ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2020-02-35

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING QUALITY OF OPERATION OF APPARATUS FOR GRINDING OF ROOT-AND-ROOT PLANTS BY METHOD OF ACTIVE EXPERIMENT

S. N. Shukhanov, A. S. Dorzhiyev

Federal State Budget Scientific Institution

«Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky», Irkutsk

Received 15.12.2019

Submitted 27.04.2020

Summary

The study of the process of crushing root crops allows you to analyze the factors that affect the quality performance of the device. This in turn contributes to the creation of shredders that meet the requirements for them.

Abstract

Introduction. The high-tech development of agricultural production involves modern scientific and technical support for the agricultural sector, including the creation of machines and technologies that work on innovative principles. In this regard, there is no exception technical means for mechanizing the livestock industry in agricultural production, in particular, apparatus for preparing feed for feeding, namely root crop choppers. To create and justify the parameters of a device grinding food with specified sizes, an experimental setup was invented and manufactured. **Object.** The object of the study is the technological process of preparing root-roots for feeding with the help of an apparatus for their grinding. **Materials and methods.** Modern methods of active experiment were used in conducting experiments and processing the obtained results. The qualitative performance of the device was based on the non-parametric Mann-Whitney criterion. The mean value and standard deviation in the format « $M \pm S$ » were used to determine the quantities. To enhance the ability to predefine a target quantitative variable based on several independent factors, a regression analysis method was used. The test error probability was set at 0.05. Statistical 10 and SAS JMP 11 applications were used in the investigation of experiment processing operations. **Results and conclusion.** The main indicator of the quality of functioning of the root crop chopper is «Percentage of particles in the shape of a parallelepiped». This key indicator depends on the factors «Height of the horizontal knife relative to the blade with knives (mm)», «Step of vertical knives (mm)» and «Cutting speed (revolutions per minute)». An analysis of the data obtained allowed us to obtain a regression model formula characterizing the quality indicators of the apparatus for grinding root crops. According to the results of active simulation of the response «Percentage of particles in the shape of a parallelepiped», we can conclude that the most important combination of factors is the set: «The height of the horizontal knife relative to the blade with knives (mm)», «The step of vertical knives (mm)» and «Cutting speed (rpm)». The model has a high level of forecast quality ($R^2 = 94\%$).

Key words: agro-industrial complex, agricultural production, analysis of factors, grinder of korneklubneplod, quality of work, experiments.

Citation. Shukhanov S. N., Dorzhiyev A. S. Analysis of factors affecting quality of operation of apparatus for grinding of root-and-root plants by method of active experiment. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2020. 2(58). 356-363 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2020-02-35.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.361.8

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО РАБОТЫ АППАРАТА ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ МЕТОДОМ АКТИВНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

С. Н. Шуханов, доктор технических наук, профессор

А. С. Доржиев, аспирант

*ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского»,
г. Иркутск, Россия*

Дата поступления в редакцию 15.12.2019

Дата принятия к печати 27.04.2020

Актуальность. Высокотехнологичное развитие сельскохозяйственного производства предполагает современное научно-техническое обеспечение агропромышленного комплекса, в том числе создание машин и технологий, работающих на инновационных принципах. Не составляют исключения в этом плане технические средства для механизации животноводческой отрасли сельскохозяйственного производства, в частности аппараты для подготовки кормов к скармливанию, а именно измельчители корнеклубнеплодов. Для создания и обоснования параметров устройства, измельчающего корм с заданными размерами, изобретена и изготовлена экспериментальная установка. **Объект.** Объектом исследования является технологический процесс подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию с помощью аппарата для их измельчения. **Материалы и методы.** При проведении опытов и обработке полученных результатов использовались современные методы активного эксперимента. Качественные показатели функционирования устройства проводились на основе непараметрического критерия Манна-Уитни. Для определения количественных показателей применялись среднее значение и стандартное отклонение в формате « $M \pm S$ ». Чтобы расширить возможности предопределения некоторой целевой количественной переменной на базе нескольких независимых факторов использовался способ регрессивного анализа. Значение вероятности ошибки опыта было установлено на уровне 0,05. При исследовании операций по обработке результатов экспериментов использовались прикладные программы Statistica 10 и SAS JMP 11. **Результаты и выводы.** Главным показателем качества функционирования измельчителя корнеклубнеплодов является «Процентное содержание частиц по форме параллелепипеда». Этот ключевой показатель зависит от факторов «Высота горизонтального ножа относительно диска с ножами (мм)», «Шаг вертикальных ножей (мм)» и «Скорость резания (оборотов в минуту)». Анализ полученных данных позволил получить формулу регрессионной модели, характеризующую показатели качества работы аппарата для измельчения корнеклубнеплодов. По результатам активного моделирования отклика «Процентное содержание частиц по форме параллелепипеда» можно заключить, что наиболее важным сочетанием факторов является набор: «Высота горизонтального ножа относительно диска с ножами (мм)», «Шаг вертикальных ножей (мм)» и «Скорость резания (оборотов в минуту)». Модель имеет высокий уровень качества прогноза ($R^2 = 94 \%$).

