_{\text{хх}}) \cdot \eta_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{рем}}, \quad (3)$$

где $W_{эл}$ – мощность на привод режущего диска при установившемся режиме работы, замеренная по приборам, кВт; $W_{ххэл}$ – мощность холостого хода двигателя, замеренная по приборам, кВт; $W_{эф}$ – эффективная мощность на валу измельчителя, кВт; $W_{пол}$ – полезная мощность на валу измельчителя, кВт; $\eta_{рх}$ – КПД электродвигателя при рабочем режиме; η_p – КПД редуктора ($\eta_p = 0,97$); $\eta_{рем}$ – КПД ременной передачи ($\eta_{рем} = 0,95$); $\eta_{хх}$ – КПД электродвигателя при холостом ходе.

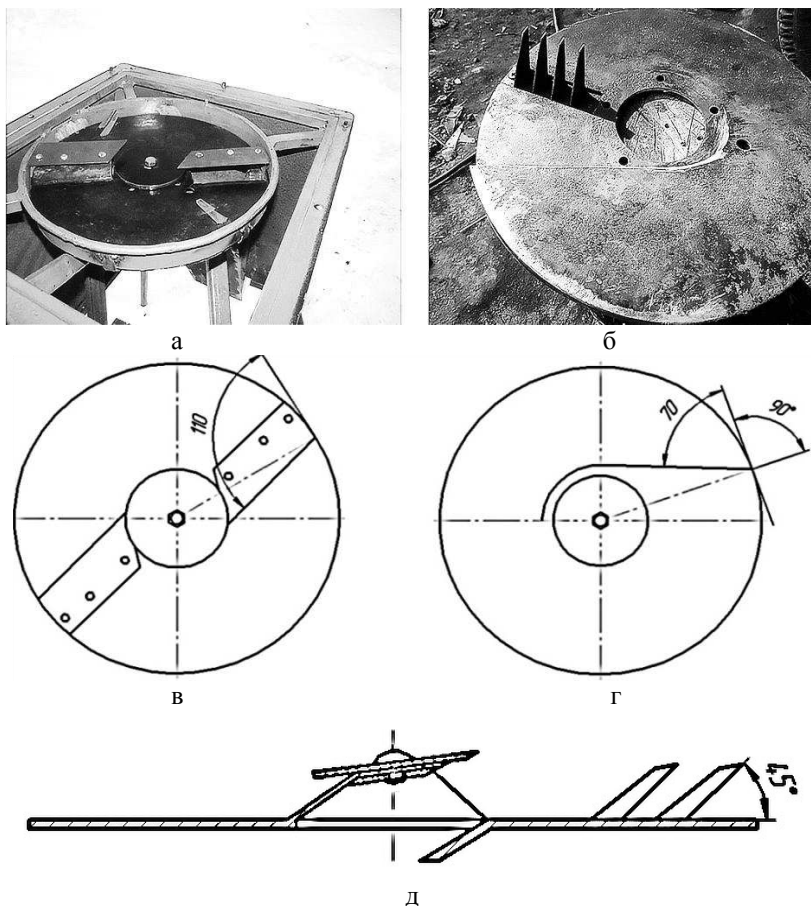


Рисунок 1 – Режущие диски: а, в – с двумя ножами (угол резания 110°); б, г – с одним ножом (угол резания 70°); д – разрез диска вдоль оси

Энергоемкость процесса измельчения или удельные энергозатраты, отнесенные к единице массы готового продукта, определяли по формуле:

$$\mathcal{E}_{эл} = \frac{W_{эл}}{Q}, \quad (4)$$

где Q – пропускная способность измельчителя, т/ч; $\mathcal{E}_{эл}$ – удельные энергозатраты, отнесенные к единице массы готового продукта, кВт·ч/т.

Удельные затраты эффективной и полезной мощности, отнесенные к единице массы готового продукта, определялись по формулам:

$$\mathcal{E}_{эф} = \frac{W_{эф}}{Q}, \quad (5)$$

$$\mathcal{E}_{пол} = \frac{W_{пол}}{Q}, \quad (6)$$

где $\mathcal{E}_{эф}$ – удельные затраты эффективной мощности, кВт·ч/т;

$\mathcal{E}_{пол}$ – удельные затраты полезной мощности, кВт·ч/т.

Удельные затраты, отнесенные к степени измельчения, находили по выражениям:

$$\varepsilon_{эл} = \frac{\mathcal{E}_{эл}}{\lambda}, \quad (7)$$

$$\varepsilon_{эф} = \frac{\mathcal{E}_{эф}}{\lambda}, \quad (8)$$

$$\varepsilon_{пол} = \frac{\mathcal{E}_{пол}}{\lambda}, \quad (9)$$

После окончания опыта из готового продукта отбирали навеску, разделяли ее на фракции, каждую из которых взвешивали на весах ВК-300.01 с точностью до 0,01 г, и подсчитывали их процентное соотношение по массе. Фракции имели следующие размерности (мм): до 15; от 15,1 до 20; от 20,1 до 30; свыше 30.

