

Учреждение образования  
«Барановичский государственный университет»

## **Вестник БарГУ**

Ежеквартальный научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 г.

Выпуск 7, июнь, 2019.

Серия «Технические науки»

*Учредитель:* учреждение образования «Барановичский государственный университет».

### **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

*Главный редактор журнала* Кочурко Василий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Белорусской инженерной академии, академик Международной академии технического образования, академик Международной академии наук педагогического образования, академик Академии экономических наук Украины, Заслуженный работник образования Республики Беларусь, ректор учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

*Заместитель главного редактора журнала* Климук Владимир Владимирович, кандидат экономических наук, доцент, проректор по научной работе учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

### **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ**

#### **Главный редактор серии**

Алифанов Александр Викторович, лауреат Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры оборудования и автоматизации производства учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

#### **Ответственный секретарь серии**

Горбач Юлия Евгеньевна, старший преподаватель кафедры информационных технологий и физико-математических дисциплин инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

#### **Редактор текстов на английском языке**

Пинюта Ирина Вячеславовна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры профессиональной иноязычной подготовки учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Гавриленя Андрей Константинович (*ответственный за направление «Машиностроение и машиноведение»*), кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Дубень Игорь Викторович (*ответственный за направление «Процессы и машины агроинженерных систем»*), кандидат технических наук, доцент кафедры технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии инженерного факультета, декан факультета довузовской подготовки учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Анискович Геннадий Иосифович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий и организации технического сервиса учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (Минск, Республика Беларусь).

Белый Алексей Владимирович, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Гордиенко Анатолий Илларионович, академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Девойно Олег Георгиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской инновационной лабораторией плазменных и лазерных технологий филиала Белорусского национального технического университета «Научно-исследовательская часть» (Минск, Республика Беларусь).

Дремук Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Ивашко Виктор Сергеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технической эксплуатации автомобилей Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Калугин Юрий Константинович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машиноведения и технической эксплуатации автомобилей учреждения образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы» (Гродно, Республика Беларусь).

Карташевич Анатолий Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тракторов, автомобилей и машин для природообустройства учреждения образования «Белорусская государственная орден Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Клочков Александр Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры сельскохозяйственных машин учреждения образования «Белорусская государственная орден Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Клубович Владимир Владимирович, доктор технических наук, академик Национальной академии наук Беларуси, профессор, главный научный сотрудник Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Ласковнѳ Александр Петрович, доктор технических наук, академик Национальной академии наук Беларуси, академик-секретарь отделения физико-технических наук Национальной академии наук Беларуси (Минск, Республика Беларусь).

Томило Вячеслав Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой обработки металлов давлением Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Шелег Валерий Константинович, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

*Адрес редакции:*

ул. Войкова, 21, 225404 г. Барановичи.

Телефон: +375 (163) 45 46 28.

E-mail: vestnik@barsu.by .

*Подписные индексы:* 00993 — для индивидуальных подписчиков; 009932 — для организаций.

Свидетельство о регистрации средств массовой информации № 1533 от 30.07.2012, выданное Министерством информации Республики Беларусь.

*В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 21 января 2015 г. № 16 научно-практический журнал «Вестник БарГУ» серия «Технические науки» включѳн в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам*

*Научно-практический журнал «Вестник БарГУ» включѳн в РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), лицензионный договор № 06-1/2016.*

*Издатель:* учреждение образования «Барановичский государственный университет».

Выходит на русском, белорусском и английском языках.

Журнал распространяется на территории Республики Беларусь.

---

*Заведующий редакционно-издательской группой С. А. Березнюк*

*Технический редактор Е. И. Березич*

*Компьютерная вѳрстка С. А. Березнюк*

*Корректор С. А. Березнюк*

Подписано в печать 14.06.2019. Формат 60 × 84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага ксероксная. Печать цифровая. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 12,75. Уч.-изд. л. 8,10. Тираж 75 экз. Заказ

Цена свободная.

Полиграфическое исполнение: Гродненское областное унитарное полиграфическое предприятие «Слонимская типография». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/203 от 07.03.2014, № 2 от 25.02.2014.

Адрес: ул. Хлюпина, 16, 231800 Слоним, Гродненская обл.

© БарГУ, 2019

Установа адукацыі  
«Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт»

## *Веснік БарДУ*

Штоквартальны навукова-практычны часопіс

Выдаецца з сакавіка 2013 г.

Выпуск 7, чэрвень, 2019.

Серыя «Тэхнічныя навукі»

*Заснавальнік:* установа адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт».

### РЭДАКЦЫЙНАЯ КАЛЕГІЯ

*Галоўны рэдактар часопіса* Качурка Васіль Іванавіч, доктар сельскагаспадарчых навук, прафесар, акадэмік Беларускай інжынернай акадэміі, акадэмік Міжнароднай акадэміі тэхнічнай адукацыі, акадэмік Міжнароднай акадэміі навук педагагічнай адукацыі, акадэмік Акадэміі эканамічных навук Украіны, Заслужаны работнік адукацыі Рэспублікі Беларусь, рэктар установы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

*Намеснік галоўнага рэдактара часопіса* Клімук Уладзімір Уладзіміравіч, кандыдат эканамічных навук, дацэнт, прарэктар па навуковай рабоце ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

### РЭДАКЦЫЙНАЯ КАЛЕГІЯ СЕРЫІ

#### Галоўны рэдактар серыі

Аліфанаў Аляксандр Віктаравіч, лаўрэат Дзяржаўнай прэміі Рэспублікі Беларусь у галіне навукі і тэхнікі, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры абсталявання і аўтаматызацыі вытворчасці ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

#### Адказны сакратар серыі

Горбач Юлія Яўгеньеўна, старшы выкладчык кафедры інфармацыйных тэхналогій і фізіка-матэматычных дысцыплін інжынернага факультэта ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

