

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН НА ПРИМЕРЕ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

---

**Евгений Васильевич Пухов**  
**Владимир Константинович Астанин**  
**Виталий Анатольевич Следченко**  
**Светлана Сергеевна Мешкова**  
**Виталий Сергеевич Волков**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Развитие технологий точного земледелия стало возможным благодаря появлению программно-аппаратных средств, глобальной системы определения координат, геоинформационных систем и их интегрированию в транспортные и технологические машины, в том числе сельскохозяйственного назначения. В исследованиях ученых отмечается необходимость разработки комплексной системы управления сельскохозяйственным производством, способной быстро изменять набор разного рода составных блоков (элементов) и функционировать как единый механизм. Комплексные высокотехнологичные системы точного земледелия повсеместно используются в процессе производства сельскохозяйственной продукции, в том числе в уборочно-транспортных процессах, так как они оказывают влияние на себестоимость конечной продукции. На основе анализа результатов исследований ученых, занимающихся развитием технологий точного земледелия, показана необходимость совершенствования технологии уборочных работ и технических средств для их реализации. Одним из способов повышения эффективности управления уборочно-транспортным процессом является сокращение простоев транспортных и технологических машин (комбайнов и транспортных средств). Систематизированы и структурированы затраты времени на выполнение транспортных работ при уборке зерновых культур. Выделены временные интервалы, приводящие к простоям используемых технологических машин и автомобилей. Представлена система оценки эффективности функционирования техники при проведении уборочно-транспортных работ, базирующаяся на определении потерь рабочего времени из-за несвоевременной подачи транспортного средства к уборочному агрегату. Предложенная модель оценки эффективности функционирования уборочно-транспортного процесса базируется на оперативном учете технологических операций и фиксации затрат времени на каждой операции. Устранение несогласованности работ автомобилей и комбайнов позволяет повысить производительность на этапе уборочно-транспортных циклов на 15% и, как следствие, сократить сроки уборки и потери зерна.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** технологии точного земледелия, уборочно-транспортный процесс, функционирование машин, потери рабочего времени, зерновые культуры.

## MODELING OF OPERATION OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES IN A SPECIFIC CONTEXT OF GRAIN CROPS HARVESTING

**Evgeniy V. Pukhov**  
**Vladimir K. Astanin**  
**Vitaliy A. Sledchenko**  
**Svetlana S. Meshkova**  
**Vitaliy S. Volkov**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The development of precision farming technologies became possible due to the emergence of hardware and software platform, Global Positioning System (GPS), Geographic Information Systems (GIS) and their integration into transport and technological machines including those used for agricultural purposes. Many scientists justify the necessity of further development of the integrated management system of agricultural production capable to change quickly a set of various components (elements) and to function like a single well-oiled machine. Integrated high-tech precision farming systems are widely used in the production of agricultural products, including harvesting and transport processes, as they exert a meaningful impact on the cost of producing. Based on the analysis of data published by the scientists engaged in the development of precision farming technologies, the

necessity of improving harvesting technologies and technical means for their implementation was shown. One way to enhance the efficiency of management of harvesting and transport process is to reduce downtime of transport and technological machines (harvesters and vehicles). The authors systematized and structured work time expenditures required for execution of transport operations during harvesting; defined time intervals resulting in downtime of the technological machines and cars; proposed effectiveness evaluation system of combine harvesters and machines performance during harvesting and transportation based on the definition of losses of working hours (delays) because of late placement of vehicle to the harvesting aggregate. The authors' model of harvesters and machines performance effectiveness evaluation is based on the real-time accounting of technological operations and calculation of time spent on each operation. Elimination of mismatching between vehicles and combine harvesters allows increasing productivity of harvesting and transport cycles by 15% and, as a result, reducing harvest time and grain losses.

KEYWORDS: precision farming technologies, harvesting and transportation process, machines performance operation, loss of working hours (delays), grain crops.

**В**ведение  
Применение прецизионной технологии в земледелии и решение вопросов ее гармонизации с процессами управления сельскохозяйственным производством являются перспективным направлением исследований. Точное земледелие можно определить как процесс интегрирования информационных систем с транспортными и технологическими машинами, обеспечивающий дифференцированную обработку отдельных участков поля с учетом неоднородности и плодородия почвы, распространения вредителей, болезней и сорняков и позволяющий максимально рационально организовывать время уборочно-транспортных работ. Развитие технологии точного земледелия способствует созданию основы для экономически высокоэффективного и экологически обоснованного землепользования [19].

