

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ
НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОТОВОГО ПРОДУКТАV.V. Matyushev, V.O. Stenina
I.A. Chaplygina, A.A. BelyakovTHE INFLUENCE OF DESIGN PARAMETERS OF POTATOES TUBERS GRINDER
OF ON TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF READY-MADE PRODUCT

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, вед. науч. сотр. отдела агротехнологий Красноярского НИИ сельского хозяйства 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 in AIC, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: matyushe@yandex.ru

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

Belyakov A.A. – Cand. Techn. Sci., Leading Staff Scientist, Department of Agrotechnologies, Krasnoyarsk Research and Development Institute of Agriculture, FRC KRC, SB RAS, Krasnoyarsk. E-mail: belyakov@ksc.krasn.ru

Цель исследования – объяснение механизма взаимодействия и влияния комплекса конструктивных и режимных параметров установки по измельчению клубней картофеля на технологические характеристики готового продукта. Выполнена систематизация показателей работы установки по измельчению клубней картофеля: выделены управляющие, производные и результатные показатели ее функционирования. На основе разработанной и запатентованной конструкции измельчителя клубней картофеля и предварительного статистического анализа экспериментальных данных по ее функционированию выполнена систематизация показателей рабочего процесса. В качестве управляющих показателей обоснованы: частота вращения конусного вала, которая имеет среднее значение $215,086 \text{ мин}^{-1}$ (при стандартном отклонении $25,711 \text{ мин}^{-1}$), частота вращения измельчающего барабана – $380,104 \text{ мин}^{-1}$ (при $39,011 \text{ мин}^{-1}$), шаг установки ножей на измельчающем барабане – $51,6921 \text{ мм}$ (при $14,9737 \text{ мм}$), угол наклона ножей на измельчающем барабане имеет среднее значение $7,6667 \text{ град.}$ (при стандартном отклонении $6,8694 \text{ град.}$). В качестве результатных показателей выбраны: частота цикла обработки, которая характеризуется центром рассеивания $12,042 \text{ мин}^{-1}$ (при стандартном отклонении $4,284 \text{ мин}^{-1}$), производительность –

$795,3508 \text{ кг/ч}$ (при $290,8860 \text{ кг/ч}$), удельные энергетические затраты на привод конусного вала – $0,5087 \text{ Вт·ч/кг}$ (при $0,2075 \text{ Вт·ч/кг}$), удельные энергетические затраты на привод измельчающего барабана $0,4334 \text{ Вт·ч/кг}$ (при $0,1571 \text{ Вт·ч/кг}$), толщина картофельных ломтиков имеет среднее значение $5,0244 \text{ мм}$ (при стандартном отклонении $0,6413 \text{ мм}$). Предложенный аналитический подход объясняет механизм взаимодействия и влияния частоты вращения конусного вала и измельчающего барабана, шага и угла наклона ножей барабана установки по измельчению картофеля на изменения частоты технологического цикла обработки сырья, производительность и удельные энергетические затраты оборудования, а также на величину толщины готовых картофельных ломтиков. Методика расчета может быть использована в прогностических целях, поскольку относительная погрешность приближения по всем пяти представленным зависимостям (функциям) не превосходит $6,72 \%$, а степень детерминированности для каждой – выше $95,10 \%$.

Ключевые слова: измельчение, сырье, картофель, установка, ножи, частота вращения, шаг, угол, производительность, удельные энергетические затраты.

