



# ТРАКТОРЫ И СЕЛЬХОЗМАШИНЫ

---

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

---

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Шарипов В.М.**

Издается с февраля 1930 г.

**12•2017**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Годжаев З.А.**

**Горбачёв И.В.**

**Городецкий К.И.**

**Ерохин М.Н.**

**Жалнин Э.В.**

**Измайлов А.Ю.**

**Ковалёв М.М.**

**Котиев Г.О.**

**Ксенович Т.И.**

**Кутьков Г.М.**

**Лачуга Ю.Ф.**

**Ляшенко М.В.**

**Предигер В.**

**Фомин В.М.**

**Щельцын Н.А.**

**Учредитель**

- Редакция

---

Зарегистрирован Федеральной службой  
по надзору в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций 18.03.2016  
ПИ № ФС77-65085

---

Журнал входит в перечень ВАК РФ  
изданий для публикации трудов соискателей  
ученых степеней, а также в Российский индекс  
научного цитирования (РИНЦ)

**Издатель**

Московский Политех

Адрес редакции:

115280, Москва, Автозаводская, 16  
Тел. (495) 276-33-67  
E-mail: izdat.mospolytech@yandex.ru  
Сайт: www.mospolytech.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ	ENVIRONMENTALLY CLEAN TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT	
НОВЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ	NEW MACHINES AND EQUIPMENT	
ТЕОРИЯ, КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ	THEORY, DESIGN, TESTING	
ХРОНИКА	CHRONICLE	
<b>Алатырев С.С., Юркин А.П., Кручинкина И.С., Алатырев А.С.</b> Производственная проверка нового способа механизированной уборки кочанной капусты	<b>Alatyrev S.S., Yurkin A.P., Kruchinkina I.S., Alatyrev A.S.</b> Production testing of the new method of mechanical harvesting of cabbage	3
<b>Бекеев А.Х., Алиев А.Я., Алиев С.А.</b> Силовой агрегат универсально-пропашных тракторов тягового класса 1,4 с интегрированным стартер-генератором	<b>Bekeev A.Kh., Aliev A.Ya., Aliev S.A.</b> The power unit of universal tractors of traction class 1,4 with an integrated starter generator	8
<b>Ву Д.К., Соленая О.Я., Ронжин А.Л.</b> Обзор робототехнических захватов для физических манипуляций с аграрной продукцией	<b>Vu D.K., Solenaya O.Ya., Ronzhin A.L.</b> Over-view of robotic grippers for physical manipulation with agricultural products	14
<b>Лопарева С.Г., Мекшун Ю.Н., Фоминых А.В., Лопарев Д.В.</b> Совершенствование технологического процесса посева стерневыми сеялками	<b>Lopareva S.G., Mekshun Yu.N., Fominykh A.V., Loparev D.V.</b> Improvement of the technological process of sowing by stubble seeders	25
<b>Войнаш С.А., Войнаш А.С.</b> Исследование тяговой динамики гусеничного трактора-самосвала	<b>Voynash S.A., Voynash A.S.</b> Study of traction dynamics of a caterpillar tractor wagon	32
<b>Гоц А.Н.</b> Экспериментальное определение коэффициента основной нагрузки резьбового соединения головки шатуна с косым разъемом	<b>Gots A.N.</b> Experimental determination of the main load factor of threaded connection of connecting rod head with oblique connector	37
<b>Махмутов М.М., Хисматуллина Ю.Р.</b> Формирование движущей силы колесных и гусеничных машинно-тракторных агрегатов	<b>Makhmutov M.M., Khismatullina Yu.R.</b> Formation the driving force of wheeled and caterpillar machine-tractor units	43
<b>Путинцев С.В., Кириллов А.Г., Ратников А.С.</b> Результаты моделирования вторичной кинематики поршня в цилиндре быстроходного дизеля	<b>Putintsev C.B., Kirillov A.G., Ratnikov A.S.</b> Results of modeling the secondary kinematics of the piston in the cylinder of a high-speed diesel engine	48
<b>Баулина Е.Е., Кравец В.Н., Круташов А.В., Серебряков В.В., Шарипов В.М.</b> К 30-летию учебно-методических объединений вузов страны	<b>Baulina E.E., Kravets V.N., Krutashov V.V., Serebryakov A.V., Sharipov V.M.</b> The 30th anniversary of the Educational and method-ological associations of higher educational institutions of the country	56

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении по каталогу «Пресса России» – индекс 27863, а также в агентствах: «Информнаука», тел. (495) 787-38-73, gladkih@viniti.ru; «Урал-Пресс», тел. (495) 789-86-36, e\_timoshenkova@ural-press.ru; «МК-Периодика», тел. (495) 672-70-89, chernous@periodicals.ru

Перепечатка материалов из журнала возможна при обязательном письменном согласии редакции.  
При перепечатке ссылка на журнал «Тракторы и сельхозмашины» обязательна.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

За приводимые в статьях факты, точность расчетов и экспериментальных данных, а также за точность цитирования и ссылок на источники ответственность несут авторы.

# ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА НОВОГО СПОСОБА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ УБОРКИ КОЧАННОЙ КАПУСТЫ

## PRODUCTION TESTING OF THE NEW METHOD OF MECHANICAL HARVESTING OF CABBAGE

**С.С. АЛАТЫРЕВ**, д.т.н.  
**А.П. ЮРКИН**  
**И.С. КРУЧИНКИНА**, к.т.н.  
**А.С. АЛАТЫРЕВ**, к.т.н.

Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, Чебоксары, Россия, S\_Alatyrev1955@mail.ru

**S.S. ALATYREV**, DSc in Engineering  
**A.P. YURKIN**  
**I.S. KRUCHINKINA**, PhD in Engineering  
**A.S. ALATYREV**, PhD in Engineering

Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, Russia, S\_Alatyrev1955@mail.ru

Белокочанная капуста – традиционная овощная культура в России, легко повреждаемая при механических воздействиях. К тому же уборка ее сопровождается значительными трудовыми и материальными затратами. С учетом названных особенностей предложен новый способ механизированной уборки кочанной капусты, при котором сначала кочаны капусты выравниваются в ряду лифтерами, затем направляются под прижимной транспортер, где происходит их фиксация и срез. Срезанные кочаны направляются выносным и прижимным транспортерами на переборочный транспортер-обрезчик. На переборочном транспортере-обрезчике кочаны подвергаются инспекции. Рабочие отбирают кочаны с длинными кочерыгами и розеточными листьями и вставляют их в отверстия пластинчатого полотна транспортера-обрезчика, в которых они повторно обрезаются при встрече с пассивным ножом. В результате розеточные листья отделяются от кочанов, а срезанные кочерыжки скатываются по лотку на землю. Далее кочаны и свободные листья, отделившиеся от кочанов после повторной обрезки, поступают на прутковый элеватор, где последние снова отсеиваются, а кочаны направляются на отгрузку. В отличие от традиционного способа уборки кочанной капусты, кочаны отгружают капустоуборочным комбайном сначала на гибкий настил корытообразной формы, установленный на специальной стойке на платформе транспортного средства над съемными контейнерами. Затем кочаны с настила бережно перекладывают в контейнеры для последующей закладки в них на хранение. После наполнения контейнеров транспортное средство направляют в хранилище, где с помощью вилочного погрузчика груженные контейнеры заменяют порожними, оставляя гибкий настил со стойкой на платформе для выполнения следующего цикла работ. В уборочный сезон 2017 года предложенная технология механизированной уборки кочанной капусты проверена в производственных условиях ООО «Чапаевское» Республики Марий Эл. Проведенные производственные испытания подтвердили соответствие получаемой продукции агротехническим требованиям, возможность организации уборочного процесса непрерывно поточно в шадящем режиме.

**Ключевые слова:** новый способ машинной уборки капусты, отгрузка кочанов на гибкий настил, производственные испытания.

White cabbage is a traditional vegetable crop in Russia, easily damaged by mechanical influences. In addition, cleaning is accompanied by significant labor and material costs. Taking into account the above-mentioned features, a new method for mechanized harvesting of cabbage was proposed, where cabbage heads are firstly aligned in the row by lifters, then they are forwarded under the clamping belt, where afterwards they are fixed and cut. Cut-off heads are forwarded by outside-mounted and clamping transporters on to a sorting transporter-cutter. On the sorting transporter-cutter, the heads are inspected. Workers pick out cabbage with long cabbage stumps and rosette leaves and insert them into the holes of the plate-shaped army duck transporter-cutter, where they are re-cut when passing through the passive knife. As a result, the rosette leaves are separated from the heads, and the cut-out cabbage stumps slide down the tray to the ground. Further, the heads and loose leaves, separated from the heads after repeated cutting enter the rod elevator, where leaves are again cut off, and the heads are sent for shipment. Unlike the traditional method of harvesting cabbage, head of cabbage are shipped by a cabbage harvesting machine first to a flexible trough floor, mounted on a special rack on the vehicle platform above the removable containers. Then, the heads from the flooring are gently transferred to containers for subsequent storage in them. After filling the containers, the vehicle is sent to a storage facility where, with a forklift truck, the loaded containers are replaced by empty ones, leaving the flexible deck with the platform rack for the next cycle of work. In the harvest season of 2017, the proposed technology for mechanized harvesting of cabbage was tested in the production conditions of LLC «Chapaevskoye» in the Mari El Republic. The conducted production tests confirmed the conformity of the products to the agrotechnical requirements and the possibility of organizing the harvesting process continuously in a sparing mode.

**Keywords:** new way of machine harvesting cabbage, shipment of heads to flexible flooring, production tests.

## Введение

Белокачанная капуста является традиционной овощной культурой в России и во многих странах мира [1]. Производство ее является достаточно трудоемким процессом [2]. В частности, на ручную уборку ее тратится 250–300 чел.-час/га. В этой связи в нашей стране и за рубежом (в Дании, Германии, Англии, Швейцарии, во Франции) уделяют повышенное внимание разработке эффективных технологий и технических средств. Однако представленные на рынке технологии и технические средства недостаточно эффективны [3].

Во-первых, известная капустоуборочная техника зачастую сильно травмирует кочаны. Особенно высока степень повреждения их при погрузке в кузов транспортного средства [4], в процессе доработки и укладки на хранение [5]. При закладке на длительное хранение поврежденной продукции ее потери могут возрастать до 50 % [2].

Во-вторых, известные технологии имеют прерывистый циклический характер, поэтому уборочные агрегаты и сопровождающие транспортные средства зачастую имеют большие взаимообусловленные простои. При этом значительны энерго-ресурсозатраты, низка эффективность использования технических средств.

В силу указанных причин известные технологии и технические средства не пользуются в России повышенным спросом [6], уборка кочанной капусты в основном производится вручную [7].

## Цель исследований

Целью исследований является разработка новой технологии машинной уборки кочанной капусты, обеспечивающей ритмичное выполнение уборочных процессов и закладку на хранение кочанов капусты в щадящем режиме, а также проведение проверки в производственных условиях.

## Материалы и методы исследования

В рамках поставленной цели нами предложен новый способ машинной уборки кочанной капусты [8] в щадящем режиме на базе капустоуборочного комбайна (рис. 1), разработанного в Чувашской ГСХА совместно с ЗАО «Техма» группы компаний «Техмашхолдинг» (г. Чебоксары) [9].

Технология уборки кочанной капусты по новому способу заключается в следующем.

В работе уборочный агрегат (трактор с комбайном) движется по уборочной части поля (рис. 2), направляя режущий аппарат 1 по ряду капусты. Лифтеры режущего аппарата поднимают и направляют кочаны капусты под прижимной транспортер, где осуществляется их выравнивание, фиксация и срез. Срезанные кочаны и свободные листья направляются выносным и прижимным транспортерами на переборочный транспортер-обрезчик 2.

Здесь следует заметить, что при срезе кочанов большая часть розеточных листьев остается на поле вместе с кочерыгами (см. рис. 3), а свободные листья, прошедшие вместе с кочанами, отделяются от потока вальцевым листоотделителем [10] и сбрасываются на землю на выходе с режущего аппарата.

На переборочном транспортере-обрезчике 2 кочаны подвергаются инспекции. Рабочие 3 (см. рис. 2) отбирают кочаны с длинными кочерыгами и розеточными листьями и вставляют их в отверстия пластинчатого полотна транспортера-обрезчика, в которых они по-



Рис. 1. Общий вид капустоуборочного комбайна, разработанного в Чувашской ГСХА совместно с ЗАО «Техма»

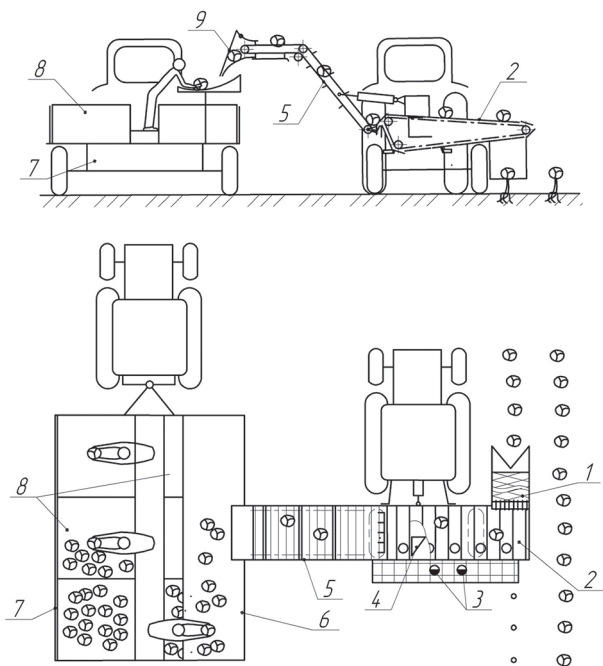


Рис. 2. Новый способ машинной уборки кочанной капусты в сдвигающем режиме



Рис. 3. Вид ряда капусты, убранный капустиборочным комбайном конструкции Чувашской ГСХА

вторно обрезаются при встрече с пассивным ножом 4. В результате розеточные листья отделяются от кочанов, а срезанные кочерыжки скатываются по лотку на землю.

Далее кочаны и свободные листья, образовавшиеся после повторной обрезки, поступают на прутковый элеватор 5, где последние снова отсеиваются, а кочаны направляются на отгрузку. В отличие от традиционного способа уборки кочанной капусты [3], кочаны отгружают капустиборочным комбайном сначала на гибкий настил 6 корытообразной формы, установленный на специальной стойке на платформе сопровождающего транспортного средства 7 над съемными контейнерами 8. Рабочие, находясь на платформе, берут кочаны с настила 6 и укладывают в контейнеры 8, ориентируя кочерыгами в сторону бортов.

После наполнения контейнеров транспортное средство отправляют в хранилище, где с помощью вилочного погрузчика груженные кочанами контейнеры заменяют порожними, оставляя гибкий настил со стойкой на платформе для выполнения следующего цикла работ.

Следует также обратить внимание на то, что для уборки кочанной капусты по данному способу капустиборочный комбайн снабжен специальным приспособлением 9 [11], позволяющим укладывать кочаны капусты на настил с ограниченными размерами [12].

### Результаты исследований и обсуждение

В уборочный сезон 2017 года предложенная технология механизированной уборки кочанной капусты была проверена в производственных условиях ООО «Чапаевское» Республики Марий Эл (рис. 4).



Рис. 4. Производственная проверка новой технологии уборки кочанной капусты

В результате производственных испытаний установлена состоятельность предложенного способа уборки кочанной капусты, подтверждено соответствие качества получаемой продукции агротехническим требованиям, а также выявлен факт слаженного взаимодействия уборочного и транспортных агрегатов, что позволяет свести до минимума взаимобусловленные простои техники.

### Выводы

1. Кочанная капуста – легко повреждаемая культура, которая требует бережного отношения в процессе уборки и закладки на хранение.
2. Проведенные производственные испытания подтвердили, что разработанный новый

способ уборки кочанной капусты в полной мере обеспечивает выполнение данного требования.

3. Характер взаимодействия уборочного агрегата, сопровождающих транспортных средств и вилочного погрузчика, используемого для замены груженых контейнеров погрузными и закладки капусты на хранение в контейнерах, способствует возможности организации уборочного процесса непрерывно точно в шадящем режиме.

### Литература

- Алатырев С.С. Научно-методические основы и средства адаптирования машин для уборки капусты к изменяющимся условиям функционирования: дис. ... д-ра техн. наук. Чебоксары, 2005. 397 с.
- Алатырев А.С. Обоснование конструкции и параметров отгрузочного устройства капустоуборочного комбайна: дис. ... канд. техн. наук. Чебоксары, 2016. 165 с.
- Алатырев С.С., Алатырев А.С., Юркин А.П. К оценке экологической эффективности нового способа уборки кочанной капусты // *Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Современное состояние прикладной науки в области механики и энергетики», проводимой в рамках мероприятий, посвященных 85-летию Чувашской государственной сельскохозяйственной академии, 150-летию Русского технического общества и приуроченной к 70-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора, заслуженного работника высшей школы Российской Федерации Акимова Александра Петровича.* Чебоксары: ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА, 2016. С. 31–38.
- Кручинкина И.С., Алатырев А.С. К вопросу снижения повреждаемости кочанов при машинной уборке капусты // *Продовольственная безопасность и устойчивое развитие АПК: материалы Международной научно-практической конференции.* Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2015. С. 617–620.
- Алатырев С.С., Кручинкина И.С., Юркин А.П., Алатырев А.С. Обоснование конструкции и параметров приспособления для бережной отгрузки кочанов капусты при машинной уборке // *Тракторы и сельхозмашины.* 2017. № 3. С. 41–44.
- Алатырев С.С., Савеличев К.А., Алатырева И.С., Григорьев А.О. Новые технологии и техническое средство для уборки капусты // *Тракторы и сельхозмашины.* 2008. № 7. С. 16–17.
- Кручинкина И.С., Алатырев А.С. К обоснованию конструкции многовариантного капустоуборочного комбайна // *Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Современное состояние прикладной науки в области механики и энергетики», проводимой в рамках мероприятий, посвященных 85-летию Чувашской государственной сельскохозяйственной академии, 150-летию Русского технического общества и приуроченной к 70-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора, заслуженного работника высшей школы Российской Федерации Акимова Александра Петровича.* Чебоксары: ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА, 2016. С. 140–146.
- Алатырев С.С., Юркин А.П., Воронин В.В., Кручинкина И.С., Алатырев А.С. Способ уборки кочанной капусты и устройство для его осуществления: патент на изобретение № 2554403, Российская Федерация. Опубликовано 27.06.2015. Бюл. № 18.
- Алатырев С.С., Тончева Н.Н., Григорьев А.О., Савеличев К.А., Алатырева И.С., Васильев А.О., Андреев Р.В. Малогабаритный капустоуборочный комбайн – эффективное техническое средство для современного овощеводства // *Тракторы и сельхозмашины.* 2010. № 3. С. 14–17.
- Алатырев С.С., Тончева Н.Н., Алатырева И.С. Взаимодействие сопутствующих примесей с вальцом сепарирующего устройства капустоуборочного комбайна // *Нива Поволжья.* 2010. № 4. С. 29–33.
- Григорьев А.О., Алатырев А.С. Устройство к капустоуборочному комбайну для укладки кочанов в кузов транспортного средства // *Тракторы и сельхозмашины.* 2014. № 9. С. 17–19.
- Алатырев С.С., Григорьев А.О., Алатырев А.С. Обоснование параметров устройства для отгрузки кочанов капусты в кузов транспортного средства // *Тракторы и сельхозмашины.* 2015. № 9. С. 11–14.

