

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПАРАМЕТРОВ И ПРОЦЕССОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

V.V. Matyushev, V.O. Stenina,  
I.A. Chaplygina, A.A. Belyakov

THE SUBSTANTIATION OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL  
PARAMETERS AND MILLING PROCESSES OF POTATO TUBERS

**Матюшев В.В.** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. товароведения и управления качеством продукции АПК Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: matyushe@yandex.ru

**Стенина В.О.** – асп. каф. товароведения и управления качеством продукции АПК Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: matyushe@yandex.ru

**Чаплыгина И.А.** – канд. биол. наук, доц. каф. товароведения и управления качеством продукции АПК Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: ledum\_palustre@mail.ru

**Беляков А.А.** – канд. техн. наук, доц., инженер ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск. E-mail: belyakov@ksc.krasn.ru

**Matyushev V.V.** – Dr. Techn. Sci., Prof., Head, Chair of Merchandizing and Product Quality Control of AIC, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: matyushe@yandex.ru

**Stenina V.O.** – Post-Graduate Student, Chair of Merchandizing and Product Quality Control of AIC, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: matyushe@yandex.ru

**Chaplygina I.A.** – Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Chair of Merchandizing and Product Quality Control of AIC, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: ledum\_palustre@mail.ru

**Belyakov A.A.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Engineer, FRC KSC, SB RAS, Krasnoyarsk. E-mail: belyakov@ksc.krasn.ru

Статья посвящена исследованию конструктивно-технологических параметров и процессов измельчения клубней картофеля за счет оптимизации конструктивных, технологических показателей и обоснованного выбора оптимальных режимных параметров функционирования измельчителя с использованием уточняющих данных по размеру ломтиков, применяемых в кормовых смесях для различных видов сельскохозяйственных животных. Приведены методика и результаты исследований по определению теоретического и практически допустимого оптимума, характеризующего эффективную технологическую линию, включающую измельчитель картофеля в качестве одного из звеньев. запатентованная установка по измельчению клубнеплодов позволяет за счёт конструктивных особенностей и гибкого регулирования режимов эксплуатации установить эффективные режимы получения картофельных ломтиков. Предлагаемый подход объясняет повышение эффективности комплекса процессов измельчения клубней картофеля посредством выбора значений частоты вращения конусного вала, частоты вращения измельчающего барабана, шага размещения и угла наклона ножей барабана установки, обеспечивающей совместное движение к оптимуму (максимуму или минимуму) частоты технологического

цикла обработки сырья, производительности установки, удельных энергетических затрат на приводы конусного вала и измельчающего барабана установки, а также компромиссного выбора толщины готового корма и других технологических показателей. Результаты проведённых исследований обобщены в прогнозируемых оптимальных конструктивных и технологических параметрах процесса измельчения клубней картофеля, а также в формируемых режимах производства картофельных ломтиков для кормовых смесей.

**Ключевые слова:** эффективный режим, измельчение, сырьё, картофель, параметры, установка, ножи, производительность, затраты, толщина.

The research is devoted to the study of constructive and technological parameters and processes of potato tuber grinding by optimizing the design, technological indicators and justified selection of optimum operating parameters of shredder operation using refining data on the size of the slices used in feed mixtures for various types of farm animals. The methodology and the results of the research on the definition of theoretical and almost admissible optimum characterizing effective technological line including potatoes grinder as one of links

are given. Patented installation for grinding tubers allows us to establish effective regimes for obtaining potato slices due to design features and flexible regulation of operating conditions. Proposed approach explains the increase in the efficiency of the complex of grinding processes of potatoes tubers by selecting the values of rotational speed of the shaft, rotational speed of grinding drum, the pitch of the placement and the angle of inclination of the drum of the unit, ensuring joint movement to the optimum (maximum or minimum) capacity of the installation, specific energy costs for the drives of cone shaft, and grinding drum of the installation, as well as compromise choice thickness of ready-made feed and other technological indicators. The results of conducted studies are objectified in predicted optimal design and technological parameters of grinding process of potatoes tubers as well as in formed production regimes of potato slices for fodder mixtures.