The research objective was the explanation of the mechanism of interaction and the influence of the complex of constructive and regime parameters of the unit on crushing of tubers of potatoes on technical characteristics on a ready-made product. The systematization of indicators of the work of installation on crushing of tubers of potatoes is executed: directing, derivatives and resulting indicators of its functioning are allocated. On the basis of developed and patented design of the grinder of tubers of potatoes and preliminary statistical analysis of experimental data on its functioning systematization of indicators of working process was executed. As operating indicators served the frequency of rotation of conical shaft which had average value of $215.086 \text{ min.}^{-1}$ (at a standard deviation of 25.711 min.^{-1}), the frequency of rotation of the crushing drum – $380.104 \text{ min.}^{-1}$ (at 39.011 min.^{-1}), the step of installation of knives on crushing drum – 51.6921 mm (at 14.9737 mm), tilt angle of knives on the crushing drum has average value 7.6667 degrees (at standard deviation 6.8694 degrees). As resulting operation cycle frequency characterized by the center of dispersion of 12.042 min.^{-1} (at a standard deviation of 4.284 min.^{-1}), the productivity – 795.3508 kg/h (at $290,8860 \text{ kg/h}$), specific power costs of the drive of conical shaft – $0.5087 \text{ W}\cdot\text{h/kg}$ (at $0.2075 \text{ W}\cdot\text{h/kg}$), specific power costs of the drive of the crushing $\text{W}\cdot\text{h/kg}$ reel 0.4334 (at $0,1571 \text{ W}\cdot\text{h/kg}$), thickness of potato slices had average value of 5.0244 mm (at standard deviation of 0.6413 mm) were chosen. Offered analytical approach explained the mechanism of interaction and influence of frequency of rotation of conical shaft and crushing drum, step and tilt angle of knives of the drum of installation on crushing of potatoes on changes of frequency of production cycle of processing of raw materials, the productivity and specific power expenses of the equipment, and also at the size of thickness of ready potato slices. The calculation procedure can be used in predictive purposes as relative error of approach does not exceed 6.72% in all five presented dependences (functions), and determinacy degree for everyone it is higher than 95.10% .

Keywords: crushing, raw materials, potatoes, installation, knives, rotation frequency, step, corner, productivity, specific power expenses.

Введение. Важным фактором устойчивого развития животноводства является наличие достаточной сырьевой базы, ресурсосберегающих машин и оборудования. Измельчение клубнеплодов является системным многофункциональным энергоемким процессом, на который влияют конструктивные особенности применяемого оборудования и физико-механические свойства исходного сырья. В Краснодарском крае районировано большое количество сор-

тов картофеля, которые возделываются практически во всех сельскохозяйственных организациях. Кроме того, клубни картофеля богаты микроэлементами и витаминами. Использование картофельных ломтиков в качестве составляющего компонента в кормовых смесях становится актуальным при совершенствовании конструкции измельчителя клубней картофеля, которое обеспечивает эффективное регулирование и выбор оптимальных энергетических и конструктивно-технологических параметров, режимов эксплуатации, что, в свою очередь, способствует повышению производительности установки и качества готовой продукции.

Цель исследования: объяснение механизма взаимодействия и влияния комплекса конструктивных и режимных параметров установки по измельчению клубней картофеля на технологические характеристики готового продукта.

Задачи исследования: выявить закономерности изменения производительности и удельной энергоемкости процесса измельчения клубней картофеля в зависимости от конструктивных, технологических и режимных параметров функционирования установки.

Методы исследования. Теоретические и экспериментальные исследования проводились на основе анализа отечественных и зарубежных научно-практических работ [1–9]. Выполнена систематизация показателей функционирования установки по измельчению клубней картофеля: выделены управляющие, производные и результатные показатели функционирования данной установки.

Значения управляющих показателей. Частота вращения конусного вала ($\omega_k, \text{Гц}$) и измельчающего барабана ($\omega_b, \text{Гц}$), шаг установки ($h, \text{мм}$) и угол наклона ножей на измельчающем барабане относительно горизонтальной оси ($\alpha, \text{град.}$) систематизированы в соответствии с планом эксперимента.

Значения результатных показателей. Частота цикла обработки ($\omega, \text{Гц}$), производительность ($Q, \text{кг/ч}$), удельные энергозатраты на приводы конусного вала ($E_k, \text{Вт}\cdot\text{ч/кг}$) и измельчающего барабана ($E_b, \text{Вт}\cdot\text{ч/кг}$), толщины клубней картофеля ($d, \text{мм}$) обработаны в ходе 24 серий экспериментов (по 30 опытов в каждой серии).