### References

- Alatyrev S.S. Nauchno-metodicheskie osnovy i sredstva adaptirovaniya mashin dlya uborki kapusty k izmenyayushchimsya usloviyam funktsionirovaniya: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Scientific and methodical foundations and means for adapting cabbage harvesting machines to changing operating conditions: Dissertation for Degree of Doctor of Technical Sciences]. Cheboksary, 2005. 397 p.
- Alatyrev A.S. Obosnovanie konstruktssii i parametrov otguzochnogo ustroystva kapustouborochnogo kombayna: dis. ... kand. tekhn. nauk [Substantiation of the

- design and parameters of the dispenser of a cabbage harvester: Dissertation for Degree of Candidate of Technical Sciences]. Cheboksary, 2016. 165 p.
3. Alatyrev S.S., Alatyrev A.S., Yurkin A.P. The assessment of the ecological efficiency of a new method of harvesting cabbage. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennoe sostoyanie prikladnoy nauki v oblasti mekhaniki i energetiki», provodimoy v ramkakh meropriyatiy, posvyashchennykh 85-letiyu Chuvashskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii, 150-letiyu Russkogo tekhnicheskogo obshchestva i priurochennoy k 70-letiyu so dnya rozhdeniya doktora tekhnicheskikh nauk, professora, zasluzhennogo rabotnika vysshey shkoly Rossiyskoy Federatsii Akimova Aleksandra Petrovicha* [Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference «The Current State of Applied Science in the Field of Mechanics and Energy» held within the framework of the events dedicated to the 85th anniversary of the Chuvash State Agricultural Academy, the 150th anniversary of the Russian Technical Society and timed to the 70th birthday of the Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation Alexander Akimov]. Cheboksary: FGBOU VO Chuvashskaya GSKhA Publ., 2016, pp. 31–38 (in Russ.).
  4. Kruchinkina I.S., Alatyrev A.S. Reducing the head damages in machine cabbage harvesting. *Prodnovol'stvennaya bezopasnost' i ustoychivoe razvitiye APK: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Food security and sustainable development of agroindustrial complex: materials of the International Scientific and Practical Conference]. Cheboksary: Chuvashskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya Publ., 2015, pp. 617–620 (in Russ.).
  5. Alatyrev S.S., Kruchinkina I.S., Yurkin A.P., Alatyrev A.S. Substantiation of the design and parameters of the device for careful shipment of cabbage heads during machine cleaning. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2017. No 3, pp. 41–44 (in Russ.).
  6. Alatyrev S.S., Savelichev K.A., Alatyreva I.S., Grigor'ev A.O. New technologies and technical equipment for cabbage harvesting. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2008. No 7, pp. 16–17 (in Russ.).
  7. Kruchinkina I.S., Alatyrev A.S. Substantiation of the design of the multivariate cabbage harvester. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennoe sostoyanie prikladnoy nauki v oblasti mekhaniki i energetiki», provodimoy v ramkakh meropriyatiy, posvyashchennykh 85-letiyu Chuvashskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii, 150-letiyu Russkogo tekhnicheskogo obshchestva i priurochennoy k 70-letiyu so dnya rozhdeniya doktora tekhnicheskikh nauk, professora, zasluzhennogo rabotnika vysshey shkoly Rossiyskoy Federatsii Akimova Aleksandra Petrovicha* [Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference «The Current State of Applied Science in the Field of Mechanics and Energy» held within the framework of the events dedicated to the 85th anniversary of the Chuvash State Agricultural Academy, the 150th anniversary of the Russian Technical Society and timed to the 70th birthday of the Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation Alexander Akimov]. Cheboksary: FGBOU VO Chuvashskaya GSKhA Publ., 2016, pp. 140–146 (in Russ.).
  8. Alatyrev S.S., Yurkin A.P., Voronin V.V., Kruchinkina I.S., Alatyrev A.S. Sposob uborki kochannoy kapusty i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya [Method for harvesting cabbage and device for its implementation]: patent na izobretenie No 2554403, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 27.06.2015. Byul. No 18.
  9. Alatyrev S.S., Toncheva N.N., Grigor'ev A.O., Savelichev K.A., Alatyreva I.S., Vasil'ev A.O., Andreev R.V. Small-sized cabbage harvester as an effective technical tool for modern vegetable growing. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2010. No 3, pp. 14–17 (in Russ.).
  10. Alatyrev S.S., Toncheva N.N., Alatyreva I.S. Interaction of accompanying impurities with the roller of the separating device of a cabbage harvester. *Niva Povolzh'ya*. 2010. No 4, pp. 29–33 (in Russ.).
  11. Grigor'ev A.O., Alatyrev A.S. The device for cabbage harvester for laying the heads to the skip of vehicle. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2014. No 9, pp. 17–19.
  12. Alatyrev S.S., Grigor'ev A.O., Alatyrev A.S. Justification of the parameters of the device for shipping cabbages to the skip of the vehicle. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2015. No 9, pp. 11–14 (in Russ.).

# СИЛОВОЙ АГРЕГАТ УНИВЕРСАЛЬНО-ПРОПАШНЫХ ТРАКТОРОВ ТЯГОВОГО КЛАССА 1,4 С ИНТЕГРИРОВАННЫМ СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОРОМ

## THE POWER UNIT OF UNIVERSAL TRACTORS OF TRACTION CLASS 1,4 WITH AN INTEGRATED STARTER GENERATOR

**А.Х. БЕКЕЕВ**, к.т.н.  
**А.Я. АЛИЕВ**, к.т.н.  
**С.А. АЛИЕВ**

Дагестанский государственный аграрный университет  
им. М.М. Джамбулатова, Махачкала, Россия,  
aliev-47@mail.ru

**A.KH. BEKEEV**, PhD in Engineering  
**A.YA. ALIEV**, PhD in Engineering  
**S.A. ALIEV**

M.M. Dzhambulatov Dagestan State Agricultural University,  
Makhachkala, Russia, aliev-47@mail.ru

Техническое развитие конструкций тракторов характеризуется увеличением мощности потребителей, применением электрического привода агрегатов. В связи с этим нагрузка на электрическую систему современного трактора постоянно растет и подвергает существующие 12-вольтовые системы чрезмерной нагрузке. На сегодняшний день традиционные генераторы со сравнительно низким КПД не в состоянии удовлетворить растущие потребности тракторов и их систем. Решением задачи увеличения мощности одновременно с увеличением КПД (до 85...90 %) может послужить интегрированный стартер-генератор. Обладая достаточной мощностью в двигательном режиме (до 8 кВт), стартер-генератор позволяет улучшить пусковые и энергетические характеристики двигателей внутреннего сгорания трактора. Предлагаемая конструкция электрических машин размещается между блоком цилиндров ДВС и сцеплением трактора. Принятая компоновка позволяет передавать значительную мощность в обоих направлениях, улучшает пусковые качества дизельных двигателей тракторов, а также реализовать функции гашения крутильных колебаний коленчатого вала, что существенно снижает шум и вибрации двигателя. По результатам исследования обоснован выбор стартер-генераторного устройства на базе вентильного электродвигателя применительно к дизельным двигателям универсально-пропашных тракторов тягового класса 1,4 и разработана схема его размещения в картере сцепления без изменения его базовой конструкции. Преимущество предлагаемой конструкции заключается в использовании электрической машины для пуска двигателя, которая в этом случае включается в режим электродвигателя и в процессе работы переключается в генераторный режим, обеспечивая питание бортовой сети электрической энергией. Кроме того, объединение стартера и генератора в едином агрегате упрощает конструкцию, сокращает затраты на изготовление и сборку, что является преимуществом с точки зрения производственных издержек, заменяя стартер и генератор и – на некоторых тракторах – пусковой поршневой двигатель.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, стартер-генератор, вентильно-индукторная машина, демпфер, силовой агрегат.

The technical development of tractor designs is characterized by an increase in the power of consumers, the use of electric drive units. The load on the electric system of a modern tractor is constantly growing and exposes the existing 12-volt systems to excessive loading. To date, with the relatively low efficiency of traditional generators it is impossible to meet the growing needs of tractors and its systems. The solution of the problem of increasing the power simultaneously with increasing the efficiency (up to 85...90 %) could become an integrated starter-generator. Possessing sufficient power in the propulsion mode (up to 8 kW), the starter generator makes it possible to improve the starting and energy characteristics of the internal combustion engines of the tractor. The proposed design of electrical machines is located between the engine cylinder assembly and the tractor clutch. The adopted configuration allows to transfer considerable power in both directions, improves the starting qualities of diesel engines of tractors, and also realize the functions of damping the torsional oscillations of the crankshaft, which significantly reduces the noise and vibration of the engine. Based on the results of the study, the choice of a starter-generator device based on a valve motor is justified in connection with diesel engines of universal tractors of traction class 1,4 and a scheme for its placement in the clutch housing without changing its basic design has been developed. The advantage of the proposed design is the use of electric machines to start the engine, which in this case is switched to the electric motor mode and switches to the generator mode during operation, providing power to the on-board network. In addition, combining the starter and generator in a single unit simplifies the design, reduces the cost of manufacturing and assembly, which is an advantage in terms of production costs, replacing the starter and generator and on some tractors the starting piston engine.

**Keywords:** internal combustion engine, starter-generator, valve-inductor machine, damper, power unit.



## Введение

В перспективе тракторы продолжают оставаться одним из основных средств производства в ряде отраслей, таких как сельское хозяйство, строительство и лесозаготовки. Поэтому совершенствование конструкций тракторов, направленное на повышение их потребительских свойств, продолжается и будет продолжаться с использованием возможностей науки и техники.

Техническое развитие тракторов характеризуется увеличением мощности двигателей внутреннего сгорания (ДВС), увеличением мощности потребителей электрической энергии и широким применением электроники. Перспективные факторы требуют совершенствования систем электроснабжения тракторов. Одним из путей совершенствования является повышение номинального напряжения источников электрической энергии.

При последовательной поддержке государства, с принятием «Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России до 2020 года», удастся не только упрочить позиции отечественного тракторостроения, но и придать им дополнительный импульс для внедрения электроники и гидравлики в агрегатах и системах тракторов [1].

Одним из направлений, на котором отечественное тракторостроение может попытаться уменьшить вынужденное отставание от мирового уровня, является развитие средств автоматизации и электроприводов [2].

Регулируемые электроприводы характеризуются совершенным качеством – возможностью плавного изменения режимов работы, прежде всего частоты вращения, что достигается благодаря применению статических полупроводниковых преобразователей частоты и микропроцессорных систем управления [3].

Современные энергетические и экологические нормы требуют применения электроприводов с управляемыми электрическими машинами (ЭМ), которые имеют высокие энергетические показатели в режимах как полной, так и частичной нагрузки и при этом надежны и просты в производстве. Увеличение доли таких электроприводов является одной из самых актуальных задач электромашиностроения.

Развитие конструкций автотракторного электрооборудования и автоэлектроники должно идти в направлении применения принципиально новых комплектующих, экологиче-

ски чистых материалов, снижения затрат на их производство [4].

Нагрузка на электрическую систему современного трактора постоянно растет. Увеличивающееся потребление электрической энергии дополнительно установленным оборудованием подвергает существующие 12-вольтовые системы чрезмерной нагрузке. Современные требования по пуску вызывают необходимость использования мощных систем электропуска.

На сегодняшний день традиционные генераторы со сравнительно низким КПД не в состоянии удовлетворить растущие потребности тракторов и их систем. Решением задачи увеличения мощности одновременно с увеличением КПД (до 85...90 %) и ресурса генераторной установки, повышения экологичности и топливной экономичности тракторов, а также уменьшения массы двигателей внутреннего сгорания может послужить интегрированный стартер-генератор [5].

Поэтому одной из задач современного тракторостроения является переход на более высокие напряжения, чтобы обеспечить улучшение эксплуатационных, в том числе пусковых, качеств с возможным применением нового энергоемкого дополнительного оборудования.

В связи с этим перспективным является применение интегрированных систем со стартер-генераторным устройством и микропроцессорным управлением, являющихся ключевым элементом для повышения эффективности эксплуатационных показателей тракторов.

Выполнено множество работ по рассматриваемой теме:

- разработано значительное число схемных и конструктивных решений систем бортового генерирования электроэнергии и запуска ДВС;
- выполнены различные методы расчета как системных, так и динамических режимов стартер-генераторных установок в стадии генерирования электрической энергии при переменной частоте вращения вала.

За рубежом получены токоскоростные характеристики стартер-генераторных установок (СГУ) с аккумуляторными батареями на напряжение 12 и 42 В.

Однако многие вопросы в области использования СГУ в электромеханических системах запуска и генерирования бортовой энергии остаются нерешенными. В частности, остаются неисследованными комплексные системы СГУ для запуска и генерирования электрической

энергии с микропроцессорным управлением на тракторах.

В связи с изложенным возникает необходимость в проведении анализа и обобщения известных работ, дополнительных исследований СГУ для выявления пусковых и энергетических характеристик ДВС трактора, что и определяет актуальность тематики исследования.

### Цель исследования

Целью работы является исследование и разработка высокоэффективных средств обеспечения надежного пуска дизельных двигателей тракторов тягового класса 1,4 и генерирования бортовой электроэнергии на основе применения стартер-генераторных установок с микропроцессорным управлением.

### Материалы и методы исследования

Предлагаемая конструкция силового агрегата тракторов тягового класса 1,4 (рис. 1) содержит ДВС 1, коробку передач 2, сцепление 3, передающую приводное усилие на ведущие колеса трактора, электрическую машину 4, размещенную между блоком цилиндров двигателя и сцеплением, и датчик положения ротора 5, установленный в носовой части ДВС на коленчатом валу.

СГУ может быть использовано на тракторах тягового класса 1,4 для запуска двигателей внутреннего сгорания и генерирования электрической энергии для нужд бортовой сети, двухуровневого напряжения 12...14 В и 36...42 В.

Функциональная блок-схема СГУ приведена на рис. 2. В состав СГУ входят электрическая машина 2, силовой преобразователь энергии 3, блок управления 4, датчик положения ротора 7. Причем, силовой преобразователь и индукторный двигатель могут быть включены в общую схему жидкостного охлаждения двигателя.

Электрическая машина выполняет функции стартер-генератора, силовой преобразователь напряжения обеспечивает его работу в режимах стартера и генератора и поддерживает напряжение бортовой сети на двух уровнях – 14 и 42 В. В режиме стартера питание обеспечивает аккумуляторная батарея 6, а также энергоемкий конденсатор 5.

