

РЕГРЕССИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ

REGRESSIVE MODELING OF A ROOT AND TUBER CHOPPER FUNCTIONING

Ключевые слова: экспериментальные исследования, регрессивное моделирование, корнеклубнеплоды, измельчитель.

Известно, что измельчение корма способствует его лучшему поеданию и увеличивает отдачу каждой кормовой единицы. С целью решения технической задачи по созданию устройства для измельчения корнеклубнеплодов, обеспечивающего заданные размеры корма, создан аппарат на уровне патентпригодности. На основе этого изобретения изготовлена экспериментальная установка. Для обоснования конструктивных и кинематических параметров измельчителя корнеклубнеплодов проведены опыты с применением регрессивного моделирования. При проведении статистического анализа сравнения двух групп по количественным шкалам проводились на основе непараметрического критерия Манна-Уитни. Для описания количественных показателей использовались среднее значение и стандартное отклонение в формате « $M \pm S$ ». Для проведения возможности прогнозирования некоторой целевой количественной переменной на основе нескольких независимых переменных (факторов) применялся метод множественного регрессивного анализа. Уровень статической значимости был зафиксирован на уровне вероятности ошибки 0,05. Статистическая обработка данных выполнена с использованием пакетов прикладных программ Statistica 10 и SAS JMP 11. По результатам регрессионного моделирования отклика мож-

но заключить, что модель имеет высокий уровень качества прогноза ($R^2 = 92,4\%$).

Keywords: experimental studies, regressive modeling, roots and tubers, chopper.

It is known that forage chopping contributes to its better eating and increases the return of each feed unit. In order to solve the technical problem of creating a device for chopping root and tuber crops that ensures the specified feed sizes, a device was developed to the level of patentability. Based on this invention, an experimental plant was made. To substantiate the constructive and kinematic parameters of the chopper, experiments were conducted using regression modeling. When conducting a statistical analysis, comparisons of two groups on quantitative scales were carried out on the basis of the non-parametric Mann-Whitney test. To describe the quantitative indices, the average value and standard deviation in the format " $M \pm S$ " was used. To carry out the possibility of predicting some target quantitative variable based on several independent variables (factors), the method of multiple regression analysis was used. The level of static significance was recorded at an error probability level of 0.05. Statistical data processing was performed using the software packages Statistica 10 and SAS JMP 11. According to the results of regression modeling of the response, it may be concluded that the model has a high level of forecast quality ($R^2 = 92.4\%$).

Шуханов Станислав Николаевич, д.т.н., проф. каф. «Техническое обеспечение АПК», Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского. E-mail: Shuhanov56@mail.ru.

Доржиев Арсалан Сергеевич, аспирант, Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского. E-mail: ar.s.d@mail.ru.

Косарева Анна Викторовна, к.т.н., доцент каф. «Технический сервис и общеинженерные дисциплины», Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского. E-mail: ankosar@mail.ru

Shukhanov Stanislav Nikolayevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Technical Support of Agricultural Industry, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Yezhevskiy. E-mail: Shuhanov56@mail.ru.

Dorzhiyev Arsalan Sergeevich, post-graduate student, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Yezhevskiy. E-mail: ar.s.d@mail.ru.

Kosareva Anna Viktorovna, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Technical Maintenance and General Engineering Courses, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Yezhevskiy. E-mail: ankosar@mail.ru.

Введение

Техническое обеспечение животноводческой отрасли на современном этапе научного сопровождения агропромышленного комплекса предполагает создание машин агроинженерных систем, работающих на инновационных принципах [1-4]. В этом ряду проблем актуальное значение

уделяется совершенствованию измельчителей корнеклубнеплодов. Известно, что измельчение корма способствует его лучшему поеданию и увеличивает отдачу каждой кормовой единицы [5].

С целью решения технической задачи по созданию устройства для измельчения корнеклубнеплодов, обеспечивающего заданные раз-

меры корма, создан аппарат на уровне патенто-пригодности [6]. На основе этого изобретения изготовлена экспериментальная установка для практической реализации проекта. Одним из этапов на этом пути является регрессивное моделирование функционирования измельчителя.

