

## Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация

УДК 631.37

DOI 10.31857/S2500262724050091 EDN SIOMHY

### БЕСТРАКТОРНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ – МЕЖОТРАСЛЕВАЯ СКВОЗНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

© 2024 г. А. А. Завражнов, кандидат технических наук,  
А. И. Завражнов, доктор технических наук, академик РАН

Мичуринский государственный аграрный университет,  
393760, Тамбовская обл., Мичуринск, ул. Интернациональная, 101  
E-mail: noc-inteh@yandex.ru; aiz@mgau.ru

*Исследования проводили с целью выявления преимуществ «бестракторного земледелия» как межотраслевой сквозной технологии на примере промышленного садоводства и питомниководства. Парадигма «бестракторного земледелия» декларирует отказ от применения классических тракторов тяговой и тягово-энергетической концепции и определяет переход к мобильным энергетическим модулям-трансформерам энергетической концепции. Принципы энергетической концепции определяют максимально возможное использование мощности двигателя для полезного перемещения и выполнения рабочих процессов, что обеспечивает высокую эффективность «бестракторного земледелия». Использование вместо тракторов наборов мобильных энергетических модулей-трансформеров электроприводного типа в комплекте с технологическими модулями обеспечивает максимальное технико-технологического оснащение отраслей сельского хозяйства для любых условий и различных технологических операций, что особенно востребовано в отрасли промышленного садоводства и питомниководства. Межотраслевой характер нового технологического направления позволяет эффективно использовать изделия «бестракторного земледелия» и в других отраслях сельского хозяйства (овощеводство, селекция и семеноводство), а также в коммунальной и городской логистике. Примером практической реализации отдельных элементов «бестракторного земледелия» в промышленном садоводстве может служить действующий макет-демонстратор садового e-Дрона с пилотным названием «Русский челнок», созданный в Инжиниринговом центре ИнТех ФГБОУ ВО Мичуринского государственного аграрного университета. Это изделие с грузоподъемностью до 1000 кг и рабочей скоростью от 0 до 30 км/ч предназначено для сбора и транспортировки плодов. Отличительная особенность садового e-Дрона «Русский челнок» – использование 2 электроприводных мостов массового производства мощностью 1,2 кВт, что значительно снижает его стоимость (в 10 раз) по сравнению с существующими зарубежными самоходными садовыми платформами.*

### TRACTOR-FREE AGRICULTURE IS AN INTERSECTORAL END-TO-END TECHNOLOGY OF AGRICULTURE

A.A. Zavrazhnov, A. I. Zavrazhnov

Michurinsk State Agrarian University,  
393760, Tambovskaya obl., Michurinsk, ul. Internatsional'naya, 101  
E-mail: noc-inteh@yandex.ru, aiz@mgau.ru

*The article presents a new technological direction – «tractor-free agriculture». Its advantages are proved and the attributes that translate this technological direction into the category of intersectoral end-to-end technology are determined. The paradigm of «tractor-free farming» declares the rejection of the use of classic tractors of traction and traction-energy concepts and defines the transition to mobile energy modules-transformers of the energy concept. The principles of the energy concept determine the maximum possible use of engine power for useful movement and execution of work processes, which ensures high efficiency of «tractor-free farming». The use of sets of mobile power transformer modules of electric drive type, complete with technological modules, instead of tractors, ensures maximum technical and technological equipment of agricultural industries for all conditions and various technological operations. The authors have proved that «tractor-free farming» is the most effective in the field of industrial horticulture and nursery farming, characterized by a wide range of conditions and a variety of technological operations performed. The article provides examples of basic configurations and technical appearance of «tractor-free farming» products for the industrial horticulture and nursery industry. The intersectoral nature of the new technological direction makes it possible to effectively use products of «tractor-free agriculture» in other sectors of agriculture – vegetable growing, breeding and seed production, as well as in municipal and urban logistics. An example of the practical implementation of individual fragments of «tractor-free farming» products in industrial gardening can be an existing model demonstrator of a garden e-Drone, with the pilot name «Russian Shuttle», created at the INTECH Engineering Center of the Michurinsk State Agrarian University. This product with a load capacity of up to 1000 kg and an operating speed from 0 to 30 km/h is designed for harvesting and transporting fruits. A distinctive feature of the Russian Shuttle garden drone is the use of 2 mass-produced electric drive bridges with a capacity of 1.2 kW, which significantly reduces its cost (by 10 times) compared to existing foreign self-propelled garden platforms.*

**Ключевые слова:** сквозная технология, тяговая, тягово-энергетическая и энергетическая концепции, бестракторное земледелие, садоводство, питомниководство, электроприводные модули-трансформеры, технологические модули.

