

Учреждение образования  
«Барановичский государственный университет»

## *Вестник БарГУ*

Ежеквартальный научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 г.

Выпуск 8, июнь, 2020.

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 технологии и оборудования машиностроения 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

Леон Ольга Вячеславовна, кандидат филологических наук, доцент кафедры теории и практики германских языков учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Богданович Ирина Аркадьевна (*ответственный за направление «Машиностроение и машиноведение»*), кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и оборудования машиностроения 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, главный научный сотрудник государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

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

Девоино Олег Георгиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской инновационной лабораторией плазменных и лазерных технологий филиала Белорусского национального технического университета «Научно-исследовательский политехнический институт» (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 орденов 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 орденов 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).

Сиваченко Леонид Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры транспортных и технологических машин межгосударственного образовательного учреждения высшего образования «Белорусско-Российский университет» (Могилев, 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](mailto: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» включён в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам*

*Научно-практический журнал «Вестник БарГУ» включён 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* А. Ю. Сидоренко

*Технический редактор* Л. Н. Щербук

*Компьютерная вёрстка* С. М. Глушак

*Корректор* Н. Н. Колодко

Подписано в печать 16.06.2020. Формат 60 × 84<sup>1/8</sup>. Бумага ксероксная. Печать цифровая. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 16,00. Уч.-изд. л. 9,35. Тираж 100 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, 2020

Установа адукацыі  
«Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт»

## *Веснік БарДУ*

Штоквартальны навукова-практычны часопіс

Выдаецца з сакавіка 2013 г.

Выпуск 8, чэрвень, 2020.

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 тэхналогіі і абсталявання машынабудавання 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

Леон Вольга Вячаславаўна, кандыдат філалагічных навук, дацэнт кафедры тэорыі і практыкі германскіх моў установы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Багдановіч Ірына Аркадзеўна (*адказы за напрамак «Машынабудаванне і машыназнаўства»*), кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, загадчык кафедры тэхналогіі і абсталявання машынабудавання ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Дубень Ігар Віктаравіч (*адказы за напрамак «Працэсы і машыны аграінжынерных 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, галоўны навуковы супрацоўнік дзяржаўнай навуковай установы «Фізіка-тэхнічны інстытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

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

Дзявойна Алег Георгіевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, загадчык Навукова-даследчай інавацыйнай лабараторыі плазменных і лазерных тэхналогій філіяла Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта «Навукова-даследчы палітэхнічны інстытут» (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).

Сівачэнка Леанід Аляксандравіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры транспартных і тэхналагічных машын міждзяржаўнай адукацыйнай установы вышэйшай адукацыі «Беларуска-Расійскі ўніверсітэт» (Магілёў, Рэспубліка Беларусь).

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

Шлэг Валерыі 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).

*Папісныя індэксы:* 00993 — для індывідуальных падпісчыкаў; 009932 — для арганізацый.

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 індэкс навуковага цытавання), ліцэнзійны 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* Г. Ю. Сідарэнка

*Тэхнічны рэдактар* Л. М. Шчарбук

*Камп'ютарная вёрстка* С. М. Глушак

*Карэктар* Н. М. Каладко

Падпісана да друку 16.06.2020. Фармат 60 × 84 1/8. Папера ксерасная. Друк лічбавы. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 16,00. Ул.-выд. арк. 9,35. Тыраж 100 экз. Заказ

Кошт свабодны.

Паліграфічнае выкананне: Гродзенскае абласное ўнітарнае паліграфічнае прадпрыемства «Слоніўская 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 Слоніў, Гродзенская вобл.

© БарДУ, 2020

Educational institution  
“Baranovichi State University”

*BarSU Herald*

**A quarterly scientific and practical journal**

Published since March 2013.

Volume 8, June, 2020.

Engineering Series

---

*Founder:* 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**

##### **Executive 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 at the Chair of Machine-Building Technology and Equipment, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

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

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

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

Olga V. Leon, Ph. D in Philological Science, Associate Professor at the Chair of Theory and Practice of Germanic Languages, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Iryna A. Bogdanovich (*in charge of the heading “Machine Building and Engineering Science”*), Ph. D of Technical Science, Associate Professor, Head of the Chair of Technology and Equipment of Mechanical Engineering, 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, Chief Researcher at the State Scientific Institution “The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus” (Minsk, the Republic of Belarus).

Andrei K. Gavrilena, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Chair of Technical Support of Agricultural Production and Agronomy of Engineering Department, Baranovichi State University (Baranovichi, 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 branch of Belarusian National Technical University “Research Division” (Minsk, the Republic of Belarus).

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

Viktor S. Ivashko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at 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 at the Chair of Engineering Science and Automobile Technical Maintenance of “Yanka Kupala State University of Grodno” (Grodno, the Republic of Belarus).

Anatoly N. Kartashevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Chair of Tractors, Cars and Machines for Environmental Engineering 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 at 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).

Leonid A. Sivachenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Chair of Transport and Technological Machines, Interstate Higher Education Institution “Belarusian-Russian University” (Mogilev, 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](mailto: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 compliance with the order of the Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus from January 21, 2015 № 16 the scientific and practical journal “BarSU Herald. Engineering Series” is included into the List of scientific publications of the Republic of Belarus for publishing the results of theses research on engineering sciences (mechanical engineering and machines, processes and machines of agroengineering systems).*

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

*Publishing:* 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* A. Y. Sidorenko

*Technical editor* L. N. Scherbuk

*Desktop Publishing* S. M. Glushak

*Proofreader* N. N. Kolodko

Passed for printing 16.06.2020. Format 60 × 84 1/8. Xerox Paper. Digital printing. Font Times. Conv. pr. s. l. 16,00. Acc.-pub. s. l. 9,35. Circulation of 100 copies. Order

Free price.

