

**ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ /  
TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT**<https://doi.org/10.15507/2658-4123.036.202601.081-096>EDN: <https://elibrary.ru/siznfg>

УДК / UDK 001.891.57:631.17:634.739.2

*Оригинальная статья / Original article***Применение аддитивных технологий  
для моделирования механических характеристик  
ягод клюквы крупноплодной****П. Ю. Крупенин<sup>1</sup>, А. К. Рендов<sup>1</sup>, В. М. Кузюр<sup>2</sup>,  
С. И. Будко<sup>2</sup>, В. Ф. Купряшкин<sup>3</sup>, А. С. Уланов<sup>3</sup>✉**<sup>1</sup> *Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия,  
г. Горки, Республика Беларусь, <https://ror.org/04y99m182>*<sup>2</sup> *Брянский государственный аграрный университет,  
с. Кокино, Российская Федерация, <https://ror.org/019aeg752>*<sup>3</sup> *Национальный исследовательский  
Мордовский государственный университет,  
г. Саранск, Российская Федерация, <https://ror.org/0262qgk29>*✉ [ulanow.aleksandr2010@yandex.ru](mailto:ulanow.aleksandr2010@yandex.ru)*Аннотация*

**Введение.** Клюква крупноплодная обладает лечебно-профилактическими свойствами, что обуславливает ее широкое потребление. В связи с сокращением площади, занимаемой дикорастущими растениями клюквы, для удовлетворения потребности населения необходимо увеличивать объемы ее промышленного выращивания. Главной проблемой при возделывании культуры в условиях промышленных плантаций является применение низкопроизводительных агромашин для сбора урожая, поэтому совершенствование технического обеспечения процесса уборки клюквы крупноплодной является актуальной научно-технической задачей. Модернизация таких машин сопряжена с проведением натурных экспериментальных исследований, заключающихся в имитировании функционирования агрегатов на различных режимах работы. При их выполнении модернизируемая машина взаимодействует с убираемой культурой – клюквой, макеты ягод которой со свойствами, идентичными реальным ягодам, возможно воссоздать при помощи аддитивных технологий.

**Цель исследования.** Расширение возможностей лабораторного оборудования и программного обеспечения за счет применения аддитивных технологий при проведении экспериментальных исследований взаимодействия рабочих элементов уборочных машин с ягодами клюквы крупноплодной.

**Материалы и методы.** Объект исследования – клюква крупноплодная сорта Стивенс. В основу методики определения массоразмерных характеристик ягод положен «мокрый» способ уборки. Массу ягод определяли взвешиванием на весах. В качестве линейных размеров штангенциркулем определяли длину ягоды и два поперечных

© Крупенин П. Ю., Рендов А. К., Кузюр В. М., Будко С. И., Купряшкин В. Ф., Уланов А. С., 2026

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

размера в плоскостях измерений, расположенных под углом в  $90^\circ$  относительно друг друга. Определение объема ягод выполняли измерением объема вытесняемой ягодной жидкости и расчетным методом. Создание 3D-модели выполняли в программном обеспечении *FlashPrint 5*, для распечатывания макетов применяли 3D-принтер *Flashforge Finder* и пластик полилактид (ПЛА, PLA).

**Результаты исследования.** Разработана методика расчета параметров макетов ягод клюквы крупноплодной с применением аддитивных технологий. Созданы максимально приближенные макеты ягод. Выявлено, что с увеличением размера фракции ягоды от 1 до  $5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$  плотность созданных макетов клюквы снижается на 66,2 % с  $1367,37 \text{ кг/м}^3$  до  $461,98 \text{ кг/м}^3$ , а объем увеличивается в 5,3 раз с  $0,81 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$  до  $4,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ .

**Обсуждение и заключение.** Применение аддитивных технологий позволило создать максимально приближенный макет ягод клюквы крупноплодной из недорогого и долговечного материала, полностью повторяющего свойства плодов, выращенных в условиях плантации, что может упростить проведение лабораторных исследований уборочного процесса ягод мокрым способом и снизить финансовые издержки при их реализации.

*Ключевые слова:* клюква крупноплодная, аддитивные технологии, массоразмерные характеристики, 3D-макет, плотность макетов, уборка клюквы

*Конфликт интересов:* авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Для цитирования:* Крупенин П.Ю., Рендов А.К., Кузюр В.М., Будко С.И., Купряшкин В.Ф., Уланов А.С. Применение аддитивных технологий для моделирования механических характеристик ягод клюквы крупноплодной. *Инженерные технологии и системы.* 2026;36(1):81–96. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.036.202601.081-096>

## Application of Additive Technologies for Simulating Mechanical Characteristics of Large-Fruited Cranberries

P. Y. Krupenin<sup>a</sup>, A. K. Rendov<sup>a</sup>, V. M. Kuzyur<sup>b</sup>,  
S. I. Budko<sup>b</sup>, V. F. Kupryashkin<sup>c</sup>, A. S. Ulanov<sup>c</sup>✉

<sup>a</sup> Belarusian State Agricultural Academy,  
Gorki, Republic of Belarus, <https://ror.org/04y99m182>

<sup>b</sup> Bryansk State Agrarian University,  
Kokino, Russian Federation, <https://ror.org/019aeg752>

<sup>c</sup> National Research Mordovia State University,  
Saransk, Russian Federation, <https://ror.org/0262qgk29>

✉ [ulanow.aleksandr2010@yandex.ru](mailto:ulanow.aleksandr2010@yandex.ru)

### Abstract

**Introduction.** Large-fruited cranberries have therapeutic and prophylactic properties, which cause their wide consumption. Because of reducing the areas occupied by wild cranberry, it is necessary to increase industrial cultivation of cranberries to meet public demand. The main challenge in cultivating the cranberries on industrial plantations is the use of low-performance agricultural machinery for harvesting. Therefore, improving the machinery for harvesting large-fruited cranberries is a topical scientific and technical task. Upgrading this equipment involves conducting field experimental studies, which consist in simulating the operation of the units in various operating modes. During these studies, the being upgraded machine interacts with the being harvested cranberries, the mock-ups of which with properties identical to real cranberries can be created using additive technologies.

**Aim of the Study.** The study is aimed at expanding the capabilities of laboratory equipment and software by using additive technologies in experimental studies of the interaction between the working elements of harvesting machines and large-fruited cranberries. **Materials and Methods.** The object of the study was the Stevens large-fruited cranberry variety. The method for determining the cranberry weight-size characteristics was based on the wet harvesting method. The weight of cranberries was determined by weighing on scales. A caliper was used to measure linear dimensions of cranberries, including length and two transverse dimensions in measurement planes positioned at  $90^\circ$  relative to each other. The volume of cranberries was determined by determining the volume of displaced cranberry liquid and with the use of the calculating method. 3D models were developed using FlashPrint 5 software, using a Flashforge Finder 3D printer and polylactide (PLA) plastic to print mock-ups.