Разделение на фракции производили с помощью ручного классификатора. Затем определяли средний размер частиц согласно общепринятой методике:

$$l_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i l_{cp_i}}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (10)$$

где l_{cp} – средний размер частиц, мм; l_{cpi} – размер частиц фракции, мм; m_i – масса частиц фракции, г.

Так как привод рабочего органа можно осуществить различными способами, то с целью сравнения конструкции рабочих органов различных измельчителей основным критерием оптимизации нами принят показатель, характеризующий полезные затраты мощности, отнесенные к единице массы готового продукта с учетом степени измельчения и определяемые по выражению (9).

Однако только удельные энергозатраты, отражающие эффективность процесса измельчения, не могут выступать в качестве критериев работы машины. Кроме того готовый корм должен соответствовать зоотехническим требованиям, согласно которым толщина ломтиков должна быть 5...12 мм, ширина 10...50 мм. Поэтому нами предложен показатель, оценивающий процентное содержание частиц размером 5...15 мм в общей массе готового продукта. Расчет его производится по следующему выражению:

$$\Theta = \frac{m_{5...15}}{\sum m_i} \cdot 100, \quad (11)$$

где Θ – процентное содержание частиц размером 5...15 мм, %;
 $m_{5...15}$ – масса частиц размером 5...15 мм, г; $\sum m_i$ – масса частиц всех фракций (масса навески), г.

Вторым критерием оптимизации приняли процентное содержание фракции размером 5...15 мм.

Немаловажное значение имеет пропускная способность измельчителя. Она учитывается при проектировании технологической линии приготовления кормов, а также необходима для определения показателей дозирования. На основании этого третьим критерием оптимизации приняли пропускную способность измельчителя корнеклубнеплодов.

Результаты эксперимента. В таблицах 1...5 приведены результаты эксперимента. Анализируя данные (табл. 1), можно отметить стабильную работу агрегата при использовании режущего диска № 1: происходит равномерное возрастание пропускной способности с 0,5 до 0,7 т/ч при увеличении частоты вращения диска с 711 мин⁻¹ до 1150 мин⁻¹.

Резкий скачок пропускной способности измельчителя с 0,3 до 0,55 т/ч с режущим диском № 2 (табл. 2) при незначительном возрастании его частоты вращения с 1128 до 1150 мин⁻¹ говорит о том, что агрегат вошел в номинальный режим работы.

В ходе испытаний была отмечена нестабильная работа измельчителя с режущим диском № 2 при его частоте вращения ниже

1000 мин⁻¹, а при частоте вращения ниже 800 мин⁻¹ происходило заби-вание камеры измельчения и остановка агрегата. Поэтому пропускная способность машины на низких частотах в несколько раз ниже, чем при использовании режущего диска № 1 (табл. 2), который показывал стабильную работу в данных диапазонах частоты вращения.

Таблица 1 – Энергетические показатели работы измельчителя
корнеклубнеплодов (режущий диск № 1 с 2 ножами)

Частота вращения режущего диска, мин ⁻¹	1150	1128	880	711
Скорость резания, м/с	12	11,8	9	7,5
Потребляемая мощность $W_{эф}$, кВт	0,14	0,13	0,11	0,07
Мощность холостого хода $W_{ххэп}$, кВт	0,1	0,08	0,05	0,04
Полезная мощность $W_{пол}$, кВт	0,04	0,05	0,06	0,03
Пропускная способность измельчителя, кг/ч	0,72	0,684	0,648	0,484
Удельные энергозатраты $\mathcal{E}_{эф}$, кВт·ч/т	0,194	0,190	0,170	0,145
Удельные затраты полезной мощности $\mathcal{E}_{пол}$, кВт·ч/т	0,056	0,073	0,093	0,06
Удельные энергозатраты с учетом степени измельчения $\mathcal{E}_{эф}$, кВт·ч/(т·ед.ст.изм)	0,08	0,098	0,113	0,097
Удельные затраты полезной мощности с учетом степени измельчения $\mathcal{E}_{пол}$, кВт·ч/(т·ед.ст.изм)	0,023	0,038	0,062	0,042

Таблица 2 – Энергетические показатели работы измельчителя
корнеклубнеплодов (режущий диск № 2 с 1 ножом)