Printing: Grodno Regional Printing Unitary Enterprise “Slonim Printing Establishment”. Certificate about state registration of publishers, manufacturers and distributors of printings № 1/203 from 07.03.2014, № 2 from 25.02.2014.

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

© BarSU, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

<b>Алифанов А. В., Горецкий Г. П., Цуран В. В., Богданович И. А., Толкачева О. А.</b> Исследование влияния высокотемпературной термомеханической обработки на структуру и механические свойства сталей, применяемых для изготовления рубильных ножей . . . . .	10
<b>Борис Е. В.</b> Исследование статических боковых смещений ленты грузовой и порожняковой ветвей ленточного конвейера . . . . .	17
<b>Данилов В. А., Борис Е. В.</b> Повышение долговечности приводов машин и механизмов на основе применения профильных моментопередающих соединений . . . . .	25
<b>Данилов В. А., Селицкий А. Н.</b> Погрешность профилирования и качество синусоидальных цилиндрических поверхностей при ротационном точении эксцентрично установленным круглым резцом . . . . .	35
<b>Дьяченко О. В., Криуша С. М., Кардаполова М. А., Голубев В. С., Вегера И. И.</b> Лазерное модифицирование газотермических покрытий из нержавеющей сталей . . . . .	44
<b>Жигалов А. Н., Богдан Д. Д., Горавский И. А.</b> Исследования влияния аэродинамического звукового упрочнения на свойства твердых сплавов . . . . .	53
<b>Жигалов А. Н., Горавский И. А., Богдан Д. Д.</b> Оптимизация износа и ресурса металлорежущего твердосплавного инструмента сплава В35, упрочненного аэродинамическим звуковым методом . . . . .	69
<b>Милюкова А. М., Алифанов А. В., Михлюк А. И., Горчанин А. И., Матяс А. Н.</b> Улучшение физико-механических свойств сталей для изготовления труб путем магнитно-импульсной обработки . . . . .	79
<b>Наливко О. И., Русан С. И., Сиваченко Л. А., Сиваченко Т. Л.</b> Исследования напряженно-деформационного состояния проволочного рабочего элемента измельчительной машины . . . . .	90
<b>Потапов В. А., Сиваченко Л. А.</b> Цепной агрегат с волновой рабочей камерой и адаптивным механизмом силового воздействия для переработки влажных сырьевых материалов . . . . .	98

### ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

<b>Пивоварчик А. А., Гавриленя А. К., Войтович М. М.</b> Исследование износа протекторов всесезонных автомобильных шин для грузовых механических транспортных средств . . . . .	106
<b>Пивоварчик А. А., Гавриленя А. К., Сергей А. И.</b> Исследование эксплуатационных свойств полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях внутреннего сгорания . . . . .	111
<b>Филиппов А. И., Аутко А. А., Заяц Э. В., Чеботарев В. П., Дубень И. В.</b> Оборудование для дозирования и ленточного внесения удобрений к универсальному агрегату АУ-М1 . . . . .	119

## ЗМЕСТ

### МАШЫНАБУДАВАННЕ І МАШЫНАЗНАЎСТВА

<b>Аліфанаў А. В., Гарэцкі Г. П., Цуран У. У., Багдановіч І. А., Талкачова В. А.</b> Даследаванне ўплыву высокатэмпературнай тэрма механічнай апрацоўкі на структуру і механічныя ўласцівасці сталяў, якія прымяняюцца для вырабу рубільных нажоў . . . . .	10
<b>Борыс Я. В.</b> Даследаванне статычных бакавых зрушэнняў стужкі грузавых і парожніх галін стужачнага канвеера . . . . .	17
<b>Данілаў В. А., Борыс Я. В.</b> Павышэнне даўгавечнасці прывадаў машын і механізмаў на аснове прымянення профільных момантаперадаючых злучэнняў . . . . .	25
<b>Данілаў В. А., Сяліцкі А. М.</b> Хібнасць прафілявання і якасць сінусаідальных цыліндрычных паверхняў пры ратацыйным тачэнні эксцэнтрычна ўстаноўленым круглым разцом . . . . .	35
<b>Дз'ячэнка В. У., Крыуша С. М., Кардаполава М. А., Голубеў В. С., Вегера І. І.</b> Лазернае мадыфікаванне газатэрмічных пакрыццяў з нержавеючых сталяў . . . . .	44
<b>Жыгалаў А. М., Богдан Д. Д., Гараўскі І. А.</b> Даследаванні ўплыву аэрадынамічнага гукавога ўмацавання на ўласцівасці цвёрдых сплаваў . . . . .	44
<b>Жыгалаў А. М., Гараўскі І. А., Богдан Д. Д.</b> Аптымізацыя зношвання і рэсурсу металарэжучага цвёрдасплаўнага інструмента сплаву В35, умацаванага аэрадынамічным гукавым метадам . . . . .	69
<b>Мілюкова Г. М., Аліфанаў А. В., Міхлюк А. І., Гарчанін А. І., Мацяс А. М.</b> Паляпшэнне фізіка-механічных уласцівасцей сталяў для вырабу труб шляхам магнітна-імпульснай апрацоўкі . . . . .	79
<b>Наліўка А. І., Русан С. І., Сівачэнка Л. А., Сівачэнка Т. Л.</b> Даследаванне напружана-дэфармаванага стану драцянога рабочага элемента здрабняльнай машыны . . . . .	90
<b>Патапаў У. А., Сівачэнка Л. А.</b> Ланцуговы агрэгат з хвалевай рабочай камерай і адаптыўным механізмам сылавога ўздзеяння для перапрацоўкі вільготных сыравінных матэрыялаў . . . . .	98