Мощность, подаваемая на приводы конусного вала ($P_k, \text{Вт}$) и измельчающего барабана ($P_b, \text{Вт}$) установки, вычислена исходя из силы тока, соответственно, подаваемой на приводы конусного вала ($I_k, \text{А}$) и измельчающего барабана ($I_b, \text{А}$) по формулам

$$P_k = \lambda_k I_k; P_b = \lambda_b I_b,$$

где $\lambda_k = U_k \sqrt{3} \cos \varphi_k$, $\lambda_b = U_b \sqrt{3} \cos \varphi_b$ – коэффициенты преобразования силы тока в мощность, определяемые для технического устройства; напряжение $U_k = U_b = 380$ Ом.

Частота цикла измельчения (ω , Гц) обратна продолжительности технологического цикла (t , с):

$$\omega = \frac{1}{t}.$$

Продолжительность технологического цикла, измеренная в часах (τ , ч), пересчитана исходя из продолжительности технологического цикла в секундах (t , с) по формуле

$$\tau = \frac{1}{3600}.$$

Производительность разработанной установки (Q , кг/ч) рассчитана исходя из массы (m , кг/ч) загружаемого в установку сырья и продолжительности технологического процесса (τ , ч) по формуле

$$Q = \frac{m}{\tau}.$$

Удельные энергетические затраты на приводы конусного вала (E_k , Вт·ч/кг) и измельчающего барабана (E_b , Вт·ч/кг) установки вычислены исходя из массы обрабатываемого сырья (m , кг/ч), а также потребляемой мощности, соответственно, на приводы конусного вала (P_k , Вт) и измельчающего барабана (P_b , Вт) по формулам

$$E_k = \frac{P_k}{m}; E_b = \frac{P_b}{m}.$$

Дополнительно определены и рассчитаны коэффициенты сопряжения по частоте и мощности:

$$\gamma_\omega = \frac{\omega_b}{\omega_k}; \gamma_P = \frac{P_b}{P_k}.$$

Перевод частоты вращения конусного вала (ω_k , Гц) в техническую частоту вращения конусного вала Ω_k , мин⁻¹ осуществляется по формуле

$$\Omega_k = \alpha_k \cdot \omega_k^{\gamma_k},$$

где $\alpha_k = 14,374\ 603\ 62$, $\gamma_k = 1,215\ 820\ 497$ – коэффициенты перевода.

Перевод частоты вращения барабана (ω_b , Гц) в техническую частоту вращения барабана Ω_b , мин⁻¹, выполняется по формуле

$$\Omega_b = \alpha_b \cdot \omega_b^{\gamma_b},$$

где $\alpha_b = 14,484\ 091\ 42$, $\gamma_b = 1,015\ 072\ 85$ – коэффициенты перевода.

Результаты корреляционно-регрессионного анализа данных оценены по значению коэффициентов корреляции Пирсона и детерминации используемой для определения доли объясненной вариации. Все выборки показателей соответствуют нормальному распределению согласно критерию Шапиро – Уилка. Оценка значимости различий средних значений проведена с использованием t-критерия Стьюдента и U-критерия Манна – Уитни, соответственно для нормально и ненормально распределенных данных. Проверка на наличие автокорреляции остатков зависимостей выполнена с использованием критерия Дарбина – Уотсона. Значимость коэффициентов регрессии установлена по t-критерию Стьюдента на уровне 0,05, а адекватность модели – по F-критерию Фишера с использованием подпакета Statistics пакета Maple. Зависимости детерминированы на 95,10 % (Coefficient of Multiple Determination), относительная погрешность сглаживания экспериментальных данных не превосходит 6,72 % (% Error) [1–6, 9].

Результаты исследования и их обсуждение. Исследование влияния конструктивных параметров установки по измельчению клубней картофеля на технологические показатели выполнено согласно программе исследований, включающей анализ результатов предварительной статистической обработки по адаптированному плану эксперимента и поиск закономерностей. По данному плану частота вращения конусного вала имеет среднее значение 14,266 7 Гц (при стандартном отклонении 1,760 1), частота вращения измельчающего барабана – 25,000 Гц (при 2,654 0), шаг размещения ножей на барабане – 51,692 1 мм (при 14,973 7), угол наклона ножей барабана имеет среднее значение 7,666 7 град (при стандартном отклонении 6,869 4).