#### Рэдактар тэкстаў на англійскай мове

Пінюта Ірына Вячаславаўна, кандыдат педагагічных навук, дацэнт, дацэнт кафедры прафесійнай іншамоўнай падрыхтоўкі ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Гаўрыленя Андрэй Канстанцінавіч (*адказы за напрамак «Машинабудаванне і машыназастава»*), кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, загадчык кафедры тэхнічнага забеспячэння сельскагаспадарчай вытворчасці і аграноміі інжынернага факультэта ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Дубень Ігар Віктаравіч (*адказы за напрамак «Працэсы і машыны аграрна-інжынерных сістэм»*), кандыдат тэхнічных навук, дацэнт кафедры тэхнічнага забеспячэння сельскагаспадарчай вытворчасці і аграноміі інжынернага факультэта, дэкан факультэта давузаўскай падрыхтоўкі ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Анісковіч Генадзь Іосіфавіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дацэнт кафедры тэхналогіі і арганізацыі тэхнічнага сервісу ўстановы адукацыі «Беларускі дзяржаўны аграрны тэхнічны ўніверсітэт» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Белы Аляксей Уладзіміравіч, член-карэспандэнт Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, доктар тэхнічных навук, прафесар, намеснік дырэктара па навуковай рабоце Дзяржаўнай навуковай установы «Фізіка-тэхнічны інстытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Гардзіенка Анатолій Іларыёнавіч, акадэмік Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, доктар тэхнічных навук, прафесар, галоўны навуковы супрацоўнік Дзяржаўнай навуковай установы «Фізіка-тэхнічны інстытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Дзявойна Алег Георгіевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, загадчык Навукова-даследчай інавацыйнай лабараторыі плазменных і лазерных тэхналогій філіяла Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта «Навукова-даследчая частка» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Драмук Уладзімір Аляксеевіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дацэнт кафедры тэхнічнага забеспячэння сельскагаспадарчай вытворчасці і аграноміі ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Івашка Віктар Сяргеевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры тэхнічнай эксплуатацыі аўтамабіляў Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Калугін Юрый Канстанцінавіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дацэнт кафедры машыназнаўства і тэхнічнай эксплуатацыі аўтамабіляў установы адукацыі «Гродзенскі дзяржаўны ўніверсітэт імя Янкі Купалы» (Гродна, Рэспубліка Беларусь).

Карташэвіч Анатолій Мікалаевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, загадчык кафедры трактараў, аўтамабіляў і машын для прыродаўладкавання ўстановы адукацыі «Беларуская дзяржаўная ордэнаў Кастрычніцкай Рэвалюцыі і Працоўнага Чырвонага Сцяга сельскагаспадарчая акадэмія» (Горкі, Рэспубліка Беларусь).

Клачкоў Аляксандр Віктаравіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры сельскагаспадарчых машын установы адукацыі «Беларуская дзяржаўная ордэнаў Кастрычніцкай Рэвалюцыі і Працоўнага Чырвонага Сцяга сельскагаспадарчая акадэмія» (Горкі, Рэспубліка Беларусь).

Клубовіч Уладзімір Уладзіміравіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, акадэмік Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, загадчык лабараторыі пластычнасці Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Ласкаўнёў Аляксандр Пятровіч, доктар тэхнічных навук, акадэмік Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, акадэмік-сакратар аддзялення фізіка-тэхнічных навук Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Таміла Вячаслаў Анатолевіч, доктар тэхнічных навук, дацэнт, дырэктар Дзяржаўнай навуковай установы «Фізіка-тэхнічны інстытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Шэлег Валерый Канстанцінавіч, член-карэспандэнт Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, доктар тэхнічных навук, прафесар, загадчык кафедры тэхналогіі машынабудавання Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

*Адрас рэдакцыі:*

вул. Войкава, 21, 225404 г. Баранавічы.

Тэлефон: +375 (163) 45 46 28.

E-mail: [vestnik@barsu.by](mailto:vestnik@barsu.by).

*Папiсныя iндэксy:* 00993 — для iндывiдуальных падпiсчыкаў; 009932 — для арганiзацый.

Пасведчанне аб рэгістрацыі сродкаў масавай інфармацыі № 1533 ад 30.07.2012, выдадзенае Міністэрствам інфармацыі Рэспублікі Беларусь.

*У адпаведнасці з загадам Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь ад 21 студзеня 2015 г. № 16 навукова-практычны часопіс «Веснік БарДУ» серыя «Тэхнічныя навукі» ўключаны ў Пералік навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў па тэхнічных навук (машынабудаванне і машыназнаўства; працэсы і машыны аграінжынерных сістэм).*

*Навукова-практычны часопіс «Веснік БарДУ» ўключаны ў РІНЦ (Расійскі iндэкс навуковага цытавання), лiцэнзійны дагавор № 06-01/2016.*

*Выдавец:* установа адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт».

Выходзіць на рускай, беларускай і англійскай мовах.

Часопіс распаўсюджваецца на тэрыторыі Рэспублікі Беларусь.

---

*Загадчык рэдакцыйна-выдавецкай групы* С. А. Беразнюк

*Тэхнічны рэдактар* А. І. Бярэзіч

*Камп'ютарная вёрстка* С. А. Беразнюк

*Карэктар* С. А. Беразнюк

Падпісана да друку 14.06.2019. Фармат 60 × 84 1/8. Папера ксераксная. Друк лічбавы. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 12,75. Ул.-выд. арк. 8,10. Тыраж 75 экз. Заказ

Кошт свабодны.

Паліграфічнае выкананне: Гродзенскае абласное ўнітарнае паліграфічнае прадпрыемства «Слонімска-тыпаграфія». Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца, вытворцы, распаўсюджвальніка друкаваных выданняў № 1/203 ад 07.03.2014, № 2 ад 25.02.2014.

Адрас: вул. Хлюпіна, 16, 231800 Слонім, Гродзенская вобл.

© БарДУ, 2019

Educational institution  
“Baranovichi State University”

*BarSU Herald*

**A quarterly scientific and practical journal**

Published since March 2013.

Volume 7, June, 2019.

Engineering Series

---

*Promoter:* educational institution “Baranovichi State University”.

#### **EDITORIAL BOARD**

*Editor-in-Chief* Vasilii Ivanovich Kochurko, Doctor of Agriculture, Professor, Member of the Belarusian Academy of Engineering, Member of the International Academy of Technical Education, Member of the International Academy of Pedagogical Education, Member of the Academy of Economic Sciences of Ukraine, Distinguished educator of the Republic of Belarus, Rector of the educational institution “Baranovichi State University” (Baranovichi, the Republic of Belarus).