### ПРАЦЭСЫ І МАШЫНЫ АГРАНЖЫНЕРНЫХ СІСТЭМ

<b>Піваварчык А. А., Гаўрыленя А. К., Вайтовіч М. М.</b> Даследаванне зношвання пратэктараў усесезонных аўтамабільных шин для грузавых механічных транспартных сродкаў . . . . .	106
<b>Піваварчык А. А., Гаўрыленя А. К., Сяргей А. І.</b> Даследаванне эксплуатацыйных уласцівасцей паўсінтэтычных матарных маслаў, выкарыстоўваемых у дызельных рухавіках унутранага згарання . . . . .	111
<b>Філіпаў А. І., Аутка А. А., Заяц Э. У., Чабатароў В. П., Дубень І. В.</b> Абсталяванне для дазіравання і стужачнага ўнясення ўгнаенняў да ўніверсальнага агрэгата АУ-М1 . . . . .	119



## CONTENTS

### MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

<b>Alifanov A. V., Goretsky G. P., Tsuran V. V., Bogdanovich I. A., Tolkacheva O. A.</b> The research of the influence of ausforming on the structure and mechanical properties of steels applied for manufacturing chipping knives .....	10
<b>Borys Ya.</b> The research of static lateral displacements of the belt track of the carrying and return belt conveyor lines .....	17
<b>Danilau V. A., Borys Ya.</b> Increasing the durability of machinery drives based on the application of profile torque-transmitting joints .....	25
<b>Danilau V. A., Sialitskiy A. N.</b> Profiling error and quality of sinusoidal cylindrical surfaces under rotary turning with an eccentric circular tool .....	35
<b>Dyachenko O. V., Kriusha S. M., Kardapolova M. A., Golubev V. S., Vegera I. I.</b> Laser modification of gas-thermal coatings from stainless steels .....	44
<b>Jigalov A. N., Bogdan D. D., Goravskii I. A.</b> The studies of the influence of aerodynamic sound hardening on the properties of hard alloys .....	53
<b>Jigalov A. N., Goravskii I. A., Bogdan D. D.</b> Optimization of the wear and resource of a metal-cutting carbide tool of B35 alloy strengthened by the aerodynamic sound method .....	69
<b>Milyukova A. M., Alifanov A. V., Mikhlyuk A. I., Gorchanin A. I., Matyas A. N.</b> The improvement of physical and mechanical properties of steels for manufacturing pipes by magnetic-pulse treatment .....	79
<b>Naliuko O. I., Rusan S. I., Sivachenko L. A., Sivachenko T. L.</b> The research of stress-strain state of a wire operating element of a grinding machine .....	90
<b>Potapov V. A., Sivachenko L. A.</b> A chain unit with a wave working chamber and adaptive mechanism of force influence for reprocessing humid raw materials .....	98

### PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

<b>Pivovarchyk A. A., Haurylenia A. K., Vaitovich M. M.</b> The research of the tread wear of all-season automobile tires for mechanical cargo vehicles .....	106
<b>Pivovarchyk A. A., Haurylenia A. K., Sergei A. I.</b> The study of performance attributes of semi-synthetic motor oils used in diesel internal combustion engines .....	111
<b>Filippov A. I., Autko A. A., Zayats E. V., Chebotarev V. P., Duben I. V.</b> The equipment for dosing and band fertilization to the AU-M1 universal unit .....	119

УДК 632.934:631.8 (476)

**А. И. Филиппов<sup>1</sup>, А. А. Аутко<sup>1</sup>, Э. В. Заяц<sup>1</sup>, В. П. Чеботарев<sup>2</sup>, И. В. Дубень<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Учреждение образования «Гродненский государственный аграрный университет»,  
Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, ул. Терешковой, 28,  
230008 Гродно, Республика Беларусь, +375 (29) 396 29 66, a.fil07@mail.ru<sup>2</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, пр. Независимости, 99,  
220023 Минск, Республика Беларусь, +375 (29) 639 77 51, v.p.chebotarev@tut.by<sup>3</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Министерство образования  
Республики Беларусь, ул. Войкова, 21, 225404 Барановичи, Республика Беларусь,  
+375 (163) 64 36 37, duben\_i\_v@mail.ru

### ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДОЗИРОВАНИЯ И ЛЕНТОЧНОГО ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ К УНИВЕРСАЛЬНОМУ АГРЕГАТУ АУ-М1

В результате исследований были обоснованы конструктивная схема и рабочие органы комбинированной машины для дозирования и ленточного внесения гранулированных удобрений в почву во время нарезания гряд и при уходе за растениями для эффективного выполнения агроприемов экологической направленности. Предварительные исследования показали возможность выполнения данными рабочими органами технологического процесса с учетом предъявляемых агротехнических требований.

**Ключевые слова:** культиватор; рабочие органы; гранулированные удобрения; оборудование для туков; туковысевающие аппараты; тукопроводы; дозирование удобрений; ленточное внесение.

Рис. 3. Библиогр.: 7 назв.

**A. I. Filippov<sup>1</sup>, A. A. Autko<sup>1</sup>, E. V. Zayats<sup>1</sup>, V. P. Chebotarev<sup>2</sup>, I. V. Duben<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Grodno State Agrarian University, Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus,  
28 Tereshkova St., 230008, Grodno, the Republic of Belarus, +375 (29) 396 29 66, a.fil07@mail.ru<sup>2</sup>Belarusian State Agrarian Technical University, Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus,  
99 Independence Ave., 220023 Minsk, the Republic of Belarus, +375 (29) 639 77 51, v.p.chebotarev@tut.by<sup>3</sup>Baranovich State University, Ministry of Education of the Republic of Belarus,  
21 Voikov St., 225404 Baranovich, the Republic of Belarus, +375 (163) 64 36 37, duben\_i\_v@mail.ru

### THE EQUIPMENT FOR DOSING AND BAND FERTILIZATION TO THE AU-M1 UNIVERSAL UNIT

As a result of the studies, the constructive scheme and working bodies of the combined equipment for dosing and banding granular fertilizers into the soil at cutting seed rows and handling plants for the efficient implementation of environmental friendly agricultural methods were substantiated. Preliminary studies have shown that these operating devices can carry out the technological process taking into account the agrotechnical requirements.