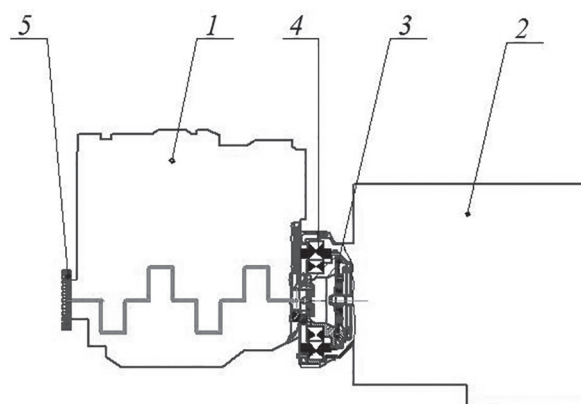


Рис 1. Схема силового агрегата трактора тягового класса 1,4:

- 1 – ДВС; 2 – коробка передач; 3 – сцепление;
- 4 – электрическая машина стартер-генераторного устройства; 5 – датчик положения ротора

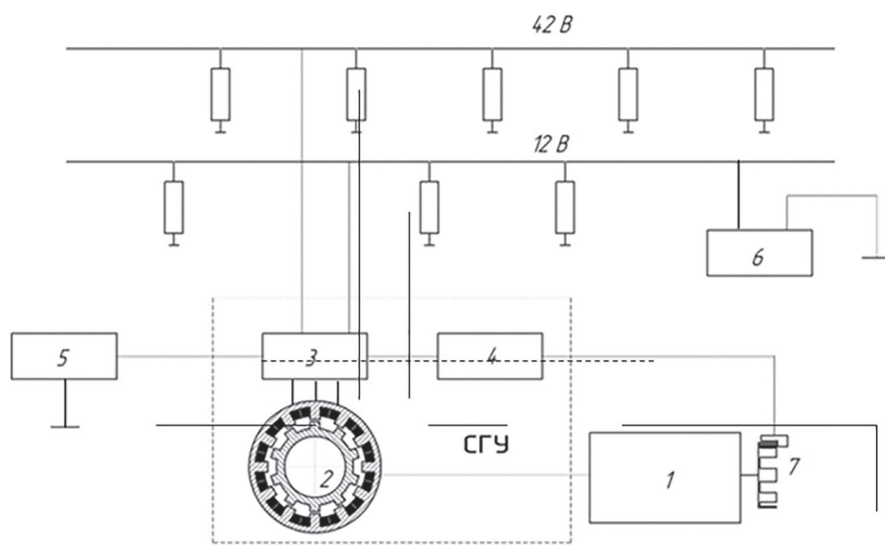


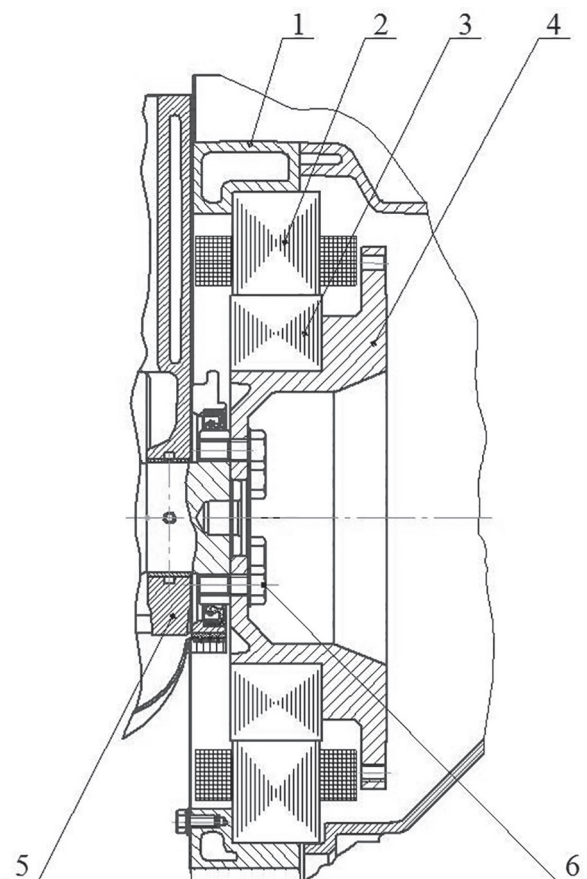
Рис. 2. Функциональная блок-схема стартер-генераторного устройства:

- 1 – ДВС; 2 – электрическая машина; 3 – силовой преобразователь энергии (инвертор); 4 – блок управления;
- 5 – энергоемкий конденсатор; 6 – аккумуляторная батарея, 7 – датчик положения ротора

На рис. 3 показана компоновка электрической машины, где электрическая машина размещена между двигателем и сцеплением трактора. Статор электрической машины 2 установлен в проставке 1, которая в свою очередь крепится к блоку цилиндров двигателя. Ротор 3 электродвигателя устанавливается на маховике 4 специальной конструкции «электрический маховик», который одновременно выполняет не только функции его раскрутки, но и маховой массы.

Принятая компоновка позволяет передавать значительную мощность в обоих направлениях и реализовать функции гашения крутильных колебаний коленчатого вала при низких скоростях вращения, что существенно снижает шум и вибрацию ДВС.

Место, выбранное для размещения стартер-генератора на ДВС, по условиям работы не самое лучшее: высокая температура, запыленность, в том числе и абразивными продуктами износа дисков сцепления. По этой причине от применения электрической машины с коллектором отказались. Для этой цели больше



**Рис. 3. Схема установки электрической машины СГУ:**  
1 – проставка, 2 – статор, 3 – ротор, 4 – маховик,  
5 – блок цилиндров, 6 – болт

подходят вентильные машины с постоянными магнитами, но у них высокая стоимость [6–9].

Поэтому в качестве электрической машины предлагается реактивный индукторный двигатель – бесконтактная электрическая машина синхронного типа. Она имеет ряд несомненных достоинств: шихтованный зубчатый ротор без обмотки, потери в котором, как известно, минимальны; многофазную обмотку статора, выполненную в виде отдельных концентрических катушек без пересечения лобовых частей, что упрощает конструкцию, повышает технологичность производства и увеличивает ее надежность в эксплуатации.

Преимущество предлагаемой конструкции СГУ, размещенной между двигателем и сцеплением силового агрегата, заключается в возможности использования электрической машины для пуска ДВС, которая в этом случае включается в режим электродвигателя, и в процессе работы ДВС переключается на генераторный режим, обеспечивая питание электрической энергией бортовую сеть.

Кроме того, объединение стартера и генератора в одном единственном узле позволяет значительно сократить затраты на изготовление и сборку такой конструкции, что является преимуществом с точки зрения производственных издержек, заменив генератор и стартер, и на некоторых тракторах пусковой поршневой двигатель.

Для обеспечения оптимального теплового режима предлагаемой электрической машины предпочтительно использовать жидкостное охлаждение, что можно реализовать путем подключения ее к системе жидкостного охлаждения ДВС. Циркуляция происходит через кольцевую проточку детали корпус-проставка 1 статора специальной конструкции (рис. 3), изготавливаемой из алюминиевого сплава [10].

### Результаты исследования и их обсуждение

При выполнении исследований были использованы отдельные материалы и результаты исследования высокоэффективных систем пуска автомобильных ДВС, накопленные Российской научно-технической школой, а также имеющийся опыт по разработке конкретных образцов таких систем, производимых рядом зарубежных фирм.

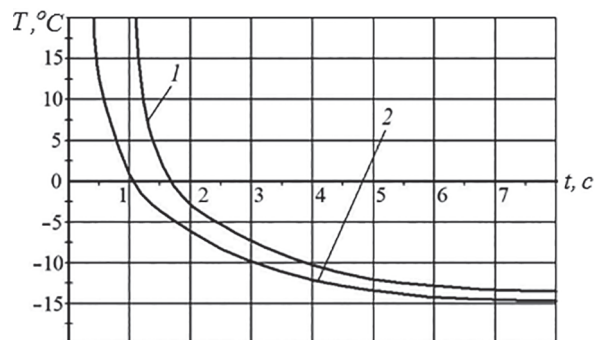
Следует отметить, что применение СГУ с микропроцессорным управлением предопределяет возможность совершенствования, наряду

с рассмотренными выше достоинствами, и других характеристик ДВС и трактора.

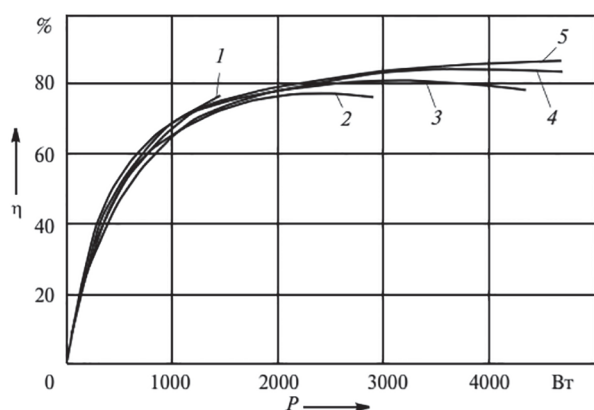
Во-первых, СГУ является эффективным гасителем (демпфером) крутильных колебаний вала ДВС. Функция электромагнитного демпфирования представляет перспективную альтернативу механической системе демпфирования. Важным преимуществом СГУ над механическими системами демпфирования является возможность выполнения демпфирования с дискретной частотой и переменными амплитудами, а также возможность снижения вибраций при изменении нагрузки.

Во-вторых, применение системы с СГУ обеспечивает частичную гибридизацию энергетической установки трактора (малый гибрид).

Стендовые и моторные испытания проведены в лабораториях ОАО «Авиаагрегат» (г. Махачкала).



**Рис. 4.** Зависимость времени запуска  $t$  поршневого двигателя от температуры  $T$  окружающей среды: 1 – от электростартера; 2 – от электрической машины СГУ



**Рис. 5.** Зависимость КПД starter-генераторной установки от развиваемой мощности  $P$  и частоты вращения  $n$  ротора starter-генератора: 1 –  $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ ; 2 –  $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$ ; 3 –  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ ; 4 –  $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$ ; 5 –  $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$

По результатам проведенного исследования обоснован выбор СГУ на базе вентильного электродвигателя применительно к дизельным двигателям тракторов тягового класса 1,4 и разработана схема его размещения в карте сцепления без изменения его базовой конструкции.

Результаты предварительных испытаний этой машины показали, что при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  СГУ за  $0,5 \text{ с}$  уверенно раскручивает ДВС до  $800 \text{ мин}^{-1}$  (рис. 4). При этом потребляемая ею мощность в режиме трогания и крутящем моменте, равном  $150 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , составляет  $1,8 \text{ кВт}$ . В генераторном режиме СГУ с достаточно высоким КПД (рис. 5) развивает мощность до  $4,5 \text{ кВт}$ . То есть рассмотренный выше вариант СГУ может быть агрегатом, который успешно заменяет стартер и генератор, установленные на тракторах. Более того, выполненные авторами эксперименты показали, что СГУ, оснащенные более мощными электродвигателями, найдут применение и на других транспортных средствах, в том числе и на грузовых автомобилях.

### Выводы

1. Применение совмещенной СГУ на тракторах тягового класса 1,4 позволяет улучшить пусковые характеристики дизельного двигателя, а также получить возможность работы электрооборудования при многоуровневом напряжении.

2. Предложены рекомендации по совершенствованию пусковых характеристик в условиях низких температур для дизельных двигателей на основе оптимального выбора параметров предложенной комплексной системы СГУ с микропроцессорным управлением.

3. Совмещенная СГУ с микропроцессорным управлением может дополнительно выполнять функции электромагнитного демпфера крутильных колебаний, а, учитывая частичную гибридизацию энергетической установки трактора, – функции генерирования бортовой электроэнергии многоуровневого напряжения.

### Литература

1. Стратегия развития сельскохозяйственного машиностроения до 2020 года. М., 2011. 89 с.
2. Скотников В.А., Машенский А.А., Разумовский М.А. и др. Проблемы современного сельскохозяйственного тракторостроения. Минск: Высшая школа, 1983. 208 с.

3. Машинин В.В. Системы электроснабжения с повышенным номинальным напряжением для транспортных средств // Автотракторное электрооборудование. 2002. № 1. С. 12–16.
4. Коломейцев Л.Ф., Пахомин С.А., Крайнов Д.В. и др. Математическая модель для расчета электромагнитных процессов в многофазном управляемом реактивном индукторном двигателе // Известия ВУЗов. Электромеханика. 1998. № 1. С. 49–53.
5. Бунаков И.Ю. Совмещенные системы стартер-генераторов (обзор) // Молодежь и наука. Международный аграрный научный журнал. 2013. № 2. С. 23–28.
6. Бахмутов С.В., Блатушко Я.В., Маликов Я.В. и др. Анализ патентных разработок в области автотранспортных средств // Материалы Международной научно-технической конференции «Автомобиле- и тракторостроение в России». М.: МГТУ «МАМИ», 2009. С. 535–547.
7. Баулина Е.Е., Круташов А.В., Серебряков В.В. Выбор концепции автомобиля с комбинированной энергетической установкой расширенных функциональных возможностей // Известия МГТУ «МАМИ». 2017. № 3 (33). С. 2–8.
8. Деметьев Ю.В., Круташов А.В., Деев О.И. Оценка эффективности модульной комбинированной энергетической установки при выборе электродвигателей определенного диапазона мощности // Известия МГТУ «МАМИ». 2014. № 3 (21). Т. 1. С. 5–12.
9. Баулина Е.Е., Круташов А.В., Серебряков В.В. Перспективы развития комбинированных энергетических установок транспортных средств // Известия МГТУ «МАМИ». 2016. № 4 (30). С. 2–14
10. Бекеев А.Х., Астемиров Т.А., Алиев А.Я. Интегрированный стартер-генератор для энергоэффективных транспортных средств // Проблемы развития АПК региона. 2013. № 3 (15). С. 70–73.
2. Skotnikov V.A., Mashchenskiy A.A., Razumovskiy M.A. i dr. Problemy sovremennogo sel'skokhozyaystvennogo traktorostroeniya [Problems of modern agricultural tractor construction]. Minsk: Vysshaya shkola Publ., 1983. 208 p.
3. Mashinin V.V. Power supply systems with increased rated voltage for vehicles. Avtotraktornoe elektrooborudovanie. 2002. No 1, pp. 12–16 (in Russ.).
4. Kolomeytsev L.F., Pakhomin S.A., Kraynov D.V. i dr. Mathematical model for calculating electromagnetic processes in a multiphase controlled reactive inductor motor. Izvestiya VUZov. Elektromekhanika. 1998. No 1, pp. 49–53 (in Russ.).
5. Bunakov I.Yu. Combined systems of starter generators (review). Molodezh' i nauka. Mezhdunarodnyy agrarnyy nauchnyy zhurnal. 2013. No 2, pp. 23–28 (in Russ.).
6. Bakhmutov S.V., Blatushko Ya.V., Malikov Ya.V. i dr. Analysis of patent developments in the field of vehicles. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Avtomobile- i traktorostroenie v Rossii» [Materials of the International Scientific and Technical Conference «Automotive and tractor construction in Russia»]. Moscow: MGTU «MAMI» Publ., 2009, pp. 535–547 (in Russ.).
7. Baulina E.E., Krutashov A.V., Serebryakov V.V. The choice of the concept of the vehicle with the combined power plant of the expanded functionality. Izvestiya MGTU «MAMI». 2017. No 3(33), pp. 2–8 (in Russ.).
8. Dement'ev Yu.V., Krutashov A.V., Deev O.I. Estimation of the efficiency of a modular combined power plant in the selection of electric motors of a certain power range. Izvestiya MGTU «MAMI». 2014. No 3 (21). Vol. 1, pp. 5–12 (in Russ.).
9. Baulina E.E., Krutashov A.V., Serebryakov V.V. Prospects for the development of combined power plants for vehicles. Izvestiya MGTU «MAMI». 2016. No 4 (30), pp. 2–14 (in Russ.)
10. Bekeev A.Kh., Astemirov T.A., Aliev A.Ya. Integrated starter-generator for energy-efficient vehicles. Problemy razvitiya APK regiona. 2013. No 3 (15), pp. 70–73 (in Russ.).

## References

# ОБЗОР РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАХВАТОВ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯЦИЙ С АГРАРНОЙ ПРОДУКЦИЕЙ

## OVERVIEW OF ROBOTIC GRIPPERS FOR PHYSICAL MANIPULATION WITH AGRICULTURAL PRODUCTS

Д.К. ВУ<sup>1</sup>  
О.Я. СОЛЕНАЯ<sup>1</sup>, к.т.н.  
А.Л. РОНЖИН<sup>1,2</sup>, д.т.н.

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский институт информатики  
и автоматизации РАН, Санкт-Петербург, Россия,  
ronzhin@ias.spb.su

D.K. VU<sup>1</sup>  
O.YA. SOLENAYA<sup>1</sup>, PhD in Engineering  
A.L. RONZHIN<sup>1,2</sup>, DSc in Engineering

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University of Aerospace  
Instrumentation, Saint Petersburg, Russia,

<sup>2</sup> The Federal State Institution of Science St. Petersburg Institute  
for Informatics and Automation of the Russian Academy  
of Sciences, Saint Petersburg, Russia, ronzhin@ias.spb.su

Представлен обзор агрозахватов, применяемых для борьбы с сорняками и сбора урожая. Актуальность исследования обоснована возможностью повышения качества свежей плодоовощной продукции, снижения затрат на производство, сокращения дефицита рабочей силы за счет разработки и внедрения сельскохозяйственных роботов. Составлена классификация захватов, которые устанавливаются на роботизированных сельскохозяйственных средствах для манипуляций с плодами, сорняками и другими объектами. Выделено 22 типа захвата в зависимости от 6 выбранных критериев: тип привода, наличие привода в захвате, число пальцев, тип движения захвата, тип механизма, тип сенсоров. В данной классификации в основном рассмотрены характеристики захвата, который устанавливается на конце манипулятора и отвечает за физический контакт с объектом. Поэтому основное внимание уделено задачам, требующим непосредственного захвата объектов агророботом. Также упоминаются задачи направленного опрыскивания сорняков или обрезки ветвей и листьев, в которых тоже участвуют манипуляторы, но объекты воздействия не захватываются роботом. Приведены примеры существующих исследовательских сельскохозяйственных роботов, которые оснащены комбинированными захватами по предложенной классификации, относящимися к различным типам: вакуумный захват с видеокамерой для захвата помидоров, шестипалый пневматический захват с видеокамерой, двухпалый захват с датчиками давления и столкновения для сбора яблока, трехпалый захват с видеокамерой для захвата цитрусовых и другие. Дальнейшая работа будет посвящена исследованию проблем физического взаимодействия агророботов с обрабатываемыми объектами, различающимися по весу, плотности, геометрии, шероховатости поверхности и другим параметрам. Также будет исследован вопрос совместного взаимодействия группы гетерогенных наземных и летательных роботов при выполнении целевой аграрной задачи в автономной миссии.

**Ключевые слова:** агрозахваты, агророботы, коллаборативная робототехника, точное земледелие, антропоморфные захваты, манипуляторы, автономные роботизированные системы.