**Keywords:** end-to-end technology, traction, traction-energy and energy concepts, tractor-free agriculture, electric drive transformer modules, technological modules.

На сегодняшний день одно из стратегических направлений развития экономики – обеспечение технологического суверенитета на основе освоения и реализации так называемых критических и сквозных технологий в различных сферах материального производства, включая сельское хозяйство ([https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_447895](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_447895)).

Сквозные технологии – это перспективные технологии межотраслевого назначения, обеспечивающие создание инновационных продуктов и сервисов и оказывающие существенное влияние на развитие экономики, радикально меняя существующие рынки и (или) способствуя формированию новых рынков. Они определяют перспективный облик экономики и отдельных отраслей в течение ближайших 10...15 лет.

Необходимость освоения сквозных технологий и реализация на их основе проектов технологического суверенитета закреплены в проекте Федерального закона «О технологической политике в Российской Федерации». Кроме того, согласно этому документу, основные цели и задачи технологической политики заключаются в «обеспечении технологического суверенитета Российской Федерации и конкурентоспособности отечественной высокотехнологичной продукции и эффективности ее производства за счет технологических инноваций на основе разработки и внедрения критических и сквозных технологий, путем формирования собственных линий разработки».

Перечень сквозных технологий опирается на научно-технологический прогноз (форсайт) и формируется на основе прозрачных процедур, устанавливаемых законодательством Российской Федерации. В отборе технологий должны участвовать ФГБУ «Российская академия наук», научное и образовательное сообщества, объединения предпринимателей.

В представленной работе к обсуждению предлагается новое технологическое направление, обозначенное как

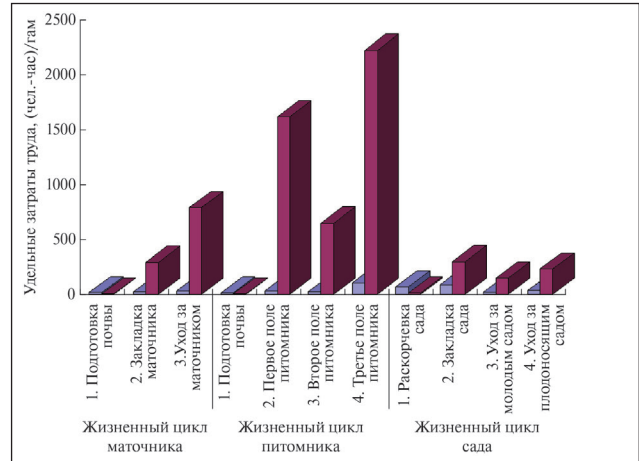


Рис 1. Удельная трудоемкость технологических операций в промышленном садоводстве: ■ – механизированный труд; ■ – ручной труд.

«Межотраслевая сквозная технология «Бестракторное земледелие». К его предметной области относятся отрасли сельского хозяйства, требующие выполнение широкого спектра разнообразных технологических операций с незначительными энергозатратами [1]. В сельском хозяйстве к их числу относятся садоводство, питомниководство (садовое, лесное, ландшафтное), овощеводство, семеноводство и селекция.

Межотраслевой характер нового технологического направления позволяет эффективно использовать изделия «бестракторного земледелия» и в других отраслях экономики, например, в коммунальной и городской логистике. Широта, разнообразие и перспективность «бестракторного земледелия» на полном основании позволяет отнести это направление к категории межотраслевой сквозной технологии, а работы по ее созданию