**Keywords:** cultivator; operating devices; granular fertilizers; equipment for fertilizers; fertilizer distributor; fertilizer hoses; fertilizer dosing; band fertilization.

Fig. 3. Ref.: 7 titles.

**Введение.** Переход сельскохозяйственного производства к системе экологического земледелия является определяющим фактором в получении экологически безопасной продукции. Одним из действенных агроприемов в системе экологического земледелия является оптимизация минерального питания возделываемых растений и, в частности, картофеля и овощных культур.

Применение удобрений в настоящее время достигло значительных размеров: в среднем вносится около 200 кг минеральных удобрений на каждый гектар пашни. Удельный вес удобрений в общих затратах при производстве сельскохозяйственной продукции, рассчитанный по энергетическим эквивалентам, составляет 37 %. В то же время большое количество питательных веществ, вносимое в виде удобрений путем разбросного внесения, вымывается из почвы или переходит в трудноусвояемую для растений форму. Таким образом, на эффективность использования удобрений значительное влияние оказывает способ их внесения.

В этой связи практическую значимость представляет изучение способов внесения гранулированных органо-минеральных удобрений ленточным способом в узкопрофильные гряды. Для комплексного решения этой проблемы целесообразны разработка конструкции и использование устройства для ленточного внесения гранулированных органо-минеральных удобрений в почву в процессе формирования узкопрофильных гряд с учетом способа размещения в почве посадочного материала.

На основании проведенных исследований во многих научных учреждениях были доказаны преимущества внутрипочвенного ленточного внесения удобрений до посева (при нарезании гряд) или в период посева или посадки [1; 2]. Исследователями был установлен ряд факторов, которые способствовали более эффективному результату при ленточном внесении удобрений [3].

Основные преимущества ленточного внесения удобрений:

- 1) удобрения концентрируются в зоне расположения корневой системы;
- 2) повышается коэффициент использования элементов питания удобрений, в том числе азота на 10...15 %, фосфора на 5...10 %, калия на 10...19 % по сравнению с разбросным способом;
- 3) создается сбалансированная экосистема почвы за счет точно дозированного количества вносимых препаратов в зону омоложения корневой системы;
- 4) стимулируется рост и развитие корневой системы, особенно за счет их высевальной способности, в результате увеличивается площадь их поглощающей способности;
- 5) выдерживается положительный баланс элементов питания в пределах поля;
- 6) осуществляется внесение удобрений на каждый участок поля в необходимом количестве. Не происходит избыточного внесения удобрений и их непроизводительных потерь;
- 7) возрастает динамика накопленных сухих веществ, увеличивается урожайность;
- 8) экономия удобрений составляет от 5 до 40 %.

Проведенные исследования с зерновыми культурами показывают [4; 5], что внесение удобрений ленточным способом на глубину 2 см ниже глубины посева является эффективным. По мере прорастания семян корни опускаются вниз за поиском влаги и питательных веществ. Так как в этой зоне влажность почвы выше, то питательные вещества усваиваются значительно быстрее. Напротив, та часть удобрений, которая расположена в верхнем сухом слое почвы, будет продолжительное время недоступна для растений. В случае обильного выпадения осадков внесенные удобрения в верхнем слое растворяются, и корневая система развивается преимущественно в верхнем слое, что отрицательно сказывается в последующие периоды роста и развития растений, особенно в засушливые периоды.

Рядом исследований установлено, что часть корневой системы лучше развивается в зоне расположения удобрений, внесенных ленточным способом. Корни лучше развиваются в тех внутрипочвенных зонах, где присутствует необходимая концентрация удобрений. Растения поглощают питательные элементы через корневую систему посредством их передвижения потока частиц с движением воды, поэтому внесенные удобрения в более влажную почву быстрее поступят в растения.

Был изучен научный материал в специализированных научных изданиях и патентах о значении и эффективности внесения удобрений ленточным способом под картофель и овощные культуры. Также исследования проводились на опытном поле учреждения обра-

зования «Гродненский государственный аграрный университет» [3; 4]. Схема посадки: междурядья  $75 \times 75$  см, шаг посадки (расстояние между клубнями в рядах) — 30...35 см. Посадка картофеля осуществлялась в предварительно сформированные узкопрофильные гряды высотой 18 см и шириной в верхней части 20 см. Нормы удобрений рассчитывались с учетом имеющихся показателей содержания элементов питания в почве и планируемой урожайности. Защита растений картофеля и овощных культур осуществлялась на основе применения биопрепаратов. Расчет конструкции устройства для ленточного внесения минеральных удобрений проводился с учетом использования в составе комбинированной универсальной машины.

Изготовленное устройство и рабочие органы были размещены на комбинированном универсальном агрегате АУ-М1, на базе которого и были проведены предварительные полевые испытания экспериментального образца [6; 7].

**Основная часть.** Внесение удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур может производиться в разные сроки и разными способами. Сроки и приемы внесения удобрений должны обеспечивать наилучшие условия питания растений в течение всей вегетации и получение наибольшей окупаемости питательных веществ урожаем. В зависимости от сроков внесения удобрений выделяют [1]:

- основное (допосевное) внесение, которое подразумевает глубокую заделку плугом или комбинированными машинами;
- припосевное, проводимое одновременно с заделкой в почву семян или при посадке семян в лунки, рядки или гнезда;
- корневая подкормка с заделкой в почву или без нее с последующим поливом во время активного роста;
- некорневая подкормка, подразумевающая опрыскивание растений слабыми растворами удобрений в период вегетации растений.