Объект и методы исследования

Объектом исследования является функционирование измельчителя корнеклубнеплодов. Экспериментальные исследования и анализ полученных данных проводились с использованием теории планирования экспериментов. При проведении статистического анализа сравнения двух групп по количественным шкалам проводились на основе непараметрического критерия Манна-Уитни. Для описания количественных показателей использовались среднее значение и стандартное отклонение в формате « $M \pm S$ ».

Для проведения возможности прогнозирования некоторой целевой количественной переменной на основе нескольких независимых переменных (факторов) применялся метод множественного регрессивного анализа. Уровень статической значимости был зафиксирован на уровне вероятности ошибки 0,05. Статистическая обработка данных выполнена с использованием пакетов прикладных программ Statistica 10 и SAS JMP 11 [7-9].

Результаты исследования

Сущность устройства заключается в следующем. Вертикальные ножи жёстко и под углом 90° установлены к горизонтальным ножам, причём с образованием вертикальных окон, сформированных сверху плоскостью горизонтального ножа, снизу – плоскостью диска, а слева и справа плоскостями вертикальных ножей. При этом крайние вертикальные ножи пристыкованы своими боковыми плоскостями к торцевым поверхностям окна. Противорез имеет возможность взаимодействия 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 возможность получения кусочков по форме параллелепипеда. На рисунках 1-4 показан режущий аппарат измельчителя корнеплодов, в частности на рисунке 1 представлен разрез А-А, на рисунке 2 – разрез Б-Б, на рисунке 3 – разрез В-В

(увеличенно), на рисунке 4 – вид Г (увеличенно). 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. При этом в диске 6 под горизонтальными 3 ножами выполнены окна по форме прямоугольника. Вертикальные 2 ножи жёстко и под углом 90° 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. При этом крайние вертикальные 2 ножи пристыкованы своими боковыми плоскостями к торцевым поверхностям окна, противорезы 5 имеют возможность взаимодействия 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. 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. При этом 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 плоскость швырялки 8 через окна, выполненные в диске 6 под ножами 3, и далее под воздействием швырялки 8 – в выгрузной бункер 7.