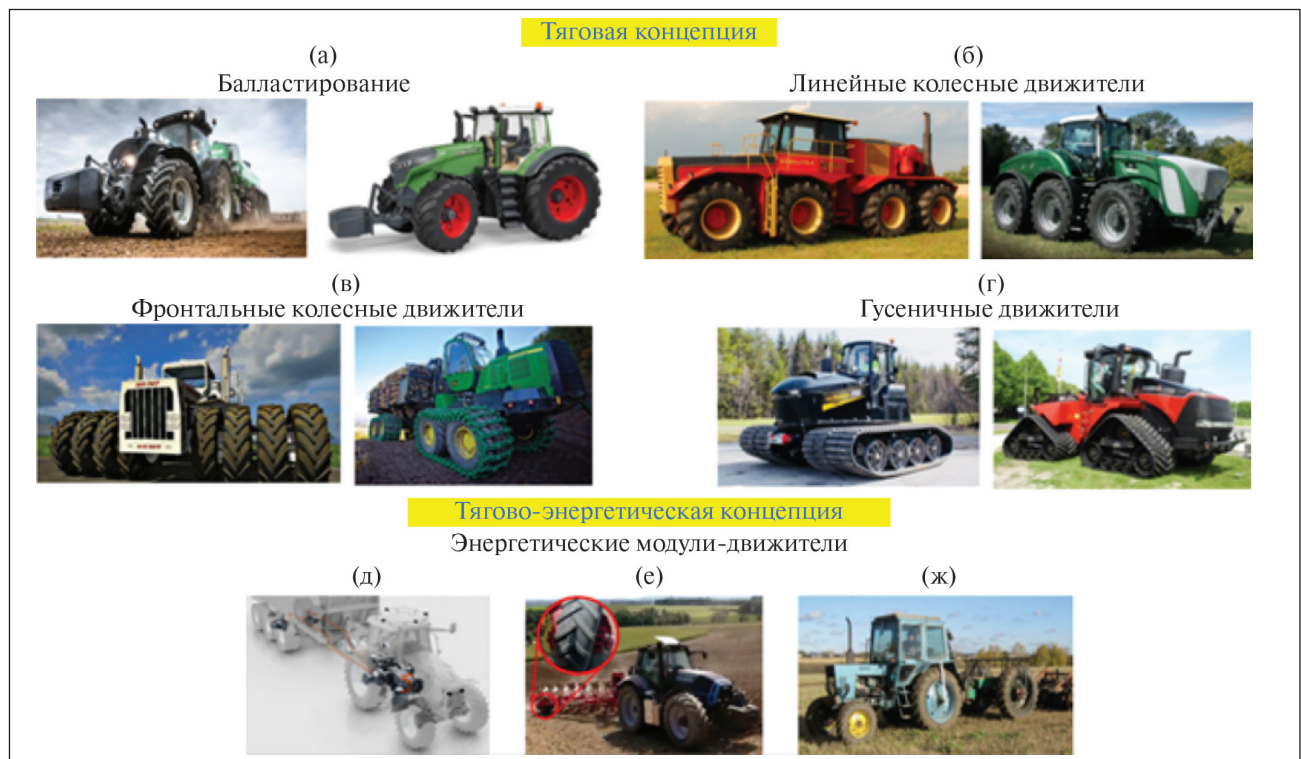


Рис. 2. Способы повышения эффективности тракторов тяговой и тягово-энергетической концепции.

и освоению признать актуальными и весьма востребованными.

Цель исследования – выявление преимуществ «бестракторного земледелия» как межотраслевой сквозной технологии на примере промышленного садоводства и питомниководства.

**Методика.** В основе парадигмы «бестракторного земледелия» лежат прогнозы Станислава Лема, высказанные им в философско-технологических трактатах «Сумма технологий» и «Непобедимый», в которых подробно раскрыта идея возможности создания сложного технического объекта любого предназначения путем разнообразного соединения роботизированных микро-модулей. По его мнению, что-то «технически большое» образуется как синергетическая сумма миниатюрных автономных компонентов, имеющих генетически заложенное в них стремление к объединению. В «бестракторном земледелии» что-то «технически большое» – это агрегаты для выполнения определенной технологической операции, а миниатюрные автономные компоненты – это автономные энергетические и технологические модули, пригодные для самостоятельной работы.

Классическое тракторное земледелие, основанное на тяговой концепции (то есть использовании трактора как тягового энергетического средства), достигло предела в своем развитии, так как дальнейшее повышение эффективности и производительности ограничивается тягово-сцепными свойствами трактора (трактор – англ. tractor от лат. trahere – тащить, тянуть), который может превращать в действительное тяговое усилие только 20...30% своей энергии. Противоречия между требованиями агротехники и развитием функциональных свойств трактора на основе тяговой концепции достигли своего критического состояния и создают объективные трудности для дальнейшего совершенствования.