Основное внесение удобрений проводится осенью или весной в зависимости от почвенных и погодных условий и снабжает растения полезными веществами на весь период их роста и развития. Цель основного удобрения — обеспечить питание растений в течение всего периода вегетации.

В основное удобрение до посева вносят навоз (и другие органические удобрения) и, как правило, большую часть общей нормы применяемых под данную культуру минеральных удобрений. До посева удобрения, как правило, вносят разбросным способом с помощью разбрасывателей минеральных и органических удобрений.

Основное фосфорно-калийное удобрение вносят преимущественно осенью и заделывают под глубокую зяблевую вспашку. При этом удобрения попадают в более влажный и менее пересыхающий слой почвы, где развивается основная масса деятельных корней.

Азотные удобрения до посева при орошении и в районах с большим количеством осадков, особенно на легких песчаных и супесчаных почвах, необходимо вносить весной с заделкой под предпосевную обработку почвы. При этом ограничивается возможность потерь нитратного азота удобрений (а также нитратов, образующихся при нитрификации аммонийных, аммиачных форм азотных удобрений и мочевины) вследствие вымывания и миграции из корнеобитаемого слоя почвы. На тяжелых почвах в районах с ограниченным количеством осадков в осенне-зимний период аммонийные твердые, жидкие аммиачные удобрения и мочевину можно вносить с осени.

На легких почвах, обладающих малой емкостью поглощения, калийные удобрения целесообразно (во избежание потерь калия от вымывания) вносить вместе с азотными удобрениями весной под культивацию, а под пропашные культуры часть этих удобрений переносить в подкормку.

Перспективным способом применения удобрений до посева, особенно суперфосфата, является локальное ленточное внесение, при этом фосфор суперфосфата меньше закрепляется в почве и лучше усваивается растениями.

Припосевное удобрение обеспечивает питание молодые растения в период, когда у них еще не имеется мощной корневой системы, поэтому полезные вещества ими плохо усваиваются. В этом случае обычно используют небольшую дозу удобрения, чтобы избежать накопления большой концентрации питательных органических и неорганических элементов в почве, что может отрицательно сказаться на неокрепших растениях. Для всех сельскохозяйственных культур особенно большое значение имеет внесение в рядки гранулированного суперфосфата, так как в начальный период роста растения особенно чувствительны к недостатку фосфора. В качестве припосевного удобрения обычно применяют суперфосфат или аммофос.

Под картофель, кукурузу и некоторые другие культуры вместе с суперфосфатом при посеве вносят также небольшие дозы азотных и калийных удобрений либо применяют комплексные удобрения. Под культуры, чувствительные к высокой концентрации питательных веществ вблизи корней (например, кукурузу), лучше вносить их на некотором расстоянии, 2...3 см сбоку или ниже семян, для того чтобы семена отделялись от удобрений прослойкой почвы. Питательные вещества из удобрений, внесенных в рядки или гнезда на глубину посева семян, используются большинством растений только в первый период роста, поэтому доза их должна быть невысокой — порядка 7...15 кг действующего вещества (д. в.) на 1 га. При внесении в лунки или в борозды удобрений под картофель и томаты питательные вещества могут использоваться более длительное время, особенно при достаточной влажности почвы. Дозы припосадочного удобрения под эти культуры могут быть увеличены до 20...30 кг д. в.

Припосевное удобрение, рассчитанное главным образом на обеспечение растений легкодоступными формами элементов питания в начальный период их жизни, имеет большое значение и для последующего развития растений. Благоприятные условия питания с начала вегетации способствуют формированию у молодых растений более мощной корневой системы, что обеспечивает в дальнейшем лучшее использование элементов питания из почвы и основного удобрения.

Благодаря рядковому внесению удобрений растения быстрее развиваются и легче переносят временную засуху, меньше повреждаются вредителями и болезнями, лучше подавляют сорную растительность. Припосевное местное внесение небольших доз минеральных удобрений — наиболее эффективный способ их применения, обеспечивающий более высокие прибавки урожая на каждый центнер удобрения. Особенно эффективно применение в рядки гранулированного суперфосфата и аммофоса.

При систематическом применении высоких норм удобрений содержание подвижных форм элементов питания в почве, в том числе фосфора, постепенно возрастает, эффективность действия рядкового удобрения может снижаться. Рядковое применение суперфосфата имеет важное значение при выращивании зерновых и других культур в засушливых климатических условиях, где используется ограниченное количество минеральных удобрений, а фосфор является элементом, находящимся в первом минимуме.

Подкормки проводятся в целях улучшения питания культур в определенные периоды их развития и возмещения недостающего в почве микроэлемента. Подкормки в период вегетации применяют в дополнение к основному и припосевному удобрению в целях усиления питания растений в периоды наиболее интенсивного потребления ими питательных веществ. При подкормке нужно количество минеральных удобрений, преимущественно азотистых, необходимо растворить в большом объеме воды и полить полученным раствором участок. Нужно учитывать, что чем в большем количестве воды растворено удобрение, тем равномернее оно будет распределено по участку.

На легких почвах в увлажненных районах с высоким уровнем грунтовых вод для пропашных культур целесообразно перенесение части азотных и калийных удобрений в подкормку, особенно при высоких нормах внесения. При этом действие удобрений, внесенных

в подкормку при неглубокой заделке в междурядья пропашных культур, в сильной степени зависит от условий увлажнения в течение вегетации.