**Results.** Using additive technologies, there has been developed a method for calculating the parameters for large-fruited cranberry mock-ups. There have been created the mock-ups of cranberries maximally approximate to the originals. It has been found that an increase in the cranberry fraction size from 1 to  $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ , the density of the created cranberry mock-ups decreases by 66.2% from  $1367.37 \text{ kg/m}^3$  to  $461.98 \text{ kg/m}^3$ , and the volume increases by 5.3 times from  $0.81 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$  to  $4.26 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ .

**Discussion and Conclusions.** The additive technologies made it possible to create from an inexpensive and long-life material highly accurate mock-ups of large-fruited cranberries fully replicate the properties of cranberries grown on a plantation. This could simplify laboratory research of the wet cranberry harvesting and reduce the financial costs of their sale.

*Keywords:* large-fruited cranberry, additive technologies, weight-dimensional characteristics, 3D model, cranberry harvesting

*Conflict of interest:* The authors declare that there is no conflict of interest.

*For citation:* Krupenin P.Y., Rendov A.K., Kuzyur V.M., Budko S.I., Kupryashkin V.F., Ulanov A.S. Application of Additive Technologies for Simulating Mechanical Characteristics of Large-Fruited Cranberries. *Engineering Technologies and Systems*. 2026;36(1):81–96. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.036.202601.081-096>

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из самых ценных дикорастущих растений в Республики Беларусь благодаря своим высоким пищевым и лечебно-профилактическим свойствам является клюква<sup>1</sup>. Она содержит значительное количество биологически активных веществ<sup>2</sup>. В совокупности это обеспечивает ягоде высокий спрос как на внутреннем, так и на внешнем рынках<sup>3</sup>. В настоящее время происходит сокращение площади, занимаемой дикорастущими растениями клюквы<sup>4</sup>. Чтобы удовлетворить потребности

<sup>1</sup> Крупенин П.Ю., Рендов А.К., Лягуский А.Г. Направление совершенствования технического обеспечения процесса уборки клюквы крупноплодной. В: Аграрная наука – сельскому хозяйству: материалы XVIII Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул: Алтайский гос. аграрный ун-т; 2023. С. 131–132. <https://elibrary.ru/tzuixz>

<sup>2</sup> Рендов А.К. Повышение эффективности промышленного производства клюквы путем совершенствования средств механизации для ее возделывания В: Актуальные вопросы механизации сельскохозяйственного производства: материалы Междунар. науч. конф. студентов и магистрантов. Горки: БГСХА; 2023. С. 94–97. <https://elibrary.ru/xhdokf>; Крупенин П.Ю., Рендов А.К. Моделирование механических характеристик ягод клюквы крупноплодной с использованием аддитивных технологий. В: Наука – практике: материалы VI Международ. науч.-практ. конф. Барановичи: БарГУ; 2025. С. 387–388.

<sup>3</sup> Астахов В.С., Рендов А.К. К вопросу обеспечения экологической безопасности сельскохозяйственной отрасли. В: Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. работ. Брянск: Брянский ГАУ; 2023. С. 251–257. <https://www.elibrary.ru/mdcghv>

<sup>4</sup> Крупенин П.Ю., Рендов А.К., Лягуский А.Г. Анализ способов уборки клюквы крупноплодной. В: Современные тенденции развития аграрной науки: сб. науч. тр. II Междунар. науч.-практ. конф. Брянск: Брянский ГАУ; 2023. Ч. 2. С. 231–237. <https://elibrary.ru/olgatf>

населения нужно увеличивать объемы промышленного выращивания клюквы крупноплодной<sup>5</sup>. Одной из проблем технологии выращивания данной культуры на промышленных плантациях Республики Беларусь является применение малопродуктивных и трудоемких технических средств для уборки урожая<sup>6</sup> [1]. Так, актуальной научно-технической задачей является усовершенствование технического обеспечения процесса сбора плодов клюквы крупноплодной<sup>7</sup>. Для того, чтобы это осуществить требуются свежие ягоды. Однако они имеют ограниченный срок годности, что затрудняет проведение лабораторных исследований в течение длительного времени. Поэтому необходимо найти им альтернативу. Метод аддитивных технологий (3D-печати) [2; 3] может позволить получить прочный, износостойкий и непортящийся материал<sup>8</sup> [4–6], точно имитирующий поведение реальных ягод клюквы при их погружении в воду<sup>9</sup> [7; 8], что упростит и удешевит проведение лабораторных исследований процесса уборки ягод клюквы крупноплодной мокрым способом<sup>10</sup> [9].

Таким образом, применение аддитивных технологий позволит вывести на новый уровень методики проведения экспериментальных исследований взаимодействия рабочих элементов уборочных машин с ягодами клюквы крупноплодной. Так, целью исследования является расширение функциональных возможностей лабораторного оборудования с созданием программного продукта, который даст возможность развивать представленные в статье исследования и применять их при изучении других методов уборки ягодных культур.

<sup>5</sup> Крупенин П.Ю., Рендов А.К., Лягуский А.Г. Техническое обеспечение процесса уборки клюквы крупноплодной. В: Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: сб. науч. ст. 7-й Междунар. науч.-практ. конф. Гомель: Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»; 2023. С. 207–212. <https://elibrary.ru/vsvjmc>

<sup>6</sup> Крупенин П.Ю., Рендов А.К. Перспективное оборудование для уборки клюквы крупноплодной мокрым способом. В: Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. Горки: БГСХА; 2024. С. 196–199. <https://elibrary.ru/uwuhfa>

<sup>7</sup> Астахов В.С., Гусаров В.В., Валоженич Г.А., Рендов А.К. Совершенствование машин для химической защиты с целью снижения влияния пестицидов на качество сельскохозяйственных продуктов. В: Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. Горки: БГСХА; 2023. С. 204–207. URL: <https://elib.baa.by/xmlui/handle/123456789/4137?show=full> (дата обращения: 21.04.2025); Лягуский А.Г., Крупенин П.Ю. Исследование процесса формирования ягодного вороха клюквы крупноплодной методами аналитической геометрии. В: Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам: сб. науч. тр. IX Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием. Вологда: ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА; 2024. С. 134–138. <https://www.elibrary.ru/hagooc>

<sup>8</sup> Мисун А.Л. Управление уровнем профессиональных рисков в промышленном выращивании клюквы. В: Механизация и электрификация сельского хозяйства: сб. ст.: Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; 2016. С. 128–134. URL: <https://mechel.belab.by/jour/article/view/480> (дата обращения: 14.04.2025).

<sup>9</sup> Ленковец Т.И. Сохраняемость плодов клюквы крупноплодной в зависимости от способа уборки урожая. В: Плодоводство: сб. науч. тр. Минск: Издательский дом; 2020. С. 215–219. URL: <https://fruit.belab.by/jour/article/view/71> (дата обращения: 21.04.2025); Ленковец Т.И. Урожайность и масса плода сортов клюквы крупноплодной, интродуцированных в Беларуси. В: Плодоводство: сб. науч. тр. Минск: Издательский дом; 2022. С. 134–139. <https://doi.org/10.47612/0134-9759-2022-34-134-139> (дата обращения: 21.04.2025).