Развитию технологий точного земледелия посвящены труды таких ученых, как В.И. Балабанов, М.А. Бурьянов с соавт., Э.В. Жалнин, А.И. Завражнов, А.Ю. Измайлов с соавт., Г.И. Личман с соавт., М.Н. Московский с соавт., Г.А. Окунев с соавт., И.Г. Смирнов с соавт., Е.В. Труфляк с соавт., В.Ф. Федоренко и др. [1, 2, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 18, 19]. Проблемы повышения эффективности совместной работы технологических и транспортных машин при проведении сельскохозяйственных работ решали Г.Г. Маслов с соавт., О.Ф. Савченко с соавт., С.Д. Шепелев и др. [10, 16, 20].

Для получения конечной продукции с наименьшими затратами ресурсов необходима правильно подобранная система машин для всего производственного процесса. В настоящее время большинство сельскохозяйственных предприятий используют современную энергонасыщенную и высокопроизводительную технику, которая эксплуатируется на вспашке, лущении, культивации, дисковании, плоскорезной обработке (как отдельно, так и при агрегатировании с различными дополнительными орудиями), а также на различных транспортных работах.

В настоящее время существует множество технологий, позволяющих повысить эффективность уборочно-транспортного процесса. Известна технология с использованием бункера-перегрузчика. В то время как транспортные машины осуществляют перевозки на ток и выгружают зерновой материал, комбайны могут проводить выгрузку зернового материала в бункер-перегрузчик и затем продолжать работать. Вернувшиеся транспортные средства наполняют кузова зерновым материалом из бункера. Сокращаются простои техники, а производительность повышается. Однако использование такой технологии требует закупки дополнительного оборудования, проводить обучение соответствующего обслуживающего персонала [11, 15].

Применение технологии выгрузки «на ходу», т. е. выгрузка зернового материала комбайном во время движения в транспортное средство, позволяет сократить потери времени, но при этом требуется разработка средств, обеспечивающих равномерное движение транспортных и технологических машин и средств для контроля наполняемости бункера. Применение данной технологии ограничено грузоподъемностью транспортных средств и ведет к уплотнению почвы.

Известна технология рукавного хранения зернового материала в пластиковых рукавах, которые устанавливаются непосредственно на полях, создавая вместительные склады. Хранить зерновой материал в рукавах можно в разных климатических зонах в течение продолжительного времени. Технология является относительно новой и имеет ряд преимуществ и недостатков (в частности, отсутствие контроля качества зерна). Сам материал, из которого сделан рукав, требует бережного отношения в целях сохранения герметичности [1, 2].

Прогнозирование жатвенных мероприятий с учетом погодных условий, определение уровня спелости зерновых культур, оценка количества и состояния уборочных машин являются важными параметрами уборочного процесса. Несмотря на ведущиеся разработки системного подхода к комплексной оптимизации процессов уборки, транспортировки и очистки зерна с учетом различных факторов, в настоящее время управление транспортным процессом в изменяющихся условиях реализуется недостаточно оперативно [10, 21].

Для большинства сельскохозяйственных операций, в том числе уборочных, согласованность работ технологических машин с транспортными средствами имеет важное значение. Во время совместной работы технологических машин с транспортными средствами неизбежно возникают простои, которые при уборке зерновых культур могут достигать 20–25% от общего времени работы [22].

Применение информационных технологий позволит устранить указанные недостатки. Простаивая в ожидании выгрузки зернового материала, автомобили и комбайны не выполняют технологические операции, превращаются в зерновые хранилища, усиливая несогласованность в работе транспортных средств, что сказывается на эффективности работ. Своевременное использование потенциала техники и соблюдение требуемых сроков уборки являются важнейшими факторами, обеспечивающими снижение физиологических, технических и технологических потерь зерна [7].

Создание комплексной системы учета затрат времени позволит прогнозировать время подъезда транспортного средства для выгрузки из комбайна и, как следствие, сократить потери рабочего времени машин, а также определить эффективность разрабатываемых инновационных технических средств и технологий.

### **Теоретические основы повышения эффективности управления сельскохозяйственным производством на основе сокращения простоев комбайнов и транспортных средств**

Рассмотрим технологический процесс производства зерновых культур, который можно разбить на ряд подпроцессов:

- обработка почвы и внесение удобрений;
- посев и уход за ними;
- уборка зерновых культур;
- послеуборочная обработка.