An overview of agro-grips used to control weeds and harvesting is presented. The relevance of the study is justified by the possibility of improving the quality of fresh fruit and vegetable products, reducing production costs, decreasing the labor shortage by developing and introducing agricultural robots. The classification of the grippers, which are installed on robotic agricultural machines for manipulating fruits, weeds and other objects, is compiled. There are 22 types of grip depending on 6 selected criteria: drive type, the presence of the drive in the grip, the number of fingers, the type of grip movement, the type of mechanism, the type of sensors. In this classification, we mainly consider the characteristics of the gripper, which is installed at the end of the manipulator and is responsible for physical contact with the object. Therefore, the main attention is paid to problems requiring direct capture of objects by the agro robot. The problems of direct spraying of weeds or pruning of branches and leaves, in which manipulators also participate, but the objects of influence are not captured by the robot are mentioned. Examples of existing agricultural research robots equipped with combined grippers according to the proposed classification, referring to different types: vacuum gripper with a video camera for capturing tomatoes, six-finger pneumatic gripper with a video camera, a two-fingered gripper with pressure and collision sensors for picking up an apple, three-fingered capture with a video camera for capturing citrus fruits and others are shown. Further work will be devoted to the study of the problems of physical interaction of agro robots with processed objects, differing in weight, density, geometry, surface roughness and other parameters. The issue of joint interaction of a group of heterogeneous terrestrial and airborne robots in the performance of the target agrarian task in an autonomous mission will also be investigated.

**Keywords:** agroforestry, agrobots, collaborative robotics, precision farming, anthropomorphic grippers, manipulators, autonomous robotic systems.

## Введение

Прецизионные технологии точного земледелия, направленные на повышение урожайности культур, улучшение качества свежих и обработанных пищевых продуктов, снижение вредного воздействия на окружающую среду, разрабатываются с 1990-х годов. С учетом этих технологий продуктивность опытных сельскохозяйственных участков значительно возросла. Концепция точного земледелия включает в себя оценку пространственной изменчивости в полевых условиях различных факторов, таких как плодovitость, тип и характеристики почвы, содержание воды на поле, а также последующее управление созреванием урожая в соответствии с полученными картограммами.

С развитием науки и техники различные датчики и сенсорные системы все чаще используются в точном земледелии при решении целого ряда важных задач, таких как мониторинг угодий, обнаружение плодов, сорняков, заболеваний и т.д. Например, за последнее десятилетие были предприняты серьезные усилия по разработке технологий мониторинга и управления культурами на опытных участках растениеводства во Флориде в США. Производство цитрусовых в США серьезно пострадало от появления экзотических заболеваний, таких как цитрусовое озеленение, цитрусовый ящер и черное пятно цитрусовых. Было подсчитано, что только цитрусовое озеленение стоило около 3,63 млрд долл. США потерянных доходов [1]. Когда болезнь быстро распространяется из одной области в другую, она становится одной из самых серьезных проблем в сельском хозяйстве. При управлении заболеванием растений обнаружение является одним из наиболее важных этапов. Разведка, выполняемая вручную, является монотонной, трудоемкой и недостаточно точной задачей из-за ограничений органов чувств. Использование недорогих беспилотных летательных аппаратов с сенсорными системами – многообещающий подход, который обеспечивает возможность постоянного наблюдения за растениями с малой высотой. Среди разработанных зондирующих систем во Флориде наибольшее внимание фермеров и потенциал к внедрению получили следующие технологии: определение зеленых незрелых цитрусовых, обнаружение и очистка от мусора, картографирование урожая черники и силоса, обнаружение цитрусового озелене-

ния, поиск насекомых, выявление сброшенных плодов цитрусовых на землю.

Основными этапами сельскохозяйственного цикла являются: обработка почвы, посадка, производство и сбор урожая. Обработка относится к механической обработке почвы, которая изменяет ее структуру и прочность, чтобы обеспечить и поддерживать оптимальные почвенные условия для прорастания, роста и развития растений, тем самым демонстрируя их производственную мощность. В наружных условиях процесс посадки состоит из сброса семян или помещения их в почву. В случае интенсивных культур в процессе посадки используются автоматизированные машины, которые выполняют эту задачу. Обычно используют услуги питомников, которые посеяли семена в данном субстрате в лотках для полостей, и когда сеянцы достигают определенного состояния, их пересаживают в конечное место в теплице. Производство включает период между пересадкой или появлением первых истинных листьев и последним сбором урожая в случае однолетних культур. Оно состоит из таких задач, как опрыскивание пестицидами, обрезка (выборочное удаление частей растения), точное опрыскивание, распознавание чумы, удаление сорняков, сбор урожая и удаление урожая. Сбор урожая – это задача, которая требует больших затрат и ресурсов [2].

Появление сельскохозяйственных роботов может повысить качество свежей плодоовощной продукции, снизить затраты на производство, сократить дефицит рабочей силы и компенсировать нехватку работников в некоторых секторах сельского хозяйства. Сельскохозяйственные роботы, как правило, предназначены для выполнения «основной задачи», которая обычно представляет собой конкретную сельскохозяйственную задачу, такую как посадка, прополка, обрезка, сортировка, сбор, упаковка, транспортировка и т.д. [3]. Характер этих задач требует использования мобильных роботов в сочетании с роботами-манипуляторами с различными исполнительными органами (распылительные сопла, ирригационные капельницы, пылесосы, уборочные фрезы, всасывающие прокладки и т.д.). Исполнительные органы могут состоять из захвата или инструмента. Захваты – это подсистемы механизмов обработки, обеспечивающие временный контакт с объектом, который должен быть захвачен [4].

## Цель исследования

Целью исследования является анализ существующих робототехнических решений на более сложных и трудоёмких этапах сельскохозяйственного цикла: борьба с сорняками, мониторинг заболеваний и сбор урожая, а также разработка классификации захватов, используемых для манипуляций с аграрными объектами.

## Анализ существующих робототехнических средств в области сельского хозяйства

**Борьба с сорняками и мониторинг заболеваний.** Различные абиотические и биотические стрессы влияют на потенциальный урожай сельскохозяйственных культур. В сельском хозяйстве 40 % мирового производства продуктов питания теряется из-за болезней, насекомых и сорняков. Для достижения высоких урожаев в системах производства сельскохозяйственных культур контроль биотического стресса имеет большое значение. Мониторинг заболеваний и вредителей на этапах выращивания и уборки очень важен для обеспечения производственного потенциала растений, выявления и предотвращения распространения болезни и предотвращения значительных потерь урожая. Борьба с вредителями, болезнями и сорняками – это регулярно выполняемая и трудоёмкая задача, которая иногда подвергает человека-оператора опасности заражения опасными химикатами. Разработка систем борьбы с сорняками, включая обнаружение и удаление сорняков, являлась одной из основных областей исследований в сельскохозяйственной робототехнике за последние несколько десятилетий. На сегодняшний день некоторые полностью автономные роботизированные системы (АРС) удаления сорняков протестированы в полевых условиях. Основные этапы борьбы с сорняками включают: обнаружение и идентификацию сорняков, наведение манипулятора, точное внутрирядное удаление сорняков и картографирование. Для выборочного контроля внутрирядных сорняков применяются четыре типа механизмов их удаления: механические, термические, химические и электрические средства [5].

Знание точного положения сельскохозяйственных культур является необходимым условием эффективного механического удаления сорняков при применении роботизированных средств прополки, например, в таких культу-

рах, как сахарная свекла, которая чувствительна к механическим воздействиям. В работе [6] исследован потенциал использования знаний о влиянии регулярности посева семян на качество сенсорных систем. Семена зерновых культур, таких как ячмень и пшеница, помещаются рядами без четкой структуры внутри, в то время, как кукуруза, сахарная свекла и другие высокоценные культуры помещаются рядами с четко определенным межкорневым интервалом между растениями. При применении роботизированных средств прополки распознавание растений основано на машинном зрении, анализе спектральных свойств или морфологии, формы поверхностей. Классификация растений является сложной задачей, на которую влияет вариативность внешнего вида растений. Результаты предыдущих исследований доказали, что априорная информация о расположении растений может использоваться для распознавания посевных культур. Экспериментальная модель оценки контекстно-зависимого распознавания урожая была основана на моделировании положения культур и сорняков в искусственном поле. Список всех позиций использовался в качестве входных данных для основанного на анализе контекста устройства распознавания культур. Результаты испытаний показали, что надежность обнаружения позиционированных растений по известной геометрии посева зависит от плотности сорняков и погрешности посадки растений в соответствии с неравенством:

$$PPV \leq (1 + 2\rho\sigma_x\sigma_y)^{-1},$$

где  $\rho$  – плотность сорняков;  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  – неопределённость положения модели растениеводства.

В экологически чистом производстве культур запрещается использование обычных пестицидов, что увеличивает заинтересованность большинства ферм в системах механической уборки сорняков. Сельскохозяйственные работники, которые выполняют ручную прополку, подвергаются риску устройства опорно-двигательного аппарата, особенно при продолжительных сгибаниях. Ручная прополка, например, листьев салата составляет примерно 95 % от общих затрат на борьбу с сорняками. В настоящее время реализованы некоторые коммерческие машины для внутрирядной прополки, такие как травочиститель в виде механических пальцев, торсионный травочиститель, травочиститель в



виде воздуходувки, травочиститель с использованием огня и передовые интеллектуальные системы. Коллаборативные роботизированные системы, работающие совместно с людьми, с использованием автоматизированных механических, электронных и компьютерных технологий, позволяют выбирать степень автономности, производя большую часть монотонной физически тяжелой работы в автоматическом режиме и привлекая ручной труд в случае принятия решений и выполнения операций в сложном контексте. В работе [7] представлены разработка и экспериментальная оценка в полевых условиях автоматической внутрирядной коллаборативной роботизированной системы для прополки на основе мотыги с применением пневматического привода и технологий локализации на основе одометрических датчиков. Вместо систем машинного зрения или глобальной навигации человек-оператор визуально производит обнаружение урожая. Для снижения физических нагрузок и риска скелетно-мышечного расстройства оператор ездит в сидячем положении на платформе робота-культиватора, оснащенной парой мелких мотыг (~7 см в ширину, формой треугольника) для борьбы с сорняками во внутрирядной зоне, и стандартным культиватором для работы в межрядной зоне. Получены следующие результаты испытаний коллаборативного робота на поле томатов: средняя скорость движения составляет 1,2 км/ч, время на обработку сорняков в внутрирядной зоне снизилось на 57,5 % по сравнению с ручной обработкой. Из расчета стоимости затрат производства брокколи в 2012 году средняя стоимость ручного труда в сельском хозяйстве оценивалась в размере 12,33 долл. США. Расчетная экономия затрат на борьбу с сорняками с применением коллаборативного робота составляет 170,15 долл. США на гектар поля.

В последние десятилетия значительно улучшились исследования технологий обнаружения сорняков, интеграции данных с гетерогенных датчиков и селективного управления посевами с помощью гербицидов или других методов лечения. Особо следует отметить улучшение навигационных возможностей беспилотных транспортных средств и сельскохозяйственного инвентаря путем объединения информации с датчиков глобальной навигационной спутниковой системы и с локальных измерительных устройств. Тем не менее, многие из этих иссле-

дований были сосредоточены исключительно на специализированных задачах, в которых изучались, тестировались и оценивались только отдельные компоненты робототехнических систем в узком контексте. Идея использования коллективов гетерогенных роботизированных систем для сельскохозяйственных приложений начали обсуждаться несколько лет назад, но первые реальные попытки их применения были осуществлены только недавно [8].

В испытаниях по полевой устойчивости картофеля к фитофторозу оценка тяжести заболевания проведена путем визуальных осмотров степени поражения листьев. Однако визуальная оценка, как правило, – трудоемкая задача, а результаты достаточно субъективны. В работе [9] предлагается использовать новый метод оценки степени поражений растений в поле, используя видеосъемку и анализ изображений, полученных с беспилотного летательного аппарата (БЛА). Фитофтороз картофеля является одним из самых серьезных заболеваний, влияющих на производство картофеля в Японии. Болезнь быстро разрушает листья и, следовательно, приводит к снижению урожайности и ухудшению качества клубней. Результаты исследований, проведенные на основе анализа изображений с БЛА, подтвердили возможность высокопроизводительной оценки тяжести заболевания по фенотипическим данным о полевых растениях. При мониторинге поля БЛА широко применяются для аэрофотосъемки за счет низкой себестоимости, высокого разрешения изображений по сравнению со спутниковыми, благодаря низкой высоте полета, возможности перемещаться в любом направлении, зависать, поддерживать стабильное положение в полете и т.д. В работе [9] изображения картофельного поля снимались с БЛА (HiSystems GmbH Mikrokopter, Германия) с четырьмя противоположными вращающимися пропеллерами и восемью бесколлекторными двигателями. Испытательное поле состояло из 36 рядов, расположенных вдоль длинной стороны поля в области размерами 53,8 x 27,0 м, а пространство между рядами составляло 0,75 м. Площадь 42,2 x 22,5 м, расположенная в центре поля, была разделена на 360 экспериментальных участков. Поэтапная обработка изображений включала геометрическую коррекцию изображения, параметрическую обработку, пороговую оценку тяжести заболевания с использованием разработанного алгоритма.

Результаты испытаний в 2012 году показали: расчетная среднеквадратическая ошибка тяжести заболевания на основе обработки изображений составила 14,7 %, точность определения – 0,77 %. В 2013 году результаты остались примерно на том же уровне – соответственно, 17,1 и 0,73 %, что подтверждает перспективность применения метода обработки изображений, полученных с БЛА, для оценки заболеваний растений и устойчивости к фитофторозу.

В работе [10] проанализирована интеллектуальная система нанесения гербицидов на основе распылителя с прямым впрыском, используемым для точного уничтожения сорняков. Реализованный роботизированный опрыскиватель состоит из системы точного распыления и автоматического наземного транспорта. Основным преимуществом системы интеллектуального управления нанесением гербицидов является использование технологии машинного зрения в режиме реального времени, обнаруживающей сорняки, или применение точных карт заражения полей сорняками, полученных с камеры, установленной на БЛА. В результате интеллектуальная система управления позволяет селективно применять гербициды после всходов только к нежелательному растительному материалу. Основными элементами системы точного распыления являются 12 высокоскоростных электромагнитных клапанов, система прямого впрыска, емкость с водой на 200 л и контейнер для гербицида на 15 л. Трактор CNHi Boomer-3050 был использован в качестве автоматического наземного транспорта, оснащен различными сенсорными системами, включая видеокамеры и лазерный детектор препятствий, глобальной системой позиционирования в реальном времени для точной локализации, а также набором специализированных усилителей и исполнительных механизмов для автоматизации трактора. Система управления выполняет следующие функции:

- 1) интерпретация информации, поступающей от базовой станции;
- 2) оценка надежности датчиков и исполнительных механизмов;
- 3) генерация плана действий, который должен быть выполнен исполнительной системой (в данном случае системой интеллектуального распыления);
- 4) общение с внешними пользователями (кто может взять контроль и другие устройства);
- 5) контроль за исполнением общей миссии.

Предварительно тестирование системы проводилось на твердой, вымощенной поверхности с тремя имитированными пятнами сорняков, ограниченными прямыми линиями, которые были нарисованы на тротуаре. При использовании результатов испытаний для оценки эффективности удаления сорняков на поле озимой пшеницы (со средним покрытием сорняков от 0 до 66 %, площадью 10 000 м<sup>2</sup>) расчетная необработанная площадь сорняков составила приблизительно 0,5 %. То есть система распыления обеспечила бы обработку приблизительно 99,5 % зараженной сорняками площади, с экономией гербицида на 76,9 % меньше, чем обычная система с равномерным распылением. Тестирование, проведенное на реальном пшеничном поле, показало, что транспортное средство полностью соответствовало определенным маршрутам с максимальным отклонением до 7 см. При этом было обработано более 95 % площади пятен с сорняками.

В работе [11] проведено исследование по точному и дозированному применению пестицидов в необходимых зонах с помощью модульного сельскохозяйственного робота, разработанного в рамках проекта Европейского союза CROPS, на виноградных лозах. Цель проекта – сокращение использования пестицидов – была достигнута с помощью комбинированных подходов, включая выбор устойчивых сортов, методов управления посевами, методов мониторинга культур, применение биоцидов и полезных организмов, а также регулярное техническое обслуживание и оптимальную установку оборудования для распыления. В отличие от наиболее распространенного подхода по роботизации сельского хозяйства на основе адаптации немодульных, тяжелых стандартных промышленных манипуляторов к обработке конкретных видов продукции и операционным задачам, в проекте CROPS исследована возможность автоматического обнаружения симптомов мучнистой росы, крупной грибковой болезни виноградной лозы и выборочного напыления пораженных участков с помощью модульного робота, оснащенного прецизионным опрыскивателем. Роботизированная система, используемая для экспериментов, включает: манипулятор CROPS с 6-степенями свободы; точный опрыскивающий механизм и контейнер с жидкими пестицидами; систему обнаружения болезни; электронно-коммуника-

ционные средства. Опрыскивающий механизм создает спрей из жидких пестицидов и воздушного потока для нанесения на целевые участки с размером приблизительно 100–200 мм. Система обнаружения болезней основана на мультиспектральной визуализации виноградной лозы при диффузной подсветке. Роботизированная система была протестирована на четырех различных препаратах для обработки виноградной лозы с различным уровнем симптомов заболевания мучнистой росой и плотностью ее распространения в листе. Результаты показали, что робот CROPS смог вылечить от 85 до 100 % пораженных областей; ограничить здоровую зону непреднамеренно распыленными пестицидами от 5 до 20 % от общей площади; уменьшить количество пестицидов на 65–85 % (в зависимости от уровня пораженности и их пространственного распределения) по сравнению с обычным равномерным распылением.