В увлажненных районах или при орошении эффективность подкормки значительно выше, чем в районах с недостатком влаги. Наиболее целесообразны для подкормки легко-растворимые азотные удобрения, а также богатые азотом местные органические удобрения — навозная жижа, птичий помет и др. Роль подкормок возрастает, если по каким-либо причинам удобрения до посева не применялись либо вносились в недостаточном количестве. В подкормку удобрения вносят поверхностно вразброс (ранневесенняя подкормка озимых, подкормка клевера и других многолетних кормовых культур, льна) или в междурядья пропашных и овощных культур с заделкой в почву при последующей междурядной обработке культиваторами-растениепитателями.

В засушливых районах без орошения и в годы с недостаточным количеством осадков подкормки могут не оказать положительного действия на урожай либо даже снизить его. Для большинства культур чаще всего применяют основное удобрение в сочетании с припосевным. При ограниченном количестве минеральных удобрений в хозяйстве целесообразно прежде всего предусмотреть внесение удобрения наиболее экономичным способом — местно (в рядки или гнезда) при посеве и нарезании гряд, формировании гребней.

Локальное внесение удобрений позволяет производить заделку удобрения на заданную глубину, в результате чего появляется возможность размещать удобрения в пределах слоя почвы, где располагаются корни, что делает их легкодоступными для усвоения. При локальном внесении удобрений создаются благоприятные условия для поглощения питательных веществ растениями из удобрений и их передвижения.

Внутрипочвенное локальное внесение удобрений разделяется на следующие виды: рядковое, основное (ленточное), гнездовое внесение, а также междурядную, корневую подкормку и т. д. При локальном внесении основного удобрения питательные элементы не перемешиваются с почвой, находятся ближе к питающей части корневой системы и используются более эффективно. Повышенное содержание аммонийного азота в ленте удобрений замедляет нитрификацию и способствует сокращению потерь азота за счет вымывания нитратов из корнеобитаемого слоя. В результате уменьшается контакт удобрений с почвой, что затрудняет переход фосфора в труднодоступное состояние и способствует его более полному усвоению растениями. При локальном внесении удобрений коэффициент использования растениями азота из удобрений возрастает на 10...15 %, фосфора на 5...10 %, калия на 10...12 % по сравнению с разбросным внесением.

Из общего очага удобрений элементы питания и микроэлементы мигрируют с разной скоростью. Скорость передвижения питательных элементов зависит также от состава почвы. Наиболее подвижны нитраты, менее — молибден, аммонийный азот и обменный калий, слабее перемещается фосфор. На связанных почвах обычно передвижение элементов питания из очага удобрений завершается в основном в течение первых 2...3 недель.

На дерново-подзолистых суглинистых почвах передвижение аммонийного азота и калия от центра очага удобрений в горизонтальном и вертикальном направлениях не превышает 6...7 см. Нитратный азот распространяется по всему пахотному горизонту, радиус распространения фосфора — 2...3 см. На супесчаных и песчаных почвах радиус зоны передвижения фосфора — 3...4 см, калия — 10 см. Нитраты распространяются так же, как и в связанных почвах.

Есть сведения о том, что локальный способ внесения удобрений активизирует микробиологическую деятельность сильнее, чем разбросной. В обогащенных питательными элементами зонах лучше развивается корневая система растений. Отмечается положительное влияние локального внесения удобрений на динамику накопления сухого вещества и поступления питательных элементов в растения, что способствует ускоренному развитию растений.

Нельзя располагать удобрения в непосредственной близости от семян, но и далеко располагать не рекомендуется. Ленточное внесение удобрений одновременно с посевом (посадкой) наиболее предпочтительно, так как обеспечивает фиксированное размещение удобрений относительно посадочных рядков и равномерное распределение их на площади питания отдельных растений. Оптимальное размещение лент основного удобрения при посадке корнеплодов — на 5...6 см в сторону и на 2,5...7,5 см глубже семян.

Эффективность локального внесения удобрений зависит от метеорологических условий, гранулометрического состава почвы и уровня ее плодородия, биологических особенностей выращиваемых культур, форм удобрений и глубины их заделки. Наиболее отзывчивой культурой на локальное внесение удобрений является картофель.

Повышение коэффициента использования питательных элементов при локальном внесении удобрений позволяет снижать по сравнению с разбросным способом дозы удобрений на 25...30 %. Нередко внесение половинной дозы удобрений локальным способом обеспечивает такой же урожай и вынос питательных элементов, как и при полной дозе разброс.

Действие твердых и жидких форм комплексных удобрений при локальном внесении примерно одинаково. Гранулированные комплексные удобрения оказались более эффективными, чем туковые. Более высокая прибавка урожая наблюдалась при локальном внесении фосфора вместе с азотом, а еще выше — при сочетании сразу трех главных элементов питания.

Эффективность локального внесения во многом определяется растворимостью фосфатного компонента. В этом отношении при внесении под картофель лучше всех оказались нитроаммофоска, нитроаммофос, карбоаммофос.

На передвижение веществ также влияют свойства самой почвы и качество удобрений. Например, по тяжелым глинистым и суглинистым почвам удобрения проходят очень медленно, значительно медленнее, чем по легким песчаным. Но следует учитывать, что чем легче удобрения передвигаются по почве, тем сильнее опасность, что они окажутся за пределами корнеобитаемого слоя. Поэтому глинистые почвы подкармливают реже, чем песчаные, но применяют при этом максимальные дозы.