При формировании новой технологической парадигмы авторы опирались на ряд научных и методологических принципов, определяющих современное развитие сельскохозяйственной техники, а именно:

принципы гравитационного и реактивного земледелия [2], которые предлагают использовать движители сельскохозяйственных машин как рабочие органы;

принципы тягово-энергетической и энергетической концепции тракторного земледелия [3], позволяющие повысить тягово-сцепные свойства и мобильность сельскохозяйственных машин;

принципы мостового земледелия и порталных систем в растениеводстве [4], позволяющие формировать конфигурацию высококлиренсных мобильных энергетических средств в плодоводстве и овощеводстве;

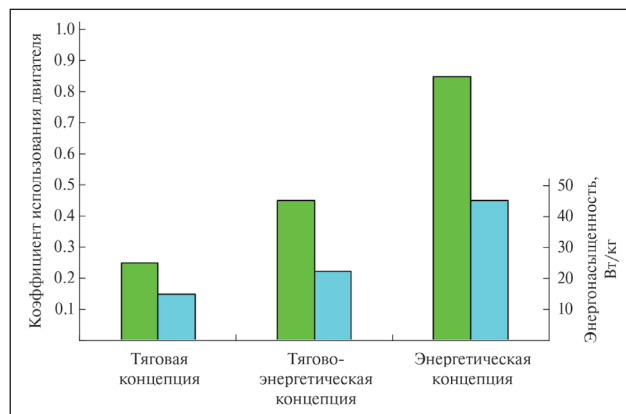
принципы блочно-модульного формирования техники [5], обеспечивающие эффективное построение разнообразных вариантов и компоновок сельскохозяйственных машин на базе унифицированных узлов и агрегатов;

принципы использования электроприводных мехатронных систем [6], позволяющие обеспечить эффективное управление работой сельскохозяйственных машин и их адаптацию к самым различным условиям эксплуатации;

принципы беспилотного транспорта [6], позволяющие обеспечить самостоятельную работу сельскохозяйственных машин в автономном режиме;

принципы групповой робототехники [7], на основе которых можно организовать работу автономных машин-роботов по единой технологической схеме;

принципы кастомизации и персонализации (клиентоориентированности), формирующие бизнес-модели сельхозмашиностроения в условиях цифровой транс-



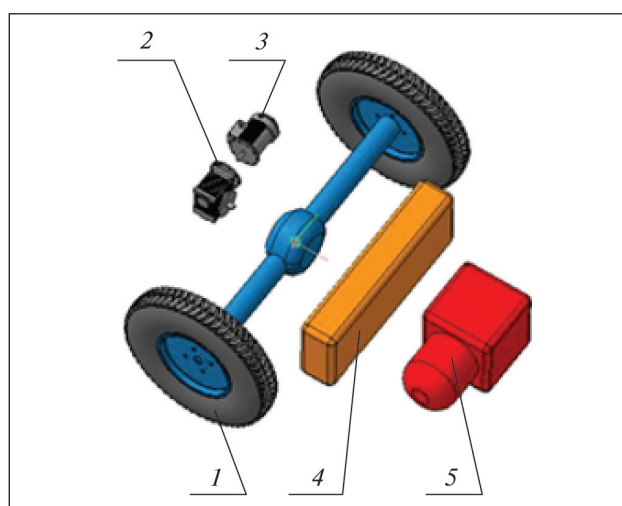
**Рис. 3. Показатели эффективности тяговой, тягово-энергетической и энергетической концепций:**  
■ – коэффициент использования двигателя;  
■ – энергонасыщенность.

формации экономики, определяющие оперативную адаптацию и создание необходимой техники для разнообразных условий и требований потребителя [8].

Использование перечисленных научных и методологических принципов позволило авторам создать новое технологическое направление – межотраслевую сквозную технологию «бестракторное земледелие» и претворить идеи Станислава Лема в реальность.

**Результаты и обсуждение.** Наибольший эффект от применения нового технологического направления «бестракторное земледелие» может быть достигнут в отрасли промышленного садоводства и питомниководства.

Отличительная особенность отрасли отечественного промышленного садоводства и питомниководства – наличие разнообразных природно-климатических условий и, соответственно, различных технологических и производственных схем, определяющих значительные трудозатраты при выполнении технологических операций [9]. Причем практически во всех производственных циклах и технологических операциях преобладает ручной труд (рис. 1). Это указывает на острую необходимость соз-



**Рис. 4. Базовая комплектация энергетических модулей электроприводного типа изделий «бестракторного земледелия»:** 1 – порталный мост; 2 – понижающий редуктор; 3 – низковольтный бесколлекторный электродвигатель с системой управления; 4 – комплект аккумуляторных батарей; 5 – ДВС-генератор.