**Keywords:** efficient mode, grinding, raw materials, potatoes, parameters, installation, knives, productivity, expenses, thickness.

**Введение.** Совершенствование конструкции измельчителя клубней картофеля обеспечит формирование оптимальных энергетических и конструктивно-технологических параметров, режимов эксплуатации технологической линии по приготовлению кормовых смесей для сельскохозяйственных животных. Это, в свою очередь, способствует усвояемости кормов, повышению производительности отрасли животноводства и качества готовой продукции. Однако в фермерских хозяйствах необходимо использовать малогабаритные мультифункциональные и энергосберегающие измельчители клубнеплодов, которые позволят получить готовый корм для скормливания сельскохозяйственным животным. Формирование процессов одновременного резания и измельчения клубнеплодов является перспективным для получения качественного корма. Поэтому актуальным является исследование данных процессов с обоснованием эффективных конструктивных параметров и режимов работы.

**Цель исследований.** Совершенствование технологии измельчения клубней картофеля путём оптимального сочетания комплекса конструктивных, технологических и обоснования режимных параметров функционирования установки.

**Задачи исследований:** на основе закономерностей изменения производительности и удельной энергоёмкости процессов измельчения клубней картофеля выполнить поиск оптимума конструктивных, технологических параметров функционирования установки; обосновать эффективные режимы получения измельчённого картофеля для кормления различных видов сельскохозяйственных животных.

**Методы исследований.** Экспериментальные исследования проводились на запатентованной

установке [1] в Инжиниринговом центре ФГБОУ ВО и ООО «Учхоз "Миндерлинское"» ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ в 2016–2017 гг. (п. Борск, Сухобузимский район).

Для анализа физико-механических свойств были использованы клубни картофеля сорта Гала, который по техническим требованиям не относится к категориям «продовольственный» или «семенной» картофель (ГОСТ Р 51808-2013; ГОСТ Р 53136-2008). Все опыты проводились в трёхкратной повторности. Отбор проб клубней картофеля сорта Гала проводили согласно ГОСТ 7194-81. Были определены линейные размеры и масса клубней картофеля.

Прогнозирование конструктивных и технологических параметров измельчения картофеля осуществлено в два этапа. Для начала выполнено варьирование управляющих показателей: частоты вращения конусного вала ( $\omega_k$ , Гц), частоты вращения измельчающего барабана ( $\omega_b$ , Гц), шага установки ( $h$ , мм) и угла наклона ножей барабана ( $\alpha$ , град) на шести уровнях, соответственно в диапазонах изменений показателей 12–16 Гц, 22–28 Гц, 33–68 мм, 0–16 град, получено 1296 комбинаций.

Далее, с использованием компьютерной реализации предложенной модели функционирования установки по измельчению клубней картофеля, выполнен аналитический прогноз результатных показателей: частоты цикла обработки ( $\omega$ , Гц), производительности ( $Q$ , кг/ч), удельных энергозатрат на привод конусного вала ( $E_k$ , Вт·ч/кг) и на измельчающий барабан ( $E_b$ , Вт·ч/кг), толщины картофельного корма ( $d$ , мм) – выполнен расчёт. В представлении данных для решения задач и расчётах на компьютере использован пакет Maple.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В соответствии с программой исследований, на первом этапе получено распределение массы картофеля по геометрическим характеристикам клубней, а на втором этапе выполнена оптимизация конструктивных и технологических параметров процессов измельчения картофеля, на заключительном третьем этапе выбраны эффективные режимы эксплуатации установки.

