

Научная статья

УДК 621.01:637.5.02

DOI: 10.17586/2310-1164-2023-16-1-21-28

## Статистический анализ особенностей динамики развития теории и практики совершенствования измельчительно-режущего оборудования

В.В. Пеленко\*, Т.Ю. Короткова, В.Г. Злобин, М.С. Липатов, В.П. Иваненко

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
Россия, Санкт-Петербург, \*pelenko1@rambler.ru*

**Аннотация.** Поставлена и решена методами системного анализа задача оценки предпочтительности и очередности этапов применения приоритетных методов совершенствования измельчительно-режущего оборудования в зависимости от количественной динамики появления теоретических работ, характеризующихся аналитическими механизмами описания, с одной стороны, и перемежающимися с ними публикациями эвристических работ, использующих теорию решения изобретательских задач, с другой. Для решения данной проблемы статистически изучалось изменение публикационной активности в части издания научных работ по совершенствованию измельчительно-режущей техники и интенсивности эвристической изобретательской деятельности в данном информационном поле. В результате обоснованы и изложены положения, из которых логически следует необходимость своевременной активизации процессов совершенствования шнекового измельчительного оборудования аналитическими или эвристическими методами с концентрацией внимания на цикличность и поэтапность продуктивности этих методов. С этой целью разработана обобщенная структурная конструктивно-технологическая схема измельчительно-режущей системы. Определены основные особенности, геометрические параметры и физико-механические характеристики комплектующих компонентов. Показано, что задача выявления приоритетных аналитических или эвристических поэтапных методов оценки направлений совершенствования параметров измельчительно-режущего оборудования является одной из наиболее важных и логически завершающих системных элементов теории и практики оптимального синтеза шнековых винтовых измельчительных машин. Представляется, что предлагаемая концепция применима к любой отрасли техники. Для шнекового измельчительно-режущего оборудования на базе изложенной методологии сформулирована очередная приоритетная задача, заключающаяся в аналитическом описании закона распределения угла заточки лезвия по длине режущей кромки с учетом явления его кинематической трансформации.

**Ключевые слова:** эволюция техники; системный анализ; публикационная активность; иерархическая структура; приоритетная задача; оптимизация; физическая модель; закон распределения; острота лезвия; угол заточки

Original article

## Improving grinding and cutting equipment: theory and practice (dynamics of development). Statistical analysis

Valery V. Pelenko\*, Tatiana Yu. Korotkova, Vladimir G. Zlobin, Maxim S. Lipatov, Vladimir P. Ivanenko

*St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
St. Petersburg, Russia, \*pelenko1@rambler.ru*

**Annotation.** The article solves the problem of assessing the preference and sequence of stages of application of priority methods for improving grinding and cutting equipment depending on the quantitative dynamics for the appearance of theoretical works characterized by analytical mechanisms of description, on the one hand, and interspersed with publications of heuristic works using the theory of solving inventive tasks, on the other. We statistically studied the change in publication activity in terms of publishing scientific papers on improving the grinding and cutting technology and the intensity of heuristic inventive activity in this information field. As a result, the provisions are substantiated and stated, from which it logically follows the need for timely activation of the processes of improving screw grinding equipment by analytical or heuristic methods, with a focus on the cyclicity and phasing of the productivity of these methods. For this purpose, a generalized structural design and technological scheme of the grinding-cutting system has been developed. The main features, geometric parameters and physical and mechanical characteristics of the components are determined. It is shown that the task of identifying priority analytical or heuristic step-by-step methods of assessing directions for improving the parameters of grinding and cutting equipment is one of the most important and logically complete system elements in the theory and practice of optimal synthesis of screw grinders. It seems that the proposed concept is applicable to any branch of technology. For auger grinding and cutting equipment, on the basis of the above methodology, another

priority task was formulated, which consists in an analytical description of the distribution law of the blade sharpening angle along the length of the cutting edge, taking into account the phenomenon of its kinematic transformation.

**Keywords:** evolution of technology; system analysis; publication activity; hierarchical structure; priority task; optimization; physical model; distribution law; blade sharpness; sharpening angle

## Введение

Для интенсификации развития экономики промышленного производства требуются объективные данные о состоянии и перспективах развития материальной базы, степени эффективности использования материальных и энергетических ресурсов [1, 2]. В полной мере это относится и к отрасли создания измельчительного оборудования [3–5].