**Табл. 2. Базовые конфигурации и технический облик изделий «бестракторного земледелия» для отрасли промышленного садоводства и питомниководства**

Базовая конфигурация энергетических модулей-трансформеров электроприводного типа eMT					
продольная схема			поперечная схема		
Технический облик мобильных энергетических изделий «бестракторного земледелия»					
одно-мостовая схема		двух-мостовая схема		трех-мостовая схема	
средне-клиренсная схема			высоко-клиренсная схема		
Базовая конфигурация энергетических модулей-трансформеров eMT в комплекте с технологическими модулями ТМ					
1 –модуль-трансформер (eMT); 2 –технологический модуль (ТМ)					
Технический облик изделий «бестракторного земледелия» для работы в питомниках					
Технический облик изделий «бестракторного земледелия» для работы в садах					
самоходная садовая платформа	робот-сборщик		садовый e-Дрон для уборки и транспортировки плодов		

дания и обеспечения парка машин и орудий для всего диапазона условий и технологий промышленного садоводства и питомниководства.

Ассортимент и разнообразие машин и орудий для отрасли закреплены нормативными документами. Так, отечественной Системой машин на 1986–1995 гг. только для садов экстенсивного и нормального типа было предусмотрено 15 машинно-технологических комплексов, содержащих 70 наименований машин, выполняющих более 160 технологических операций. Система машин для плодоводства Республики Беларусь, утвержденная в 2014 г., предусматривает 11 машинно-технологических комплексов, содержащих 137 наименований машин и орудий.

Для агрегатирования всего разнообразия машин и орудий используются как тракторы общего сельскохозяйственного назначения, так и специализированные садовые и питомниководческие тракторы, снабженные передним и задним (а иногда и боковым) навесными устройствами, а также валом отбора мощности. Садовые и питомниководческие тракторы должны обладать реверсивностью управления (для работы с погрузчиками), герметичностью кабины (для работы с опрыскивателями), малыми габаритами по ширине и высокой изодиметрией (для работы в узких междурядьях), высоким клиренсом (для работы в питомниках и маточниках).

Специфические особенности отрасли промышленного садоводства и питомниководства приводят к чрезмерному увеличению парка тракторов, машин и орудий, что предопределяет необходимость пересмотра подходов к энергетическому обеспечению механизированного выполнения технологических процессов и операций.

Одно из направлений повышения эффективности применения тракторов – увеличение их тягово-сцепных свойств. Для классических тракторов тяговой концепции такая задача решается путем использования следующих мер:

- дополнительное увеличение сцепного веса – балластирование (рис. 2а);
- дополнительная линейная компоновка колесных движителей (рис. 2б);
- дополнительная фронтальная компоновка колесных движителей (рис. 2в);
- применение гусеничных движителей (рис. 2г).

Для тракторов тягово-энергетической концепции увеличение тягово-сцепных свойств обеспечивается следующим образом:

- использование активных рабочих органов агрегируемого орудия (рис. 2д);
- использование дополнительного привода от ВОМ трактора на опорные колеса агрегируемого орудия (рис. 2е);
- использование дополнительного транспортно-технологического модуля с приводом от ВОМ трактора (рис. 2ж).

Наиболее перспективное направление – развитие тракторов на принципах энергетической концепции [2, 3], на основании которой движители трансформируются в рабочие органы, а классические тракторы – в мобильные энергетические средства-модули (МЭС). При реализации энергетической концепции, в отличие от тяговой и тягово-энергетической, практически вся мощность двигателя расходуется на полезное перемещение и выполнение рабочих операций: коэффициент использования движителей повышается в 2...5 раз, а энергонасыщенность – в 2...3 раза (рис. 3).

Энергетическая концепция подразумевает максимально возможное использование мощности двигателя для полезного перемещения и выполнения рабочих процессов, что позволяет формировать мобильные энергетические модули в комплекте с технологическими модулями любой конфигурации для работы в самых разнообразных условиях и выполнения любой технологической операции. Исходный концептуальный принцип «бестракторного земледелия» заключается в отказе от применения трактора как единственно возможного мобильного энергетического средства и переходе к наборам энергетических модулей-трансформеров электроприводного типа в комплекте с технологическими модулями, конфигурация и технический облик которых определяется условиями и видами технологических операций [1]. Отличительная особенность нового технологического направления – возможность использования хорошо зарекомендовавших себя на практике серийных компонентов массового производства (рис. 4) при формировании энергетических модулей-трансформеров, что обеспечивает их кастомизацию и бюджетирование [1, 10, 11].



Рис. 5. Садовый e-Дрон «Русский челнок».