Расчеты по 24 сериям экспериментов показали, что частота цикла обработки характеризуется центром рассеивания 0,2007 Гц (при стандартном отклонении 0,071 4), производительность – 795,350 8 кг/ч (при 290,886 0), удельные энергетические затраты на привод конусного вала – 0,508 7 Вт·ч/кг (при 0,207 5), удельные энергетические затраты на привод измельчающего барабана – 0,433 4 Вт·ч/кг (при 0,157 1), толщина картофельных ломтиков имеет среднее значе-

ние 5,024 4 мм (при стандартном отклонении 0,641 3).

Согласно программе исследования, подобран общий вид аналитических функций, представляющих основные закономерности функционирования установки для измельчения клубней картофеля и целевые показатели технологического совершенства, обеспечивающих единство объекта исследований по принципу подобия процессов.

Влияние конструктивных параметров установки по измельчению картофеля на частоту технологического цикла обработки. Частота технологического цикла измельчения картофеля в зависимости от ω_k , Гц; ω_b , Гц; h , мм; α , град. представляется следующей функцией:

$$\omega(\omega_k, \omega_b, h, \alpha) = c_{kbbh} \cdot \omega_k \omega_b h + c_{kba} \cdot \omega_k \omega_b \alpha + c_{bha} \cdot \omega_b h \alpha + c_{bh} \cdot \omega_b h + c_{kb} \cdot \omega_k \omega_b + c_{kh} \cdot \omega_k h,$$

где $c_{kbbh} = -2,035\ 696\ 077 \cdot 10^{-5}$; $c_{kba} = 1,116\ 314\ 117 \cdot 10^{-5}$;
 $c_{bha} = -6,591\ 868\ 593 \cdot 10^{-6}$; $c_{bh} = 0,000\ 377\ 417\ 304\ 5$;
 $c_{kb} = -5,503\ 702\ 738 \cdot 10^{-5}$; $c_{kh} = 0,000\ 194\ 728\ 519\ 6$

– коэффициенты взаимодействия показателей, значения которых вычислены с использованием компьютерного пакета регрессионного анализа.

Влияние конструктивных параметров установки по измельчению картофеля на производительность установки. Производительность установки по измельчению картофеля Q , кг/ч, в зависимости от ω_k , Гц; ω_b , Гц; h , мм; α , град. представляется следующей функцией:

$$Q(\omega_k, \omega_b, h, \alpha) = c_{kbbh} \cdot \omega_k \omega_b h + c_{kba} \cdot \omega_k \omega_b \alpha + c_{bha} \cdot \omega_b h \alpha + c_{bh} \cdot \omega_b h + c_{kb} \cdot \omega_k \omega_b + c_{kh} \cdot \omega_k h,$$

где $c_{kbbh} = -0,101\ 246\ 219\ 1$; $c_{kba} = 0,043\ 729\ 850\ 73$;
 $c_{bha} = -0,026\ 366\ 121\ 99$; $c_{bh} = 1,658\ 303\ 197$;
 $c_{kb} = -0,198\ 938\ 480\ 8$; $c_{kh} = 0,993\ 876\ 046\ 2$ –

коэффициенты взаимодействия показателей, значения которых вычислены с использованием компьютерного пакета регрессионного анализа.

Влияние конструктивных параметров установки по измельчению картофеля на удельные энергетические затраты на привод конусного вала. Удельные энергетические затраты E_k , Вт·ч/кг, на привод конусного вала установки в зависимости от ω_k , Гц; ω_b , Гц; h , мм; α , град. представляется следующей функцией:

$$E_k(\omega_k, \omega_b, h, \alpha) = c_{kbbh} \cdot \omega_k \omega_b h + c_{kba} \cdot \omega_k \omega_b \alpha + c_{bha} \cdot \omega_b h \alpha + c_{bh} \cdot \omega_b h + c_{kb} \cdot \omega_k \omega_b + c_{kh} \cdot \omega_k h,$$

где $c_{kbbh} = -4,733\ 501\ 763 \cdot 10^{-5}$; $c_{kba} = 4,935\ 183\ 082 \cdot 10^{-5}$;
 $c_{bha} = -5,286\ 487\ 833 \cdot 10^{-6}$; $c_{bh} = -0,000\ 222\ 374\ 700\ 9$;
 $c_{kb} = 0,002\ 537\ 992\ 819$; $c_{kh} = 0,000\ 918\ 439\ 517\ 8$ –
 коэффициенты взаимодействия показателей, значе-

ния которых вычислены с использованием компьютерного пакета регрессионного анализа.