<sup>10</sup> Крупенин П.Ю., Рендов А.К., Лягуский А.Г. Анализ технических средств для уборки клюквы крупноплодной в затопленном чеке. В: Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. Горки: Белорус. гос. с.-х. акад.; 2025. С. 160–163. <https://www.elibrary.ru/oumqme>; Averill A. Cranberry production guide: Cranberry production guide. University of Massachusetts – amherst (suppl.). 2008:198. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/32437959.pdf> (дата обращения: 21.04.2025).

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В отличие от традиционной промышленной механической обработки заготовок, полученных литьем или штамповкой, аддитивный технологический процесс представляет собой изготовление деталей и трехмерных объектов путем послойного наложения используемого материала (пластик, металл, бетон и др.)<sup>11</sup>. Указанные технологические особенности позволяют использовать аддитивные технологии для изготовления объектов не только с точными геометрическими размерами, но и с определенными физико-механическими свойствами (плотность, упругость, шероховатость поверхности и др.).

Исследования физико-механических свойств ягод клюквы и научное обоснование параметров и режимов работы технических средств для возделывания и уборки данной культуры приведены в публикациях зарубежных исследователей<sup>12</sup> [10; 11].

В. В. Азаренко предложена модель для оценки влияния природно-климатических и агрономических факторов на эффективность и безопасность промышленного выращивания крупноплодной клюквы в условиях контролируемой производственной среды [12; 13]. Исследована экономическая эффективность инженерно-технических решений для улучшения условий и повышения безопасности механизированного ухода за клюквенным покровом чека. Ученый разработал методику проведения исследований приспособленности технических средств для промышленного выращивания клюквы к безопасному управлению технологическими операциями на чеке<sup>13</sup>.

Исследователи из Беларуси разработали научные и технологические основы производства крупноплодной клюквы в промышленном чеке. Изучены физико-механические свойства ягод, индекс формы, силы сопротивления раздавливанию и отрыву, критическая высота падения ягод, коэффициент их относительной прочности. Выполнен технико-экономический анализ технических средств

<sup>11</sup> 5D.BY – 3D-печать [Электронный ресурс] : сайт. URL: <https://5d.by/3d-pechat/?yclid=9503773741403078655> (дата обращения: 13.04.2025).

<sup>12</sup> Яковлев А.П. Культивирование клюквы крупноплодной и голубики топяной на выработанных торфяниках севера Беларуси: оптимизация режима минерального питания: моногр. Минск: Тонпик; 2002. 188 с. URL: <https://elib.nlb.by/catalog/Record/BY-NLB-br460245/Details> (дата обращения: 02.05.2025); Можайский Ю.А., Лихацевич А.П. Сохранение и повышение продуктивности мелиорируемых земель Центра Нечерноземной зоны России и Беларуси: моногр. Рязань: Рязанская гос. с.-х. акад. им. П. А. Костычева; 2005. 582 с. URL: <https://elib.nlb.by/catalog/Record/BY-NLB-br708137?sid=79172037> (дата обращения: 16.05.2024).

<sup>13</sup> Азаренко В.В., Мисун А.Л., Ларичев А.Ю. Результаты исследований экономической эффективности инженерно-технических решений для улучшения условий и повышения безопасности механизированного ухода за клюквенным покровом чека. В: Механизация и электрификация сельского хозяйства. сб. ст.: Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; 2022. С. 274–278. URL: <https://mechel.belal.by/jour/article/view/383> (дата обращения: 22.05.2024); Азаренко В.В., Мисун А.Л., Ларичев А.Ю. Научно-методические обеспечение исследований безопасности управления технологическими операциями на клюквенном чеке. В: Механизация и электрификация сельского хозяйства. сб. ст.: Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; 2022. С. 262–273. URL: <https://mechel.belal.by/jour/article/view/382> (дата обращения: 22.05.2024); Азаренко В.В., Мисун А.Л., Ларичев А.Ю. Обоснование безопасных условий эксплуатации промышленной плантации крупноплодной клюквы. В: Механизация и электрификация сельского хозяйства. сб. ст.: Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; 2015. С. 139–146. URL: <https://mechel.belal.by/jour/article/view/167> (дата обращения: 24.05.2024).

для механизированной уборки и послеуборочной обработки ягод, обоснованы рациональные параметры и режимы работы технологического оборудования<sup>14</sup> [5].

А. Л. Мисун предложил систему управления уровнем профессиональных рисков в промышленном выращивании клюквы, обосновал рациональные режимы технического средства и определил безопасные режимы его работы<sup>15</sup> [14].

В ходе исследования по сохраняемости плодов клюквы крупноплодной в зависимости от способа уборки урожая установлено, что способ уборки ягод следует учитывать при планировании работ по их переработке [6]. А. Тектюлер, Т. Каракесе предложен способ механизированного сбора, обеспечивающий снижение трудозатрат и себестоимости готовой продукции [15].

В результате анализа апробационных признаков районирования в Беларуси сортамента клюквы крупноплодной обоснована необходимость комплексно учитывать отличительные морфологические признаки данной культуры<sup>16</sup> [16].

Л. Брондино, П. Кузьяр, Л. В. Де Веттер провели исследования по механизированной уборке различных ягодных культур, в результате чего установили необходимость экспериментировать и разрабатывать новые эффективные способы уборки, способные обеспечить получение продукта, сопоставимого по качеству с собранными вручную ягодами [17–19].

Представленные исследования в областях возделывания клюквы и совершенствования технических средств ее уборки показали, что они требуют проведения лабораторных натуральных испытаний, которые невозможно осуществить без наличия свежих ягод. В результате таких исследований устанавливаются массово-габаритные характеристики ягод, на основании которых возможно воссоздать макеты ягод клюквы с заданными свойствами, идентичными реальным плодам.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### *Объекты исследования*

Объектами исследования являлись свежие ягоды клюквы крупноплодной сорта Стивенс, собранные в 2024 году на ягодных плантациях ОАО «Полесские Журавины» (объем выборки 500 ягод).

### *Методы, оборудование, процедура исследования*

Массогабаритные характеристики играют важную роль в исследовании ягод клюквы крупноплодной. Градация по размерам включает в себя три основные группы: мелкая, средняя и крупная. Для того чтобы отнести ягоды к одной из этих групп можно использовать любой из габаритных размеров, присущих ягоде –

<sup>14</sup> Решетников В.Н., Рубан Н.Н., Спиридович Е.В., Паромчик И.И., Алексеева Е.И., Войцеховская Е.А. Рациональное использование клюквы крупноплодной. В: Культура брусничных ягодников: итоги и перспективы: материалы Междунар. науч. конф. Минск: ЦБС НАН Беларуси; 2005. С. 164–168. <https://www.elibrary.ru/woixrd>

<sup>15</sup> Азаренко В.В., Мисун А.Л., Ларичев А.Ю. Научно-методическое обеспечение исследований безопасности управления технологическими операциями на клюквенном чеке; Азаренко В.В., Мисун А.Л., Ларичев А.Ю. Обоснование безопасных условий эксплуатации промышленной плантации крупноплодной клюквы.