Для промышленного садоводства и питомниководства базовые конфигурации изделий «бестракторного земледелия» включают энергетические модули-трансформеры электроприводного типа eMT в комплекте с технологическими модулями ТМ, что позволяет охватить весь спектр условий и технологических операций (табл. 2).

Концепция и принципы «бестракторного земледелия» позволяют оперативно и с минимальными финансовыми затратами обеспечить необходимое количество машин и орудий для самых различных условий и технологий, что определяет это направление как «межотраслевую сквозную технологию». Примером практической реализации отдельных элементов «бестракторного земледелия» может служить действующий макет-демонстратор садового e-Дрона с пилотным названием «Русский челнок», созданный в Инжиниринговом центре ИнТех ФГБОУ ВО Мичуринского государственного аграрного университета (рис. 5). Это изделие с грузоподъемностью до 1000 кг и рабочей скоростью от 0 до 30 км/ч предназначено для сбора и транспортировки плодов. Отличительная особенность садового e-Дрона «Русский челнок» – использование 2 электроприводных мостов массового производства мощностью 1,2 кВт, что значительно снижает его стоимость (в 10 раз) по сравнению с существующими зарубежными самоходными садовыми платформами (в России такие платформы не производят).

**Выводы.** Исходным концептуальным принципом «бестракторного земледелия» служит отказ от применения трактора как единственно возможного мобильного энергетического средства и переход к наборам энергетических модулей-трансформеров электроприводного типа в комплекте с технологическими модулями, конфигурация и технический облик которых определяется условиями и видами технологических операций. Такой подход полностью обеспечивает технико-технологическое оснащение отрасли промышленного садоводства и питомниководства на всем диапазоне выполнения технологических операций. Универсальный характер методов «бестракторного земледелия» позволяет применять их во многих отраслях сельского хозяйства.

#### Литература.

1. Завражнов А. А., Завражнов А. И., Ланцев В. Ю. Принципы бестракторного земледелия в современном сельском хозяйстве // *Цифровизация агропромышленного комплекса: сборник научных статей II Международной научно-практической конференции. Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. Т. 1. С. 287–292.*
2. Гайко С. Н. Почвообрабатывающие рабочие органы – движители. *Зерноград: Печатно-множительная группа ВНИИПТИМЭСХ, 1999. 139 с.*
3. Кутыков Г. М. Развитие технической концепции трактора. *Тракторы и сельхозмашины // Тракторы и сельхозмашины. 2019. № 1. С. 27–35. doi: 10.31992/0321-4443-2019-1-27-35.*
4. Chamen W. C. T., Dowler D., Leede P. R., Longstaff D. J. Design, operation and performance of a gantry system: experience in arable cropping // *Journal of Agricultural Engineering Research. 1994. Vol. 59. P. 45–60. doi: 10.1006/JAER.1994.1063.*
5. Васильев А. Л. Модульный принцип формирования техники. М.: Изд-во стандартов, 1989. 238 с.
6. Дидманидзе О. Н., Девянин С. Н., Парлюк Е. П. Трактор сельскохозяйственный: вчера, сегодня, завтра // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 21 (1). С. 74–85. doi: 10.30766/2072-9081.2020.21.1.74-85.*
7. Коллективы интеллектуальных роботов. Сферы применения / под ред. В. И. Сырямкина. Томск: STT, 2018. 140 с.
8. Жилкин О. Н., Лопаткин Р. В. Массовая кастомизация. Влияние на конкурентоспособность авиастроительных предприятий и развитие их индустриальных моделей // *Вестник Евразийской науки. 2018. Т. 10. № 5. URL: <https://esj.today/PDF/49ECVN518.pdf> (дата обращения: 09.06.2024).*
9. Завражнов А. А., Завражнов А. И., Ланцев В. Ю. Передовые производственные технологии в решении проблем механизации трудоемких процессов в промышленном садоводстве // *Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 8. С. 58–61.*
10. Инновационные технологии и технические средства для промышленного садоводства и питомниководства / А. А. Завражнов, А. Ю. Измайлов, А. И. Завражнов и др. // *Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019. Т. 13. № 4. С. 16–25.*
11. Импортозамещение сельскохозяйственной техники для садоводства / А. И. Завражнов, А. Ю. Измайлов, А. А. Завражнов и др. // *Техника и оборудование для села. 2019. № 1. С. 2–6.*

Поступила в редакцию 19.08.2024

После доработки 14.09.2024

Принята к публикации 08.10.2024