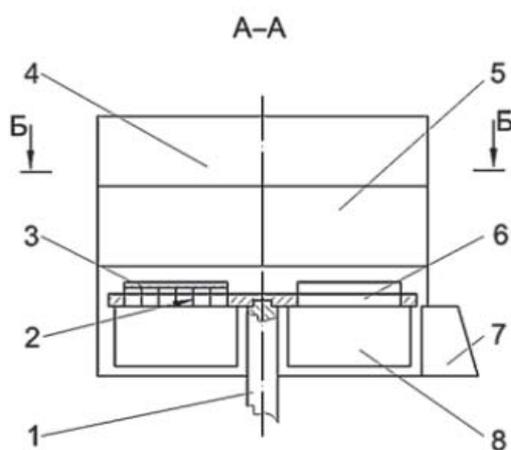


Рис. 1. Режущий аппарат измельчителя корнеплодов. Разрез А-А

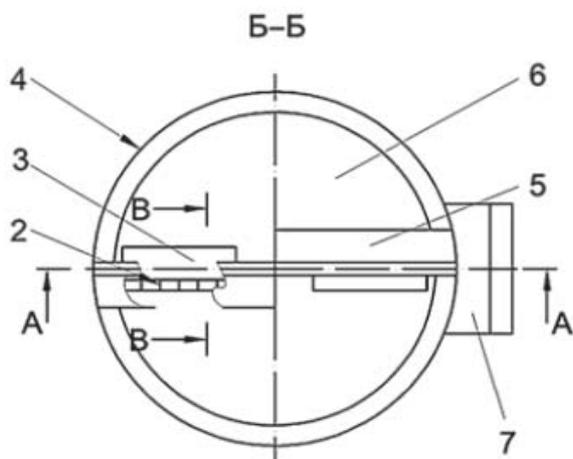


Рис. 2. Режущий аппарат измельчителя корнеплодов. Разрез Б-Б

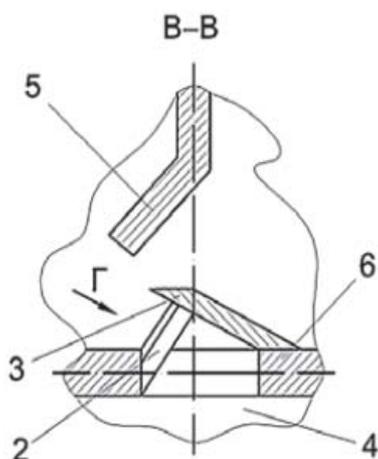


Рис. 3. Режущий аппарат измельчителя корнеплодов. Разрез В-В

Полученные результаты экспериментальных исследований по получению кусочков по форме параллелепипеда представлены методом регрессионного моделирования. Функцию отклика в общем виде можно представить в виде полинома второй степени

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i \geq j}^n b_{i,j} x_i x_j,$$

где x_i, x_j – значения входных факторов;

b_0 – свободный член;

$b_i, b_{i,j}$ – коэффициенты регрессии.

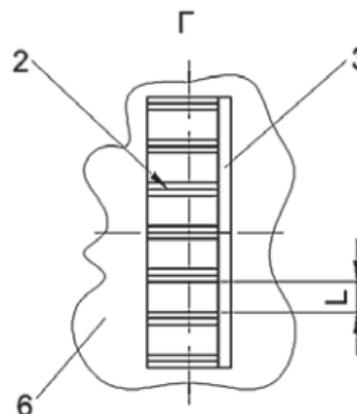


Рис. 4. Режущий аппарат измельчителя корнеплодов. Вид Г

При этом выбор слагаемых из этой формулы, которые должны присутствовать в итоговой модели, должен проводиться на основе статистических процедур регрессионного анализа.

Для построения итоговой модели целевого показателя «Процентное содержание частиц по форме параллелепипеда» использовался метод шагового регрессионного анализа, алгоритм включения. Входными факторами являлись «Высота горизонтального ножа относительно диска с ножами», мм (X_1). «Шаг вертикальных ножей», мм (X_2). «Скорость резания (оборотов в минуту)» (X_3). В результате анализа были получены следующие результаты.

В таблице 1 представлены коэффициенты и бета-коэффициенты регрессионной модели для целевого показателя «Процентное содержание частиц по форме параллелепипеда» для следующих факторов: « $X_1 \cdot X_2$ », « $X_1 \cdot X_1$ » и « $X_3 \cdot X_3$ ».

Фактор $X_3 \cdot X_3$ имеет положительное влияние на целевой показатель «Процентное содержание частиц по форме параллелепипеда», а факторы « $X_1 \cdot X_2$ » и « $X_1 \cdot X_1$ » оказывают отрицательный вклад. Все факторы являются статистически значимыми, что говорит о тесной интеграции их в единую регрессионную модель.

В таблице 2 представлены показатели качества и формула регрессионной модели для возможности подставлять текущие значения факторов и строить прогноз. Коэффициент детерминации со значением 92% говорит о высоком прогнозируемом качестве модели (Уровень $P < 0,0001$).

Таблица 1

**Структура регрессионной модели
для целевого показателя «Процентное содержание частиц по форме параллелепипеда»**

Фактор	Бета-коэффициент	Коэффициент регрессии	Уровень Р
Константа		- 85,044	< 0,0001
X1*X2	- 0,250	- 0,021	< 0,0001
X1*X1	- 0,160	- 0,001	0,0480
X3*X3	- 0,840	0,0004	< 0,0001

Таблица 2

**Показатели качества и формула регрессионной модели
показателя «Процентное содержание частиц по форме параллелепипеда»**

Значимость регрессии	$R^2 = 92,4 \%$, Уровень $P < 0,0001$
Формула регрессии	Процентное содержание частиц по форме параллелепипеда = $- 85,044 - 0,021 * X1*X2 - 0,001*X1*X1 + 0,0004*X3*X3$