Масса клубня картофеля ( $M$ , г) в зависимости от линейных размеров и эксцентриситетов, то есть длины ( $a$ , мм), ширины ( $b$ , мм), толщины ( $c$ , мм) и коэффициентов формы

$$K_2 = \frac{c}{b}, \quad K_3 = \frac{c^2}{a \cdot b}$$

представляется экспоненциальной формулой

$$M = \exp(\gamma_0 + \gamma_a \cdot a + \gamma_b \cdot b + \gamma_c \cdot c + \gamma_2 \cdot K_2 + \gamma_3 \cdot K_3).$$

Непосредственными элементарными преобразованиями получаем формулу для расчёта массы клубня в зависимости от его линейных размеров

$$M = \exp\left(\gamma_0 + \gamma_a \cdot a + \gamma_b \cdot b + \left(\gamma_c + \gamma_2 \cdot \frac{1}{b}\right) \cdot c + \gamma_3 \cdot \frac{c^2}{a \cdot b}\right).$$

Значения весовых коэффициентов –  $\gamma_0 = 4,011920873$ ,  $\gamma_a = 0,02565753072$ ,  $\gamma_b = -0,03314550792$ ,  $\gamma_c = 0,06277520621$ ,  $\gamma_2 = -3,162228304$ ,  $\gamma_3 = 0,6961305044$  – найдены методом наименьших квадратов.

Средней массе клубня 57,72 г при стандартном отклонении 10,85 г соответствуют: средняя длина клубня 49,55 мм при стандартном отклонении 3,41 мм; средняя ширина клубня 47,05 мм при стандартном отклонении 4,02 мм; средняя толщина клубня 41,19 мм при стандартном отклонении 5,19 мм; среднее значение  $K_2$ , равное 0,87 при стандартном отклонении 0,11; среднее значение  $K_3$ , равное 0,74 при стандартном отклонении 0,20. Коэффициент детерминации составил 85,16 % при средней относительной погрешности 0,61 % и стандартном отклонении 8,44 %. Насыпная плотность клубней картофеля – 687,74 кг/м<sup>3</sup>.

Расчёты по 1296 прогнозируемым вариантам показали, что частота цикла обработки характеризуется центром рассеивания 0,1998 Гц (при стандартном отклонении 0,0563), производительность – 793,2685 кг/ч (при 231,2935), удельные энергетические затраты на привод конусного вала – 0,5050 Вт·ч/кг (при 0,1618), удельные энергетические затра-

ты на привод измельчающего барабана 0,4317 Вт·ч/кг (при 0,1232), толщина картофельных ломтиков имеет среднее значение 6,1692 мм (при стандартном отклонении 3,0504).

Таким образом, выбор и комбинация значений результатных показателей, в том числе максимальной толщины картофельных ломтиков, являются наилучшей стратегией с точки зрения эффективной эксплуатации установки по измельчению картофеля. Однако выбор максимальной толщины измельченных клубней картофеля не может быть обоснован с точки зрения качества готового продукта. Следует внести дополнительные ограничения на области изменений обобщённого показателя, показателя толщины ломтиков картофеля и обосновать компромиссный вариант – субоптимум конструктивных параметров и технологических показателей измельчения картофеля [2–9].

**Выбор экстремума конструктивных параметров и частоты технологического цикла обработки.** Экстремум (максимум или минимум) частоты технологического цикла измельчения картофеля  $\omega$  ( $\omega_k$ ,  $\omega_b$ ,  $h$ ,  $\alpha$ ) в области изменений  $\omega_k$  (Гц),  $\omega_b$  (Гц),  $h$  (мм),  $\alpha$  (град) представляется следующей задачей условной оптимизации (максимизации или минимизации функции в параметрической области)

$$\begin{aligned} \omega(\omega_k, \omega_b, h, \alpha) = & -2,035696077 \cdot 10^{-5} \cdot \omega_k \omega_b h + 1,116314117 \cdot 10^{-5} \cdot \omega_k \omega_b \alpha + \\ & + -6,591868593 \cdot 10^{-6} \cdot \omega_b h \alpha + 0,0003774173045 \cdot \omega_b h + \\ & + -5,503702738 \cdot 10^{-5} \cdot \omega_k \omega_b + 0,0001947285196 \cdot \omega_k h \rightarrow \text{Extr}, \\ & 12 \leq \omega_k \leq 16, \quad 22 \leq \omega_b \leq 28, \\ & 33,27 \leq h \leq 67,28, \quad 0 \leq \alpha \leq 16. \end{aligned}$$