Одной из основных задач промышленности по производству пищевого оборудования является увеличение объемов выпуска измельчительно-режущей техники, улучшение ее качества с целью более рациональной и щадящей переработки сырья, а также для снижения энергоемкости процесса измельчения [6–8].

Для решения данной проблемы необходим, во-первых, системный подход и разработка научного обеспечения технологических процессов. Во-вторых, проблема должна решаться комплексно, с использованием современных достижений различных технических и точных наук [9–11]. Кроме того, при создании новой техники должен применяться модульный принцип, нашедший широкое применение в ведущих отраслях промышленности [12, 13].

Доля отечественного оборудования на российском рынке пищевого машиностроения остается недостаточно высокой [14–16], изделия утратили должную конкурентоспособность в большинстве сегментов рынка, включая рынок измельчительной техники [17]. В связи с этим рассмотрение эволюционных особенностей динамики развития теории и практики совершенствования техники, в частности измельчительно-режущего оборудования, дает хорошие возможности поднять его уровень до лучших зарубежных аналогов, а нередко и превзойти их [11, 18, 19].

Цель работы – выявление и анализ динамики публикаций теоретических работ и материалов изобретательской практики для оценки приоритетной очередности и предпочтительности использования аналитических или эвристических подходов при оптимизации измельчительно-режущей техники, а также выявление ее базовых структурных компонентов и их взаимосвязей.

## Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлось измельчительно-режущее оборудование.

В качестве предмета исследования рассматривалась интенсивность опубликования теоретических и патентных источников по вопросам теории резания и проектирования измельчительно-режущего оборудования. Анализировались структура и причинно-следственные связи между разнородными элементами измельчительно-режущего комплекса, а также влияние остроты лезвийной кромки на энергоемкость процесса при воздействии на обрабатываемый материал.

В качестве метода исследования использовался системный анализ динамики аналитических и конструктивных решений задач проблемного поля, а также статистический метод количественной оценки интенсивности поисково-исследовательских научных работ и эвристической изобретательской деятельности по совершенствованию измельчительно-режущей техники.

## Результаты и обсуждение

### 1. Состояние теории и практики совершенствования измельчительно-режущего оборудования

Теории измельчения и реологии твердообразных материалов посвящены труды таких крупных и известных ученых, как В.П. Горячкин, Н.Е. Резник, А.И. Пелеев, С.Т. Антипов, В.А. Арет, О.В. Агеев [20], А.Н. Познышев, М.П. Семенов и другие. Значительный вклад в совершенствование измельчителей внесли изобретатели А.С. Андрианов, Ю.В. Куличков, С.Г. Юрков, В.В. Горяев, Г.И. Белохвостов, Н.А. Зуев [6, 13], Л.Ф. Михайленко.

Рассмотрим подробнее динамику и закономерности появления основных работ, посвященных изучению теории и практики процесса измельчения его специфики, а также конструктивных особенностей измельчительного оборудования.

Особую роль в развитии теории измельчения и разработке методик расчета оборудования занимают диссертационные работы. Динамика диссертационной активности приведена на рисунке 1. При этом анализ полученных статистических материалов свидетельствует о возросшем в 2000–2010 годы научном интересе к рассматриваемой проблеме.