Частота вращения режущего диска, мин ⁻¹	1150	1128	880
Скорость резания, м/с	12	11,8	9
Потребляемая мощность $W_{эф}$, кВт	0,15	0,10	0,09
Мощность холостого хода $W_{ххэп}$, кВт	0,1	0,07	0,05
Полезная мощность $W_{пол}$, кВт	0,05	0,03	0,04
Пропускная способность измельчителя, т/ч	0,54	0,327	0,154
Удельные энергозатраты $\mathcal{E}_{эф}$, кВт·ч/т	0,28	0,31	0,58
Удельные затраты полезной мощности $\mathcal{E}_{пол}$, кВт·ч/т	0,093	0,061	0,260
Удельные энергозатраты с учетом степени измельчения $\mathcal{E}_{эф}$, кВт·ч/(т·ед.ст.изм)	0,111	0,123	0,229
Удельные затраты полезной мощности с учетом степени измельчения $\mathcal{E}_{пол}$, кВт·ч/(т·ед.ст.изм)	0,043	0,047	0,165

Удельные энергозатраты с учетом степени измельчения $\epsilon_{пол}$ напрямую зависят от пропускной способности измельчителя и степени измельчения материала. С увеличением частоты вращения происходит возрастание данных параметров, и это ведет к снижению энергозатрат. При использовании режущего диска № 1 энергозатраты в 1,5...3 раза ниже, чем при использовании режущего диска № 2, что свидетельствует о преимуществе данной конструкции.

Таблица 3 – Зоотехнические показатели работы измельчителя корнеклубнеплодов (режущий диск № 1 с 2 ножами)

Показатель	Значение			
Частота вращения режущего диска	1150	1128	880	711
Культура	картофель			
Процентное содержание измельченных частиц по фракциям, %:				
до 15 мм	54	40	16	8
15...20 мм	18	6	16	20
20...30 мм	20	32	26	40
30...40 мм	8	20	42	32
Средневзвешенный размер частиц, мм	18,2	22,8	29,4	29,6
Степень измельчения	2,41	1,93	1,5	1,48

Таблица 4 – Зоотехнические показатели работы измельчителя корнеклубнеплодов (режущий диск № 2 с 1 ножом)

Показатель	Значение		
Частота вращения режущего диска	1150	1128	880
Культура	картофель		
Процентное содержание измельченных частиц по фракциям, %:			
До 15 мм	50	32,1	30
15...20 мм	11,1	17,9	0
20...30 мм	22,2	44,6	30
30...40 мм	16,7	5,4	40
Средневзвешенный размер частиц, мм	20,56	22,33	28
Степень измельчения	2,14	1,97	1,57

Анализ таблиц 3 и 4 показывает, что максимальное содержание фракции до 15 мм получается при измельчении на максимальной частоте. При ее снижении наблюдается резкое снижение содержания

данной фракции в продукте и увеличение средневзвешенного размера. При этом наиболее выровненный состав получается при измельчении режущим диском с двумя горизонтальными режущими ножами.

Выводы

Анализ проведенных исследований позволил определить наиболее предпочтительную конструкцию режущего диска с количеством горизонтальных ножей не менее двух. Такая конструкция обеспечивает наиболее стабильную работу измельчителя при низких частотах, большую пропускную способность, меньшие энергозатраты, а также более выровненный гранулометрический состав готового продукта. Поэтому дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию конструктивных факторов режущего диска № 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савиных П. А., Булатов С. Ю., Смирнов Р. А. Измельчитель корнеклубнеплодов // Сельский механизатор. Москва: ОАО «Кострома», 2013. Вып. 8. С. 40–41.
2. Сысуев В. А., Алешкин А. В., Савиных П. А. Кормоприготовительные машины. Теория, разработка, эксперимент. В 2-х томах. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока. 2008. Т. 1. 640 с.

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE WORKING PROCESS OF POUNDING ROOTS

Keywords: graphic, chopper, Root crops, optimization criteria, factors, experiment.

Annotation. Article analyses The factors affecting the work of pounding root crops. It presents, methodology of the experiment and its results.

БУЛАТОВ СЕРГЕЙ ЮРЬЕВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры механики и сельскохозяйственных машин, Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (bulatov_sergey_urevich@mail.ru).

BULATOV SERGEI YUR'EVICH – candidate of technical sciences, the senior lecturer of chair of mechanics and agricultural cars, the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (bulatov_sergey_urevich@mail.ru).

СМИРНОВ РОМАН АЛЕКСАНДРОВИЧ – аспирант, Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (triamur@mail.ru).

SMIRNOV ROMAN ALEKSANDROVICH – aspirant, Nizhny Novgorod State Engineering and Economic Institute, Russia, Knyaginino, (triamur@mail.ru).