С использованием компьютерного пакета Maple найдём точки максимума, аргмаксимума, минимума, аргминимума

$$\begin{aligned} \max = & (0.3895263077, \{ [ \{ h = 67.28, \alpha = 0., \omega_b = 28., \omega_k = 12. \}, 0.3895263077 ] \} ); \\ \min = & (0.1078036661, \{ [ \{ h = 33.27, \alpha = 16., \omega_b = 22., \omega_k = 16. \}, 0.1078036661 ] \} ). \end{aligned}$$

Таким образом, частота технологического цикла обработки клубней картофеля достигает максимума 0,3895 Гц при частоте вращения конусного вала 12 Гц, частоте вращения барабана 28 Гц, шаге размещения ножей 67,28 мм, угле наклона ножей 0 град.

Аналогично частота технологического цикла обработки клубней картофеля достигает минимума 0,1078 Гц при частоте вращения конусного вала

16 Гц, частоте вращения барабана 22 Гц, шаге установки ножей 33,27 мм, угле наклона ножей 16 град.

**Выбор экстремума конструктивных параметров и производительности установки.** Экстремум (максимум или минимум) производительности установки по измельчению картофеля  $Q(\omega_k, \omega_b, h, \alpha)$  в области изменений  $\omega_k$  (Гц),  $\omega_b$  (Гц),  $h$  (мм),  $\alpha$  (град) представляется следующей задачей оптимизации:

$$\begin{aligned} Q(\omega_k, \omega_b, h, \alpha) = & -0,1012462191 \cdot \omega_k \omega_b h + 0,04372985073 \cdot \omega_k \omega_b \alpha + \\ & + -0,02636612199 \cdot \omega_b h \alpha + 1,658303197 \cdot \omega_b h + \\ & + -0,1989384808 \cdot \omega_k \omega_b + 0,9938760462 \cdot \omega_k h \rightarrow \text{Extr}, \\ & 12 \leq \omega_k \leq 16, \quad 22 \leq \omega_b \leq 28, \\ & 33,27 \leq h \leq 67,28, \quad 0 \leq \alpha \leq 16. \end{aligned}$$

С использованием компьютерного пакета оптимизации найдём точки максимума, аргмаксимума, минимума, аргминимума:

$$\begin{aligned} \max = & (1570.770201, \{ \{ h = 67.28, \alpha = 0., \omega_b = 28., \omega_k = 12. \}, 1570.770201 \} ); \\ \min = & (396.143314, \{ \{ h = 33.27, \alpha = 16., \omega_b = 28., \omega_k = 16. \}, 396.143314 \} ). \end{aligned}$$

Таким образом, производительность установки по обработке клубней картофеля достигает максимума 1570,7702 кг/ч при частоте вращения конусного вала 12 Гц, частоте вращения измельчающего барабана 28 Гц, шаге размещения ножей 67,28 мм, угле наклона ножей 0 град.

Аналогично производительность установки по обработке клубней картофеля достигает минимума 396,1433 кг/ч при частоте вращения конусного вала 16 Гц, частоте вращения барабана 22 Гц, шаге раз-

мещения ножей 33,27 мм, угле наклона ножей 16 град.

**Выбор экстремума конструктивных параметров и удельных энергетических затрат на привод конусного вала.** Экстремум (максимум или минимум) удельных энергетических затрат  $E_k(\omega_k, \omega_b, h, \alpha)$  на привод конусного вала установки в области изменений  $\omega_k$  (Гц),  $\omega_b$  (Гц),  $h$  (мм),  $\alpha$  (град) представляется следующей задачей оптимизации:

$$\begin{aligned} E_k(\omega_k, \omega_b, h, \alpha) = & -4,733501763 \cdot 10^{-5} \cdot \omega_k \omega_b h + 4,935183082 \cdot 10^{-5} \cdot \omega_k \omega_b \alpha + \\ & + -5,286487833 \cdot 10^{-6} \cdot \omega_b h \alpha - 0,0002223747009 \cdot \omega_b h + \\ & + 0,002537992819 \cdot \omega_k \omega_b + 0,0009184395178 \cdot \omega_k h \rightarrow \text{Extr}, \\ & 12 \leq \omega_k \leq 16, \quad 22 \leq \omega_b \leq 28, \\ & 33,27 \leq h \leq 67,28, \quad 0 \leq \alpha \leq 16. \end{aligned}$$