<sup>16</sup> Павловский Н.Б., Ленковец Т.И., Дроздов О.В., Колодко Е.А., Павловская А.Г. Апробационные признаки районированного в Беларуси сортамента клюквы крупноплодной. В: Плодоводство и ягодоводство в Беларуси и за рубежом: материалы Междунар. науч. конф. Минск: ЦБС НАН Беларуси; 2022. С. 127–133. <https://www.elibrary.ru/shlscs>

длина, ширина или высота. Методика проведения исследований массоразмерных свойств ягод клюквы крупноплодной предполагала определение массы, линейных размеров и объема ягод<sup>17</sup>. Массу ягод определяли взвешиванием на весах RADWAG WLC 0.6/B1 с погрешностью 0,01 г. В качестве линейных размеров ягод определяли их наибольший размер (длину ягоды  $L_{ya}$ ) и два поперечных размера в плоскостях измерений расположенных под углом в  $90^\circ$  относительно друг друга (диаметры ягоды  $D_{ya1}$ ,  $D_{ya2}$ ). Измерения линейных размеров выполняли штангенциркулем ШЦЦ-10-150 с ценой деления 0,01 мм. Определение объема ягод выполняли двумя способами: измерением объема вытесняемой ягодой жидкости и расчетным методом.

Для измерения объема вытесняемой жидкости использовали мерный цилиндр марки 1-25-2 (цена деления – 0,5 мл), частично заполненный дистиллированной водой, в которую утапливали исследуемую ягоду клюквы. Объем ягоды высчитывали по разности уровня жидкости в цилиндре до и после погружения ягоды.

Для определения объема ягоды расчетным методом использовали измеренные значения ее размеров ( $L_{ya}$ ,  $D_{ya1}$ ,  $D_{ya2}$ ), а объем вычисляли по формуле объема эллипсоида:

$$V_{ya} = \frac{\pi}{6} L_{ya} D_{ya1} D_{ya2},$$

где  $V_{ya}$  – объем ягоды, м<sup>3</sup>;  $L_{ya}$  – длина ягоды, м;  $D_{ya1}$  – диаметр ягоды, м;  $D_{ya2}$  – диаметр ягоды, м.

Измеренный объем ягод определяли методом вытесняемой ягодой жидкости, для чего брали мерную мензурку с водой, фиксируя начальный объем воды  $V_1$ . Затем погружали ягоду в зависимости от размера фракции в воду и фиксировали новый объем воды  $V_2$ . Разница между  $V_1$  и  $V_2$  – реальный объем исследуемой ягоды клюквы. Метод вычисленного объема заключался в снятии габаритных размеров ягоды с помощью измерительного инструмента и в определении объема при помощи арифметических операций.

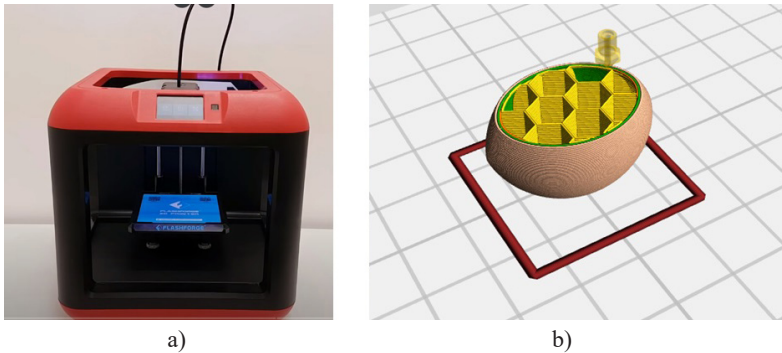
Используя результаты экспериментальных исследований массоразмерных характеристик ягод клюквы крупноплодной, определили средние диаметры  $D_1$ ,  $D_2$  и плотность  $\rho$  ягод следующих фракций по объему: до  $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$  –  $D_1 = 0,0123 \text{ м}$ ,  $D_2 = 0,0127 \text{ м}$ ,  $\rho = 1367,37 \text{ кг/м}^3$ ;  $1-2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$  –  $D_1 = 0,0128 \text{ м}$ ,  $D_2 = 0,0131 \text{ м}$ ,  $\rho = 873,48 \text{ кг/м}^3$ ;  $2-3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$  –  $D_1 = 0,0130 \text{ м}$ ,  $D_2 = 0,0133 \text{ м}$ ,  $\rho = 717,95 \text{ кг/м}^3$ ;  $3-4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$  –  $D_1 = 0,0135 \text{ м}$ ,  $D_2 = 0,0138 \text{ м}$ ,  $\rho = 615,13 \text{ кг/м}^3$ ; более  $4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$  –  $D_1 = 0,0142 \text{ м}$ ,  $D_2 = 0,0144 \text{ м}$ ,  $\rho = 461,98 \text{ кг/м}^3$ .

В качестве способа изготовления макетов ягод клюквы крупноплодной использовали аддитивные технологии (3D-печать). По данному способу внутренние пространства модели могут изготавливаться однородно (сплошная оболочка) и неоднородно (внутреннее пространство частично заполнено материалом). Структура неоднородных пространств имеет, как правило, четыре основных разновидности: прямоугольная, треугольная, волнообразная и сотообразная. Степень заполнения пространств измеряется в процентах, где 0 % – это пустотелая модель, а 100 % – полнотелая.

<sup>17</sup> Cranberry Station Best Management Practices Guide. Amherst: University of Massachusetts; 2000.

Разработали методику расчета параметров макетов ягод (рис. 1), предусматривающую изменение массы и, как следствие, плотности макетов посредством различной степени заполнения пластиком их внутренней полости. Создание 3D-модели ягод выполняли в программном обеспечении *FlashPrint 5*, позволяющем настраивать такие параметры модели как толщина слоя, степень заполнения внутреннего пространства и др.

Для изготовления макетов был выбран пластик полилактид (ПЛА, PLA). Его плотность – 1 230–1 250 кг/м<sup>3</sup>. Для распечатывания макетов применяли 3D-принтер Flashforge Finder.



Р и с. 1. Оборудование и результат применения аддитивных технологий: а) 3D-принтер Flashforge Finder; б) программное обеспечение *FlashPrint 5*

F i g. 1. Equipment and results of using additive technologies: а) Flashforge Finder 3D printer; б) FlashPrint 5 software

*Источник:* фотография для рисунка 1 а была сделана П. Ю. Крупениным в лаборатории кафедры механизации животноводства и электрофикации сельскохозяйственного производства БГСХА (г. Горки, Республика Беларусь). Рисунок 1 б создан авторами статьи в программе *FlashPrint 5*.

*Source:* photo 1 a was taken by P. Yu. Krupenin in the laboratory of the Department of Animal Husbandry Mechanization and Electrification of Agricultural Production at the Belarusian State Agricultural Academy (Gorki, Republic of Belarus). Figure 1 b was created by the authors using the FlashPrint 5 software.