**Сбор урожая.** В настоящее время ручной труд по сбору плодов составляет более 50 % от общих производственных издержек и около 71 % – от общего объема человеческого труда, необходимого для сельскохозяйственного производства. С ростом конкуренции возможность снижения себестоимости производства за счет механизации уборки урожая становится все более актуальной. Вариативность физических и геометрических характеристик плодов и способов их сбора не позволяет создать универсальные роботизированные системы, поэтому на текущий момент ведутся исследования по проектированию механизмов обработки плодов отдельных культур. Например, черешня/вишня характеризуется множеством мелких плодов, расположенных близко вокруг ствола дерева, поэтому сбор урожая с использованием механических шейкеров может быть более практичным, чем роботизированная система, собирающая отдельные плоды. Одним из преимуществ метода механического встряхивания является то, что не все фрукты нуждаются в обнаружении, если определены их концентрированные области в ветвях. Для автоматической уборки вишни с использованием механических шейкеров система машинного зрения должна обнаруживать и локализовать фрукты, а также ветви. В работе [12] приведена система машинного зрения для обнаружения ветвей вишневого дерева с полной листвой даже в случае, когда были видны только пре-

рывистые сегменты ветвей. Конкретными задачами в этой работе являлись:

1) попиксельное сегментирование областей ветвей на изображениях купола вишневого дерева, снятых на фоне листьев и плодов, в том числе других деревьев, растущих в саду;

2) обнаружение отдельных ветвей с использованием сегментированных областей ветвей, определение их местоположения и ориентации в 2D-изображениях и оценка точности обнаружения.

Метод обнаружения ветвей вишневого дерева включал в себя 4 основных этапа: сбор изображений, предварительную обработку изображений, попиксельную классификацию изображений и обнаружение отдельных ветвей. Байесовский классификатор использовался для распознавания пикселей изображения по четырем классам: ветви, плоды, листья и фон. Алгоритм показал 89,6 % точности при идентификации пикселей ветвей. Морфологические свойства сегментированных участков ветвей использовались для фильтрации шумов, а также для группировки сегментов одной и той же ветви в заданной области. Затем был использован метод восстановления скрытых участков ветвей через обнаруженные сегменты. Общая точность обнаружения отдельных ветвей составила 89,2 %.

В работе [13] рассматривается метод обнаружения томатов на основе изображений, полученных с БЛА при дистанционном зондировании. Плоды томатов растут группами и, как правило, частично скрыты их листьями и стеблями. На этапе сбора изображений использовался квадрокоптер с массой 2,1 кг и полезной нагрузкой до 0,1 кг. На основе спектрально-пространственной сегментации и классификации производился поиск томатов на общем фоне изображений, полученных с разных высот с различными разрешениями – 293 x 415 пикселей и 1080 x 1920 пикселей с точностью до 92 %.

Сбор фруктов является одной из самых сложных сельскохозяйственных задач для автономных робототехнических систем. Эта задача состоит из нескольких различных стадий и характеризуется: физическим контактом манипулятора и плода с высокой точностью места и ориентации захвата; принятием решений в реальном времени; отрывом плодов от растения без повреждения; необходимостью временного хранения плодов в безопасных условиях. Необ-

ходимость использования роботизированных уборочных машин связана с недостатком рабочей силы в сельском хозяйстве и жесткой конкуренцией, требующей снижения стоимости производства. Например, затраты на уборку цитрусовых плодов в США в настоящее время превышают себестоимость самой продукции и стоимость уборки плодов в Бразилии в четыре раза. Согласно экономическим исследованиям, затраты на уборку должны быть уменьшены на 50 % для поддержания глобальной конкурентоспособности [14].

В работе [15] разработана система управления и оценки эффективности роботизированной системы уборки плодов. Разработан совместный визуальный сервоконтроллер для регулирования конечного эффектора робота до целевого местоположения плода. Представлен анализ устойчивости манипулятора на основе критерия Ляпунова для обеспечения глобальной устойчивости замкнутой системы сервоприводов. Роботизированная система включает в себя манипулятор, неподвижную камеру и камеру в захвате, установленную на конце захвата манипулятора. Неподвижная камера обеспечивает общий вид дерева, в то время как камера в захвате, благодаря близости к плоду, обеспечивает съемку изображения с высоким разрешением фрукта. Для повышения скорости и точности использован кинематически избыточный манипулятор с семью электродвигателями. Для того чтобы управлять захватом робота в процессе сбора плодов, разработаны контроллер вращения для ориентации манипулятора и контроллер перемещения захвата в точку физического контакта с плодом. При оценке производительности манипулятора получено, что ошибки оценки глубины на изображении зависят от расстояния между плодом и подвижной камерой. При расстоянии от подвижной камеры до кроны дерева более 450 мм обнаруживается небольшая погрешность (<2 %). В целом при тестировании ошибка управления манипулятором была меньше, чем радиус плода. Система позиционирования манипулятора показала точность в размере около 15 мм в трехмерной системе координат, что подходит для сбора урожая больших сортов цитрусовых фруктов.

Планирование движения робота на поле является одной из важных и не до конца решенных задач при автономном сборе урожая. В работе [16] проведен анализ этой проблемы с учетом

специфики производства сладкого перца. Чтобы достичь плода в среде с препятствиями, роботизированная система сборки фруктов должна осуществлять движение без столкновений, в том числе, манипулятора и конечного захвата. Разработанный робот состоял из наземной платформы, манипулятора с 9 степенями свободы, конечного захвата на основе вакуумной присоски и ножа, отрезающего участок стебля, соединяющего плод и ветвь растения. Тестирование робота-уборщика перца производилось в теплице с заранее известным числом плодов и местом посадки растения. Во время предварительных испытаний в теплице было установлено, что можно успешно отсоединить плод, если для захвата правильно выбрать угол азимута, тогда как угол наклона захвата и плода не оказывают существенного влияния. Также было экспериментально подтверждено, что на эффективность функционирования робота-уборщика перца положительно влияют увеличение междурядного расстояния и уменьшение размеров захвата.

### **Классификация захватов для роботизированных агроманипуляторов**

По результатам проведенного анализа публикаций последних лет была составлена классификация захватов (рис. 1), которые применяются на роботизированных сельскохозяйственных средствах для манипуляций с плодами, сорняками и другими объектами.

Дальность действия, точность, скорость и другие характеристики захвата также зависят от параметров применяемого манипулятора. В данной классификации в основном рассмотрены характеристики захвата, который устанавливается на конце манипулятора и отвечает за физический контакт с объектом. Также следует заметить, что на рисунке показаны задачи, требующие непосредственного захвата объектов агроботом, поэтому задачи направленного опрыскивания сорняков или обрезки ветвей и листьев, в которых тоже участвуют манипуляторы (но объекты воздействия чаще всего не захватываются потом), также актуальны, но отражены здесь не в полной мере. Кроме того, существуют примеры, когда после обрезки объекты падают в трубный канал и доставляются в контейнер на роботизированную платформу. Например, в работе [15] манипулятор оснащен ножом и трубным каналом, в который

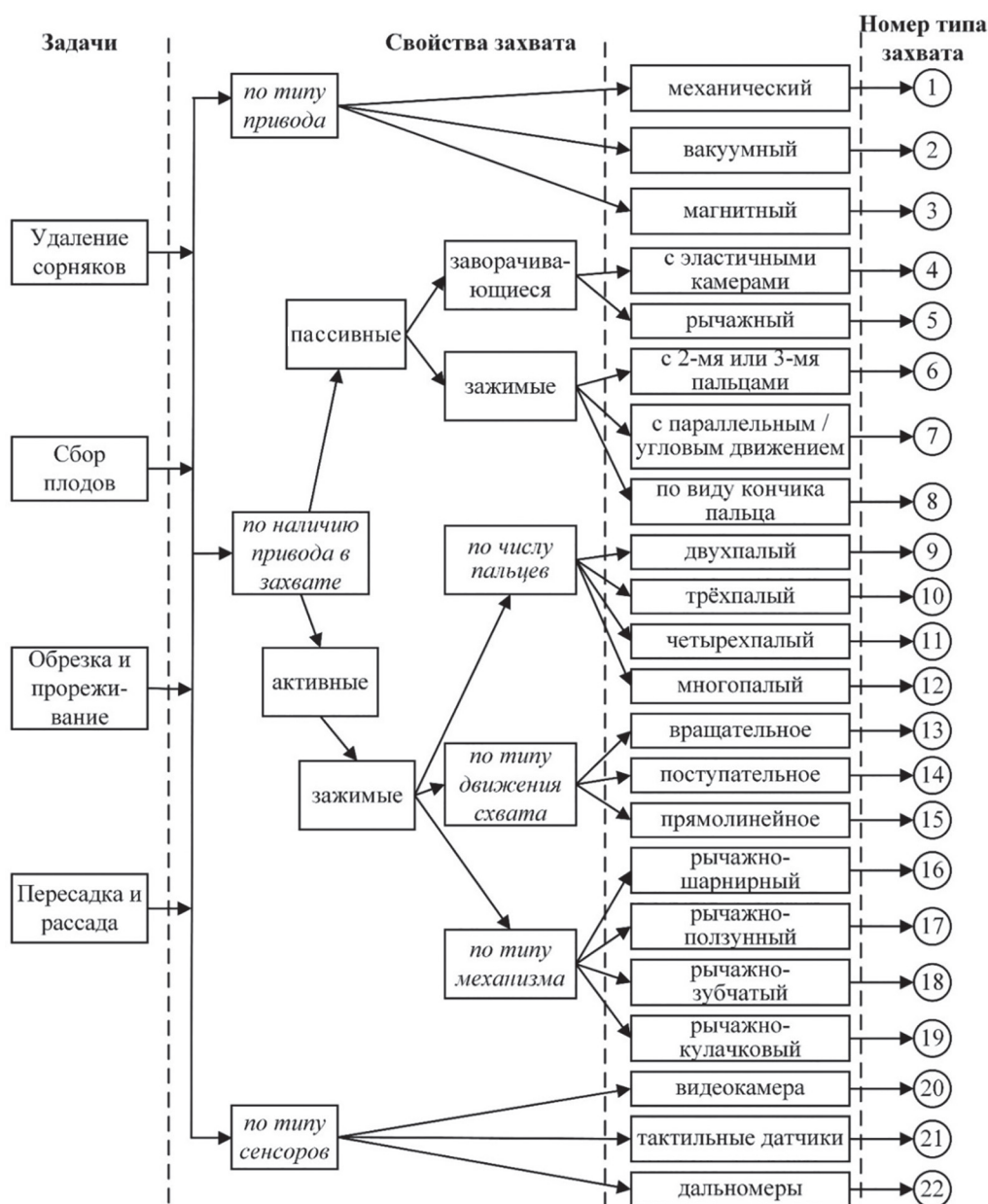


Рис. 1. Классификация агрозахватов

попадают отрезанные плоды сладкого перца под силой своей тяжести.

В правой части рис. 1 выделены 22 типа захвата в зависимости от 6 выбранных критериев: тип привода, наличие привода в захвате, число пальцев, тип движения захвата, тип механизма, тип сенсоров. На рис. 2 приведены примеры существующих исследовательских сельскохозяйственных роботов, оснащенных комбинированными захватами по предложенной классификации, которые относятся к различным типам.

### Выводы

1. Выполнение монотонных физически тяжелых операций в сельскохозяйственном про-

изводстве ведет к риску расстройства опорно-двигательного аппарата работников, а в некоторых случаях – заражению химическими препаратами. Поэтому применение роботизированных средств для физического контакта и манипуляций с объектами в сельскохозяйственном производстве является актуальной задачей, обеспечивающей снижение себестоимости продукции и повышение качества выполняемых операций.

2. Операции по удалению сорняков, обрезке ветвей, сбору плодов требуют точного трехмерного определения положения всех объектов, участвующих во взаимодействии. Задача осложняется тем, что анализ изображений



**Рис. 2. Примеры захватов, используемых в сельском хозяйстве**

производится на сложном фоне с присутствием аналогичных (сад деревьев, ряд растений) и перекрывающихся объектов (листья, ветви, плоды) [22–23]. Для составления картограмм почвы и урожая, необходимых для работы наземных роботизированных средств, в настоящее время уже активно используются беспилотные летательные аппараты [24, 25].

3. Вариативность физических и геометрических характеристик плодов и способов их сбора не позволяет создать универсальные роботизированные системы, поэтому на текущий момент ведутся исследования по проектированию механизмов обработки плодов отдельных культур. В предложенной классификации приведены основные типы захватов, применяемых для сбора фруктов и овощей.

4. Дальнейшая работа будет посвящена исследованию проблем физического взаимодействия агроботов с обрабатываемыми объектами, различающимися по весу, плотности, геометрии, шероховатости поверхности и другим параметрам. При разработке захвата и конструкции манипулятора будет использован накопленный ранее опыт разработки программно-аппаратного обеспечения антропоморфных роботов [26–28]. Также будет исследован вопрос совместного взаимодействия группы гетерогенных наземных и летательных роботов при выполнении целевой аграрной задачи в автономной миссии [29].

## Литература

1. Lee W.S., Ehsani R. Sensing systems for precision agriculture in Florida // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015. Vol. 112. P. 2–9. DOI: 10.1016/j.compag.2014.11.005.
2. Rodriguez F., Moreno J.C., Sanchez J.A., Berenguel M. Grasping in Agriculture: State-of-the-Art and Main Characteristics // *Grasping in Robotics*. Springer. P. 385–409. DOI: 10.1007/978-1-4471-4664-3\_15.
3. Bechar A. Robotics in horticultural field production // *Stewart Postharvest Review*. 2010. Vol. 6 (3). P. 1–11. DOI: 10.2212/spr.2010.3.11.
4. Monkman G.J., Hesse S., Steinmann R., Schunk H. Robot grippers. Wiley-VCH, Weinheim. 2007, 463 p.
5. Bechar A., Vigneault C. Agricultural robots for field operations. Part 2: Operations and systems // *Bio-system engineering*. 2017. Vol. 153. P. 110–128. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.11.004.
6. Midtby H.S., Astrand B. Upper limit for context based crop classification in robotic weeding applications // *Biosystems engineering*. 2016. Vol. 146. P. 183–192. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.01.012.
7. Perez-Ruiz M., Slaughter D.C. Co-robotic intra-row weed control system // *Biosystems engineering*. 2014. Vol. 126. P. 45–55. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2014.07.009.
8. RHEA Project: A robot fleet for highly effective agriculture and forestry management. <http://www.rhea-project.eu>. (Дата обращения 01.09.2017).
9. Sugiura R., Tsuda S. Field phenotyping system for the assessment of potato late blight resistance using RGB imagery from an unmanned aerial vehicle // *Biosystems engineering*. 2016, Vol. 148. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.04.010.
10. Gonzalez-de-Soto M., Emmi L. Autonomous systems for precise spraying- Evaluation of a robotised patch sprayer // *Biosystems engineering*. 2016. Vol. 146. P. 165–182. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2015.12.018.
11. Oberti R., Marchi M. Selective spraying of grapevines for disease control using a modular agricultural robot // *Biosystems engineering*. 2016. Vol. 146. P. 203–215. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2015.12.004.
12. Amatya S., Karkee M. Detection of cherry tree branches with full foliage in planar architecture for automated sweet-cherry harvesting // *Biosystems engineering*. 2016. Vol. 146. P. 3–15. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2015.10.003.
13. Senthilnath J., Dokania A. Detection of tomatoes using spectral-spatial methods in remotely sensed

- RGB images captured by UAV // *Biosystems engineering*. 2016. Vol. 146. P. 16–32. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2015.12.003.
14. Brown G.K. New mechanical harvesters for the Florida citrus juice industry // *HortTechnology*. 2005. Vol. 15. Issue 1. P. 69–72.
15. Bac C. W., Roorda T. Analysis of a motion planning problem for sweet pepper harvesting in a dense obstacle environment // *Biosystems engineering*. 2016. Vol. 146. P. 86–97. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2015.07.004.
16. Mehta S.S., MacKunis, W., Burks T.F. Robust visual servo control in the presence of fruit motion for robotic citrus harvesting // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2016. Vol. 123. P. 362–375. DOI: 10.1016/j.compag.2016.03.007
17. Feng Q., Wang X., Wang G., Li Z. Design and test of tomatoes harvesting robot // *IEEE International Conference on Information and Automation*. Lijiang, 2015, P. 949–952.
18. Hayashi S., Ganno K., Ishii Y., Tanaka K. Robotic harvesting system for eggplants // *Japan Agricultural Research Quarterly*. 2002. Vol. 36 (3). P. 163–168.
19. De-An Z., Jidong L., Wei J., Ying Z., Yu C. Design and control of an apple harvesting robot // *Biosystems engineering*. 2011. Vol. 110. P. 112–122. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2011.07.005
20. Kompano P. Deleaf-Line robot for deleafing of tomato crops. Режим доступа: <https://www.priva.com/discover-priva/news-and-stories/priva-kompano-deleaf-line>. (Дата обращения 01.09.2017).
21. Foglia M.M., Reina G. Agricultural robot for radichio harvesting // *Journal of Field Robotics*. 2006. Vol. 23 (6/7). P. 363–377. DOI: 10.1002/rob.20131.
22. Башилов А.М., Королев В.А. Техническое зрение в роботизированных технологиях аграрного производства // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2016. № 6. С. 2.
23. Сычев В.Г., Афанасьев Р.А., Ермолов И.Л., Кладко С.Г., Ворончихин В.В. диагностика азотного питания растений с использованием беспилотных летательных аппаратов // *Плодородие*. 2017. № 5. С. 2–4.
24. Башилов А.М., Королев В.А., Можасв К.Ю. Перспективы использования дронов в реализациях новейших агротехнологий // *Вестник ВИЭСХ*. 2016. № 4 (25). С. 68–75.
25. Краусп В.Р., Королев В.А. Электророботизированные агрегаты полеводства // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. № 6 (21). С. 122–130.
26. Кодяков А.С., Павлюк Н.А., Будков В.Ю., Исследование устойчивости конструкции антропоморфного робота Антарес при воздействии внешней нагрузки // *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2017. Т. 18. № 5. С. 321–327. DOI: 10.17587/mau.18.321-327.
27. Павлюк Н.А., Будков В.Ю., Бизин М.М., Ронжин А.Л. Разработка конструкции узла ноги антропоморфного робота Антарес на основе двухмоторного колена // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2016. № 1 (174). С. 227–239.
28. Мотиенко А.И., Тарасов А.Г., Дорожко И.В., Басов О.О. Проактивное управление робототехническими системами спасения пострадавших // *Труды СПИИРАН*. 2016. Вып. 46. С. 174–195. DOI: 10.15622/sp.46.12.
29. Нго К.Т., Солёная О.Я., Ронжин А.Л. Анализ подвижных роботизированных платформ для обслуживания аккумуляторов беспилотных летательных аппаратов // *Труды МАИ*. 2017. №95. Режим доступа: <http://trudymai.ru/published.php?ID=84444> (дата обращения 01.09.2017).