С использованием компьютерного пакета оптимизации найдём точки максимума, аргмаксимума, минимума, аргминимума

$$\max = (0.9882016197, \{ \{ h = 33.27, \alpha = 16., \omega_b = 28., \omega_k = 16. \}, 0.9882016197 \} );$$

$$\min = (0.1052993638, \{ [ \{ h = 67.28, \alpha = 0., \omega_b = 28., \omega_k = 12. \}, 0.1052993638 ] \} ) .$$

Таким образом, удельные энергетические затраты на привод конусного вала достигают максимума 0,9882 Вт·ч/кг при частоте вращения конусного вала 16 Гц, частоте вращения барабана 28 Гц, шаге размещения ножей 33,27 мм, угле наклона ножей 16 град.

Аналогично удельные энергетические затраты на привод конусного вала достигают минимума 0,1052 Вт·ч/кг при частоте вращения конусного вала 12 Гц, частоте вращения барабана 28 Гц, шаге раз-

мещения ножей 67,28 мм, угле наклона ножей 0 град.

**Выбор экстремума конструктивных параметров и удельных энергетических затрат на привод измельчающего барабана.** Экстремум (максимум или минимум) удельных энергетических затрат  $E_b(\omega_k, \omega_b, h, \alpha)$  на привод измельчающего барабана установки в области изменений  $\omega_k$  (Гц),  $\omega_b$  (Гц),  $h$  (мм),  $\alpha$  (град) представляется следующей задачей оптимизации:

$$\begin{aligned} E_b(\omega_k, \omega_b, h, \alpha) = & -2,604976817 \cdot 10^{-5} \cdot \omega_k \omega_b h + 1,504591188 \cdot 10^{-5} \cdot \omega_k \omega_b \alpha + \\ & + 2,676668327 \cdot 10^{-6} \cdot \omega_b h \alpha - 0,0001553119581 \cdot \omega_b h + \\ & + 0,002258187066 \cdot \omega_k \omega_b + 0,0003234714273 \cdot \omega_k h \rightarrow \text{Extr} , \\ & 12 \leq \omega_k \leq 16, \quad 22 \leq \omega_b \leq 28, \\ & 33,27 \leq h \leq 67,28, \quad 0 \leq \alpha \leq 16. \end{aligned}$$

С использованием компьютерного пакета оптимизации найдём точки максимума, аргмаксимума, минимума, аргминимума

$$\begin{aligned} \max & = (0.7986496871, \{ [ \{ h = 33.27, \alpha = 16., \omega_b = 28., \omega_k = 16. \}, 0.7986496871 ] \} ) ; \\ \min & = (0.1384427235, \{ [ \{ h = 67.28, \alpha = 0., \omega_b = 28., \omega_k = 12. \}, 0.1384427235 ] \} ) . \end{aligned}$$

Таким образом, удельные энергетические затраты на привод измельчающего барабана достигают максимума 0,7986 Вт·ч/кг при частоте вращения конусного вала 16 Гц, частоте вращения барабана 28 Гц, шаге размещения ножей 33,27 мм, угле наклона ножей 16 град.

Аналогично удельные энергетические затраты на привод измельчающего барабана достигают минимума 0,1384 Вт·ч/кг при частоте вращения конусного вала 12 Гц, частоте вращения барабана 28 Гц, шаге

размещения ножей 67,28 мм, угле наклона ножей 0 град.