Чтобы масса и плотность макета соответствовали реальной ягоде необходимо определить степень заполнения внутреннего пространства при печати макета. Правильная степень заполнения повысит точность модели, гарантируя, что она будет вести себя на воде аналогично реальной ягоде клюквы. Заполнение внутренней полости пространственной структурой стабилизирует форму модели и позволяет ей сопротивляться физическим нагрузкам. В совокупности это предоставляет возможность использовать макеты ягод в ходе лабораторных исследований по обоснованию параметров технических средств для уборки клюквы крупноплодной «мокрым» способом.

Объем оболочки макета  $V_{ob}$  рассчитали по формуле:

$$V_{ob} = \frac{\pi}{6} D_f^2 \cdot L_f - (L_f - 2b)(D_f - 2b)^2, \quad (1)$$

где  $D_f$  – средний диаметр ягод в фракции, м;  $L_f$  – средняя длина ягоды в фракции, м;  $b$  – толщина стенки макета,  $b = 0,8 \cdot 10^{-3}$  м.

Масса оболочки макета  $m_{ob}$ :

$$m_{ob} = V_{ob} \cdot \rho_{pla}, \quad (2)$$

где  $\rho_{pla}$  – плотность пластика,  $\rho_{pla} = 1\,250 \text{ кг/м}^3$ .

Масса внутренней части макета  $m_{vn}$ :

$$m_{vn} = m_f - m_{ob}, \quad (3)$$

где  $m_f$  – средняя масса ягод во фракции, кг.

Зная массу внутренней части макета, рассчитали требуемый объем пластика для его заполнения:

$$V_{pla-vn} = \frac{m_{vn}}{\rho_{pla}}. \quad (4)$$

Объем внутренней части макета  $V_{vn}$ :

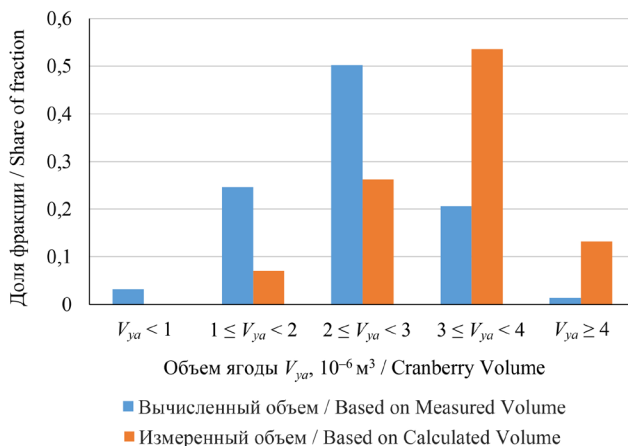
$$V_{vn} = \frac{\pi}{6} [(L_f - 2b)(D_f - 2b)^2]. \quad (5)$$

Степень заполнения внутренней части макета пластиком  $Z$  нашли по формуле:

$$Z = \frac{V_{pla-vn}}{V_{vn}} \cdot 100 \%. \quad (6)$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Распределение объема ягод клюквы крупноплодной, вычисленного по формуле и измеренного методом вытеснения жидкости представили на гистограмме (рис. 2).



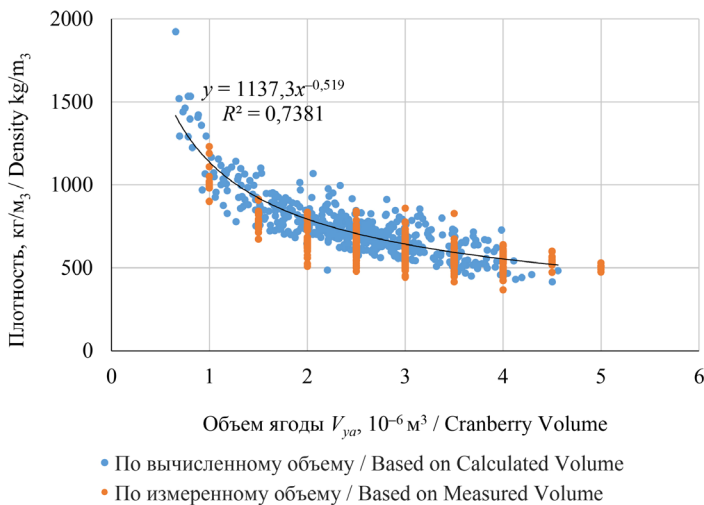
Р и с. 2. Гистограммы распределения объема ягод клюквы крупноплодной  
F i g. 2. Histograms of the distribution of the volume of large-fruited cranberries

Источник: рисунки 2, 3 составлены авторами статьи в программе Microsoft Excel.  
Source: figures 2, 3 were compiled by the authors using the Microsoft Excel software.

При анализе распределений ягод клюквы крупноплодной (рис. 2) было выявлено, что наибольшая часть ягод имеет объем  $2 \cdot 10^{-6} \dots 4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ . Следует отметить, что распределения по вычисленному и измеренному объемам несколько отличаются друг от друга. Из рисунка 2 видно, что распределение ягод по измеренному объему смещено примерно на  $10^{-6} \text{ м}^3$  в большую сторону относительно распределения по вычисленному объему.

В связи с расхождением фракционного состава ягод клюквы крупноплодной, полученного на основании вычисленного и измеренного объема ягод, провели сопоставление результатов измерений с имеющимися в литературных источниках данными [6] и установили, что распределение ягод клюквы крупноплодной по фракциям на основании вычисленного объема лучше согласуется с имеющейся априорной информацией. Таким образом, можно предположить, что вычисление объема ягоды по трем линейным измерениям обеспечивает меньшую погрешность по сравнению с прямым определением ее объема методом вытеснения жидкости.

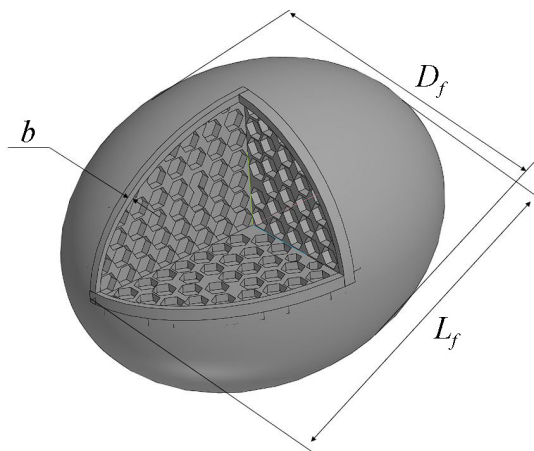
Распределение плотности ягод клюквы крупноплодной, рассчитанной по вычисленному и измеренному объемам, показано на рисунке 3. При построении графика по оси абсцисс откладывали объем каждой ягоды, а по оси ординат – плотность, в результате чего получили облако точек, представляющее собой распределение плотности ягод в зависимости от их объема.