Для реализации технологического процесса производства зерновых культур необходим комплекс машин, выполняющих определенные операции, а для сокращения простоев техники при выполнении каждой сельскохозяйственной операции необходимо формирование системы управления производством по обеспечивающим процессам.

Условно процесс производства зерновых культур можно представить в виде структурно-технологической схемы (рис. 1).

Управление сельскохозяйственным производством может осуществляться соответствующим центром управления. На каждом этапе предусмотрена реализация ряда сельскохозяйственных операций в определенной последовательности (на рисунке этапы обозначены римскими цифрами I, II, III, IV, V и VI).

Информационные потоки, которые поступают в центр приема и обработки данных от датчиков технологических машин и транспортных средств, могут быть представлены в виде схемы (рис. 2).

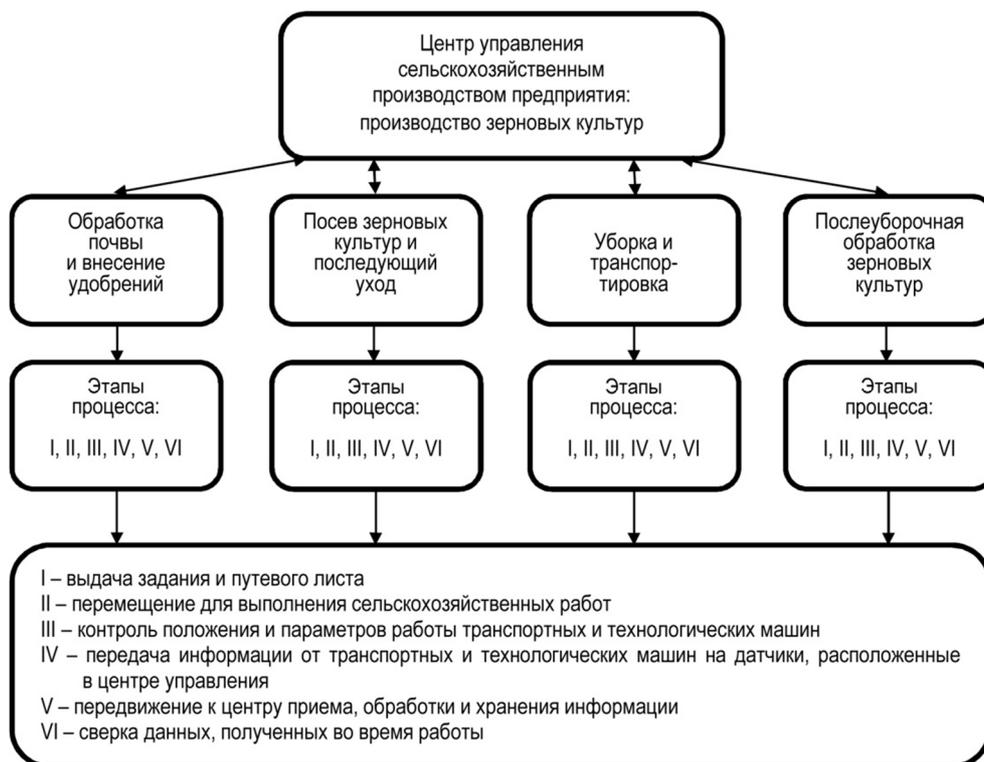


Рис. 1. Структурно-технологическая схема процесса производства сельскохозяйственных культур (на примере зерновых)