Существуют следующие общие правила проведения подкормок, которые необходимо учитывать при внесении удобрений:

- 1) при корневой подкормке удобрение вносится в непосредственной близости от корневой системы растения (в бороздки вдоль ряда культуры или вокруг нее);
- 2) при опрыскивании во время корневой подкормки концентрация раствора вносимого удобрения не должна превышать 1 %, иначе могут появиться ожоги листьев;
- 3) удобрения должны обладать хорошей растворимостью в воде;
- 4) смешивать удобрения необходимо в соответствии с рекомендуемыми в инструкции правилами, иначе в полученной смеси могут произойти процессы, ведущие к потере питательных веществ — выделение аммиака, переход веществ в менее усвояемую форму или увеличение гигроскопичности, при которой удобрение быстро становится непригодным;
- 5) перед тем как проводить удобрение или подкормку почвы, следует произвести ее анализ в агрохимической лаборатории с определением уровня обеспеченности почвы питательными веществами, в первую очередь фосфором и калием.

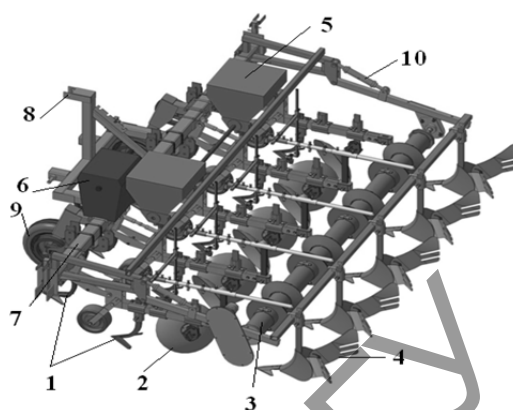
Если почва имеет высокий уровень обеспеченности полезными элементами, то дозировку удобрения нужно уменьшить, если низкий — увеличить. При повышенном уровне обеспеченности почвы питательными веществами составляет 12...16 мг фосфора и 11...14 мг калия, при высоком уровне — 16...20 мг фосфора и 15...18 мг калия. В глубоком слое почвы (20...40 см) фосфора должно содержаться в 2 раза меньше, а калия — в 1,5 раза меньше, чем в верхнем слое земли. Учитывая эти данные, при обеспеченности почвы фосфором и калием ниже среднего уровня дозу удобрения увеличивают в 2 раза, при

при среднем и повышенном уровне — в 1,2...1,5 раза, а при высоком (более 40 мг на 100 г почвы) — уменьшают в 2 раза.

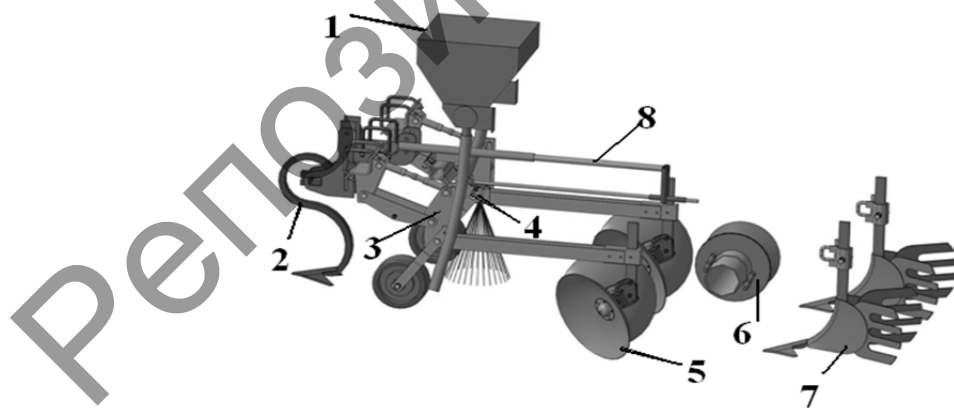
В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований была обоснована конструктивная схема и рабочие органы комбинированной машины для дозирования и ленточного внесения гранулированных удобрений в предпосадочный и предпосевной периоды и установлена эффективность внесения минеральных удобрений ленточным способом при возделывании картофеля и овощных культур.

Экспертный образец комбинированной машины для ленточного внесения гранулированных удобрений в предпосадочный и предпосевной периоды включает в себя рыхлительные лапы 1 с копьевидными наральниками и пружинными S-образными и жесткими стойками, дисковые гребнеобразователи 2, грядкопрофилирующий каток 3, окучивающие лемешно-отвальные корпуса 4, оборудование для туков 5, раму 7 с устройством для навески 8, опорно-приводные колеса 9 с редуктором 6 и винтовой регулятор 10 (рисунок 1). Представим также схему расположения рабочих органов комбинированной машины с устройством для внесения биопрепаратов и гранулированных удобрений в почву при формировании узкопрофильных гряд (рисунок 2) и оборудование для гранулированных удобрений (рисунок 3).

Бункер объемом 0,045 м<sup>3</sup> сверху закрыт крышкой 4 (см. рисунок 3). В нижней части бункера имеется крышка опорожнителя 5. Внутри бункера установлен высевающий механизм 2. По краям высевающего механизма в дне бункера имеются два отверстия, закрытые доньшками 6 для устранения самовысыпания удобрений.