Р и с. 3. Распределение плотности ягод клюквы крупноплодной  
F i g. 3. Distribution of the density of large-fruited cranberries

Значение коэффициента детерминации ( $R^2 = 0,7381$ ) говорит о сильной зависимости плотности ягоды от ее объема. В целом, плотность мелких ягод клюквы в 3 раза больше плотности крупных. Таким образом, в лабораторных исследованиях рабочего процесса узлов машин для уборки клюквы крупноплодной мокрым способом следует использовать макеты ягод, идентичные размеру и плотности реальных ягод соответствующих фракций.

3D-модель макета ягоды клюквы (рис. 4) представляет собой эллипсоид с осями  $L_f$ ,  $D_f$ . Конструктивно модель имеет сплошную оболочку толщиной  $b$ , пространство внутри которой заполнено сотовой структурой.



Р и с. 4. 3D-модель макета ягоды клюквы

F i g. 4. 3D model of a cranberry mock-up

*Примечание:*  $b$  – толщина стенки оболочки, м;  $L_f$  – средняя длина ягод, м;  $D_f$  – средний диаметр ягод, м.

*Note:*  $b$  – shell wall thickness, m;  $L_f$  – the average length of the cranberries, m;  $D_f$  – the average diameter of the cranberries, m.

*Источник:* рисунок 4 составлен авторами статьи в программе *FlashPrint 5*.

*Source:* figure 4 was created by the authors using the *FlashPrint 5* software.

Результаты расчетов по формулам (1–6) для различных фракций ягод клюквы крупноплодной приведены в таблице. Расчетная степень заполнения для изготовления макета принимается равной 100 %.

Т а б л и ц а

T a b l e

Параметры макетов ягод клюквы для изготовления методом 3D-печати

Parameters for cranberry berry mock-ups for 3D printing

Фракция, $10^{-6} \text{ м}^3 /$ Fraction, $10^{-6} \text{ м}^3$	Диаметр $D_f$ , $\times 10^{-3} \text{ м} /$ Diameter $D_f$ , $\times 10^{-3} \text{ м}$	Длина $L_f$ , $\times 10^{-3} \text{ м} /$ Length $L_f$ , $\times 10^{-3} \text{ м}$	Масса $m_f$ , $\times 10^{-3} \text{ кг} /$ Weight $m_f$ , $\times 10^{-3} \text{ кг}$	Объем $V_f$ , $\times 10^{-6} \text{ м}^3 /$ Volume $V_f$ , $\times 10^{-6} \text{ м}^3$	Плотность $\rho_{cr}$ , $\text{кг}/\text{м}^3 /$ Density $\rho_{cr}$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	Расчетная степень заполнения, % / Estimated degree of filling, %
до 1/ up to 1	10,48	14,20	1,12	0,81	1367,37	116,1
1–2	13,53	16,61	1,39	1,59	873,48	57,9
2–3	15,85	18,85	1,78	2,48	717,95	43,1
3–4	17,73	20,68	2,09	3,40	615,13	34,0
более 5 / more than 5	19,01	22,53	1,97	4,26	461,98	19,5

Анализ параметров макетов ягод клюквы для изготовления методом аддитивных технологий показывает, что найденные значения массы  $m_f$ , объема  $V_f$  и плотности  $\rho_{cr}$  изготовленных макетов совпадают с реальными значениями, что обуславливает их использование при проведении лабораторных исследований процесса уборки ягод мокрым способом.

## ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведение лабораторных исследований при разработке и совершенствовании машин для уборки ягод клюквы показало, что применение реальных плодов клюквы для организации эксперимента малоэффективно, поскольку повышается его стоимость и ограничивается срок проведения (на период созревания)<sup>18</sup> [20]. Предложенный способ изготовления макетов ягод клюквы крупноплодной методом аддитивных технологий (3D-печати) позволит удешевить проведение лабораторных исследований процесса уборки ягод и сделать его круглогодичным.

Результатом лабораторных исследований является проверка работоспособности и эффективности разрабатываемых узлов, механизмов и рабочих органов уборочных машин, участвующих в возделывании ягод клюквы, тем самым совершенствуя техническое обеспечение процесса уборки. Полученные в ходе реализации способа изготовления макетов ягод клюквы результаты ложатся в основу создания базы данных, которая в будущем может позволить создать компьютерную модель процесса взаимодействия ягод клюквы с исследуемыми узлами, механизмами и рабочими органами уборочных машин и уйти от имитационного моделирования, требующего сложного и дорогостоящего оборудования.

Перспективным направлением исследования является применение разработанной методики создания макета ягод клюквы методом 3D-печати для моделирования макетов других ягодных культур.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крупенин П.Ю., Рендов А.К. Перспективное оборудование для уборки клюквы крупноплодной мокрым способом. *Главный агроном*. 2024;(9):52–55. <https://elibrary.ru/xkqtcn>
2. Крупенин П.Ю., Лягуский А.Г. Теоретические исследования процесса формирования у поверхности затопленного чека ягодного вороха при механизированной уборке клюквы крупноплодной. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2024;(2):117–125. URL: <https://elib.baa.by/xmlui/handle/123456789/4611> (дата обращения: 23.03.2025).
3. Азаренко В.В., Мисун В.Л., Мисун А.Л. Моделирование влияния природно-климатических и агрохимических факторов на эффективность и безопасность промышленного выращивания крупноплодной клюквы в условиях контролируемой производственной среды. *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук*. 2025;63(2):154–164. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-2-154-164>
4. Крупенин П.Ю., Лягуский А.Г. Обоснование технологических параметров всасывающего узла гидротранспортной установки для забора ягод клюквы крупноплодной с поверхности затопленного чека. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2025;(1):112–119. URL: <https://elib.baa.by/xmlui/handle/123456789/5390?show=full> (дата обращения: 14.04.2025).

<sup>18</sup> Сидорович Е.А. Технология промышленного выращивания клюквы крупноплодной на получение ягодной продукции и др. Минск: БелНИИТИ; 1992. 120 с.