Влияние конструктивных параметров установки по измельчению картофеля на удельные энергетические затраты на привод измельчающего барабана. Удельные энергетические затраты E_b , Вт·ч/кг, на привод измельчающего барабана установки в зависимости от ω_k , Гц; ω_b , Гц; h , мм; α , град. представляется следующей функцией:

$$E_b(\omega_k, \omega_b, h, \alpha) = c_{kbbh} \cdot \omega_k \omega_b h + c_{kba} \cdot \omega_k \omega_b \alpha + c_{bha} \cdot \omega_b h \alpha + c_{bh} \cdot \omega_b h + c_{kb} \cdot \omega_k \omega_b + c_{kh} \cdot \omega_k h,$$

где $c_{kbbh} = -2,604\ 976\ 817 \cdot 10^{-5}$; $c_{kba} = 1,504\ 591\ 188 \cdot 10^{-5}$;
 $c_{bha} = 2,676\ 668\ 327 \cdot 10^{-6}$; $c_{bh} = -0,000\ 155\ 311\ 958\ 1$;
 $c_{kb} = 0,002\ 258\ 187\ 066$; $c_{kh} = 0,000\ 323\ 471\ 427\ 3$ –

коэффициенты взаимодействия показателей, значения которых вычислены с использованием компьютерного пакета регрессионного анализа.

$$\varepsilon_j = E_{bj} - \hat{E}_{bj} = E_{bj} - E_b(\omega_{kj}, \omega_{bj}, h_j, \alpha_j).$$

Влияние конструктивных параметров установки по измельчению картофеля на толщину картофельных ломтиков. Толщина d , мм, картофельных ломтиков в зависимости от ω_k , Гц; ω_b , Гц; h , мм; α , град. представляется следующей функцией:

$$d(\omega_k, \omega_b, h, \alpha) = c_{kbbh} \cdot \omega_k \omega_b h + c_{kba} \cdot \omega_k \omega_b \alpha + c_{bha} \cdot \omega_b h \alpha + c_{bh} \cdot \omega_b h + c_{kb} \cdot \omega_k \omega_b + c_{kh} \cdot \omega_k h,$$

где $c_{kbbh} = 3,275\ 438\ 325 \cdot 10^{-5}$; $c_{kba} = 0,001\ 068\ 848\ 495$;
 $c_{bha} = -0,000\ 405\ 158\ 923\ 7$; $c_{bh} = 0,0134\ 430\ 263\ 2$;
 $c_{kb} = -0,023\ 523\ 743\ 29$; $c_{kh} = -0,002\ 898\ 066\ 739$ –

коэффициенты взаимодействия показателей, значения которых вычислены с использованием компьютерного пакета регрессионного анализа.

Выводы. На основе разработанной и запатентованной конструкции измельчителя клубней картофеля и предварительного статистического анализа экспериментальных данных по ее функционированию выполнена систематизация показателей рабочего процесса. В качестве управляющих показателей обоснованы: частота вращения конусного вала, которая имеет среднее значение $215,086\ \text{мин}^{-1}$ (при стандартном отклонении $25,711\ \text{мин}^{-1}$), частота вращения барабана – $380,104\ \text{мин}^{-1}$ (при $39,011\ \text{мин}^{-1}$), шаг установки ножей на измельчающем барабане – $51,692\ 1\ \text{мм}$ (при $14,973\ 7\ \text{мм}$), угол наклона ножей на измельчающем барабане имеет среднее значение $7,666\ 7$ (при стандартном отклонении $6,869\ 4$ град.). В качестве результатных показателей выбраны: частота цикла обработки, которая характеризуется центром рассеивания $12,042\ \text{мин}^{-1}$ (при стандартном отклонении $4,284\ \text{мин}^{-1}$), производительность – $795,350\ 8\ \text{кг/ч}$ (при $290,886\ \text{кг/ч}$), удельные энергетические затраты на привод конусного вала – $0,508\ 7\ \text{Вт·ч/кг}$ (при $0,207\ 5\ \text{Вт·ч/кг}$), удельные энергетические за-