*Deputy Editor-in-Chief* Vladimir Vladimirovich Klimuk, Ph. D. in Economic Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for research of the educational institution “Baranovichi State University” (Baranovichi, the Republic of Belarus).

#### **EDITORIAL BOARD OF THE SERIES**

##### **Editor of the issue**

Aleksandr V. Alifanov, State-Prize Winner of the Republic of Belarus in Science and Technology, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Equipment and Manufacturing Automation Chair of Engineering Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

##### **Executive secretary of the issue**

Juliya E. Gorbach, Senior lecturer of the Information Technology and Physical and Mathematical Disciplines Chair of Engineering Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

##### **English Text Editor**

Iryna V. Piniuta, Ph. D. in Education, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Professional Foreign Language Training of Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Andrei K. Gavrilena (*in charge of the heading “Machine Building and Engineering Science”*), Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Technical Support of Agricultural Production and Agronomy Chair of Engineering Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Igor V. Duben (*in charge of the heading “Processes and Machines of Agro-engineering Systems”*), Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Technical Support of Agricultural Production and Agronomy Chair, Dean of the Pre-University Training Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Gennady I. Aniskovich, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Belarusian State Agrarian Technical University (Minsk, the Republic of Belarus).

Alexey V. Bely, A. M. of the National Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Scientific Work of the State Scientific Institution “The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus” (Minsk, the Republic of Belarus).

Anatoly I. Gordienko, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the State Research Institution “The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus” (Minsk, the Republic of Belarus).

Oleg G. Devoino, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Research Laboratory of Innovative Plasma and Laser Technology of the Belarusian National Technical University branch “Research Section” (Minsk, the Republic of Belarus).

Vladimir A. Dremuk, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Technical Support of Agricultural Production and Agronomy Chair of Engineering Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Viktor S. Ivashko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Automobile Technical Maintenance Chair of the Belarusian National Technical University (Minsk, the Republic of Belarus).

Yury K. Kalugin, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Engineering Science and Automobile Technical Maintenance Chair of “Yanka Kupala State University of Grodno”(Grodno, the Republic of Belarus).

Anatoly N. Kartashevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Tractors, Cars and Machines for Environmental Engineering Chair of the Belarusian State of the Orders of the October Revolution and the Order of the Labour Red Banner Agricultural Academy (Gorki, the Republic of Belarus).

Alexandr V. Klochkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor Agricultural Machinery Chair of the Belarusian State of the Orders of the October Revolution and the Order of the Labour Red Banner Agricultural Academy (Gorki, the Republic of Belarus).

Vladimir V. Klubovich, Doctor of Technical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Professor, Chief Researcher of the State Research Institution “The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus” (Minsk, the Republic of Belarus).

Alexandr P. Laskovnyov, Doctor of Technical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Academician-secretary of the Physics and Technical Sciences Department of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, the Republic of Belarus).

Vyacheslav A. Tomilo, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metal Pressure Treatment of the Belarusian National Technical University (Minsk, the Republic of Belarus).

Valery K. Sheleh, A. M. of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Mechanical Engineering Chair of the Belarusian National Technical University (Minsk, the Republic of Belarus).

*Editorial address:*

21 Voykova Str., 225404 Baranovichi. Phone: +375 163 45 46 28.

E-mail: vestnik@barsu.by.

*Subscription indices:* 00993 — for individual subscribers; 009932 — for companies.

The certificate of the registration of mass media № 1533 of 30.07.2012 issued by the Ministry of Information of Belarus.

*In accordance with the order of the board of the Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus on January 21, 2015 № 16 the scientific and practical journal “Bulletin of BarSU” the series “Engineering” was included on the list of the scientific publications of the Republic of Belarus for publishing the results of dissertation research in engineering sciences (mechanical engineering and machines, processes and machines of agroengineering systems).*

*Scientific and practical journal Vestnik BarSU is included into RSCI (Russian Science Citation Index), license agreement № 06-01/2016.*

*Published:* educational institution “Baranovichi State University”.

Issued in Russian, Belarusian and English.

The journal is distributed on the territory of the Republic of Belarus.

---

*Managing editor* S. A. Bereznyuk  
*Technical editor* E. I. Berezich  
*Desktop Publishing* S. A. Bereznyuk  
*Proofreader* S. A. Bereznyuk

Signed print 14.06.2019. Format 60 x 84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Paper xerox. Digital printing. Headset Times. Conv. pr. s. l. 12.75. Acc.-pub. s. l. 8.10. Circulation of 75 copies. Order

Free price.

Printing performance: Grodno Regional Printing Unitary Enterprise “Slonim printing establishment”. The state registration certificate of the publisher, manufacturer and publications distributor № 1/203 of 07.03.2014, № 2 of 25.02.2014.

Address: 16 Hlyupin St., 231800 Slonim, Grodno region.

© BarSU, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

<b>Акулович Л. М., Сергеев Л. Е., Сенчуров Е. В., Дубновицкий С. К.</b> Магнитно-абразивная обработка маховичков водопроводных вентиляй . . . . .	10
<b>Алехнович В. Н., Алифанов А. В., Милюкова А. М., Толкачева О. А.</b> Разработка наплавочного плазмотрона, работающего на постоянно-импульсном напряжении . . . . .	19
<b>Алехнович В. Н., Алифанов А. В., Милюкова А. М., Толкачева О. А.</b> Разработка порошкового питателя, позволяющего осуществлять работу наплавочного плазмотрона в постоянно-импульсном режиме . . . . .	24
<b>Алифанов А. В., Богданович И. А., Русан С. И., Цуран В. В.</b> Обоснование разработки усовершенствованного высокоточного, высокопроизводительного метода заточки режущего лезвия геликоидальных рубильных ножей . . . . .	29
<b>Голубев В. С., Вегера И. И., Чернашеюс О., Чаевский В. В.</b> Лазерная обработка материалов с изменением химического состава поверхностного слоя . . . . .	34
<b>Горчанин А. И., Милюкова А. М., Лях А. А.</b> Повышение эффективности упрочняющей магнитно-импульсной обработки ножей со сложным профилем лезвия . . . . .	43
<b>Жигалов А. Н.</b> Математическая модель и методика параметрической оптимизации износа и ресурсной стойкости режущего твердосплавного инструмента, упрочненного аэродинамическим звуковым методом . . . . .	49
<b>Кулешов А. К., Углов В. В., Русальский Д. П.</b> Формирование износостойких слоистых покрытий из карбидов молибдена, вольфрама и кобальта на твердосплавном инструменте . . . . .	64
<b>Малеронок В. В., Алифанов А. В., Богданович И. А.</b> Метод исследования упрочненного слоя металлических образцов с использованием токов высокой частоты . . . . .	70
<b>Михайлов М. И., Мельников В. В.</b> Повышение работоспособности вытяжных конусов стана тонкого волочения . . . . .	76

### ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

<b>Клочков А. В., Шкуратов С. С.</b> Скорость падения зерен в восходящем воздушном потоке . . . . .	83
<b>Михайлов К. М., Михайлов М. И.</b> Моделирование напряженно-деформированного состояния опоры измельчающего барабана кормоуборочного комбайна . . . . .	90
<b>Пивоварчик А. А., Гавриленя А. К., Сергей А. И.</b> Исследование кинематической вязкости полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях механических транспортных средств . . . . .	96

## ЗМЕСТ

### МАШЫНАБУДАВАННЕ І МАШЫНАЗНАЎСТВА

<b>Акуловіч Л. М., Сяргееў Л. Я., Сенчуроў Я. В., Дубнавіцкі С. К.</b> Магнітна-абразіўная апрацоўка махавічкоў водаправодных вентыляў . . . . .	10
<b>Аляхновіч В. М., Аліфанаў А. В., Мілюкова Г. М., Талкачова В. А.</b> Распрацоўка наплавачнага плазматрона, які працуе на пастаянна-імпульсным напружанні . . . . .	19
<b>Аляхновіч В. М., Аліфанаў А. В., Мілюкова Г. М., Талкачова В. А.</b> Распрацоўка парашковага сілкавальніка, які дазваляе ажыццяўляць работу наплавачнага плазматрона ў пастаянна-імпульсным рэжыме . . . . .	24
<b>Аліфанаў А. В., Багдановіч І. А., Русан С. І., Цуран У. У.</b> Абаснаванне распрацоўкі ўдасканаленага высокадакладнага, высокапрадукцыйнага метада заточвання рэжучага ляза гелікаідальных рубільных нажоў . . . . .	29
<b>Голубеў В. С., Вегера І. І., Чарнашэюс А., Чаеўскі В. В.</b> Лазерная апрацоўка матэрыялаў са змяненнем хімічнага складу паверхневага слою . . . . .	34
<b>Гарчанін А. І., Мілюкова Г. М., Лях А. А.</b> Павышэнне эфектыўнасці ўмацавальнай магнітна-імпульснай апрацоўкі нажоў са складаным профілем ляза . . . . .	43
<b>Жыгалаў А. М.</b> Матэматычная мадэль і метадыка параметрычнай аптымізацы зношвання і рэсурснай стойкасці рэжучага цвёрдасплаўнага інструмента, умацаванага аэрадынамічным гукавым метадам . . . . .	49
<b>Куляшоў А. К., Углоў У. В., Русальскі Д. П.</b> Фарміраванне зносаўстойлівых слаістых пакрыццяў з карбідаў малібдэна, вольфрама і кобальта на цвёрдасплаўным інструменце . . . . .	64
<b>Маляронак У. У., Аліфанаў А. В., Багдановіч І. А.</b> Метад даследавання ўмацаванага пласта металічных узораў з выкарыстаннем токаў высокай частаты . . . . .	70
<b>Міхайлаў М. І., Мельнікаў У. В.</b> Павышэнне працаздольнасці выцяжных конусаў стана тонкага валачэння . . . . .	76

### ПРАЦЭСЫ І МАШЫНЫ АГРАНЖЫНЕРНЫХ СІСТЭМ

<b>Клачкоў А. В., Шкуратаў С. С.</b> Хуткасць падзення зярнят ва ўзыходзячым паветраным патоку . . . . .	83
<b>Міхайлаў К. М., Міхайлаў М. І.</b> Мадэляванне напружана-дэфармаванага стану апоры здрабняльнага барабана кормаўборачнага камбайна . . . . .	90
<b>Піваварчык А. А., Гаўрыленя А. К., Сяргей А. І.</b> Даследаванне кінематычнай вязкасці паўсінтэтычных маторных масел, якія выкарыстоўваюцца ў дызельных рухавіках механічных транспартных сродкаў . . . . .	96

## CONTENTS

### MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

<b>Akulovich L. M., Sergeev L. E., Senchurov E. V., Dubnovitskiy S. K.</b> Magneto-abrasive machining of flywheels of the water supply valves . . . . .	10
<b>Alehnovich V. N., Alifanov A. V., Miliukova A. M., Tolkachova O. A.</b> Development of the supply plasmatron working on constant-pulse voltage . . . . .	19
<b>Alehnovich V. N., Alifanov A. V., Miliukova A. M., Tolkachova O. A.</b> Development of powder feeder, allowing the operation of the surface plasmotron in constant-pulse mode . . . . .	24
<b>Alifanov A. V., Bogdanovich I. A., Rusan S. I., Tsuran V. V.</b> Justification of the development of an improved high-precision, high-performance method of cutting blade of helicoidal cutting blades . . . . .	29
<b>Golubev V. S., Vegera I. I., Chernasheyus O., Chaevsky V. V.</b> Laser treatment of materials with change of chemical composition of the surface layer . . . . .	34
<b>Harchanin A. I., Miliukova A. M., Lyah A. A.</b> Improving the efficiency of the hardening magnetic-pulse processing of blades with a complex blade profile . . . . .	43
<b>Jigalov A. N.</b> Mathematical model and method of parametric optimization of run-out and resource durability of cutting hardware tool hardened by aerodynamic sound method . . . . .	49
<b>Kuleshov A. K., Uglov V. V., Rusalsky D. P.</b> Formation of wear resistant layered coatings of molybdenum carbides, tungsten and cobalt on a hard alloy tool . . . . .	64
<b>Maleronok V. V., Alifanov A. V., Bogdanovich I. A.</b> Research method of the metal samples strengthened layer using high-frequency currents . . . . .	70
<b>Mikhailov M. I., Melnikov V. V.</b> Improvement of the efficiency of exhaust cones of a fine-drawing mill . . . . .	76

### PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

<b>Klochkov A. V., Shkuratov S. S.</b> Speed of grain fall in a rising air flow . . . . .	83
<b>Mikhailov K. M., Mikhailov M. I.</b> Modeling of the tense-deformed state of the support of the chopping drum of forage harvester . . . . .	90
<b>Pivovarchyk A. A., Haurylenia A. K., Sergey A. I.</b> Study of kinematic viscosity of semisynthetic motor oils, used in diesel engines of mechanical vehicles . . . . .	96

УДК 631.344:631.348

**А. В. Ключков, С. С. Шкуратов**

Учреждение образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»  
Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, ул. Мичурина, 5, 213407 Горки,  
Республика Беларусь, +375 (29) 358 57 75, olena\_k@tut.by

### **СКОРОСТЬ ПАДЕНИЯ ЗЕРЕН В ВОСХОДЯЩЕМ ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ**

Исследованы параметры движения зерен пшеницы и овса в восходящем воздушном потоке. Использована лабораторная установка с вертикальным каналом квадратного сечения  $50 \times 50$  мм с изменением расхода воздуха. Процесс падения зерен фиксировался путем видеосъемки и наблюдения за перемещением выделенных окрашенных зерен. Путем обработки видеogramм определено время прохождения зернами контрольного участка. Полученные данные позволили определить скорость падения зерен при различной скорости восходящего воздушного потока. Установлена обратно пропорциональная зависимость между скоростью падения зерен пшеницы и овса с увеличением скорости вертикального воздушного потока в диапазоне до критической (скорости витания). Скорость свободного падения зерен без действия воздушного потока составляла 1,145...1,313 м/с. Снижение скорости падения семян пшеницы и овса при различной скорости восходящего воздушного потока может достигать 4,42...4,51 раза в сравнении со скоростью свободного падения семян и должно учитываться при выборе параметров соответствующего технологического оборудования.

**Ключевые слова:** воздушный поток; скорость падения зерна; системы воздушной очистки зерна; движение зерен в воздушном потоке.

Табл. 1. Рис. 3. Библиогр.: 8 назв.

**A. V. Klochkov, S. S. Shkuratov**

Belarusian State Agricultural Academy, Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus, 5 Michurin Str.,  
213407 Gorki, the Republic of Belarus, +375 (29) 358 57 75, olena\_k@tut.by

### **SPEED OF GRAIN FALL IN A RISING AIR FLOW**

Parameters of the movement of wheat and oats seeds in the ascending air stream have been investigated. Laboratory installation with the vertical channel  $50 \times 50$  mm square section which is able to fix air consumption has been used. Process of grain fall was videotaped that helped to observe the movement of purposefully painted grains. By processing the video recordings, the time span which grains need to pass the control site has been defined. The obtained data have allowed to determine the speed of grain fall at various speed of the ascending air stream. The inversely proportional dependence between the speed of falling of wheat and oats seeds with increase in speed of a vertical air stream in the range to critical is established (wool-gathering speed). Speed of the free fall of grains without action of the air stream was 1.145...1.313 m/s. The reduction in the rate of falling of wheat and oats seeds at various speed of the ascending air stream can reach 4.42...4.51 times in comparison with the speed of free fall of seeds and has to be considered when choosing the parameters of the corresponding processing equipment.

**Keywords:** air stream; speed of grain fall; system of air purification of grain; movement of grains in the air stream.

Table 1. Fig. 3. Ref.: 8 titles.

**Введение.** Работа многих зерноочистительных, сортировальных машин, протравливателей семян камерного типа связана с взаимодействием падающих зерен с восходящим движением воздушного потока. При этом характеристики взаимодействия в каналах аспирации учитывают обычно условия очистки или сортирования зерна, но важными являются

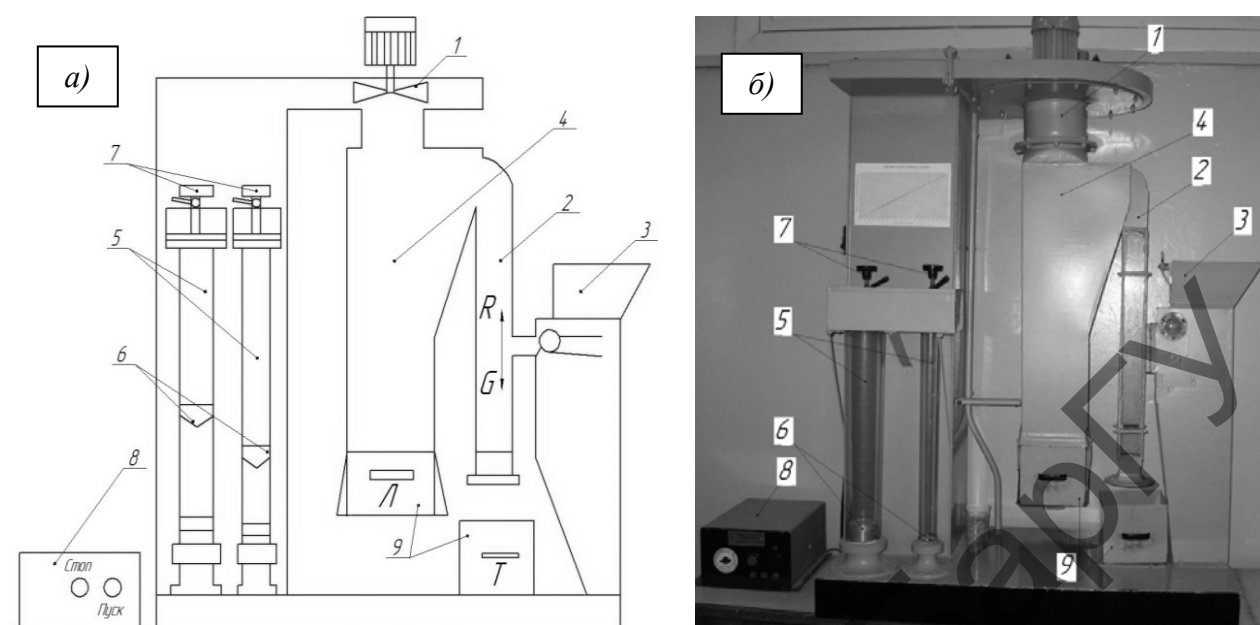
и параметры движения зерен, в частности изменение скорости их падения. Это может влиять на производительность машин и другие технологические показатели процесса.