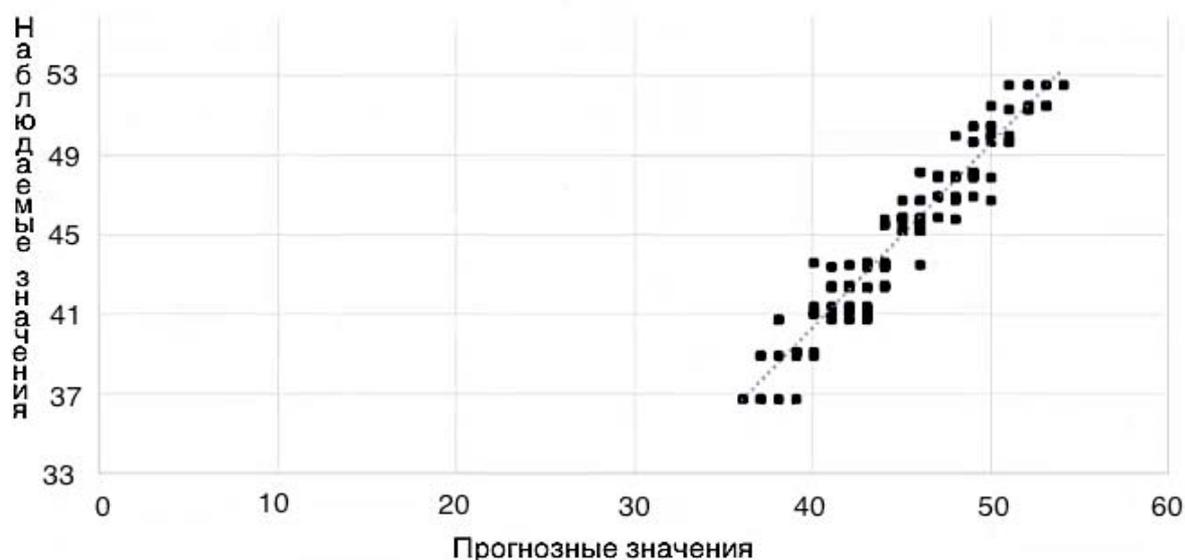


Рис. 5. График зависимости наблюдаемых значений от прогнозных (модельных)

Рисунок 5 наглядно демонстрирует возможности построенной 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.

Вывод

По результатам регрессионного моделирования отклика «Процентное содержание частиц по форме параллелепипеда» можно заключить, что модель имеет высокий уровень качества прогноза ($R^2 = 92,4\%$).

Библиографический список

1. Шуханов С.Н., Болоев П.А., Коваливнич В.Д., Гармаев Ж.В. Опытный измельчитель корнеклубнеплодов // Вестник АПК Верхневолжья. – 2014. – № 2 (26). – С. 86 - 87.
2. Шуханов С.Н., Болоев П.А., Коваливнич В.Д., Доржиев А.С. Модернизация технических средств для измельчения корнеклубнеплодов // Аграрная наука. – 2015. – № 5. – С. 30 - 31.
3. Шуханов С.Н., Кузьмин А.В., Сосоров Е.В. Совершенствование технических средств для измельчения корнеплодов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3 (59). – С. 93-95.
4. Хабардин В.Н., Шуханов С.Н., Доржиев А.С. Измельчитель корнеклубнеплодов / Патент на

изобретение Ru, № 2677978 С1, МПК, А01F 29/00, Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Иркутский ГАУ им. А.А. Ежевского» заявл. 15.11.17; опубликовано 22.01.2019. Бюл. № 3.

5. Карпов В.В. Повышение эффективности технологического процесса подготовки кормовых корнеплодов к скармливанию: дис. ... канд. техн. наук / Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I. – Воронеж, 2018.

6. Шуханов С.Н., Доржиев А.С. Режущий аппарат измельчителя корнеклубнеплодов / Патент на полезную модель Ru, № 186473 U1, МПК, А01F 29/00, В02С 18/06, заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Иркутский ГАУ им. А.А. Ежевского» заявл. 18.10.17; опублик. 22.01.19. Бюл. № 3.