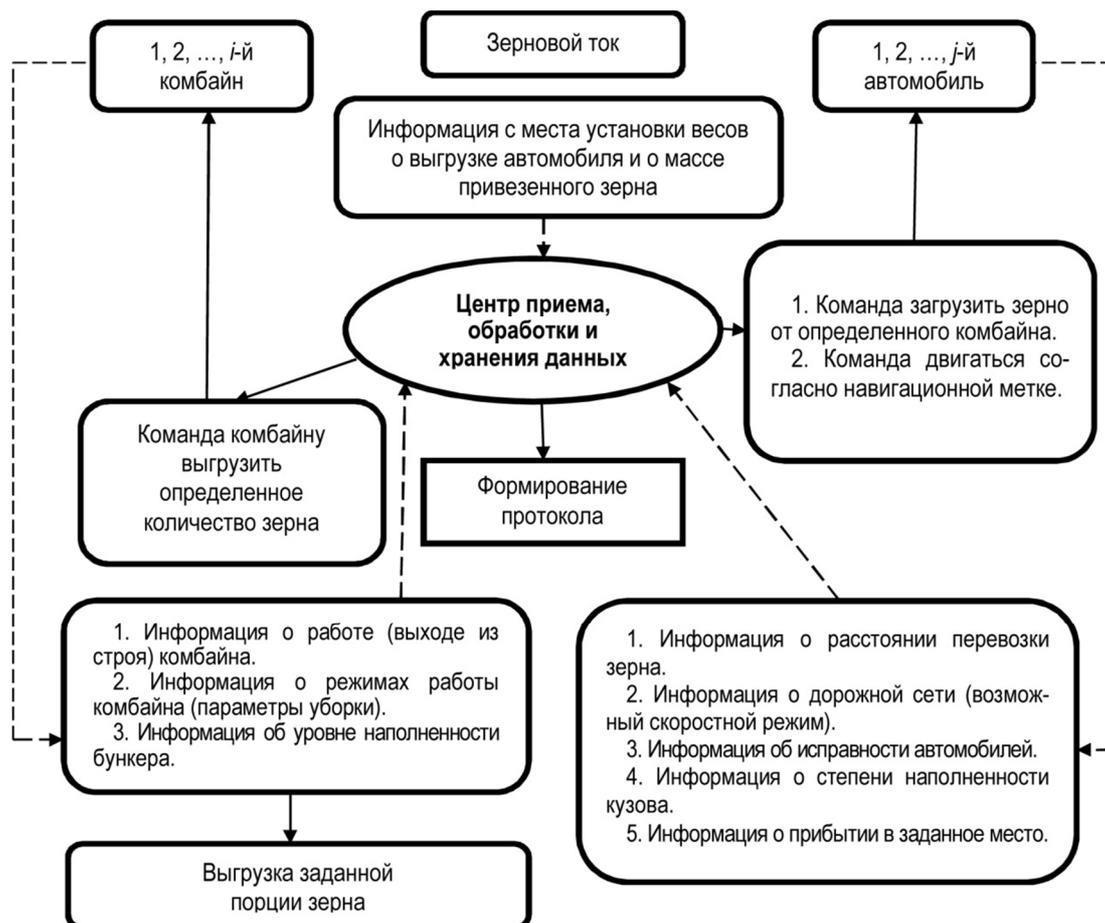


Рис. 2. Схема информационных потоков при контроле и управлении уборочно-транспортными процессами

## ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

В центр приема данных с автомобиля поступает информация о степени наполненности кузова и информация о его прибытии. Далее из центра управления водителю поступает команда получить зерновой материал от комбайна с указанием места погрузки. От комбайна в центр управления передается информация о наполненности бункера и о выгрузке зернового материала. Затем на информационные датчики комбайнов подается команда выгрузить определенное количество зерна и фиксируется информация о разгрузке автомобиля и о массе привезенного зерна. Предложенная схема информационных потоков по контролю и управлению уборочно-транспортным процессом с учетом потерь времени на ожидание загрузки транспортными средствами и разгрузки комбайна позволяет систематизировать информацию о потерях времени на каждой технологической операции.

Указанная схема учитывает взаимное расположение комбайна и транспортных средств на местности и позволяет сократить простои техники и повысить их производительность.

### Результаты и их обсуждение

Для определения перспективности рассмотренного подхода по учету затрат времени были проведены хронометражные наблюдения за работой зерноуборочных комбайнов и транспортных средств в производственных условиях (табл. 1).

Таблица 1. Условия проведения экспериментальных исследований

Время уборки	3-я, 4-я декады июля
Тип культуры, сорт	Озимая пшеница, Престиж
Площадь поля	117 га
Тип уборочной техники	Зерноуборочный комбайн базовой комплектации ACROS 580, агрегатированный жаткой Power Stream
Схема движения комбайна	Загонная
Способ транспортировки зернового материала	Прямой
Время работы комбайна	8 часов
Автотранспорт	Среднетоннажный

Исследования проводились на базе предприятия ООО «Маяк» Воронежской области, задачей исследования являлось изучение влияния результатов мониторинга наполняемости бункера комбайна на временные потери из-за простоя единицы техники, оборудованной соответствующим устройством или без него.

Результаты серии хронометражных наблюдений в течение восьмичасовой рабочей смены без учета обеденного перерыва приведены в таблице 2.

Таблица 2. Сводная таблица хронометражных наблюдений, мин.