**Выбор экстремума конструктивных параметров и толщины картофельных ломтиков.** Экстремум (максимум или минимум) толщины  $d(\omega_k, \omega_b, h, \alpha)$  картофельных ломтиков в области изменений  $\omega_k$  (Гц),  $\omega_b$  (Гц),  $h$  (мм),  $\alpha$  (град) представляется следующей задачей оптимизации:

$$\begin{aligned} d(\omega_k, \omega_b, h, \alpha) = & -0,0001632510067 \cdot \omega_k \omega_b h + 0,0004896634969 \cdot \omega_k \omega_b \alpha + \\ & + -0,0002468398602 \cdot \omega_b h \alpha + 0,01318032163 \cdot \omega_b h + \\ & + -0,01185279257 \cdot \omega_k \omega_b - 6,010244471 \cdot 10^{-5} \cdot \omega_k h \rightarrow \text{Extr} , \\ & 12 \leq \omega_k \leq 16, \quad 22 \leq \omega_b \leq 28, \\ & 33,27 \leq h \leq 67,28, \quad 0 \leq \alpha \leq 16. \end{aligned}$$

С использованием компьютерного пакета оптимизации найдём точки максимума, аргмаксимума, минимума, аргминимума:

$$\min = (0.400020054, \{ [ \{ h = 33.27, \alpha = 0., \omega_b = 22., \omega_k = 16. \}, 0.400020054 ] \} ) ;$$

$$\max = (15.82119802, \{ [ \{ h = 67.28, \alpha = 0., \omega_b = 28., \omega_k = 12. \}, 15.82119802 ] \} ) .$$

Таким образом, толщина картофельных ломтиков достигает максимума 15,8211 мм при частоте вращения конусного вала 12 Гц, частоте вращения барабана 28 Гц, шаге размещения ножей 67,28 мм, угле наклона ножей 0 град.

Аналогично толщина картофельных ломтиков достигает минимума 0,4000 мм при частоте вращения конусного вала 12 Гц, частоте вращения барабана 22 Гц, шаге размещения ножей 33,27 мм, угле наклона ножей 16 град.

На основе разработанного модельного представления показателей функционирования установки по измельчению клубней картофеля, с учётом физиологических особенностей кормления птиц, свиней и крупного рогатого скота – ограничений на толщину используемых картофельных ломтиков, выполнена оценка числовых значений эффективных режимов получения готового корма.

Режим получения мелких картофельных ломтиков для кормления птицы и добавления в смесь перед экструдированием корма (толщина 1–4 мм) определён выбором диапазонов числовых значений показателей: частота вращения конусного вала 343,38–405,71 мин<sup>-1</sup>, частота вращения измельчающего барабана 367,76–368,53 мин<sup>-1</sup>, шаг установки ножей барабана 33,0–42,24 мм, угол наклона ножей барабана 2,66–10,24 град, производительность 486,71–653,18 кг/ч, удельные энергозатраты на привод конусного вала 0,59–0,70 Вт·ч/кг, удельные энергозатраты на привод измельчающего барабана 0,49–0,59 Вт·ч/кг.

Режим получения средних картофельных ломтиков для кормления свиней (толщина 5–10 мм) определён выбором диапазонов числовых значений показателей: частота вращения конусного вала 339,08–359,71 мин<sup>-1</sup>, частота вращения барабана 369,14–392,76 мин<sup>-1</sup>, шаг размещения ножей барабана 46,48–62,75 мм, угол наклона ножей барабана 4,6–10,4 град, производительность 700,66–1047,04 кг/ч, удельные энергозатраты на привод конусного вала 0,33–0,56 Вт·ч/кг, удельные энергозатраты на привод измельчающего барабана 0,30–0,47 Вт·ч/кг.

Режим получения крупных картофельных ломтиков для кормления крупного рогатого скота (толщина 11–15 мм) определён выбором диапазонов числовых значений показателей: частота вращения конусного вала 314,14–340,92 мин<sup>-1</sup>, частота вращения барабана 384,27–419,02 мин<sup>-1</sup>, шаг размещения ножей барабана 64,81–68,00 мм, угол наклона ножей барабана 0,64–3,49 град, производительность 1157,36–1469,91 кг/ч, удельные энергозатраты на

привод конусного вала 0,14–0,29 Вт·ч/кг, удельные энергозатраты на привод измельчающего барабана 0,16–0,26 Вт·ч/кг.