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, сельскохозяйственное производство, анализ факторов, измельчители корнеклубнеплодов, качество работы, эксперименты.

Цитирование. С. Н. Шуханов, А. С. Доржиев. Анализ факторов, влияющих на качество работы аппарата для измельчения корнеклубнеплодов методом активного эксперимента. *Известия НВ АУК.* 2020. 2(58). 356-363. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-02-35.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Высокотехнологичное развитие сельскохозяйственного производства предполагает современное научно-техническое обеспечение агропромышленного комплекса, в том числе создание машин и технологий, работающих на инновационных принципах [2, 3, 9-12]. Не составляют исключения в этом плане технические средства для механизации животноводческой отрасли сельскохозяйственного производства, в частности аппараты для подготовки кормов к скармливанию [5, 6]. Измельчению корнеклубнеплодов посвящен ряд работ ученых.

Новое техническое решение аппарата для измельчения корнеклубнеплодов описано в изыскании [7] Савиных П. А., Булатовым С. Ю. и Смирновым Р. А. Изучению условий

защемления клубней в измельчителе корнеклубнеплодов [4], а также оптимизации функционирования измельчителя [8] посвящены работы Смирнова Р. А. с соавторами.

Несмотря на широкий спектр исследований, не проводились работы по созданию аппарата для резания корнеклубнеплодов на кусочки заданных размеров, что значительно улучшает их поедаемость и усвояемость, а значит увеличивается отдача каждой кормовой единицы [6]. Для разработки и обоснования параметров устройства для измельчения корнеклубнеплодов, отвечающих этим требованиям изобретена и изготовлена экспериментальная установка на уровне патентопригодности.

Материалы и методы. Объектом исследования является технологический процесс подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию с помощью аппарата для их измельчения. При проведении опытов и обработке полученных результатов использовались современные методы активного эксперимента. Качественные показатели функционирования устройства проводились на основе непараметрического критерия Манна-Уитни. Для определения количественных показателей применялись среднее значение и стандартное отклонение в формате « $M \pm S$ ».

Чтобы расширить возможности предопределения некоторой целевой количественной переменной на базе нескольких независимых факторов использовался способ регрессивного анализа. Значение вероятности ошибки опыта было установлено на уровне 0,05. При исследовании операций по обработке результатов экспериментов использовались прикладные программы Statistica 10 и SAS JMP 11 [1].

Результаты исследования. Сущность устройства заключается в следующем. Вертикальные ножи жёстко и под углом 90 градусов установлены к горизонтальным ножам, причём с образованием вертикальных окон, сформированных сверху плоскостью горизонтального ножа, снизу плоскостью диска, а слева и справа плоскостями вертикальных ножей. Крайние вертикальные ножи пристыкованы своими боковыми плоскостями к торцевым поверхностям окна. Противорез имеет возможность работать с горизонтальными и вертикальными ножами. Расстояние между вертикальными ножами в перпендикулярном направлении к их боковым поверхностям находится в пределах от 15 до 50 мм. В совокупности это позволяет создать режущий аппарат измельчителя корнеплодов, обеспечивающий получение кусочков по форме параллелепипеда. На рисунках 1, 2, 3 и 4 показан режущий аппарат измельчителя корнеплодов, в частности на рисунке 1 показан разрез А – А, на рисунке 2 – разрез Б – Б, на рисунке 3 – разрез В – В (увеличено), на рисунке 4 – вид Г (увеличено). Режущий аппарат состоит из цилиндрического корпуса 4, который одновременно является приёмным бункером; диска 6 с вертикальными 2 и горизонтальными 3 ножами, который жёстко соединён с валом 1 электродвигателя (не показан); противорезов 5, жёстко соединённых с корпусом 4. Кроме того, к диску 6 со стороны, противоположной стороне, на которой размещены ножи 2 и 3, жёстко присоединены швырялки 8, а к корпусу 4, напротив швырялок 8, – выгрузной бункер 7. В диске 6 под горизонтальными 3 ножами выполнены окна по форме прямоугольника. Вертикальные 2 ножи жёстко и под углом 90 градусов установлены к горизонтальным 3 ножам, причём с образованием вертикальных окон, сформированных сверху плоскостью горизонтального 3 ножа, снизу плоскостью диска 6, а слева и справа плоскостями вертикальных 2 ножей. Крайние вертикальные 2 ножи пристыкованы своими боковыми плоскостями к торцевым поверхностям окна, противорезы 5 взаимодействуют с горизонтальными 3 и вертикальными 2 ножами. Расстояние между вертикальными 2 ножами в перпендикулярном направлении к их боковым поверхностям находится в пределах от 15 до 50 мм. Режущий аппарат работает следующим образом. При включении измельчителя (электродвигателя) диск 6 с ножами 2 и 3, а также со швырялками 8 приводится во вращение (против часовой стрелки) от электродвигателя (не показан) посредством вала 1.