## References

- Lee W.S., Ehsani R. Sensing systems for precision agriculture in Florida // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015. Vol. 112. P. 2–9. DOI: 10.1016/j.compag.2014.11.005.
- Rodriguez F., Moreno J.C., Sanchez J.A., Berenguel M. Grasping in Agriculture: State-of-the-Art and Main Characteristics // *Grasping in Robotics*. Springer. P. 385–409. DOI: 10.1007/978-1-4471-4664-3\_15.
- Bechar A. Robotics in horticultural field production // *Stewart Postharvest Review*. 2010. Vol. 6 (3). P. 1–11. DOI: 10.2212/spr.2010.3.11.
- Monkman G.J., Hesse S., Steinmann R., Schunk H. Robot grippers. Wiley-VCH, Weinheim. 2007, 463 p.
- Bechar A., Vigneault C. Agricultural robots for field operations. Part 2: Operations and systems // *Biosystem engineering*. 2017. Vol. 153. P. 110–128. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.11.004.
- Midtby H.S., Astrand B. Upper limit for context based crop classification in robotic weeding applications // *Biosystems engineering*. 2016. Vol. 146. P. 183–192. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.01.012.
- Perez-Ruiz M., Slaughter D.C. Co-robotic intra-row weed control system // *Biosystems engineering*. 2014. Vol. 126. P. 45–55. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2014.07.009.
- RHEA Project: A robot fleet for highly effective agriculture and forestry management. URL: <http://www.rhea-project.eu>. (accessed 01.09.2017).
- Sugiura R., Tsuda S. Field phenotyping system for the assessment of potato late blight resistance using

- RGB imagery from an unmanned aerial vehicle // *Biosystems engineering*. 2016, Vol. 148. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.04.010.
10. Gonzalez-de-Soto M., Emmi L. Autonomous systems for precise spraying- Evaluation of a robotised patch sprayer // *Biosystems engineering*. 2016. Vol. 146. P. 165–182. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2015.12.018.
  11. Oberti R., Marchi M. Selective spraying of grapevines for disease control using a modular agricultural robot // *Biosystems engineering*. 2016. Vol. 146. P. 203–215. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2015.12.004.
  12. Amatya S., Karkee M. Detection of cherry tree branches with full foliage in planar architecture for automated sweet-cherry harvesting // *Biosystems engineering*. 2016. Vol. 146. P. 3–15. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2015.10.003.
  13. Senthilnath J., Dokania A. Detection of tomatoes using spectral-spatial methods in remotely sensed RGB images captured by UAV // *Biosystems engineering*. 2016. Vol. 146. P. 16–32. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2015.12.003.
  14. Brown G.K. New mechanical harvesters for the Florida citrus juice industry // *HortTechnology*. 2005. Vol. 15. Issue 1. P. 69–72.
  15. Bac C. W., Roorda T. Analysis of a motion planning problem for sweet pepper harvesting in a dense obstacle environment // *Biosystems engineering*. 2016. Vol. 146. P. 86–97. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2015.07.004.
  16. Mehta S.S., MacKunis, W., Burks T.F. Robust visual servo control in the presence of fruit motion for robotic citrus harvesting // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2016. Vol. 123. P. 362–375. DOI: 10.1016/j.compag.2016.03.007
  17. Feng Q., Wang X., Wang G., Li Z. Design and test of tomatoes harvesting robot // *IEEE International Conference on Information and Automation*. Lijiang, 2015. P. 949–952.
  18. Hayashi S., Ganno K., Ishii Y., Tanaka K. Robotic harvesting system for eggplants // *Japan Agricultural Research Quarterly*. 2002. Vol. 36(3). P. 163-168.
  19. De-An Z., Jidong L., Wei J., Ying Z., Yu C. Design and control of an apple harvesting robot // *Biosystems engineering*. 2011. Vol. 110. P. 112–122. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2011.07.005
  20. Kompano P. Deleaf-Line robot for deleafing of tomato crops. URL: <https://www.priva.com/discover-priva/news-and-stories/priva-kompano-de-leaf-line>. (accessed 01.09.2017).
  21. Foglia M.M., Reina G. Agricultural robot for radicchio harvesting // *Journal of Field Robotics*. 2006. Vol. 23 (6/7). P. 363–377. DOI: 10.1002/rob.20131.
  22. Bashilov A.M., Korolev V.A. Machine vision in robotics technologies of agricultural production. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2016. No 6, pp. 2 (in Russ.).
  23. Sychev V.G., Afanas'ev R.A., Ermolov I.L., Kladko S.G., Voronchikhin V.V. Diagnostics of nitrogen nutrition of plants using unmanned aerial vehicles. *Plodorodie*. 2017. No 5, pp. 2–4 (in Russ.).
  24. Bashilov A.M., Korolev V.A., Mozhaev K.Yu. Prospects for the use of drones in the implementation of the newest agrotechnologies. *Vestnik VIESKh*. 2016. No 4(25), pp. 68–75 (in Russ.).
  25. Krausp V.R., Korolev V.A. Electro-robotic aggregates of field crop cultivation. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2016. No 6 (21), pp. 122–130 (in Russ.).
  26. Kodyakov A.S., Pavlyuk N.A., Budkov V.Yu. Investigation of the stability of the construction of anthropomorphic robot Antares under the influence of an external load. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*. 2017. Vol. 18. No 5, pp. 321–327 (in Russ.). DOI: 10.17587/mau.18.321-327.
  27. Pavlyuk N.A., Budkov V.Yu., Bizin M.M., Ronzhin A.L. Development of the construction of the foot assembly of the anthropomorphic robot Antares based on the twin-motor knee. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*. 2016. No 1(174), pp. 227–239 (in Russ.).
  28. Motienko A.I., Tarasov A.G., Dorozhko I.V., Basov O.O. Proactive control of robotic rescue systems for victims. *Trudy SPIRAN*. 2016. Vyp.46, pp. 174–195 (in Russ.). DOI: 10.15622/sp.46.12.
  29. Ngo K.T., Solenaya O.Ya., Ronzhin A.L. Analysis of mobile robotic platforms for maintenance of unmanned aerial vehicle batteries. *Trudy MAI*. 2017. No 95 (in Russ.). URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=84444> (accessed 01.09.2017).



# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОСЕВА СТЕРНЕВЫМИ СЕЯЛКАМИ

## IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF SOWING BY STUBBLE SEEDERS

**С.Г. ЛОПАРЕВА**  
**Ю.Н. МЕКШУН**, к.т.н.  
**А.В. ФОМИНЫХ**, д.т.н.  
**Д.В. ЛОПАРЕВ**

Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева, Курган, Россия, kshapgs@yandex.ru

**S.G. LOPAREVA**  
**YU.N. MEKSHUN**, PhD in Engineering  
**A.V. FOMINYKH**, DSc in Engineering  
**D.V. LOPAREV**

Kurgan State Agricultural Academy n.a. T.S. Maltsev, Kurgan, Russia, kshapgs@yandex.ru

Основой парка посевных машин являются стерневые сеялки СЗС-2.1, СКП-2.1. Недостатком таких сеялок является нерациональное использование площади питания по причине неравномерного распределения посевного материала. Совершенствование технологического процесса посева возможно путем установки на лаповые сошники распределителей семян. Предложена схема лапового сошника с пассивным распределителем семян, каждая сторона которого состоит из двух плоскостей, установленных под разными углами. Расчетная схема и математическая модель позволили исследовать процесс распределения семян, выявить влияние конструктивных параметров сошника и двухплоскостного распределителя на траекторию частицы, определить рациональные параметры распределителя. В Mathcad разработана программа, моделирующая траекторию движения частицы по стойке сошника и в ограниченном подлаповом пространстве, что позволило провести расчетные исследования процесса распределения семян сошником с двухплоскостным распределителем. Данная программа позволяет определять геометрические и кинематические параметры полета зерновки, отраженной от распределителя и потолочной поверхности сошника (траектория, дальность полета, направление вектора скорости при падении на землю и др.), при варьировании углов наклона плоскостей отражателя, высоты падения частицы и ее физико-механических свойств. Расчет включает в себя определение параметров полета зерновки вдоль вертикальной прямой на первом этапе полета, по «баллистической» кривой после каждого отражения. Результаты расчета выдаются в виде графического изображения траекторий движения частиц и таблиц с числовыми значениями координат траектории и дальности отскока. Для подтверждения достоверности результатов теоретических исследований и определения равномерности посева проведены лабораторные испытания лаповых сошников с двухплоскостными распределителями семян. Определены конструктивные параметры двухплоскостных распределителей, обеспечивающие максимальную равномерность распределения семян по ширине сошниками стерневых сеялок. Оснащение лаповых сошников двухплоскостными распределителями обеспечивает посев с более высокими качественными показателями по равномерности и повышению продуктивности сельскохозяйственных культур.

**Ключевые слова:** посев, распределение семян, лаповые сошники, стерневые сеялки.

The basis of the seeding machine fleet is the stubble seeders SZS-2.1, SKP-2.1. A disadvantage of such seeders is the irrational use of the area of feeding due to the uneven distribution of the seed. Improvement of the technological process of sowing is possible by installing seed spreaders on the paw coulters. A scheme of a paw coulters with a passive seed distributor is proposed, each side of which consists of two planes installed at different angles. The calculation scheme and mathematical model allowed to study the process of seed distribution, to reveal the influence of constructive parameters of the coulters and the two-plane distributor on the trajectory of the particle, to determine the rational parameters of the distributor. In Mathcad, a program has been developed that simulates the trajectory of the particle movement along the coulters stand and in the limited under-paw space, which allowed the calculation of the seed distribution process with a coulters with a two-plane distributor. This program allows you to determine the geometric and kinematic parameters of the grain flight reflected from the distributor and the ceiling surface of the opener (trajectory, flight range, direction of the velocity vector when falling to the ground, etc.) when varying the inclination angles of the reflector planes, the incidence of the particle and its physical and mechanical properties. The calculation includes determining the flight parameters of the grain along the vertical straight line in the first stage of the flight, along the "ballistic" curve after each reflection. The results of the calculation are given in the form of a graphical representation of particle trajectories and tables with numerical values of the coordinates of the trajectory and the range of the rebound. To confirm the reliability of the results of theoretical studies and to determine the uniformity of sowing, laboratory tests of paw coulters with two-plane seed spreaders were carried out. The design parameters of two-plane distributors are determined, which ensure the maximum uniformity in the distribution of seeds along the width of the coulters of stubble seeders. Equipping the paw coulters with two-plane spreaders provides seeding with higher quality indices on uniformity and will ensure an increase in the productivity of agricultural crops.

**Keywords:** seeding, seed distribution, paw coulters, stubble seeders.

## Введение

На рынке посевной техники существует большое многообразие посевных комплексов отечественного и зарубежного производства. Тем не менее, из всего сеялочного парка основную долю в настоящее время составляют стерневые сеялки прямого посева СЗС-2.1, СКП-2.1. По данным департамента сельского хозяйства по Курганской области, доля таких сеялок составляет более 80 % от всего парка посевных комплексов, зерновых и стерневых сеялок (рис. 1). Анализ динамики наличия посевной техники за 2015–2017 гг. показывает, что и в будущем данные сеялки будут составлять основу парка посевных машин в АПК области.

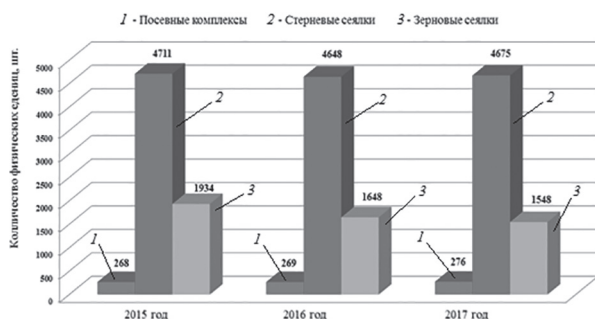


Рис. 1. Наличие посевных комплексов и сеялок в Курганской области за 2015–2017 гг.

Основным недостатком сеялок-культиваторов является большая ширина междурядий в пределах 22...23 см, что приводит к неравномерному распределению посевного материала по ширине засеваемой полосы и нерациональному использованию площади питания.

## Цель исследования

Целью исследования является совершенствование технологического процесса посева стерневыми сеялками.

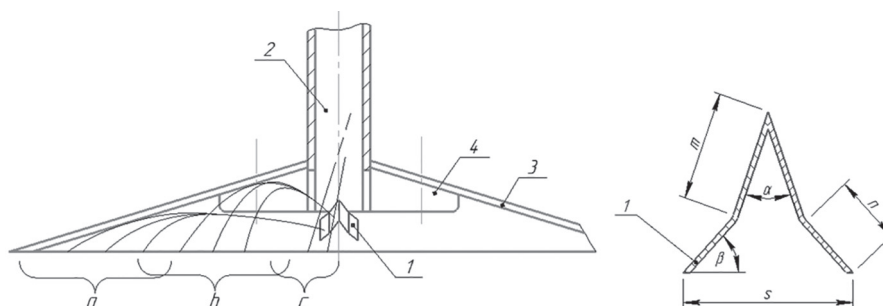


Рис. 2. Схема сошника с двухплоскостным распределителем:

1 – распределитель; 2 – стойка семяпровода квадратного сечения; 3 – стрельчатая лапа; 4 – пятка

## Материалы, методы исследования и обсуждение результатов

Совершенствование технологического процесса посева зерновых культур стерневыми сеялками с механическим высевом возможно путем установки на лаповые сошники распределителей семян, обеспечивающих их равномерное распределение по всей ширине сошника. Предложена схема лапового сошника. Под полый стойкой квадратного сечения установлен пассивный распределитель, каждая сторона которого состоит из двух плоскостей, установленных под разными углами (рис. 2) [1].

При посеве семена из семяпровода по стойке сошника падают вниз и, ударяясь о поверхности распределителя, отражаются от них. Ударившись о верхние грани (зона *m*), семена отражаются и падают на средний участок *b* дна борозды. Семена, которые ударяются о нижние грани (зона *n*), отражаются по более высокой траектории и падают на дальний участок *a*. На участок *c* падают семена, которые пролетают мимо распределителя. Такое взаимодействие с распределителем обеспечит равномерное распределение по всей ширине сошника [1–5].

Для определения влияния различных параметров на процесс распределения семян двухплоскостным распределителем составлена расчетная схема (рис. 3) и разработана математическая модель, включающая аналитические зависимости и численные методы расчета. В Mathcad разработана программа, моделирующая траекторию частицы по стойке сошника и в ограниченном подлаповом пространстве. Данная программа позволяет определять геометрические и кинематические параметры полета зерновки, отраженной от распределителя и потолочной поверхности сошника (траектория, дальность полета, направление вектора скорости при падении на землю и др.), при варьировании углов наклона двух плоскостей отражателя.

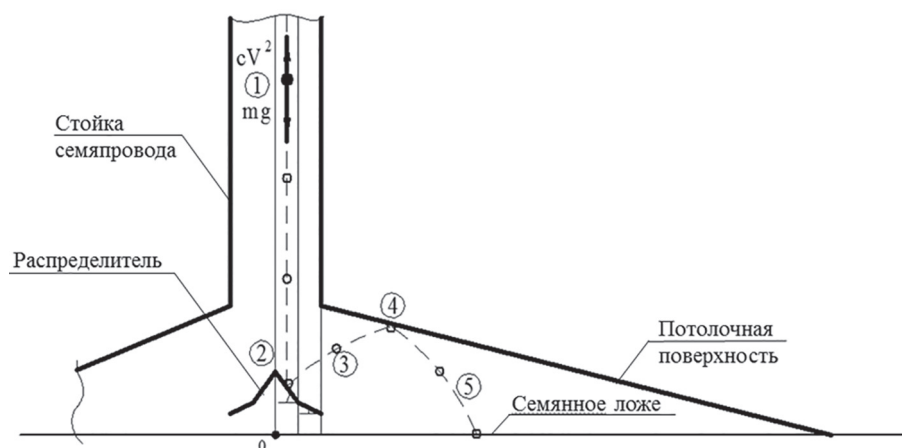


Рис. 3. Расчетная схема по определению траектории частицы

В программе производится расчет параметров полета зерновки вдоль вертикальной прямой на первом этапе полета, по (баллистической) кривой после каждого отражения, а также определение параметров движения зерновки в результате удара о поверхность, которое выполняли с использованием гипотезы вязкого трения [2–5].

Расчетная схема (рис. 3) включает 5 различных этапов расчета траекторий и взаимодействий частицы от стойки семяпровода до семенного ложа с учетом влияния потолочной поверхности сошника:

1 этап – траектория движения частицы от семяпровода до отражающей поверхности (вертикальное падение);

2 этап – взаимодействия частицы с отражающей поверхностью;

3 этап – траектории движения частицы от отражающей поверхности распределителя до потолочной поверхности сошника или семенного ложа;

4 этап – взаимодействия частицы с потолочной поверхностью сошника;

5 этап – траектории движения частицы после взаимодействия с потолочной поверхностью сошника до семенного ложа.