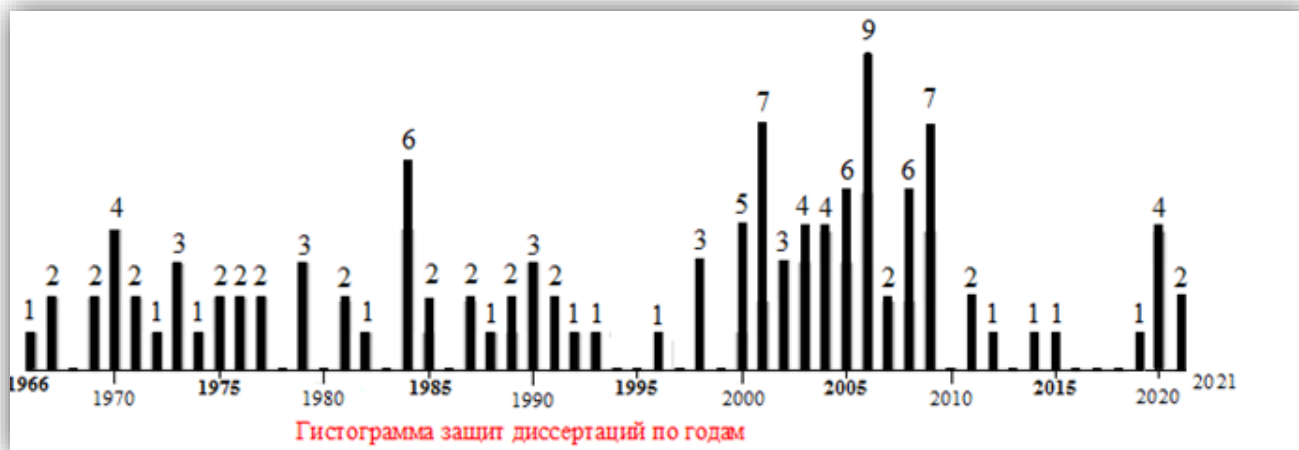


Рисунок 1 – Динамика защиты диссертаций по годам  
 Figure 1. Dynamics of thesis defences arranged by the years

Не в последнюю очередь это обусловлено постепенным исчерпанием в период 1990–1996 годов возможностей применения «теории решения изобретательских задач», а также интуитивного решения задач совершенствования волчков и измельчителей, о чем свидетельствуют данные статистики патентования эвристических идей ученых и конструкторов, приведенные на рисунке 2.

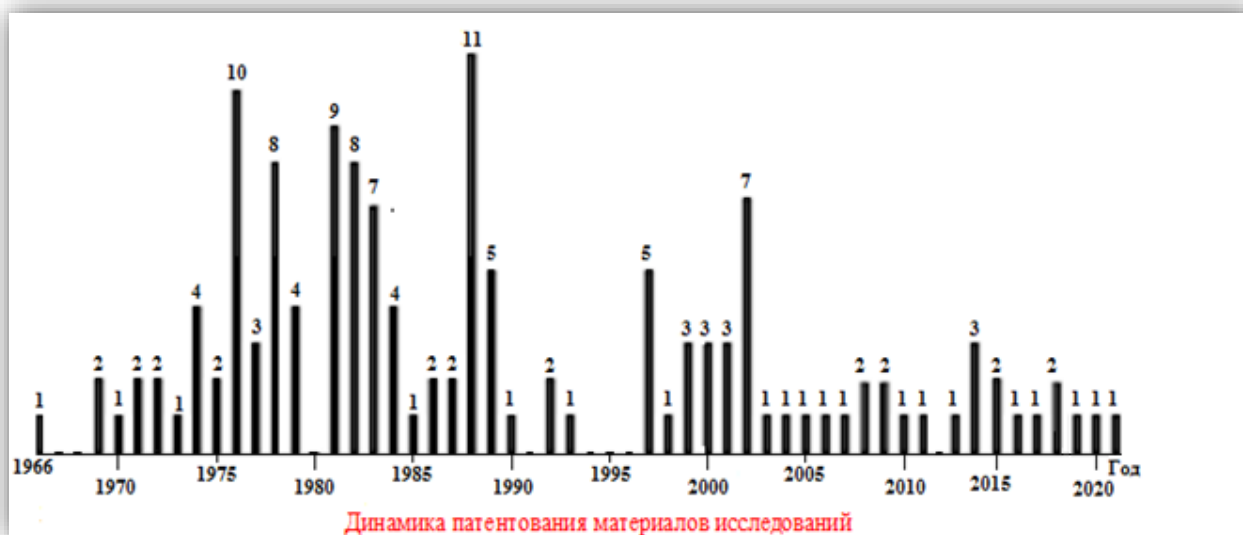


Рисунок 2 – Гистограмма патентования материалов исследований по годам  
 Figure 2. Patenting of research findings arranged by the years

Анализ увеличивающегося объема информации и углубление знаний в рассматриваемой области, включая фундаментальные исследования по теории резания, отражаемые в отечественных и зарубежных источниках, а также патентные материалы, подтверждает необходимость дальнейшего последовательного, систематического развития и уточнения теории измельчения твердообразного сырья, научно обоснованного совершенствования соответствующего оборудования. Это же вытекает и из анализа

статистических материалов по относительной активности изобретательской, научно-исследовательской и публикационной деятельности ученых и конструкторов в данной области исследования, приведенных на рисунках 1 и 2.