Параметры	Без устройства мониторинга наполняемости бункера	С устройством мониторинга наполняемости бункера
Общее время наблюдений	510	510
Общее время работы комбайна в загоне	480	480
Общее ожидание подъезда автотранспорта	72	14
Общее время на выгрузку зернового материала	30	32
Общее время работы комбайна без учета простоев	408	466

Как следует из данных таблицы 2, продолжительность работы комбайна без устройства мониторинга наполняемости бункера составила 408 мин., с устройством мониторинга наполняемости – 466 мин. Результаты хронометражных наблюдений по-

казали, что общие простои из-за ожидания уборочно-транспортной техники составили 72 мин., в то время как с использованием устройства для мониторинга наполняемости бункера комбайна потери снизились до 14 мин.

С использованием математических зависимостей определяли производительность комбайна во время уборки: в производственных условиях производительность повысилась с 0,25 до 0,3 га/мин, или на 15% [17].

Таким образом, на базе предложенной методики сельхозтоваропроизводители могут создавать комплексную систему управления процессами сельскохозяйственного производства, определять показатели нагруженности узлов и механизмов сельскохозяйственной техники, периодичность технического обслуживания и ремонта машин, формировать системы управления структурой парка технических средств [3, 4, 5, 23, 24].

### Выводы

1. Предложенная модель оценки эффективности функционирования уборочно-транспортного процесса с учетом потерь времени на ожидание загрузки транспортных средств и разгрузки комбайна должна базироваться на оперативном учете технологических операций и обеспечивать фиксацию затрат времени на каждой технологической операции.

2. Устранение несогласованности работ автомобилей и комбайнов позволяет повысить производительность на этапе уборочно-транспортных циклов на 15%, при этом сокращаются сроки уборки и потери зерна.

3. Для развития информационных технологий при уборке зерновых требуется дальнейшая адаптация модели учета затрат времени для других сельскохозяйственных культур.

### Библиографический список

1. Балабанов В.И. Обзор технологических решений для уборочной техники / В.И. Балабанов // Агротехника и технологии. – 2016. – № 4. – С. 19–21.
2. Бурьянов А.И. Оценка новых нетрадиционных технологий уборки зерновых колосовых культур / А.И. Бурьянов, А.И. Дмитриенко, М.А. Бурьянов // Техника и оборудование для села. – 2010. – № 12. – С. 16–19.
3. Варнаков Д.В. Теоретические основы концепции технического сервиса машин по фактическому состоянию на основе оценки их параметрической надежности / Д.В. Варнаков, О.Н. Дидманидзе // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017. – № 2 (57). – С. 67–71.
4. Дидманидзе О.Н. Повышение параметрической надежности автомобильных двигателей / О.Н. Дидманидзе, Д.В. Варнаков // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2007. – № 5. – С. 2–7.
5. Дидманидзе О.Н. Исследования показателей тепловыделения газовых двигателей / О.Н. Дидманидзе, А.С. Афанасьев, Р.Т. Хакимов // Записки Горного института. – 2018. – Т. 229. – С. 50–55.
6. Жалнин Э.В. Классификация потерь зерна и их оценка / Э.В. Жалнин // Сельский механизатор. – 2014. – № 9. – С. 4–6.
7. Измайлов А.Ю. Автоматизированные информационные технологии в производственных процессах растениеводства / А.Ю. Измайлов, В.К. Хорошенков // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – № 4. – С. 3–9.
8. Личман Г.И. Интеллектуальное земледелие как дальнейшее развитие идей точного земледелия / Г.И. Личман, И.Г. Смирнов, А.И. Беленков // Нивы Зауралья. – 2015. – № 1 (123). – С. 60–63.
9. Личман Г.И. Смарт фарминг (smartfarming) как дальнейшее развитие идей точного земледелия (precision agriculture) / Г.И. Личман, И.Г. Смирнов // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий : сб. трудов международной науч.-техн. конф. (Россия, г. Москва, 17–18 сентября 2014 г.). – Москва : Всероссийский НИИ механизации сельского хозяйства, 2014. – С. 394–399.
10. Маслов Г.Г. Многоуровневый системный подход к комплексной оптимизации процессов уборки, транспортировки и очистки зерна / Г.Г. Маслов, С.А. Малышев // Научный журнал КубГАУ. – 2016. – № 124 (10). – С. 24.
11. Математическая модель определения уровня зерна в бункере комбайна / Е.В. Пухов, В.А. Следченко, М.Г. Тимошинов, С.С. Мешкова // Международный технико-экономический журнал. – 2018. – № 3. – С. 20–25.
12. Московский М.Н. Повышение эффективности транспортирующих устройств конвейерного типа при перегрузке семян зерновых / М.Н. Московский, Г.А. Адамян, Р.Г. Косьминин // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 4 (38). – Ст. 130.
13. Окунев Г.А. Расчет состава уборочно-транспортных звеньев на уборке зерновых культур : методические указания / Г.А. Окунев, С.П. Маринин. – Челябинск : ФГБОУ ВО ЧГАУ, 2007. – 20 с.