**Выводы.** В результате исследований физико-химических свойств клубней картофеля установлена зависимость распределения массы клубней от линейных размеров и эксцентриситетов. Выполненный прогноз конструктивных и технологических параметров измельчения картофеля показал, что частота цикла обработки характеризуется центром рассеивания 0,19 Гц (при стандартном отклонении 0,05), производительность – 793,26 кг/ч (при 231,29), удельные энергетические затраты на привод конусного вала – 0,50 Вт·ч/кг (при 0,16), удельные энергетические затраты на привод измельчающего барабана 0,43 Вт·ч/кг (при 0,12), толщина картофельных ломтиков имеет среднее значение 6,16 мм (при стандартном отклонении 3,05).

### Литература

1. Патент № 174584 Российская Федерация, МПК А01F 29/00. Измельчитель корнеклубнеплодов / И.А. Чаплыгина, В.В. Матюшев, А.В. Семёнов, В.О. Стенина. – Заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Красноярский ГАУ». – № 2016121327; заявл. 30.05.2016; опубл. 23.10.2017.
2. *Draper, Norman R. and Smith, Harry. Applied Regression Analysis.* – New York: Wiley, 1998. – 3rd ed.
3. *Montgomery, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control.* – 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1991.
4. *Stuart, Alan, and Ord, Keith. Kendall's Advanced Theory of Statistics. Distribution Theory.* – London: Edward Arnold, 1998. – 6th ed. – Vol. 1.
5. *Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика для инженеров и научных работников.* – М.: Физматлит, 2012. – 816 с.
6. Компьютерные технологии при проектировании и эксплуатации технологического оборудования: учеб. пособие / Г.В. Алексеев, И.И. Бруденко, В.А. Головацкий [и др.]. – СПб.: ГИОРД, 2012. – 256 с.
7. *Мусеев Н.Н. Математические задачи системного анализа.* – М.: Наука, 1981. – 448 с.
8. *Неверов Д.А. Сравнительная характеристика различных типов картофелесортировальных машин // Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства России: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. – Саратов: Изд-во Саратов. ГАУ, 2008. – 259 с.*

9. Численные методы при моделировании технологических машин и оборудования: учеб. пособие / Г.В. Алексеев, Б.А. Вороненко, М.В. Гончаров [и др.]. – СПб.: ГИОРД, 2014. – 200 с.
5. Kobzar' A.I. Prikladnaja matematičeskaja statistika dlja inženerov i nauchnyh rabotnikov. – M.: Fizmatlit, 2012. – 816 s.

**Literatura**

1. Patent № 174584 Rossijskaja Federacija, MPK A01F 29/00. Izmel'čitel' korneklubneplodov / I.A. Čaplygina, V.V. Matjušev, A.V. Semjonov, V.O. Stenina. – Zajavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO «Krasnojarskij GAU». – № 2016121327; zajavl. 30.05.2016; opubl. 23.10.2017.
2. Draper, Norman R. and Smith, Harry. Applied Regression Analysis. – New York: Wiley, 1998.– 3rd ed.
3. Montgomery, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control. – 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1991.
4. Stuart, Alan, and Ord, Keith. Kendall's Advanced Theory of Statistics. Distribution Theory. – London: Edward Arnold, 1998. – 6th ed. – Vol. 1.
6. Kompjuternye tehnologii pri proektirovanii i jekspluatacii tehnologičeskogo oborudovanija: uceb. posobie / G.V. Alekseev, I.I. Bridenko, V.A. Golovackij [i dr.]. – SPb.: GIORД, 2012. – 256 s.
7. Moiseev N.N. Matematičeskie zadachi sistemnogo analiza. – M.: Nauka, 1981. – 448 s.
8. Neverov D.A. Sravnitel'naja harakteristika razlichnyh tipov kartofelesortiroval'nyh mashin // Problemy i perspektivy razvitija sel'skogo hozjajstva Rossii: mat-ly Vseros. nauch.-prakt. konf. – Saratov: Izd-vo Saratov. GAU, 2008. – 259 s.
9. Chislennye metody pri modelirovanii tehnologičeskich mashin i oborudovanija: uceb. posobie / G.V. Alekseev, B.A. Voronenko, M.V. Goncharov [i dr.]. – SPb.: GIORД, 2014. – 200 s.