Действительно, если в период 1966–1990 годов при относительной пассивности научно-теоретических подходов (рисунок 1) активно реализовывались эвристические методы, то, по-видимому, исчерпав себя к 1990 году (рисунок 2), эта активность существенно снизилась в 2003–2013 годы. Постоянные потребности отрасли в совершенствовании измельчительного оборудования вызвали естественный рост числа научных исследований в период 2000–2009 годов.

Как показывает анализ информационных материалов, по количеству патентов и защищенных диссертаций, связанных с проблемами измельчительно-режущего оборудования (рисунки 1 и 2), начиная с 2010 года эти вопросы все меньше и меньше обращают на себя внимание специалистов и исследователей. Очевидно, что этот факт обусловлен достаточно глубокой научной проработкой данного направления в предыдущий период.

В этой ситуации дальнейшее совершенствование измельчительно-режущего оборудования требует более тщательной научной проработки и теоретического анализа именно на данном этапе эволюции измельчительной техники [18, 21, 23].

## *2. Перспективные направления совершенствования измельчительно-режущего оборудования*

Анализ публикационной и патентной активности исследователей по проблеме за последние три года свидетельствует о целесообразности дальнейшей активизации углубленных научных изысканий при исчерпании патентной активности и перспектив эвристических методов.

Всесторонний и тщательный анализ структуры и особенностей процессов подачи, экструзии и резания твердообразного сырья в волчках и измельчителях показывает, что этот вид технологического оборудования представляет собой шнековый измельчительно-режущий механизм с весьма большим числом конкретных конструктивно-технологических параметров и значительным количеством характеристик комплектующих элементов и осуществляемых сложных физико-механических процессов.

Для дальнейшего обоснованного формирования приоритетных направлений совершенствования и оптимизации параметров измельчительного оборудования, системного установления причинно-следственных и аналитических связей между конструктивными, механическими, реологическими характеристиками, возникает необходимость формирования структурной конструктивно-технологической схемы измельчительно-режущей системы. Укрупненно, иерархическая структура волчка как механизма, реализующего процесс измельчения твердообразного материала (транспортировки сырья, экструзии, резания) с конкретными и специфическими физико-механическими и теплофизическими свойствами, разработана на основании предыдущих эвристических решений [6, 11, 19], а также аналитических исследований [13, 6, 11] и может быть представлена в виде обобщенного графа, приведенного на рисунке 3.

Рассмотрение основных работ по проблеме измельчения сырья в шнековых механизмах осуществлялось с учетом и в соответствии с разработанной структурной схемой. Такой подход позволяет обеспечить системность исследования и возможность четкого и корректного выделения вопросов, подлежащих первоочередному приоритетному рассмотрению.

В соответствии с рисунком 3, объектами углубленного исследования являются шесть комплектующих компонентов (2–7), так как именно они определяют качество измельченного материала, а также энергоемкость процессов транспортировки, экструзии и резания [11, 14, 18].

Одним из первоочередных и перспективных направлений совершенствования этого вида техники являются подходы, связанные с минимизацией удельных расходов энергетических ресурсов в зоне четвертого элемента – режущего узла [11]. Как показывает анализ материалов этой работы, реальное значение остроты лезвийной кромки при воздействии на продукт формируется и предопределено его механической прочностью, величиной угла заточки, прочностными характеристиками материала лезвия, а также давлением продукта в зоне резания.

Особое дополнительное влияние на оптимизацию угла заточки лезвийной кромки ножа шнекового измельчителя оказывает явление кинематической трансформации угла заточки при изменении угла скольжения.