Изучению параметров воздействия воздушного потока на зерно посвящены исследования Б. Г. Турбина, М. Н. Летошнева, Г. А. Хайлиса и других исследователей [1—5]. В настоящее время перспективы использования данного технологического процесса расширяются. Проводятся исследования по созданию инкрустаторов семян, в частности, непосредственно при посеве пневматическими сеялками [6]. При исследовании движения семян и препаратов в воздушном потоке в настоящее время наиболее широко используются законы гидромеханики с учетом свойств дисперсности материалов. С повышением скорости движения и концентрации частиц радиальные перемещения и вероятность соударения частицы уменьшаются [7]. В работе И. П. Масло [8] выведены зависимости количества соударений и их влияние на количество препарата, нанесенного на семена за единицу времени, что является одним из основных показателей, характеризующих процесс инкрустации. Как показали теоретические исследования и экспериментальные данные [8], данный параметр при нанесении препарата в вертикальном воздушном потоке в значительной мере зависит от скорости движения семян.

Аэродинамические свойства зерен определяют их поведение в воздушном потоке [5]. При этом на зерна в воздушном потоке действует сила тяжести  $G$  и подъемная сила  $R$  от воздушного потока (рисунок 1, *a*). При вертикальном воздушном потоке частицы (зерно, примеси) могут либо падать, либо уноситься воздухом вверх, либо находиться во взвешенном состоянии, т. е. витать. Скорость витания (критическая) – это скорость потока воздуха, при которой сила тяжести частицы уравнивается силой сопротивления воздуха. Величина скорости витания различна для зерна и семян разных культур и зависит от их формы и крупности. К примеру, для пшеницы она составляет 9...11 м/с, для проса — 6...8 м/с, для гороха — 15...17 м/с [4]. Большое значение имеет скорость витания семян сорных растений, что используется при выборе режимов работы зерноочистительных машин. Воздействие воздушного потока на зерно зависит от положения, в котором зерно там находится. В случае, если большая ось зерна параллельна потоку воздуха, то оно поднимается с воздухом вверх. В случае если ось зерна перпендикулярна направлению воздушного потока, то зерно падает вниз. Определение скорости витания зерна и изучение его аэродинамических свойств имеет решающее значение для обоснования режимов очистки зерновой массы от примесей.

Однако в известных исследованиях в основном определялась критическая скорость зерен, а изменение их скорости движения под воздействием воздушного потока не рассматривалось, хотя этот параметр может быть важным и оказывающим влияние на параметры технологического процесса.

**Основная часть.** Для исследований были выбраны зерна пшеницы, так как они имеют самую большую плотность, и овса, зерна которого легче других зерновых культур. Действительная плотность исследованных семян определялась пуркой литровой с падающим грузом и составляла для семян пшеницы  $760 \text{ кг/м}^3$  и  $610 \text{ кг/м}^3$  — для семян овса. При проведении опытов использовалась установка для исследования аэродинамических свойств зерна (рисунок 1, *b*).



а — схема установки; б — общий вид оборудования

**Рисунок 1. — Схема и общий вид лабораторной установки для определения аэродинамических свойств зерна**

Установка имеет вентилятор *1*, который всасывает воздух через аспирационный канал *2*. Зерновой материал в аспирационный канал *2* подается из бункера *3* с вибродном. На пути воздушного потока расположена камера циклона *4*, в котором осаживаются унесенные воздухом зерна. Воздушный поток выходит через расходомер *5* с указателями *6* и устанавливается регуляторами *7*. Блоком управления *8* установка включается в работу. Приемники семян *9* служат для сбора фракций.

При исследованиях навеску зерна массой 200 г засыпали в бункер *3*, затем включали в работу вентилятор *1* и после стабилизации режима его работы регуляторами *7* устанавливали определённый расход воздуха. Плавным поворотом регулятора в бункер *3* вводили зерновую смесь со случайно распределёнными в его массе окрашенными зёрнами в вертикальный воздушный канал. На частицы действует сила действия воздушного потока, которая замедляет их падение. В навеске было 10 окрашенных зёрен, и их движение снимали на фотокамеру марки Samsung WB2000 со скоростью съёмки 240 кадров в секунду. Затем заслонками увеличивали расход воздуха и повторяли опыт. Каждый раз увеличивали расход воздуха и добивались полного выхода зерна в циклон *4* для сбора уносимых воздухом зёрен. Данный опыт проводили отдельно для зёрен пшеницы и овса. Далее при обработке на компьютере видеogramм (рисунок 2) определяли время прохождения выделенными окрашенными зёрнами учетного участка канала длиной 170 мм. Для воспроизведения видеogramм использовался видеоплеер SMPlayer, позволяющий фиксировать и анализировать покaдровое воспроизведение видео. По графику зависимости скорости воздуха от расхода (при известном сечении канала 50 × 50 мм) определена скорость воздушного потока.