траты на привод измельчающего барабана $0,4334\ \text{Вт·ч/кг}$ (при $0,1571\ \text{Вт·ч/кг}$), толщина картофельных ломтиков имеет среднее значение $5,024\ 4\ \text{мм}$ (при стандартном отклонении $0,641\ 3\ \text{мм}$).
 Предложенный аналитический подход объясняет механизм взаимодействия и влияния частоты вращения конусного вала, частоты вращения измельчающего барабана, шага и угла наклона ножей барабана установки по измельчению картофеля на изменения частоты технологического цикла обработки сырья, производительность и удельные энергетические затраты установки, а также на величину толщины готовых картофельных ломтиков. Методика расчета может быть использована в прогностических целях, поскольку относительная погрешность приближения по всем пяти представленным зависимостям (функциям) не превосходит $6,72\ \%$, а степень детерминированности для каждой – выше $95,10\ \%$.

Литература

1. *Draper, Norman R. and Smith, Harry. Applied Regression Analysis. – New York: Wiley, 1998. – 3rd ed.*
2. *Montgomery, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control. – 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1991.*

3. *Stuart, Alan, and Ord, Keith.* Kendall's Advanced Theory of Statistics. Distribution Theory. – London: Edward Arnold, 1998. – 6th ed. – Vol. 1.
4. *Кобзарь А.И.* Прикладная математическая статистика для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2012. – 816 с.
5. Компьютерные технологии при проектировании и эксплуатации технологического оборудования: учеб. пособие / *Г.В. Алексеев, И.И. Бриденко, В.А. Головацкий* [и др.]. – СПб.: ГИОРД, 2012. – 256 с.
6. *Моисеев Н.Н.* Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 448 с.
7. *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.
8. Пат. № 174584 Российская Федерация, МПК А01F 29/00. Измельчитель корнеклубнеплодов / *Чаплыгина И.А., Матюшев В.В., Семёнов А.В., Стенина В.О.*; Заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Красноярский ГАУ». – № 2016121327; заявл. 30.05.2016; опубл. 23.10.2017.
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.

Literatura

1. *Draper, Norman R. and Smith, Harry.* Applied Regression Analysis. – New York: Wiley, 1998.–3rd ed.
2. *Montgomery, Douglas C.* Introduction to Statistical Quality Control. – 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1991.
3. *Stuart, Alan, and Ord, Keith.* Kendall's Advanced Theory of Statistics. Distribution Theory. – London: Edward Arnold, 1998. – 6th ed. – Vol. 1.
4. *Kobzar' A.I.* Prikladnaja matematicheskaja statistika dlja inzhenerov i nauchnyh rabotnikov. – М.: Fizmatlit, 2012. – 816 s.
5. Komp'juternye tehnologii pri proektirovanii i jekspluatacii tehnologicheskogo oborudovanija: ucheb. posobie / *G.V. Alekseev, I.I. Bridenko, V.A. Golovackij* [i dr.]. – SPb.: GIORD, 2012. – 256 s.
6. *Moiseev N.N.* Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza. – М.: Nauka, 1981. – 448 s.
7. *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.
8. Patent № 174584 Rossijskaja Federacija, MPK A01F 29/00. Izmel'chitel' korneklubneplodov / *Chaplygina I.A., Matjushev V.V., Semjonov A.V., Stenina V.O.*; Zajavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO «Krasnojarskij GAU». – № 2016121327; zajavl. 30.05.2016; opubl. 23.10.2017.
9. Chislennye metody pri modelirovanii tehnologicheskikh mashin i oborudovanija: ucheb. posobie / *G.V. Alekseev, B.A. Voronenko, M.V. Goncharov* [i dr.]. – SPb.: GIORD, 2014. – 200 s.