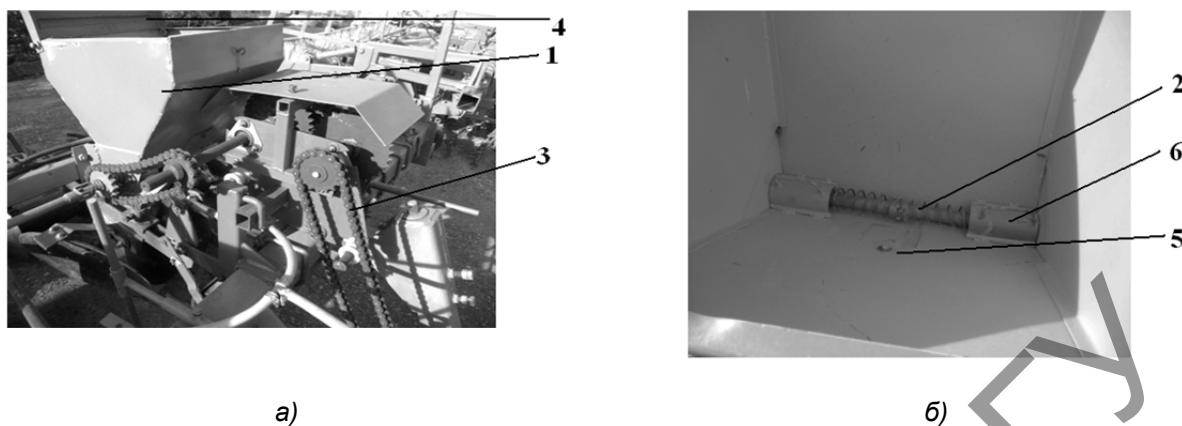
**Рисунок 1. — Общий вид комбинированной машины для внесения гранулированных удобрений и формирования гряд**



1 — бункер для гранулированных органо-минеральных удобрений; 2 — рыхлительные лапы; 3 — рабочая секция; 4 — распределитель; 5 — гребнеобразующие диски; 6 — грядкопрофилирующий каток; 7 — окучивающие лемешно-отвальные корпуса; 8 — телескопическое устройство

**Рисунок 2. — Схема расположения рабочих органов комбинированной машины с устройством для внесения биопрепаратов и гранулированных удобрений в почву при формировании узкопрофильных гряд**





1 — бункер; 2 — высевающий механизм; 3 — механизм привода; 4 — крышка;  
5 — крышка опорожнителя; 6 — кожух

**Рисунок 3. — Оборудование для внесения гранулированных удобрений:  
общий вид (а); вид внутри бункера (б)**

Высевающий механизм представляет собой вал, на который надеты две спиральные пружины с левой и правой набивками. Бункер туковысевающего аппарата крепится на раме машины с помощью кронштейна. Вал высевающего механизма приводится в движение от опорно-приводных колес посредством цепных передач и редуктора.

При рабочем движении агрегата пружины выносят удобрения из бункера к выгрузным окнам, от которых они попадают через тукопроводы на рассеиватели и заделываются в почву дисковыми гребнеобразователями.

Дозу высева в пределах от 50 до 750 кг / га регулируют путем изменения передаточного числа редуктора. При проведении опытов работали в диапазоне доз 250...350 кг / га. Передаточное отношение привода при этом составляло 0,681...0,929.

**Заключение.** Проведенные поисковые опыты разработанных рабочих органов и комбинированной машины в целом показали, что рабочие органы обеспечивают дозирование гранулированных удобрений и заделку их в почву согласно агротехническим требованиям. В результате выполнения опытно-конструкторских исследований была проведена модернизация туковысевающего аппарата и его привязка и расположение на комбинированном универсальном агрегате АУ-М1.

Данное решение расширяет функциональность агрегата и создает возможность дополнительно осуществлять внесение основных минеральных удобрений ленточным способом в формируемых узкопрофильных грядках с шириной ленты 30...35 мм.

Возможно внесение гранулированных органических удобрений локальным способом. Также имеется возможность внесения удобрений в виде подкормки растений при междурядной обработке почвы. Можно вносить минеральные удобрения одновременно к корневой системе растений и некорневой на листовую поверхность.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований были обоснованы конструктивная схема и рабочие органы комбинированной машины для дозирования и ленточного внесения гранулированных удобрений в почву во время нарезания гряд и при уходе за растениями в режиме экологического земледелия, предварительные исследования которых показали возможность выполнения ими технологического процесса с учетом предъявляемых агротехнических требований.

## Список цитируемых источников

1. Анализ технологических операций и изыскание рабочих органов культиватора для ухода за картофелем при экологическом земледелии / Э. В. Заяц [и др.] // Сельское хозяйство — проблемы и перспективы : сб. науч. ст. — Гродно : ГГАУ, 2017. — С. 83—89.
2. Разработка рабочих органов машин для возделывания картофеля и овощей при экологическом земледелии / Э. В. Заяц [и др.]. // Современные технологии сельскохозяйственного производства : материалы XX Междунар. науч.-практ. конф. — Гродно : ГГАУ, 2017. — С. 182—184.
3. Разработка и испытания рабочих органов и машин для обработки картофеля и овощных культур с минимальной пестицидной нагрузкой / Н. Д. Лепешкин [и др.] // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 70-летию со дня образования РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». — Минск, 2017. — С. 100—113.
4. Изыскание рабочих органов и типов машин для ухода за картофелем при экологическом земледелии / Э. В. Заяц [и др.] // Современные тенденции развития технологий и технических средств в сельском хозяйстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию А. П. Тарасенко : в 2 ч. — Воронеж, 2017. — Ч. 2. — С. 219—227.
5. Разработка агрегата и рабочих органов для обработки почвы при экологическом земледелии / А. А. Аутко [и др.] // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию А. П. Тарасенко. — Рязань : ФГБОУ ВО «РГАУ им. П. А. Костычева», 2018. — С. 14—19.
6. Усовершенствование рабочих органов к агрегату для производства картофеля на основе экологического земледелия / А. А. Аутко [и др.] // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 110-летию со дня рождения акад. М. Е. Мацепуро. — Минск, 2018. — С. 28—32.
7. Профилеформователь с уплотняющим катком / Э. В. Заяц [и др.] // Современные технологии сельскохозяйственного производства : сб. науч. ст. по материалам XXII Междунар. науч.-практ. конф. — Гродно : ГГАУ, 2019. — С. 192—194.

Поступила в редакцию 02.03.2020