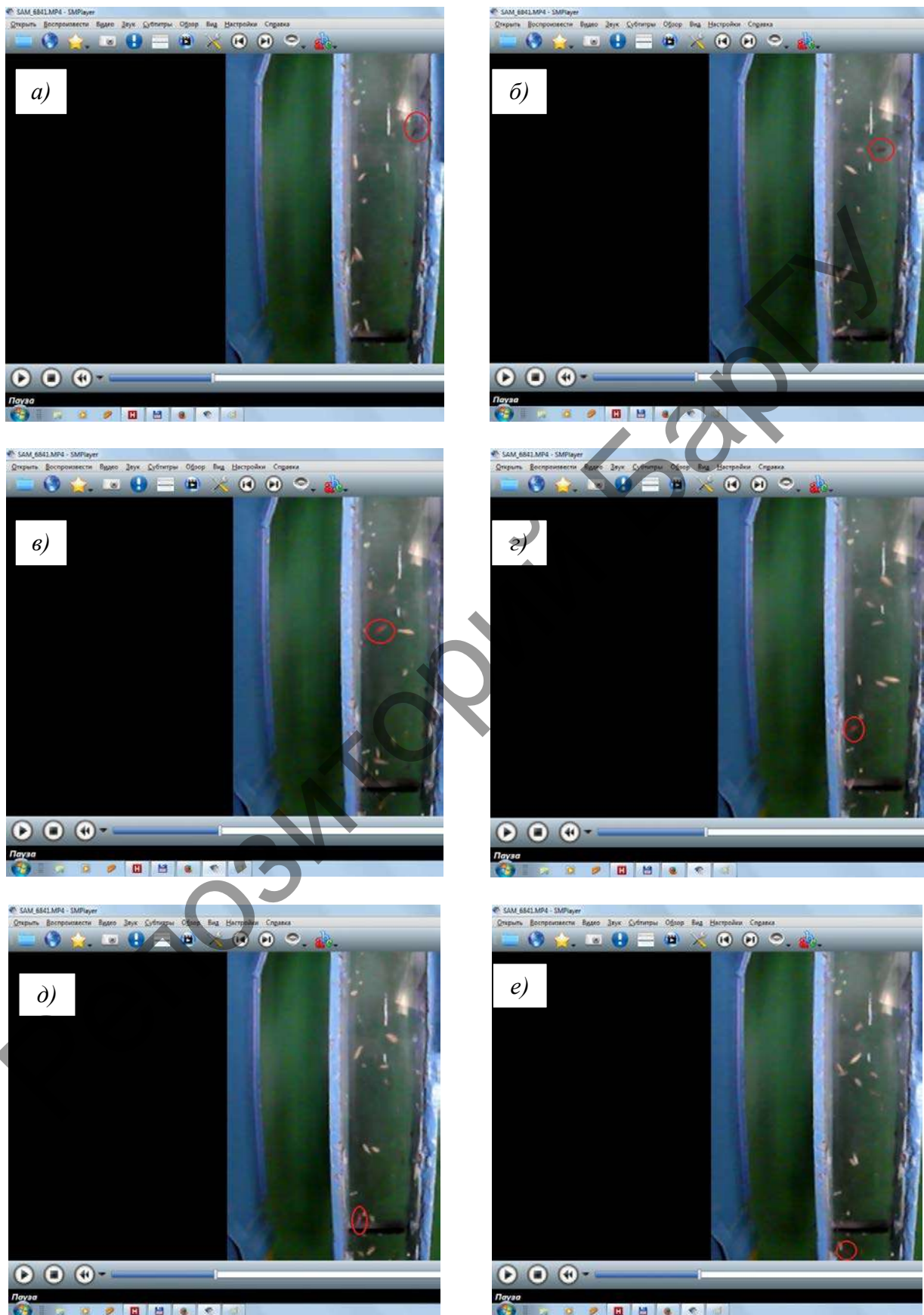


Рисунок 2. — Пример видеосъемки процесса движения зерен овса в восходящем воздушном потоке

Подсчитывали среднее значение времени прохождения зернами контрольного участка и статистические характеристики данного процесса (таблица 1).

Т а б л и ц а 1. — Результаты определения времени падения зерен в воздушном канале высотой 170 мм

Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч	Скорость воздушного потока, м/с	Время движения зерен на учетном участке		
		Среднее значение, с	Среднее квадратическое отклонение, с	Коэффициент вариации, %
<i>Пшеница, плотность <math>\gamma = 760 \text{ кг/м}^3</math></i>				
0	0	0,129	0,00093	0,71
50	5,6	0,206	0,00431	2,09
60	6,7	0,267	0,02841	10,63
65	7,2	0,320	0,01639	5,12
70	8,5	0,585	0,13792	23,57
<i>Овес, плотность <math>\gamma = 610 \text{ кг/м}^3</math></i>				
0	0	0,148	0,00022	0,15
40	4,5	0,151	0,00104	0,69
45	5,0	0,161	0,00967	5,99
50	5,6	0,239	0,01362	5,69
55	6,3	0,278	0,05343	19,23
60	6,7	0,504	0,38411	76,18
65	7,2	0,656	0,39203	59,72

Без воздействия воздушного потока время движения зерен составляло 0,129...0,148 с при незначительных колебаниях по вариантам наблюдений (коэффициент вариации 0,15...0,71 %). В обоих случаях с увеличением скорости восходящего воздушного потока время движения зерен на участке замера увеличивалось.

Следует отметить повышение коэффициента вариации времени движения отдельных зерен с увеличением скорости воздушного потока, т. е. характер движения зерен становится более хаотичным.

В целом скорость падения семян пшеницы выше, чем семян овса из-за меньшей плотности и большей парусности. Из построенных графиков (рисунок 3) видно, что с увеличением воздушного потока скорость падения семян пропорционально уменьшается. При отсутствии воздушного потока скорость падения семян максимальная.

Отмечаются близкие к обратно пропорциональным зависимости снижения скорости падения семян с возрастанием скорости восходящего воздушного потока. При этом для зерен пшеницы при увеличении скорости восходящего воздушного потока в пределах 0...8,5 м/с скорость падения снижается в 4,51 раза. Для зерен овса при изменении скорости восходящего воздушного потока от 0 до 7,2 м/с снижение скорости падения происходит в 4,42 раза. Эти снижения скорости падения весьма существенны и могут оказывать влияние на рабочий процесс машин, использующих воздушные потоки для технологического воздействия на зерна сельскохозяйственных культур.