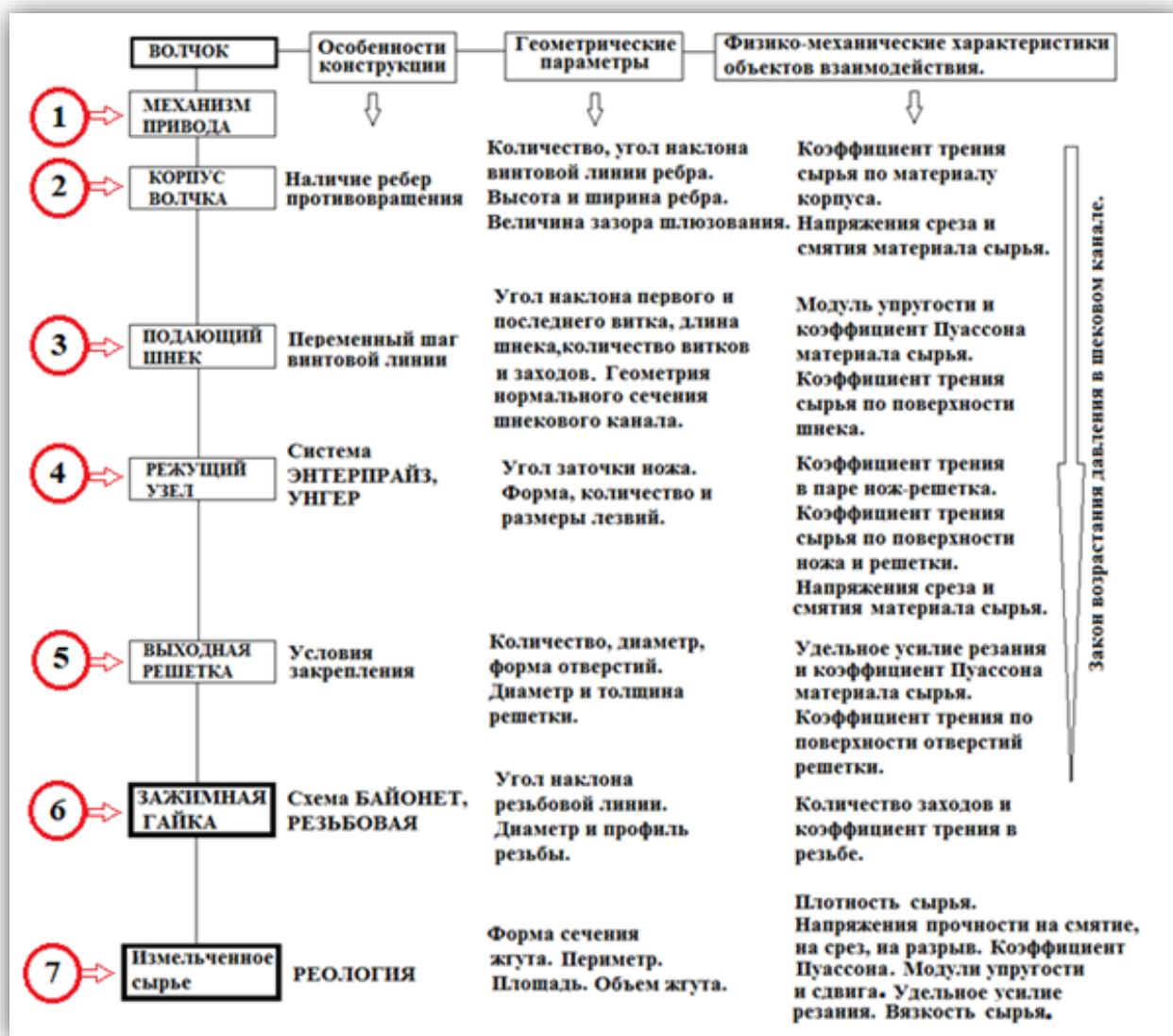


Рисунок 3 – Обобщенная структура измельчительно-режущей системы  
 Figure 3. Generalized structure of grinding and cutting system

Таким образом, может быть сформулирована очередная приоритетная задача аналитического описания закона распределения угла заточки лезвия по длине режущей кромки с учетом явления его кинематической трансформации. Явление кинематической трансформации угла заточки при изменении угла скольжения вызывает изменение расчетной остроты лезвия и приводит к изменению физических условий формирования абриса контура режущей кромки, что требует учета этого факта при проектировании формы лезвийной кромки ножа и корректировки результатов исследования, приведенных в работах [6, 12].