Рисунок 1 – Режущий аппарат измельчителя корнеплодов. Разрез А – А

Figure 1 - Cutting apparatus of root crop grinder. Section A - A

Рисунок 2 – Режущий аппарат измельчителя корнеплодов. Разрез Б – Б

Figure 2 – Cutting apparatus of root crop grinder. Section Б - Б

Загружают продукт в корпус 4 через его верхний срез, который поступает на диск 6 и при взаимодействии с противорезами 5 равномерно распределяется на его торцевой поверхности и подвергается обработке. Горизонтальные и вертикальные ножи оказывают силовое воздействие на продукт, в результате чего продукт разделяется на кусочки по форме параллелепипеда, одна из граней которого соответствует профилю окон, образованных поверхностями деталей режущего аппарата. Длина полученных кусочков равна расстоянию между вертикальными 2 ножами в перпендикулярном направлении к их боковым поверхностям. Измельчённый продукт под воздействием на него ножей 2 и 3 поступает в полость швырялки 8 через окна, выполненные в диске 6 под ножами 3, и далее под воздействием швырялки 8 – в выгрузной бункер 7.

Рисунок 3 – Режущий аппарат измельчителя корнеплодов. Разрез В – В

Figure 3 – Cutting apparatus of root crop grinder. Section B – B

Рисунок 4 – Режущий аппарат измельчителя корнеплодов. Вид Г

Figure 4 – Cutting apparatus of root crop grinder. Type Г.

Главным показателем качества функционирования измельчителя корнеклубнеплодов является «Процентное содержание частиц по форме параллелепипеда». Этот ключевой показатель предположительно зависит от факторов «Высота горизонтального ножа относительно диска с ножами (мм)», «Шаг вертикальных ножей (мм)» и «Скорость резания (оборотов в минуту)».

После проведения регрессионного анализа были получены результаты, представленные ниже.

Таблица 1 – Структура регрессионной модели для целевого показателя
«Процентное содержание частиц по форме параллелепипеда»

Table 1 – Regression Model Structure for Parallelepiped Particle Percentage Target

Фактор / Factor	Бета-коэффициент / Beta coefficient	Коэффициент регрессии / Regression coefficient	Уровень Р / Level P
Константа / Constant		-217,708	<0,0001
Высота горизонтального ножа относительно диска с ножами (мм) / Height of horizontal knife relative to blade disc (mm)	- 0,338	- 0,325	<0,0001
Шаг вертикальных ножей (мм) / Vertical knife pitch (mm)	- 0,321	- 0,308	<0,0001

Скорость резания (оборотов в минуту) / Cutting speed (rpm)	0,236	0,454	<0,0001
--	-------	-------	---------

Фактор «Скорость резания (оборотов в минуту)» имеет положительное влияние на ключевой показатель «Процентное содержание частиц по форме параллелепипеда», а факторы «Высота горизонтального ножа относительно диска с ножами (мм)» и «Шаг вертикальных ножей (мм)» оказывают отрицательное влияние. Необходимо подчеркнуть, что факторы являются статистически значимыми, что говорит о тесной интеграции их в единую регрессионную модель.