7. Боровиков В. STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере (с CD-ROM). – 2 изд. – Питер, 2003.

8. Вуколов Э.А. Основы статистического анализа: практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов «Statistica» и «Excel». – М.: Форум, 2004. – 464 с.

9. Халафян А. А. «STATISTICA 6. Статический анализ данных. – 3-е изд. М.: ООО «Бином-Пресс», 2007. – 512 с.

eskikh sredstv dlya izmelcheniya korneklubneplodov // Agrarnaya nauka. – 2015. – No. 5. – S. 30-31.

3. Shukhanov S.N., Kuzmin A.V., Sosorov E.V. Sovershenstvovanie tekhnicheskikh sredstv dlya izmelcheniya korneplodov // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – No. 3 (59). – S. 93-95.

4. Khabardin V.N., Shukhanov S.N., Dorzhiev A.S. Izmelchitel korneklubneplodov / Patent na izobretenie Ru, No. 2677978 S1, MPK, A01F 29/00, Zayavitel i patentoobladatel FGBOU VO «Irkutskiy GAU im. A.A. Ezhevskogo» заявл. 15.11.17; опубликовано 22.01.2019. Бюл. No. 3.

5. Karpov V.V. Povyshenie effektivnosti tekhnologicheskogo protsesssa podgotovki kormovykh korneplodov k skarmlivaniyu: dis. ... kand. tekhn. nauk / Voronezhskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. Imperatora Petra I. – Voronezh, 2018.

6. Shukhanov S.N., Dorzhiev A.S. Rezhushchiy apparat izmelchitelya korneklubneplodov / Patent na poleznuyu model Ru, No. 186473 U1, MPK, A01F 29/00, B02C 18/06, Zayavitel i patentoobladatel FGBOU VO «Irkutskiy GAU im. A.A. Ezhevskogo» заявл. 18.10.17; опубликовано 22.01.19. Бюл. No. 3.

7. Borovikov V. STATISTICA: Iskusstvo analiza dannykh na kompyutere (s CD-ROM), 2-e izd. Piter, 2003.

8. Vukolov E.A. Osnovy statisticheskogo analiza. Praktikum po statisticheskim metodam i issledovaniyu operatsiy s ispolzovaniem paketov «Statistica» i «Excel». – М.: Forum, 2004. – 464 с.

9. Khalafyan A.A. STATISTICA 6. Statcheskiy analiz dannykh. 3-e izd. – М.: ООО «Binom-Press», 2007. – 512 с.

References

1. Shukhanov S.N., Boloev P.A., Kovalivnich V.D., Garmayev Zh.V. Opytnyy izmelchitel korneklubneplodov // Vestnik APK Verkhnevolzhya. – 2014. – No. 2 (26). – S. 86-87.

2. Shukhanov S.N., Boloev P.A., Kovalivnich V.D., Dorzhiev A.S. Modernizatsiya tekhnich-



УДК 631.363.2

В.Г. Игнатенков, М.Б. Тельпук, В.В. Шлапаков
V.G. Ignatenkov, M.B. Telpuk, V.V. Shlapakov

МАТРИЧНЫЙ СМЕСИТЕЛЬ-ГРАНУЛЯТОР ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОРМОВЫХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ САПРОПЕЛЯ

MATRIX MIXER-PELLETER FOR PRODUCTION OF SAPROPEL-BASED FEED SUPPLEMENTS

Ключевые слова: сапропель, витаминно-кормовая добавка, смеситель-гранулятор, однородность смешивания.

Проведенные исследования показали, что целесообразно использование сапропелекормовой добавки в гранулированной форме для длительного сохранения ее

питательных качеств и точного дозирования при скармливании сельскохозяйственным животным. В качестве агрегата для приготовления сапропелекормовой добавки предложен матричный смеситель-гранулятор с парогенератором нормированной подачи пара в камеру смешивания. Проведены экспериментальные исследования, выявлены рациональные конструктивные параметры