### Выводы

1. Анализ публикационной и патентной активности в рассматриваемом информационном поле за последние три года свидетельствует о целесообразности дальнейшей активизации более углубленных научных аналитических исследований при исчерпании патентной активности и перспектив эвристических методов.
2. На основании системного подхода к проблеме сформирована структурная конструктивно-технологическая схема измельчительно-режущей системы.
3. Определены объекты, процессы и вопросы приоритетного углубленного исследования, которые определяют качество измельченного материала, а также энергоемкость процесса резания.

4. Показано, что одним из первоочередных и перспективных направлений совершенствования измельчительно-режущей техники являются подходы, связанные с минимизацией удельных расходов энергетических ресурсов в зоне режущего узла.

5. Для указанной зоны обоснована возможность повышения энергоэффективности процесса резания за счет учета влияния трансформации угла заточки ножа на геометрические параметры и остроту лезвийной кромки, что требует своего аналитического описания.

## Литература

1. Авроров В.А., Ловцева В.В. Об использовании методов прогнозирования развития технических систем // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2014. № 6. С. 32–40.
2. Зильбербург Л.И., Молочник В.И., Яблочников Е.И. Реинжиниринг и автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении. СПб.: Компьютербург, 2003. 152 с.
3. Федоров В.В. Основы эргономики и синергетики деформируемых тел. Ч. 2: Основы экспериментальной термодинамики и кинетики, деформируемых тел. Калининград: КГТУ. 2013. 95 с.
4. Федоров В.В. Основы эргономики и синергетики деформируемых тел. Ч. 3: Основы эргономики деформируемых тел. Калининград: КГТУ. 2014. 222 с.
5. Черепашков А.А., Носов Н.В. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении. Волгоград: Ин-Фолио, 2009. 640 с.
6. Пеленко В.В., Зуев Н.А., Ольшевский Р.Г., Азаев Р.А., Кузьмин В.В., Кондратов А.В., Хатченко Е.П. Оптимизация формы режущих элементов измельчительного оборудования // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2006. № 1.
7. Фатыхов Ю.А. Технологическое оборудование отрасли. В 2 ч. Ч. 1. Оборудование для механической обработки сырья. Калининград: Изд-во КГТУ, 1996. 103 с.
8. Федоров В.В. Основы эргономики и синергетики деформируемых тел. Ч. 1. Основы физической механики деформируемых тел (состояние проблемы). Калининград: КГТУ. 2012. 160 с.
9. Мачихин С.А., Акоюн В.Б., Антипов С.Т. Машиностроение: энциклопедия. В 40 т. Т. IV-17. Машины и оборудование пищевой и перерабатывающей промышленности. М.: Машиностроение, 2003. 736 с.
10. Пеленко В.В., Похольченко В., Усманов И., Сомов А., Смирнов А. Математическое моделирование и расчет конструктивных параметров измельчителей с переменным шагом винтовой линии шнека // Вестник МГТУ. 2017. Т. 20, № 3. С. 556–562. DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-3-556-562
11. Пеленко В.В., Нечитайлов В.В., Иваненко В.П., Верболоз А. П., Баринов Г.В. Математическое моделирование процесса формирования реального острия лезвийной кромки ножа шнекового измельчителя твердых материалов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2022. № 1. С. 47–60. DOI: 10.17586/2310-1164-2022-15-1-47-60
12. Пеленко В.В., Демченко В.А., Бобров С.В., Усманов И.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. Мясорубки. СПб.: Изд-во Ун-та ИТМО, 2018. 138 с.
13. Пеленко В.В., Зуев Н.А., Бобров С.В., Малякко Д.П., Малюгин Г.И., Цуранов О.А. Проблемы развития теории и практики промышленного производства измельчительно-режущего оборудования // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2014. № 1. С. 194–207.
14. Аварский Н.Д., Серегин С.Н., Нуралиев С.У. Развитие инноваций в условиях санкций: проблемы и возможности // Экономика сельского хозяйства России. 2015. № 10. С. 25–32.
15. Иванова В.Н., Серегин С.Н., Новосельцева А.В. Основные направления реализации Стратегии национальной безопасности в сфере продовольственной независимости России // Пищевая промышленность. 2016. № 4. С. 40–43.
16. Серегин С.Н., Джабаев Ю.А. Новые технологии для реализации научно-технической политики АПК России // Мясные технологии. 2016. № 11. С. 58–60.
17. Иванова В.Н., Серегин С.Н., Джабаев Ю.А. Конкурентоспособные отечественные технологии в реализации научно-технической политики развития АПК России // Пищевая промышленность. 2016. № 11.
18. Усманов И.И. Повышение эффективности шнекового измельчительно-режущего оборудования путем совершенствования конструктивно-технологических параметров: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2021. 16 с.
19. Dutkiewicz D., Dowgiałło A. Systemowa struktura związku właściwości surowców ze sposobami działania maszyn i aparatów przetwórstwa spożywczego w procesie ich tworzenia. Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego. 2014, V. 4, no. 12, pp. 5–10.
20. Агеев О.В. Научное обеспечение и разработка ресурсосберегающих машинных технологий первичной обработки рыбы: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. Калининград, 2021. 40 с.