5. Жуков А.В., Никифоров А.А., Яковишин А.С. Пластмассы для аддитивных технологий (обзор). *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2021;4(91):57–70. URL: <https://www.elibrary.ru/oegrfd> (дата обращения: 16.06.2025).
6. Загороднюк Л.Х., Елистраткин М.Ю., Подгорный Д.С., Ал Аамури С.К.ИИ. Композиционные вяжущие для 3D аддитивных технологий. *Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета*. 2021;(4):428–439. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-4-428-439>
7. Кондратьев В.Н., Грищук В.М. Обоснование конструктивных параметров устройства для подбора ягод клюквы крупноплодной с поверхности воды при промышленной уборке. *Весці нацыянальнай акадэміі навук беларусі. Серыя аграрных навук*. 2009;(3):103–107. <https://www.elibrary.ru/hkziir>
8. Лютикова М.Н., Ботиров Э.Х. Химический состав и практическое применение ягод брусники и клюквы. *Химия растительного сырья*. 2015;(2):5–27. <https://doi.org/10.14258/jcpm.201502429>
9. Reed J. Cranberry Flavonoids, Atherosclerosis and Cardiovascular Health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2002;42(3):301–316. <https://doi.org/10.1080/10408390209351919>
10. Neto C.C. Cranberry and Its Phytochemicals: a Review of in Vitro Anticancer Studies. *The Journal of Nutrition*. 2007;137(1):186S–193S. <https://doi.org/10.1093/jn/137.1.186S>
11. Burger O., Weiss E., Sharon N., Tabak M., Neeman I., Ofek I. Inhibition of Helicobacter Pylori Adhesion to Human Gastric Mucus by a High-Molecular-Weight Constituent of Cranberry Juice. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2002;42(3):279–284. <https://doi.org/10.1080/10408390209351916>
12. Азаренко В.В., Мисун А.Л. Методические подходы оценки и управления производственным риском в растениеводческой отрасли АПК. *Весці Нацыянальнай акадэміі навук беларусі. Серыя аграрных навук*. 2017;(3):99–108. URL: <https://vestiagr.belnauka.by/jour/article/view/243/243> (дата обращения: 14.04.2025).
13. Агейчик В.А., Мисун А.Л., Мисун А.Л. Улучшение условий и повышение безопасности труда оператора мобильной сельскохозяйственной техники. *Агропанорама*. 2011;(1):44–48. URL: <https://ap.bsatu.by/arkhiv/19-2011/34-agropanorama-1-83-2011> (дата обращения: 14.08.2025).
14. Мисун Л.В., Азаренко В.В., Агейчик В.А., Гурина А.Н., Мисун А.Л., Мисун А.Л. Исследование безопасности функционирования системы «оператор-машина-среда» в агропроизводстве. *Агропанорама*. 2012;(2):32–35. URL: <https://ap.bsatu.by/arkhiv/20-2012/41-agropanorama-2-90-2012> (дата обращения: 14.08.2025).
15. Tekgüler A., Karaköse T. Blueberry Harvest Mechanisms. *Bozok Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*. 2024;3(2):168–176. <https://doi.org/10.59128/bojans.1535416>
16. Грищук В.М. Гидромеханизация уборки ягод брусничных культур при промышленном производстве на мелиорированных землях. *Мелиорация*. 2006;(1):178–183. URL: <https://melio.belal.by/jour/article/view/163> (дата обращения: 14.04.2025).
17. Brondino L., Borra D. Mechanized Blueberry Harvesting: Preliminary Results in the Italian Context. *Agriculture*. 2021;11(12):1197. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121197>
18. Kuźniar P., Pentos K., Gorzelany J. Evaluation of the Use of Machine Learning to Predict Selected Mechanical Properties of Red Currant Fruit (*Ribes Rubrum* L.) Ozonized During Storage. *Agriculture*. 2023;13(11):2125. <https://doi.org/10.3390/agriculture13112125>
19. Cai Y., Takeda F., Foote B., DeVetter L.W. Machine Harvesting Comparison and Optimization of Machine Harvest Intervals in Fresh Market Blueberry. *Horticulturae*. 2021;7(8):245. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7080245>
20. Кондратьев В.Н., Грищук В.М. Обоснование конструктивных параметров устройства для подбора ягод клюквы крупноплодной с поверхности воды при промышленной уборке. *Весці нацыянальнай акадэміі навук беларусі. Серыя аграрных навук*. 2009;(3):103–107. <https://www.elibrary.ru/hkziir>

## REFERENCES

1. Krupenin P.Y., Rendov A.K. [Promissing Equipment for Wet Harvesting of Large-Fruited Cranberries]. *Chief Agronomist*. 2024;(9):52–55. (In Russ.) <https://elibrary.ru/xkqtcn>
2. Krupenin P.Y., Lyagusky A.G. [Theoretical Studies of Forming Berry Piles near the Surface of a Flooded Basin During Mechanized Harvesting of Large-Fruited Cranberries]. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2024;(2):117–125. (In Russ.) Available at: <https://elib.baa.by/xmlui/handle/123456789/4611> (accessed 23.03.2025).
3. Azarenko V.V., Misun V.L., Misun A.L. Simulation of Influence of Natural and Climatic and Agrochemical Factors on Efficiency and Safety of Industrial Cultivation of Large-Fruit Cranberry in Controlled Production Environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2025;63(2):154–164. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-2-154-164>
4. Krupenin P.Y., Lyagusky A.G. [Justification of Technological Parameters of the Suction Unit of a Hydrotransport Device for Collecting Large-Fruited Cranberries from the Surface of a Flooded Basin]. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2025;(1):112–119. (In Russ.) Available at: <https://elib.baa.by/xmlui/handle/123456789/5390?show=full> (accessed 14.04.2025).
5. Zhukov A.V., Nikiiforov A.A., Yakovishin A.S. [Plastics for Additive Technologies (review)]. *Bulletin of the Saratov State Technical University*. 2021; 4(91):57–70. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/oegrfd> (accessed 14.04.2025).
6. Zagorodnik L.Kh., Elistratkin M.Yu., Podgornyi D.S., Al Mamuri S.Kh.Sh. Composite Binders for 3D Additive Technologies. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021;(4):428–439. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-4-428-439>
7. Kondratyev V.N., Grishchuk V.M. Substantiation of Design Data of the Device for Selection of Berries of a Large Fruited Cranberry from a Water Surface at Industrial Cleaning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2009;(3):103–107. (In Russ., abstract in Eng.) <https://www.elibrary.ru/hkziir>
8. Lyutikova M.N., Botirov E.Kh. The Chemical Composition and the Practical Application of Berries Cranberries and Cranberry. *Khimija Rastitel'noy Syr'ya*. 2015;(2):5–27. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.14258/jcpm.201502429>
9. Reed J. Cranberry Flavonoids, Atherosclerosis and Cardiovascular Health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2002;42(3):301–316. <https://doi.org/10.1080/10408390209351919>
10. Neto C.C. Cranberry and its Phytochemicals: a Review of in Vitro Anticancer Studies. *The Journal of Nutrition*. 2007;137(1):186S–193S. <https://doi.org/10.1093/jn/137.1.186S>
11. Burger O., Weiss E., Sharon N., Tabak M., Neeman I., Ofek I. Inhibition of Helicobacter Pylori Adhesion to Human Gastric Mucus by a High-Molecular-Weight Constituent of Cranberry Juice. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2002;42(3):279–284. <https://doi.org/10.1080/10408390209351916>
12. Azarenko V.V., Misun A.L. Methodological Approaches to Assessment And Management of Manufacturing Risk in the Plant-Growing Sector of the Aic. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2017;(3):99–108. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://vestiagr.belnauka.by/jour/article/view/243/243> (accessed 14.04.2025).
13. Ageychik V.A., Misun A.L., Misun A.L. [Improving Working Conditions and Increasing Occupational Safety for Operators of Mobile Agricultural Machinery]. *Agropanorama*. 2011;(1):44–48. (In Russ.) Available at: <https://ap.bsatu.by/arkhiv/19-2011/34-agropanorama-1-83-2011> (accessed 14.08.2025).
14. Misun L.V., Azarenko V.V., Ageychik V.A., Gurina A.N., Misun A.L., Misun A.L. [Study of the Safety of the “Operator-Machine-Environment” System in Agricultural Production]. *Agropanorama*. 2012;(2):32–35. (In Russ.) Available at: <https://ap.bsatu.by/arkhiv/20-2012/41-agropanorama-2-90-2012> (accessed 14.08.2025).
15. Tekgüler A., Karaköse T. Blueberry Harvest Mechanisms. *Bozok Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*. 2024;3(2):168–176. <https://doi.org/10.59128/bojans.1535416>