14. Практикум по точному земледелию : учеб. пособие / А.И. Завражнов, М.М. Константинов, А.П. Ловчиков и др. – Санкт-Петербург : Лань, 2015. – 224 с.
15. Пухов Е.В. Совершенствование метода контроля веса зерна при уборочных работах / Е.В. Пухов, М.Г. Тимошинов // Вестник НГИЭИ. – 2017. – № 12 (79). – С. 77–86.
16. Савченко О.Ф. Применение информационных технологий в инженерно-технической системе АПК / О.Ф. Савченко, А.В. Шинделов // Вестник НГАУ. – 2013. – № 4 (29). – С. 99–104.
17. Спирин Н.А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента : конспект лекций (отдельные главы из учебника для вузов) / Н.А. Спирин, В.В. Лавров ; под общ. ред. проф. д-ра техн. наук Н.А. Спирина. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2004. – 257 с.
18. Труфляк Е.В. Точное сельское хозяйство: цифровые технологии в АПК / Е.В. Труфляк, Н.Ю. Курченко // Новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона : матер. XII Международной науч.-практ. конф., Ставропольский ГАУ, электроэнергетический факультет (Россия, г. Ставрополь, 25–26 мая 2018 г.). – Ставрополь : Изд-во Ставропольского ГАУ, 2018. – Т. 2. – С. 136–138.
19. Федоренко В.Ф. Информационные технологии в сельскохозяйственном производстве : научный аналитический обзор / В.Ф. Федоренко. – Москва : ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 223 с.
20. Шепелев С.Д. Согласование параметров технических средств в уборочных процессах : дис. ... д-ра тех. наук : 05.20.01 / С.Д. Шепелев. – Челябинск, 2010. – 459 с.
21. Цифровое сельское хозяйство (Обзор цифровых технологий сельхозназначения) / А.Ю. Измайлов, З.А. Годжаев., А.П. Гришин, А.А. Гришин, А.А. Дорохов. // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 2 (31). – С. 41–52.
22. A method to assess congestion in various traffic directions / A. Simdiankin, I. Uspensky, L. Belyu, K. Ratnikov // Transportation Research Procedia. – 2018. – Vol. 36. – Pp. 725–731.
23. Aldoshin N. Harvesting *Lupinus albus* axial rotary combine harvesters / N. Aldoshin, O. Didmanidze // Research in Agricultural Engineering. – 2018. – Vol. 64, No. 4. – Pp. 209–214.
24. Didmanidze O.N. The development of the automobile transport in agriculture / O.N. Didmanidze, G.E. Mityagin, A.M. Karev // TAE 2016 – Proceedings of 6th International Conference on Trends in Agricultural Engineering. – 2016. – Vol. 6. – Pp. 138–149.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Евгений Васильевич Пухов – доктор технических наук, зав. кафедрой эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: puma213@yandex.ru.

Владимир Константинович Астанин – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: astanin\_vk@mail.ru.

Виталий Анатольевич Следченко – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: sled-ko@yandex.ru.

Светлана Сергеевна Мешкова – аспирант кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: sveta\_meshkova\_55@mail.ru.

Виталий Сергеевич Волков – аспирант кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: kafexpl@agroeng.vsau.ru.

Дата поступления в редакцию 01.09.2019

Дата принятия к печати 28.09.2019

### AUTHOR CREDENTIALS Affiliation

Evgeniy V. Pukhov, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Dept. of Transport Vehicles and Production Machines Operation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: puma213@yandex.ru.

Vladimir K. Astanin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Transport Vehicles and Production Machines Operation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: astanin\_vk@mail.ru.

Vitaliy A. Sledchenko, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Transport Vehicles and Production Machines Operation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: sled-ko@yandex.ru.

Svetlana S. Meshkova, Postgraduate Student, the Dept. of Transport Vehicles and Production Machines Operation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: sveta\_meshkova\_55@mail.ru.

Vitaliy S. Volkov, Postgraduate Student, the Dept. of Transport Vehicles and Production Machines Operation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: kafexpl@agroeng.vsau.ru.

Received September 01, 2019

Accepted September 28, 2019