21. Азаев Р.А., Арет В.А., Верболоз Е.И., Зув Н.А., Пеленко В.В. Устройство для разрезки соединительно-мышечной ткани грудинки дисковым и подрезным ножами: пат. 2479212 С2 Российская Федерация. 2013. Бюл. № 11. 3 с.
22. Atkins T. Prediction of sticking and sliding lengths on the rake faces of tools using cutting forces. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2015, V. 91, pp. 33–45. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2014.06.004
23. Deibel K.-R., Lämmlein S., Wegener K. Model of slice-push cutting forces of stacked thin material. *Journal of Materials Processing Technology*. 2014, V. 214, Is. 3, pp. 667–672. DOI: 10.1016/J.JMATPROTEC.2013.10.009

## References

1. Avrorov V.A., Lovzeva V.V. Forecast method development system food production. *XXI century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus*. 2014, no. 6, pp. 32–40. (In Russian)
2. Zil'berburg L.I., Molochnik V.I., Yablochnikov E.I. *Reengineering and automation of technological preparation of production in mechanical engineering*. St. Petersburg, Komp'yuterburg Publ., 2003. 152 p. (In Russian)
3. Fedorov V.V. *Fundamentals of ergodynamics and synergetics of deformable bodies*. Part 2: Fundamentals of experimental thermodynamics and kinetics of deformable bodies. Kaliningrad. Kaliningrad State Technical University Publ., 2013. 95 p. (In Russian)
4. Fedorov V.V. Fundamentals of ergodynamics and synergetics of deformable bodies. Part 3: *Fundamentals of ergodynamics of deformable bodies*. Kaliningrad. Kaliningrad State Technical University Publ., 2014. 222 p. (In Russian)
5. Cherepashkov A.A., Nosov N.V. *Computer technologies, modeling and automated systems in mechanical engineering*. Volgograd, In-Folio Publ., 2009. 640 p. (In Russian)
6. Pelenko V.V., Zuev N.A., Ol'shevskii R.G., Azayev R. A., Kuz'min V.V., Kondratov A.V., Khatchenko E.P. Optimization of the shape of the cutting elements of grinding equipment. *Processes and Food Production Equipment*. 2006, no. 1. (In Russian)
7. Fatykhov Yu. A. Technological equipment of the industry. Part 1. *Equipment for the mechanical processing of raw materials*. Kaliningrad. Kaliningrad State Technical University Publ., 1996. 103 p. (In Russian)
8. Fedorov V.V. Fundamentals of ergodynamics and synergetics of deformable bodies. Part 1: *Fundamentals of physical mechanics of deformable bodies (state of the problem)*. Kaliningrad. Kaliningrad State Technical University Publ., 2012. 160 p. (In Russian)
9. Machikhin S.A., Akopyan V.B., Antipov S.T. Mechanical engineering: an encyclopedia. In 40 V. *Machinery and equipment for the food and processing industry*. V. IV-17. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2003. 736 p. (In Russian)
10. Pelenko V.V., Pokholchenko V.A., Usmanov I.I., Somov A.A., Smirnov A.A. Mathematical modeling and design parameters of crushing machines with variable-pitch helix of the screw. *Vestnik of MSTU*. 2017, V. 20, no. 3, pp. 556–562. DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-3-556-562. (In Russian)
11. Pelenko V.V., Nechitaylov V.V., Ivanenko V.P., Verboloz A. P., Barinov G.V. Mathematical modeling the process of forming a real tip of the blade edge for the knife of a screw grinder for solid materials. *Processes and Food Production Equipment*. 2022, no. 1, pp. 47–60. DOI: 10.17586/2310-1164-2022-15-1-47-60. (In Russian)
12. Pelenko V.V., Demchenko V.A., Bobrov S.V., Usmanov I.I. *Technological equipment of meat industry enterprises. Meat grinders*. St. Petersburg, ITMO University Publ., 2018. 138 p. (In Russian)
13. Pelenko V.V., Zuev N.A., Bobrov S.V., Malyavko D.P., Malugin G.I., Tsuranov O.A. Problems of development of the theory and practice of industrial shredding-cutting equipment. *Processes and Food Production Equipment*. 2014, no. 1, pp. 194–207. (In Russian)
14. Avarskii N.D., Seregin S.N., Nuraliev S.U. The development of innovations in the conditions of sanctions: Problems and opportunities. *Economics of Agriculture of Russia*. 2015, Is. 10, pp. 25–32. (In Russian)
15. Ivanova V.N., Seryogin S.N., Novoseltseva A.V. The main directions of the national security strategy of Russia's independence in food. *Food Industry*. 2016, no. 4, pp. 40–43. (In Russian)
16. Seregin S.N., Dzhabaev Yu.A. New technologies for the implementation of the scientific and technical policy of the agro-industrial complex of Russia. *Meat Technology*. 2016, no. 11, pp. 58–60. (In Russian)
17. Ivanova V.N., Seryogin S.N., Dzhabaev Yu.A. Competitive domestic technologies in the implementation of scientific and technical policy of Russian agricultural sector development. *Food Industry*. 2016, no. 11, pp. 11–16. (In Russian)
18. Usmanov I.I. Increasing the efficiency of screw grinding and cutting equipment by improving the design and technological parameters. *Extended abstract of candidate's thesis*. St. Petersburg, 2021. (In Russian)
19. Dutkiewicz D., Dowgiallo A. System structure connection of the raw properties with the ways of machines working for food production in process of its creation. *Polish Journal of Food Engineering*. 2014, V. 4, no. 12, pp. 5–10. (In Polish)
20. Ageev O.V. Scientific support and development of resource-saving machine technologies for the primary processing of fish. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kaliningrad, 2021. (In Russian)
21. Azaev R.A., Aret V.A., Verboloz E.I., Zuev N.A., Pelenko V.V. Device for cutting connective-muscular tissue of brisket with disc and splitter blades. *Patent RF*, no. 2479212 C2. 2013. (In Russian)