16. Grischuk V.M. Hydro-Mechanization of Cranberry Picking in Commercial Production. *Melioraciâ*. 2006;(1):178–183. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://melio.belal.by/jour/article/view/163> (accessed 14.04.2025).
17. Brondino L., Borra D. Mechanized Blueberry Harvesting: Preliminary Results in the Italian Context. *Agriculture*. 2021;11(12):1197. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121197>
18. Kuźniar P., Pentos K., Gorzelany J. Evaluation of the Use of Machine Learning to Predict Selected Mechanical Properties of Red Currant Fruit (*Ribes Rubrum* L.) Ozonized During Storage. *Agriculture*. 2023;13(11):2125. <https://doi.org/10.3390/agriculture13112125>
19. Cai Y., Takeda F., Foote B., DeVetter L.W. Machine Harvesting Comparison and Optimization of Machine Harvest Intervals in Fresh Market Blueberry. *Horticulturae*. 2021;7(8):245. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7080245>
20. Kondratyev V.N., Gryshchuk V.M. Substantiation of Design Data of the Device for Selection of Berries of a Large Fruited Cranberry from a Water Surface at Industrial Cleaning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2009;(3):103–107. (In Russ., abstract in Eng.) <https://www.elibrary.ru/hkziir>

*Об авторах:*

**Крупенин Павел Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации животноводства и электрификации сельскохозяйственного производства Белорусской государственной орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственной академии (213407, Республика Беларусь, г. Горки, ул. Мичурина, д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1584-734X>, Researcher ID: NYS-9527-2025, SPIN-код: 2051-2619, [pavel@krupenin.com](mailto:pavel@krupenin.com)

**Рендов Александр Константинович**, преподаватель-стажер кафедры механизации животноводства и электрификации сельскохозяйственного производства Белорусской государственной орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственной академии (213407, Республика Беларусь, г. Горки, ул. Мичурина, д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3955-602X>, Researcher ID: NYT-1038-2025, [sasarendov@gmail.com](mailto:sasarendov@gmail.com)

**Кюзюр Василий Михайлович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса Брянского государственного аграрного университета (243365, Российская Федерация, с. Кокино, ул. Советская, д. 2а), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0232-6680>, SPIN-код: 4505-9405, [kvming@mail.com](mailto:kvming@mail.com)

**Будко Сергей Иванович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса Брянского государственного аграрного университета (243365, Российская Федерация, с. Кокино, ул. Советская, д. 2а), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1291-4235>, Researcher ID: NYS-9184-2025, SPIN-код: 7502-3169, [s.budko.32@bk.ru](mailto:s.budko.32@bk.ru)

**Купряшкин Владимир Федорович**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7512-509X>, Researcher ID: L-5153-2018, SPIN-код: 1894-9028, [kupwf@mail.ru](mailto:kupwf@mail.ru)

**Уланов Александр Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6041-6911>, Researcher ID: L-4662-2018, SPIN-код: 2183-8421, [ulanow.aleksandr2010@yandex.ru](mailto:ulanow.aleksandr2010@yandex.ru)

*Вклад авторов:*

П. Ю. Крупенин – контроль, лидерство и наставничество в процессе планирования и проведения исследования; научное руководство, определение методологии исследования, формирование выводов.  
А. К. Рендов – проведение экспериментальных исследований, обработка результатов эксперимента, создание моделей.

В. М. Кузюр – проверка воспроизводимости результатов экспериментов и исследования в рамках основных или дополнительных задач работы.

С. И. Будко – контроль за соблюдением методики проведения экспериментов.

В. Ф. Купряшкин – литературный и патентный анализ, осуществление научно-исследовательского процесса, включая сбор данных.

А. С. Уланов – создание и подготовка рукописи: визуализация результатов исследования и полученных данных.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*Поступила в редакцию 04.08.2025; поступила после рецензирования 07.10.2025;  
принята к публикации 31.10.2025*

*About the authors:*

**Pavel Y. Krupenin**, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Animal Husbandry Mechanization and Agricultural Electrification, Belarusian State Agricultural Academy (5 Michurina St., Gorki 213407, Republic of Belarus), ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1584-734X>, Researcher ID: NYS-9527-2025, SPIN-code: 2051-2619, [pavel@krupenin.com](mailto:pavel@krupenin.com)

**Alexander K. Rendov**, Intern Teacher of the Department of Animal Husbandry Mechanization and Agricultural Electrification, Belarusian State Agricultural Academy (5 Michurina St., Gorki 213407, Republic of Belarus), ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3955-602X>, Researcher ID: NYT-1038-2025, [pavel@krupenin.com](mailto:pavel@krupenin.com)

**Vasily M. Kuzyur**, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Technical Service, Bryansk State Agrarian University (2a Sovetskaya St., Kokino 243365, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0232-6680>, SPIN-code: 4505-9405, [kvming@mail.com](mailto:kvming@mail.com)

**Sergey I. Budko**, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Technical Service, Bryansk State Agrarian University (2a Sovetskaya St., Kokino 243365, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1291-4235>, Researcher ID: NYS-9184-2025, SPIN-code: 7502-3169, [kvming@mail.com](mailto:kvming@mail.com)

**Vladimir F. Kupryashkin**, Cand.Sci. (Eng.), Head of the Chair of Mobile Power Tools and Agricultural Machinery Named after Professor A. I. Leshchankin, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7512-509X>, Researcher ID: L-5153-2018, SPIN-code: 1894-9028, [kupwfm@mail.ru](mailto:kupwfm@mail.ru)

**Aleksandr S. Ulanov**, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Mobile Power Tools and Agricultural Machinery Named after Professor A. I. Leshchankin, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6041-6911>, Researcher ID: L-4662-2018, SPIN-code: 2183-8421, [ulanow.aleksandr2010@yandex.ru](mailto:ulanow.aleksandr2010@yandex.ru)

*Authors contribution:*

P. Y. Krupenin – supervision, leadership and mentoring in the process of planning and conducting the study; scientific supervision, definition of the study methodology, drawing the study conclusions.

A. K. Rendov – conducting experimental studies, processing the study experimental results, creating models.

V. M. Kuzyur – verification, whether as a part of the activity or separate, of the overall replication / reproducibility of results / experiments and other research outputs.

S. I. Budko – monitoring compliance with experimental methods.

V. F. Kupryashkin – analyzing the literature and patents, conducting the study including data collection.

A. S. Ulanov – preparing the manuscript: visualizing the study results and data obtained.

*All authors have read and approved the final manuscript.*

*Submitted 04.08.2025; revised 07.10.2025; accepted 31.10.2025*