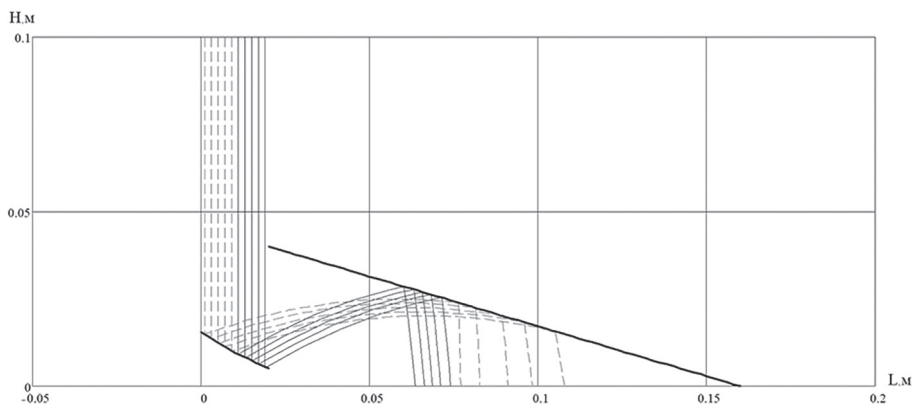
При моделировании процесса распределения семян и дальности их отскока  $L$ , представленной в виде функции  $L = f(H, \alpha_1, \alpha_2, m, K, \lambda, \varphi)$ , в программу вводятся физико-механические свойства семян ( $K$  – коэффициент восстановления скорости;  $\lambda$  – коэффициент мгновенного трения) и геометрические параметры сошника ( $H$  – высота стойки сошника,  $\alpha_1, \alpha_2$  – углы верхней и нижней плоскостей распределителя,  $\varphi$  – координаты расположения потолочной поверхности).

Программа численного расчета характеристик полета частицы в Mathcad выполнена в виде блок-схемы. Результатом расчета является информация, которая выдается в виде графического изображения траекторий движения частиц и таблиц с числовыми значениями координат траектории и дальности отскока [5, 6].

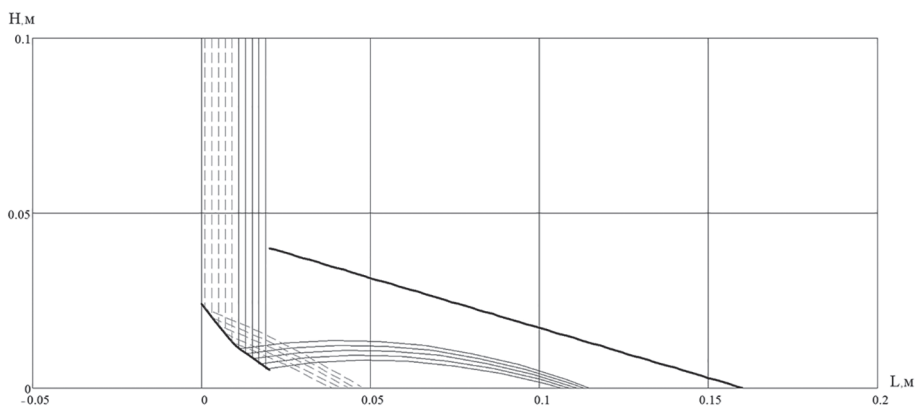
Процесс распределения в правой и левой частях сошника одинаков, поэтому в расчетной схеме представлена только половина сошника. Принято допущение, что частица имеет сферическую форму и обладает физико-механическими свойствами реальной зерновки, на которую действует сила тяжести и которая падает внутри стойки сошника без взаимодействия с ее стенками и друг с другом. Верхняя и нижняя плоскости распределителя имеют равную ширину – по 1 см. Предполагается, что частицы падают по стойке сошника на плоскости распределителя на расстоянии друг от друга, равном 2 мм, поэтому на графическом изображении результатов расчета траектории частицы представлено 10 различных траекторий. Программа выдает результаты расчета в виде таблиц с числовыми значениями координат траектории частицы и в виде графического изображения траектории [5].

На рис. 4 и 5 представлены частные случаи результатов расчета траектории частицы в программе Mathcad: траектории частиц при взаимодействии с потолочной поверхностью лапы сошника (рис. 4) и без взаимодействия (рис. 5).

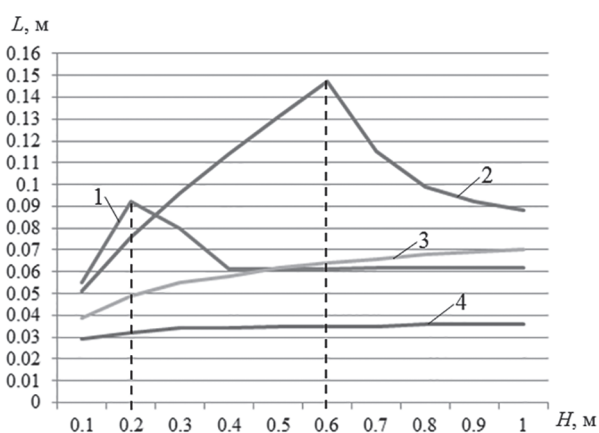
Основное влияние на траекторию частицы, отраженной от плоскости распределителя, оказывают высота падения частицы, углы наклона плоскостей распределителя и возможное взаимодействие с потолочной поверхностью сошника. Зависимости этих факторов на дальность отскока частицы представлены на рис. 6 и 7 [2–6].



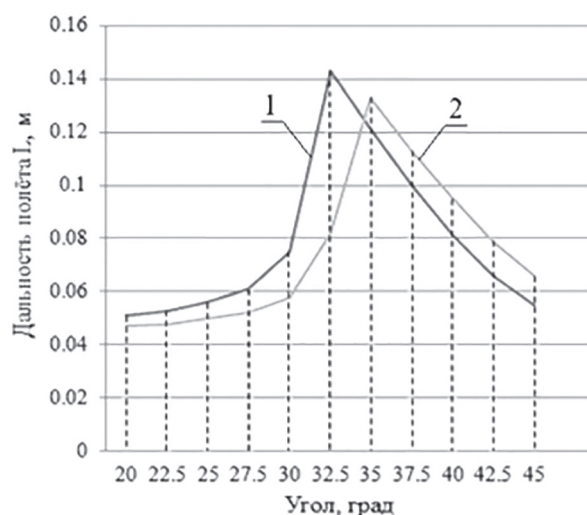
**Рис. 4. Результаты расчета траектории частицы в программе Mathcad (угол нижней плоскости 25°, угол верхней плоскости 30°):**  
 - - - траектория движения от верхней плоскости распределителя;  
 — траектория движения от нижней плоскости распределителя



**Рис. 5. Результаты расчета траектории частицы в программе Mathcad (угол нижней плоскости 35°, угол верхней плоскости 50°):**  
 - - - траектория движения от верхней плоскости распределителя;  
 — траектория движения от нижней плоскости распределителя



**Рис. 6. График зависимости дальности полета частицы от высоты падения с учетом влияния потолочной поверхности:**  
 1 – угол отражающей поверхности 25°;  
 2 – угол отражающей поверхности 35°;  
 3 – угол отражающей поверхности 45°;  
 4 – угол отражающей поверхности 55°

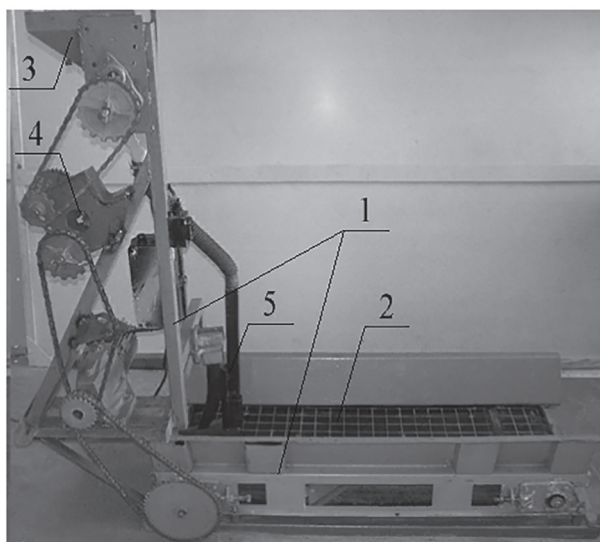


**Рис. 7. График зависимости дальности полета частицы от углов наклона плоскостей распределителя при высоте падения  $h = 0,55$  м:**  
 1 – нижняя плоскость распределителя;  
 2 – верхняя плоскость распределителя

Полученные зависимости позволяют сделать вывод: при определенном сочетании величины угла отражательной поверхности и высоты падения частицы происходит взаимодействие с потолочной поверхностью сошника, что приводит к снижению дальности полета [3–5].

Графики показывают, что при увеличении углов плоскостей распределителя наблюдается рост дальности полета частицы. При достижении значений угла наклона нижней плоскости, близких к 33, а верхней плоскости – к 35 градусам, (при высоте падения  $h = 0,55$  м) наблюдается снижение дальности полета частицы. Причиной снижения дальности полета является взаимодействие с потолочной поверхностью сошника.

Для подтверждения теоретических предположений и определения эффективности посева лаповым сошником с двухплоскостным распределителем разработана, сконструирована и изготовлена лабораторная установка, моделирующая технологический процесс реального посева пшеницы (рис. 4).



**Рис. 8. Лабораторная установка:**

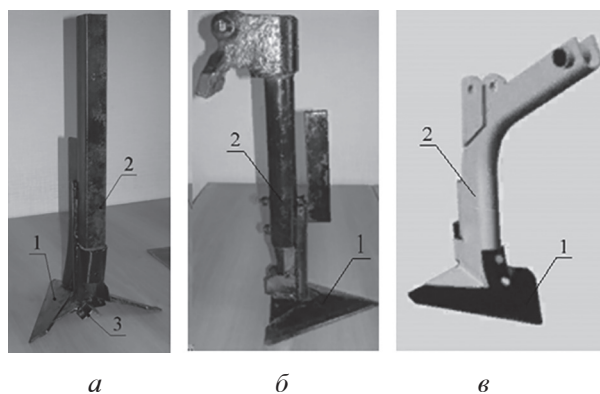
- 1 – рама с кронштейном для установки сошника;
- 2 – ленточный конвейер; 3 – бункер;
- 4 – механизм привода; 5 – сошник

Для проведения лабораторных исследований использовали лаповые сошники стерневых сеялок-культиваторов СЗС-2.1М, СКП-2.1 и экспериментальный сошник со стойкой квадратного сечения с шириной захвата 270 мм (рис. 9). В подлаповом пространстве сошников закрепляли двухплоскостные распределители семян с различными углами наклона плоско-

стей. По результатам испытаний определяли по методу Е.П. Огрызкова [7] равномерность распределения семян по площади питания и ширине сошника.

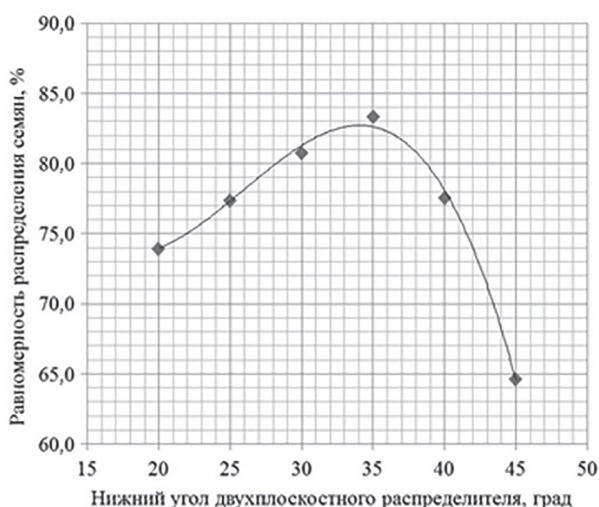
Лабораторная установка позволяет менять в необходимом диапазоне конструктивные и технологические параметры, позволяющие исследовать процесс посева семян лаповыми сошниками с распределительными устройствами.

Исследованиями подтверждено влияние конструктивных параметров лапового сошника с двухплоскостным распределителем на равномерность распределения семян, выявленных теоретическими исследованиями. На рис. 10 представлен график зависимости распределения семян по ширине сошника сеялки СКП-2.1, оснащенной двухплоскостным распределителем.



**Рис. 9. Используемые в испытаниях сошники:**

- а – экспериментальный сошник; б – сошник сеялки СЗС-2.1; в – сошник сеялки СКП-2.1;
- 1 – стрельчатая лапа; 2 – стойка сошника;
- 3 – двухплоскостной распределитель семян



**Рис. 10. График зависимости распределения семян по ширине сошника от угла наклона нижней плоскости распределителя сошника СКП-2.1**

Характер кривых распределения семян для всех исследуемых сошников практически одинаков. Максимальная равномерность распределения семян по ширине сошника составляет от 75 до 83 %. Такая равномерность распределения достигается при угле наклона верхних плоскостей 45° для всех исследуемых сошников. Рациональными углами нижних плоскостей распределителя для экспериментального сошника являются углы 37...42°, для сошников сеялки СЗС-2.1 М – углы 30...35° и для сошников сеялки СКП-2.1 – углы 40...45°.

### Выводы

1. Разработанная математическая программа, моделирующая траекторию частицы по стойке сошника и в ограниченном подлаповом пространстве, позволяет на этапе проектирования определять влияние конструктивных параметров сошников, оснащенных пассивным двухплоскостным распределителем, на процесс распределения семян.

2. Оснащение лаповых сошников стерневых сеялок с механическим высевом семян двухплоскостными распределителями обеспечит посев с более высокими качественными показателями по равномерности, а созданные благоприятные условия для произрастания семян и развития растений обеспечат повышение продуктивности сельскохозяйственных культур.

### Литература

1. Архипов А.А., Лопарева С.Г., Мекшун Ю.Н., Оплетев С.И. Сошник для подпочвенно-разбросного посева: патент на полезную модель 165587, Российская Федерация. Опубликовано 27.10.2016. Бюл. № 30.
2. Лопарева С.Г. Исследование процесса посева семян пассивным плоскостным рассеивателем // Современное состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: материалы международной научно-практической конференции. Курган: КГСХА, 2016. С. 456–459.
3. Лопарева С.Г., Мекшун Ю.Н., Лопарев Д.В. Подпочвенно-разбросной посев сеялкой-культиватором с механическим высевом семян // Материалы международной научно-практической конференции «Научное обеспечение реализации государственных программ АПК и сельских территорий». Лесниково: Изд-во Курганской ГСХА, 2017. С. 438–442.
4. Мекшун Ю.Н., Лопарева С.Г., Родионов С.С. Изучение процесса взаимодействия зерновки с

наклонным отражателем // Вестник Курганской ГСХА. 2016. № 3 (19). С. 71–73.

5. Lopareva S.G., Mekshun Yu.N., Ovchinnikov D.N., Loparev D.V. The results of theoretical research on seed distribution by coulter drills with a two-layered seed distributor // BRITISH JOURNAL OF INNOVATION IN SCIENCE AND TECHNOLOGY. 2017. Vol. 2. No. 3. P. 13–19.
6. Мекшун Ю.Н., Лопарева С.Г., Фоминых А.В., Лопарев Д.В. Анализ конструкций сошников для подпочвенно-разбросного посева семян зерновых культур с механическим высевом // Материалы всероссийской научно-практической конференции «Техническое обеспечение технологий производства сельскохозяйственной продукции». Лесниково: Изд-во Курганской ГСХА, 2017. С. 87–91.
7. Огрызков Е.П., Огрызков В.Е., Огрызков П.В. Теория нового технологического процесса сошника // Техника в сельском хозяйстве. 2003. № 5. С. 36–37.

### References

1. Arkhipov A.A., Lopareva S.G., Mekshun Yu.N., Opletaev S.I. Soshnik dlya podpochvennorazbrosnogo poseva [Coulter for sub-soil spreading]: patent na poleznuyu model' No 165587, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 27.10.2016. Byul. No 30.
2. Lopareva S.G. Investigation of seed sowing by a passive planar spreader. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Current state and prospects for the development of the agro-industrial complex: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Kurgan: KGSKhA Publ., 2016, pp. 456–459 (in Russ.).
3. Lopareva S.G., Mekshun Yu.N., Loparev D.V. Subsoil-spreading seeding with a seeder-cultivator with mechanical seed sowing. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauchnoe obespechenie realizatsii gosudarstvennykh programm APK i sel'skikh territoriy» [Materials of the International Scientific and Practical Conference «Scientific Provision of Implementation of State Agroindustrial Complex Programs and Rural Territories»]. Lesnikovo: Izd-vo Kurganskoy GSKhA Publ., 2017, pp. 438–442 (in Russ.).
4. Mekshun Yu.N., Lopareva S.G., Rodionov S.S. Study of the process of interaction between grains with an inclined reflector. Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2016. No 3(19), pp. 71–73 (in Russ.).

5. Lopareva S. G., Mekshun Yu. N., Ovchinnikov D. N., Loparev D. V. The results of theoretical research on seed distribution by coulter drills with a two-layered seed distributor. BRITISH JOURNAL OF INNOVATION IN SCIENCE AND TECHNOLOGY. 2017. Vol. 2. No. 3, pp. 13–19.
6. Mekshun Yu. N., Lopareva S. G., Fominykh A. V., Loparev D. V. Analysis of coulter designs for subsoil-spread seeding of grain crops with mechanical seeding. Materialy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Tekhnicheskoe obespechenie tekhnologiy proizvodstva sel'skokhozyaystvennoy produkcii» [Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference «Technical Support of Agricultural Production Technologies»]. Lesnikovo: Izd-vo Kurganskoy GSKhA Publ., 2017, pp. 87–91 (in Russ.).
7. Ogryzkov E. P., Ogryzkov V. E., Ogryzkov P. V. The theory of a new coulter process. Tekhnika v sel'skom khozyaystve. 2003. No 5, pp. 36–37 (in Russ.).