22. Atkins T. Prediction of sticking and sliding lengths on the rake faces of tools using cutting forces. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2015, V. 91, pp. 33–45. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2014.06.004
23. Deibel K.-R., Lämmlein S., Wegener K. Model of slice-push cutting forces of stacked thin material. *Journal of Materials Processing Technology*. 2014, V. 214, Is. 3, pp. 667–672. DOI: 10.1016/J.JMATPROTEC.2013.10.009

#### *Информация об авторах*

Валерий Викторович Пеленко – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры теплосиловых установок и тепловых двигателей  
Татьяна Юрьевна Короткова – канд. техн. наук, доцент, директор Института энергетики и автоматизации  
Владимир Германович Злобин – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой теплосиловых установок и тепловых двигателей  
Максим Сергеевич Липатов – ассистент кафедры теплосиловых установок и тепловых двигателей  
Владимир Павлович Иваненко – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизированного электропривода и электротехники

#### *Information about the authors*

Valery V. Pelenko, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Heat Power Plants and Heat Engines  
Tatiana Yu. Korotkova, Ph. D., Associate Professor, Head of the Institute of Energy and Automation  
Vladimir G. Zlobin, Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Heat Power Plants and Heat Engines  
Maxim S. Lipatov, Assistant of the Department of Heat Power Plants and Heat Engines  
Vladimir P. Ivanenko, Ph. D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automated Electric Drive and Electrical Engineering

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

*Статья поступила в редакцию 02.02.2023*

*Одобрена после рецензирования 06.03.2023*

*Принята к публикации 20.03.2023*

*The article was submitted 02.02.2023*

*Approved after reviewing 06.03.2023*

*Accepted for publication 20.03.2023*