При увеличении «Скорость резания (оборотов в минуту)» на единицу прогнозные значения «Процентное содержание частиц по форме параллелепипеда» будут в среднем увеличиваться на 0,45 единиц. А при увеличении «Высота горизонтального ножа относительно диска с ножами (мм)» и «Шаг вертикальных ножей (мм)» на 1 единицу прогнозные значения «Процентное содержание частиц по форме параллелепипеда» будут в среднем уменьшаться на 0,32 и 0,31 единиц соответственно. Наибольшее положительное влияние в регрессионную модель несет фактор «Скорость резания (оборотов в минуту)».

В таблице 2 приведены показатели качества и формула регрессивной модели. Коэффициент детерминации со значением 94 % говорит о высоком прогнозном качестве модели (Уровень $P < 0,0001$).

Таблица 2 – Показатели качества и формула регрессионной модели показателя
«Процентное содержание частиц по форме параллелепипеда»

Table 2 – Quality and regression model formula for Parallelepiped Particle Percentage

Значимость регрессии / Importance of regression	$R^2 = 94,3 \%$, Уровень $P < 0,0001$
Формула регрессии / Regression formula	Процентное содержание частиц по форме параллелепипеда = - 217, 71 - 0, 33 * Высота горизонтального ножа относительно диска с ножами (мм) - 0, 31 * Шаг вертикальных ножей (мм) + 0, 45 * Скорость резания (оборотов в минуту) / Parallelepiped particle percentage = - 217, 71 - 0, 33 * Height of horizontal knife relative to knife disc (mm) - 0, 31 * Pitch of vertical knives (mm) 0, 45 * Cutting speed (rpm)

Рисунок 5 наглядно демонстрирует возможности построения модели делать прогнозы и насколько эти прогнозы соответствуют наблюдаемым значениям отклика. Облако точек хорошо выстраивается вдоль линии регрессии, что говорит о тесной связи между прогнозными и реальными значениями отклика.

Рисунок 5 – График соответствия наблюдаемых значений прогнозным (модельным)

Figure 5– Graph of observed values dependence on forecast (model) values

Выводы. По результатам активного моделирования отклика «Процентное содержание частиц по форме параллелепипеда» можно заключить, что наиболее важным сочетанием факторов является набор: «Высота горизонтального ножа относительно диска с ножами (мм)», «Шаг вертикальных ножей (мм)» и «Скорость резания (оборотов в минуту)». Модель имеет высокий уровень качества прогноза ($R^2 = 94\%$).

Библиографический список

1. Алгоритм проведения первичной статистической обработки массивов экспериментальных данных / Д. В. Лаухин, А. В. Бекетов, Н. А. Ротт, В. Д. Лаухин // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектурн. 2017. № 2. С. 222-228.
2. Асалханов П. Г., Иванько Я. М., Полковская М. Н. Модели оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с экспертными оценками своевременности посева // Моделирование систем и процессов. 2019. Т. 12. № 3. С. 5-10.
3. Бутенко А. Ф., Асатурян А. В., Чепцов С. М. Экспериментальное определение параметров активного питателя ленточного метателя зерна // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 1 (17). С. 17-21.
4. Изучение условий заземления клубней в измельчителе корнеклубнеплодов / А. В. Алешкин, С. Ю. Булатов, П. А. Савиных, Р. А. Смирнов // Вестник НГИЭИ. 2016. № 10(65). С. 54-61.
5. Карпов В. В., Гулевский В. А. Анализ взаимодействия рабочих органов гофрошечных барабанов очистителя кормовых корнеплодов с объектами очистки // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2017. № 2. С. 121 – 128.
6. Карпов В. В., Гулевский В. А. Влияние загрязненности и влажности почвенных примесей на эффективность очистки кормовых корнеплодов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2017. № 3. С. 87 – 92.
7. Савиных П. А., Булатов С. Ю., Смирнов Р. А. Измельчитель корнеклубнеплодов // Сельский механизатор. 2013. № 8. С. 40-41.
8. Савиных П. А., Булатов С. Ю., Смирнов Р. А. Оптимизация рабочего процесса измельчителя корнеклубнеплодов // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2015. № 3(3). С. 36-42.
9. Хабардин В. Н. Определение экологической безопасности применения мобильных средств технического обслуживания машин // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. № 3 (51). С. 116-121.
10. Constructive - regime parameters of rotor - brush cleaner for tuberous roots dry cleaning / B. Nuralin, A. Bakushev, M. Janaliev, Z. Kubashev, N. Omarova, V. Zakharov // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 2018. V. 40. № 2. P. 113.
11. Mathematical model of biogas treatment process with a zeolite filter / V. P. Druzyanova,

Yu. Zh. Dondokov, O. M. Osmonov, A. A. Brichagina, O. P. Semenova // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. V.9. № 9. P. 280-288.