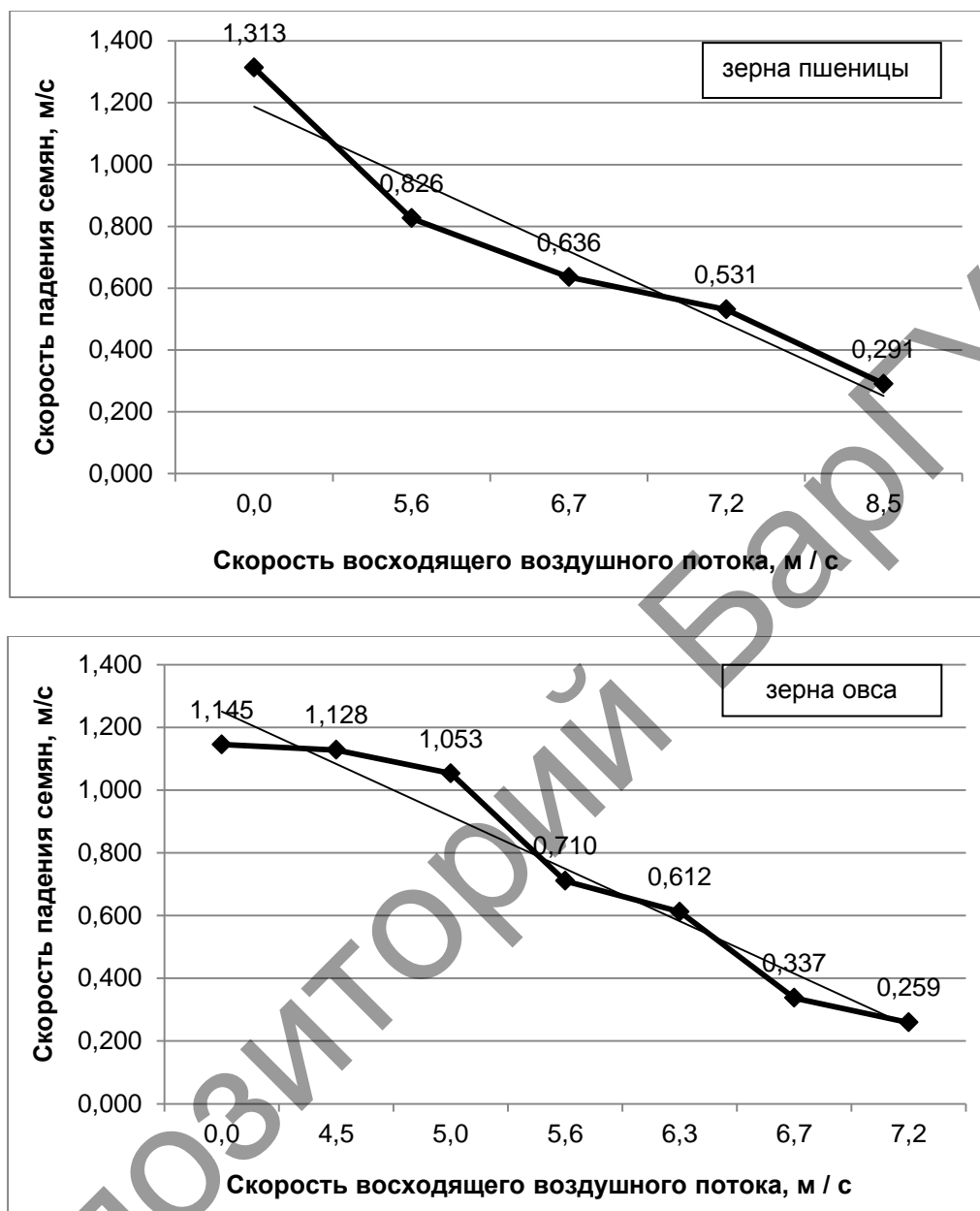


Рисунок 3. — Скорость падения зерен пшеницы и овса в зависимости от скорости восходящего воздушного потока

**Заключение.** Разработанная методика исследования движения зерен в восходящем воздушном потоке позволяет определить изменения скорости их падения.

Установлена обратно пропорциональная зависимость между скоростью падения зерен пшеницы и овса с увеличением скорости вертикального воздушного потока в диапазоне до критической (скорости витания). Снижение скорости падения семян пшеницы и овса может достигать 4,42...4,51 раза в сравнении со скоростью свободного падения семян и должно учитываться при выборе параметров соответствующего технологического оборудования.

## Список цитируемых источников

1. Турбин, Б. Г. Вентиляторы сельскохозяйственных машин. Теория и технологический расчет / Б. Г. Турбин. — Л. : Машиностроение, 1968. — 160 с.
2. Летошнев, М. Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчет проектирование и испытание / М. Н. Летошнев. — М.— Л. : Гос. изд-во с/х лит., 1955. — 764 с.
3. Механико-технологические свойства сельскохозяйственных материалов / Г. А. Хайлис [и др.]. — Луцк : ЛГТУ, 1998. — 268 с.
4. Ковалев, Н. Г. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства) / Н. Г. Ковалев, Г. А. Хайлис, М. М. Ковалев. — М. : Родник : Аграр. наука, 1998. — 208 с., ил.
5. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины : Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы / Н. И. Кленин, В. А. Сакун. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Колос, 1980. — 671 с.
6. Камалетдинов, Р. Р. Модельное представление и машинный анализ процесса инкрустации семян в воздушном потоке / Р. Р. Камалетдинов, Д. Ю. Широков // Роль науки в инновационном развитии АПК : материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию со дня рождения А. П. Иофинова. — Уфа : БашГАУ, 2012. — С. 23—27.
7. Смелик, В. А. Предпосевная обработка семян нанесением искусственных оболочек / В. А. Смелик, Е. И. Кубеев, В. М. Дринча. — СПбГАУ, 2011. — 272 с.
8. Масло, И. П. Исследование процесса обработки семян защитными препаратами в вертикальном замкнутом воздушном потоке : дис. ... канд. техн. наук / И. П. Масло. — Киев, 1971. — 131 л.

Поступил в редакцию 29.10.2018

Репозиторий БашГАУ