12. Shukhanov S. N. Interaction elements of particles of grain lots with air during the work of tape thrower // Agrarian Scientific Journal. 2015. Vol. 12. P. 58-59.

Conclusions. Based on the results of the active simulation of the response "Percentage of particles by parallelepiped shape," it can be concluded that the most important combination of factors is the set: "Height of the horizontal knife relative to the disk with knives (mm)," "Pitch of vertical knives (mm)" and "Cutting speed (revolutions per minute)." The model has a high level of forecast quality ($R^2 = 94\%$).

References

1. Algorithm of primary statistical processing of experimental data arrays / D. V. Laukhin, A. V. Beketov, N. A. Rott, V. D. Laukhin // Visnik Pridniprovkoi power i akademii budivnitsva that architecturn. 2017. № 2. P. 222-228.

2. Asalkhanov P. G., Ivaño Y. M., Polovskaya M. N. Models of Optimization of Agricultural Production with Expert Assessments of Sowing Timeliness // Modeling of Systems and Processes. 2019. Vol. 12. № 3. P. 5-10.

3. Butenko A.F., Asaturyan A. V., Chaptsov S. M. Experimental determination of parameters of the active feeder of the grain belt meter // Journal of APK Stavropol. 2015. № 1 (17). P. 17-21.

4. Study of Conditions of Tuber Pinching in Root Club Grinder / A. V. Aleshkin, S. U. Bulatov, P. A. Savin, R. A. Smirnov // Journal of NGIEI. 2016. № 10 (65). P. 54-61.

5. Karpov V. V., Gulevsky V. A. Analysis of Interaction of Working Bodies of Corrugated Drums of Feed Root Crop Cleaner with Cleaning Facilities // Journal of Voronezh State Agrarian University. 2017. № 2. P. 121 - 128.

6. Karpov V. V., Gulevsky V. A. Impact of contamination and moisture of soil impurities on efficiency of purification of fodder roots // Journal of Voronezh State Agrarian University. 2017. № 3. P. 87 - 92.

7. Savin P. A., Bulatov S. J., Smirnov R. A. Grinder of root-club plants // Rural Mechanizer. 2013. № 8. P. 40-41.

8. Savin P. A., Bulatov S. J., Smirnov R. A. Optimization of the working process of the grinder of roots // Journal of the Mari State University. Series: Agricultural sciences. Economic Sciences. 2015. № 3 (3). P. 36-42.

9. Habardin V. N. Definition of Environmental Safety of Mobile Machine Maintenance Equipment // Far East Agrarian Gazette. 2019. № 3 (51). P. 116 - 121.

10. Constructive - regime parameters of rotor - brush cleaner for tuberous roots 2dry cleaning / B. Nuralin, A. Bakushev, M. Janaliev, Z. Kubashev, N. Omarova, V. Zakharov // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 2018. V. 40. № 2. P. 113.

11. Matimatical model of biogas treatment process with a zeolite filter / V. P. Druzyanova, Yu. Zh. Dondokov, O. M. Osmonov, A. A. Brichagina, O. P. Semenova // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. V.9. № 9. P.280-288.

12. Shukhanov S. N. Interaction elements of particles of grain lots with air during the work of tape thrower // Agrarian Scientific Journal. 2015. Vol. 12. P. 58-59.

Information on authors

Stanislav Nikolayevich Shukhanov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor Address: Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, 664038, Irkutsk Region, Irkutsk District, Youth Village. E-mail: Shuhanov56@mail.ru

Dorzhiiev Arsalan Sergeivich, postgraduate student . Address: Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, 664038, Irkutsk region, Irkutsk district, Youth village, 1. E-mail: ar.s.d@mail.ru

Информация об авторах

Шуханов Станислав Николаевич, доктор технических наук, доцент Адрес: Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, 664038, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, 1. E-mail: Shuhanov56@mail.ru

******* ИЗВЕСТИЯ *******

**НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:
НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

№ 2 (58), 2020

Доржиев Арсалан Сергеевич, аспирант Адрес: Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, 664038, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, 1.
E-mail: ar.s.d@mail.ru