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЯГОВОЙ ДИНАМИКИ ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА-САМОСВАЛА

## STUDY OF TRACTION DYNAMICS OF A CATERPILLAR TRACTOR WAGON

**С.А. ВОЙНАШ<sup>1</sup>**  
**А.С. ВОЙНАШ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ООО «Завод гусеничных машин», Рубцовск, Россия,  
sergey\_voi@mail.ru

<sup>2</sup> Рубцовский индустриальный институт (филиал)  
Алтайского государственного технического  
университета им. И.И. Ползунова, Рубцовск, Россия,  
aleksstok@yandex.ru

**S.A. VOYNASH<sup>1</sup>**  
**A.S. VOYNASH<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> LLC «Plant of Caterpillar Machines», Rubtsovsk, Russia,

<sup>2</sup> Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of the Polzunov Altai  
State Technical University, Rubtsovsk, Russia,  
aleksstok@yandex.ru

Существующие гусеничные самосвалы, в том числе иностранного производства, при сравнительно небольших объемах работ, проводимых сезонно, например при строительстве дорог в лесозаготовительных районах, недостаточно эффективны. Предложено использовать для нужд дорожного строительства имеющуюся в распоряжении лесозаготовителей трелевочную технику. ООО «Завод гусеничных машин» разработано схемное решение гусеничного трактора-самосвала, получаемого за счет оснащения серийного гусеничного трелевочного трактора ТГЛ-4.04 самосвальным кузовом большой вместимости и применения бульдозерного оборудования с поворотным отвалом. С целью оказания помощи потребителю, применяющему гусеничный самосвал на базе трелевочного трактора ТГЛ-4.04, в определении нагрузочных параметров, соответствующих режимам наиболее эффективного использования машины в конкретных эксплуатационных условиях, решаются задачи разработки достаточно простых номограмм, графически связывающих основные нагрузочные параметры гусеничного трактора-самосвала с характеристиками типичных условий эксплуатации. Изложена методика расчета динамических характеристик гусеничного трактора-самосвала. Предложены варианты динамического паспорта, в том числе с номограммой рейсовой нагрузки. Каждый вариант динамического паспорта содержит два квадранта: в правом квадранте представлена динамическая характеристика «по двигателю»; в левом квадранте представлены зависимости динамического фактора от угла подъема местности и коэффициентов сопротивления движению при средних и тяжелых условиях (динамическая характеристика «по условиям движения»). Приведены примеры анализа характера движения гусеничного трактора-самосвала с заданной скоростью в заданных условиях. Предложенный усовершенствованный вариант динамического паспорта с номограммой рейсовой нагрузки позволяет формулировать практические рекомендации по величинам рейсовых нагрузок и скоростям движения гусеничного трактора-самосвала при транспортировке грузов в конкретных эксплуатационных условиях.

**Ключевые слова:** гусеничный трактор-самосвал, касательная сила тяги, динамический паспорт, эксплуатационный режим, рейсовая нагрузка.

Existing caterpillar dump trucks, including foreign ones, with relatively small amounts of work carried out seasonally, for example, when building roads in logging areas, are not effective enough. It is proposed to use trail equipment available for logging needs for road construction. LLC «Plant of Caterpillar Machines» developed a schematic solution for a caterpillar tractor wagon obtained by equipping the serial rubber trail tractor TGL-4.04 with a large-capacity dump truck and using bulldozer equipment with a turning blade. In order to assist the customer using the caterpillar dump truck based on the trail tractor TGL-4.04 in determining the loading parameters corresponding to the modes of the most efficient use of the machine under specific operating conditions, the tasks of developing fairly simple nomograms graphically linking the main load parameters of a caterpillar tractor wagon characteristics with typical operating conditions. The technique of calculation of dynamic characteristics of a caterpillar tractor wagon is stated. Variants of a dynamic passport are proposed, including a nomogram of the regular-route load. Each version of the dynamic passport contains two quadrants: in the right quadrant, the dynamic characteristic «on the engine»; in the left quadrant, the dependences of the dynamic factor on the elevation angle of the terrain and the drag coefficients for medium and heavy conditions are presented (dynamic characteristic «according to traffic conditions»). Examples of the analysis of the nature of the movement of a caterpillar tractor wagon at a given speed under given conditions are given. The proposed improved version of the dynamic passport with the nomogram of the regular-route load makes it possible to formulate practical recommendations on the values of the regular-route loads and the speeds of the caterpillar tractor wagon when transporting goods under specific operating conditions.

**Keywords:** caterpillar tractor wagon, tangential traction force, dynamic passport, operating mode, regular-route load.



## Введение

На рынке России широко представлены гусеничные самосвалы иностранного производства (Mitsubishi, Hitachi, Komatsu и др.). Они находят применение в горнорудных карьерах, при строительстве трубопроводов и ЛЭП, при проведении работ в стесненных городских условиях, при перевозке лесных грузов и т.п. [1, 2]. В то же время при сравнительно небольших объемах работ, проводимых сезонно, например при строительстве дорог в лесозаготовительных районах, эффективность специальной гусеничной транспортной техники резко снижается.

Определенным выходом из проблемной ситуации представляется использование для нужд дорожного строительства имеющейся в распоряжении лесозаготовителей трелевочной техники [3].

Поэтому в ООО «Завод гусеничных машин» разработано схемное решение гусеничного трактора-самосвала (рис. 1), получаемого за счет оснащения серийного гусеничного трелевочного трактора ТГЛ-4.04 самосвальным кузовом большой вместимости и применения бульдозерного оборудования с поворотным отвалом [4].

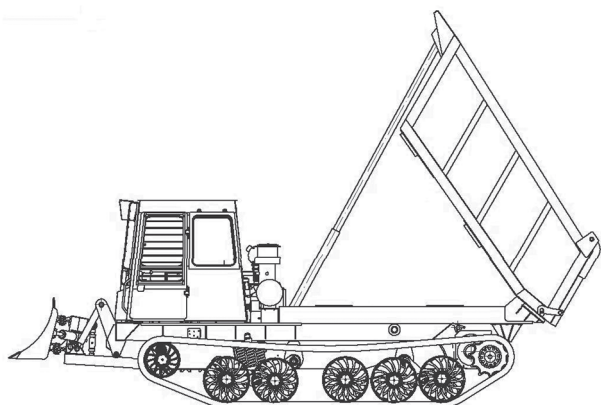


Рис. 1. Гусеничный трактор-самосвал в разгрузочном положении

## Цель исследований

Цель исследования – помочь потребителю, применяющему гусеничный самосвал на базе трелевочного трактора ТГЛ-4.04, в определении нагрузочных параметров, соответствующих режимам наиболее эффективного использования машины в конкретных эксплуатационных условиях.

## Методика и результаты исследований

Оценку эксплуатационных качеств гусеничного трактора-самосвала можно провести на основе тягово-динамических расчетов.

В теории транспортных машин (автомобилей, тягачей и др.) широко используется метод динамической характеристики, заключающийся в построении зависимости динамического фактора от скорости движения.

Динамический фактор автомобиля рассчитывается по формуле [5, 6]:

$$D = \frac{P_k - P_w}{G}, \quad (1)$$

где  $P_k$  – касательная сила тяги, кН;  $P_w$  – сопротивление воздуха, кН;  $G$  – вес машины, кН.

Для гусеничного трактора-самосвала, имеющего максимальную скорость до 10 км/ч, с погрешностью вычислений не более 2 % можно принять  $P_w \approx 0$ . Тогда:

$$D = P_k / G.$$

Вес рассматриваемой машины:

$$G = G_3 + Q,$$

где  $G_3$  – эксплуатационный вес гусеничного трактора-самосвала, кН;  $Q$  – рейсовая нагрузка, кН.

Касательная сила тяги может быть рассчитана двумя способами: по условиям движения и по двигателю.

Для расчета касательной силы тяги по условиям движения рассмотрим представленные на рис. 2. силы, действующие на гусеничный трактор-самосвал при равномерном движении на подъеме.

Уравнение тягового баланса имеет вид:

$$\begin{aligned} P_k &= P_f + (G_3 + Q) \sin \alpha = \\ &= f(G_3 + Q) \cos \alpha + (G_3 + Q) \sin \alpha, \end{aligned}$$

где  $P_f$  – сила сопротивления качению, кН;  $f$  – коэффициент сопротивления качению гусеничного трактора-самосвала;  $\alpha$  – угол уклона местности.

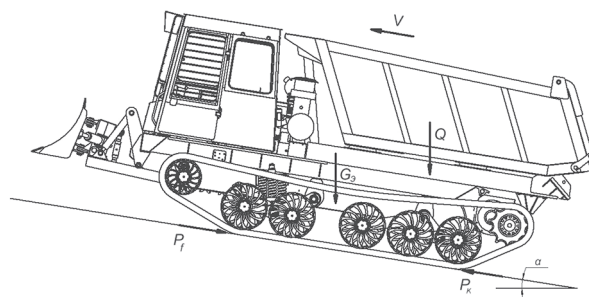


Рис. 2. Схема к расчету касательной силы тяги гусеничного трактора-самосвала

Выражение для динамического фактора принимает вид:

$$D = f \cos \alpha + \sin \alpha . \quad (1)$$

Выражая  $P_k$  через параметры двигателя, трансмиссии и ходовой части, получим для гусеничного трактора-самосвала:

$$D = \frac{M_e i_{тр} \eta_{тр}}{Gr_k} , \quad (2)$$

где  $M_e$  – крутящий момент, кН·м;  $i_{тр}$  – передаточное число трансмиссии;  $\eta_{тр}$  – КПД трансмиссии;  $r_k$  – радиус качения ведущего колеса гусеничного трактора-самосвала, м.

Расчет скорости движения гусеничного трактора-самосвала проводится по формуле:

$$V = 3,6 \frac{n_e r_k \pi}{30 i_{тр}} , \quad (3)$$

где  $n_e$  – частота вращения коленвала двигателя, мин<sup>-1</sup>.

Для расчетов по формулам (2) и (3) необходимо знание внешней скоростной характеристики двигателя. При отсутствии экспериментальных данных проводится теоретический расчет внешней скоростной характеристики двигателя по формулам, рекомендуемым в теории двигателя. Результаты расчетов представляются графически в виде так называемой динамической характеристики по двигателю. Результаты расчетов по формуле (1) представляются графически в виде так называемой динамической характеристики по условиям движения. Объединяя обе динамические ха-

рактеристики, можно получить динамический паспорт.

Динамический паспорт гусеничного трактора-самосвала конструкции ООО «Завод гусеничных машин» (рис. 3), построенный при номинальной рейсовой нагрузке, содержит два квадранта:

– в правом квадранте представлена динамическая характеристика по двигателю;

– в левом квадранте представлены зависимости динамического фактора от угла подъема местности и коэффициентов сопротивления движению при средних и тяжелых условиях (динамическая характеристика по условиям движения).

При равенстве значений динамического фактора, взятых в правом и левом квадрантах, гусеничный трактор-самосвал движется равномерно с данной скоростью в заданных условиях. Так, наглядно видно, что движение гусеничного трактора-самосвала с номинальной рейсовой нагрузкой в средних условиях возможно при уклоне местности 25° (включена третья передача рабочего диапазона трансмиссии).

Очевидно, что в реальных условиях гусеничные тракторы-самосвалы могут эксплуатироваться с рейсовыми нагрузками, уровень которых отличается от номинального. При этом для анализа эксплуатационных режимов целесообразно использовать усовершенствованный вариант динамического паспорта гусеничного трактора-самосвала (см. рис. 4), в котором наряду с динамическими характери-

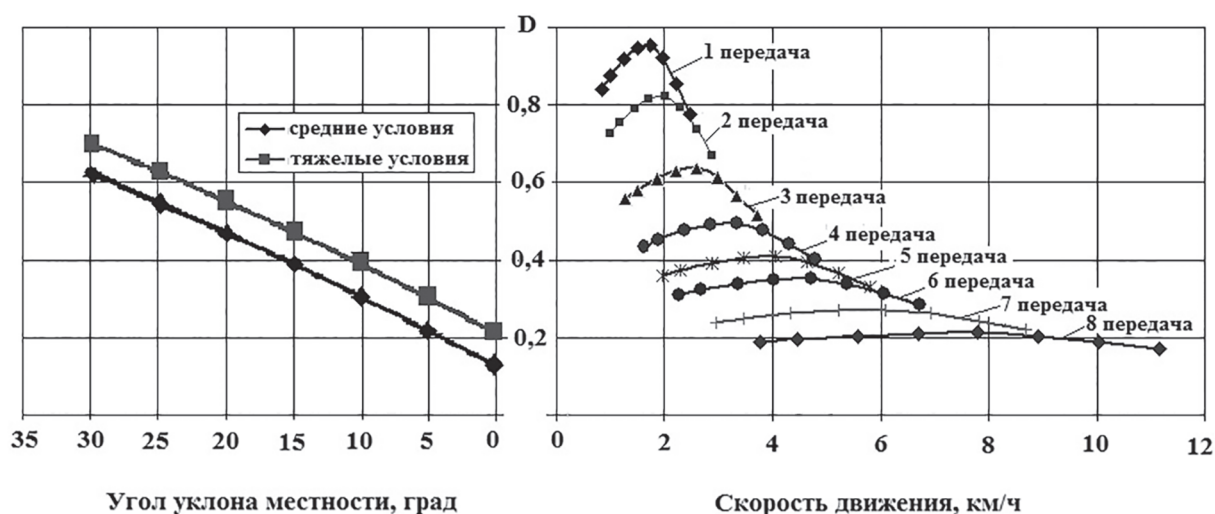


Рис. 3. Динамический паспорт гусеничного трактора-самосвала при номинальной рейсовой нагрузке

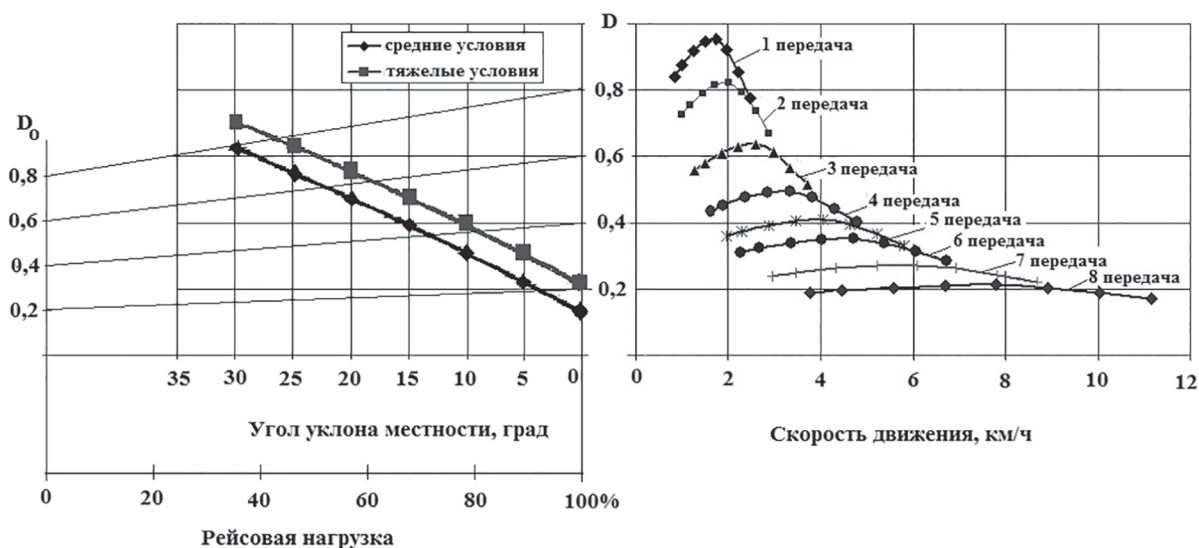


Рис. 4. Динамический паспорт гусеничного трактора-самосвала с номограммой рейсовой нагрузки

стиками по двигателю и по условиям движения содержится номограмма нагрузки (левый квадрант).

Номограмма нагрузок построена следующим образом. Параллельно оси абсцисс динамической характеристики влево от шкалы  $D$  отложен отрезок произвольной длины. На этом отрезке нанесена шкала нагрузки в процентах.

Через нулевую точку шкалы нагрузок проведена прямая, параллельная оси  $D$ , и на ней нанесена шкала динамического фактора  $D_0$  для гусеничного трактора-самосвала без нагрузки. Масштаб для этой шкалы определен по формуле:

$$a_0 = aM_0/M_3,$$

где  $a_0$  – масштаб шкалы динамического фактора для гусеничного трактора-самосвала без нагрузки;  $a$  – то же для гусеничного трактора-самосвала с полной нагрузкой;  $M_0$  – собственная масса гусеничного трактора-самосвала в снаряженном состоянии, кг;  $M_3$  – полная масса гусеничного трактора-самосвала с учетом номинальной рейсовой нагрузки, кг.

Равнозначные деления шкал  $D$  и  $D_0$  (например, 0,2, 0,4 и т.д.) соединены прямыми линиями.

Используя динамический паспорт с номограммой рейсовой нагрузки, можно определить, например, что равномерное движение гусеничного трактора-самосвала в средних условиях при угле уклона местности  $20^\circ$  возможно при нагрузке, равной 70 % от номинальной, на второй передаче пониженного диапазона трансмиссии.

## Выводы

1. На основе положений теории автомобиля с учетом конструктивных данных гусеничного самосвала на базе трелевочного трактора ТГЛ-4.04 выполнены необходимые расчеты и построены графики динамических характеристик по двигателю и по условиям движения. Проведено объединение названных динамических характеристик в динамический паспорт гусеничного трактора-самосвала.

2. Предложен усовершенствованный вариант динамического паспорта с номограммой рейсовой нагрузки, позволяющий формулировать практические рекомендации по величинам рейсовых нагрузок и скоростям движения гусеничного трактора-самосвала при транспортировке грузов в конкретных эксплуатационных условиях.

## Литература

1. Гусеничные самосвалы morooka. Режим доступа: [http://www.gidromik.ru/sites/default/files/pdf\\_catalog/morooka\\_product\\_brochure\\_rus.pdf](http://www.gidromik.ru/sites/default/files/pdf_catalog/morooka_product_brochure_rus.pdf). (Дата обращения 24.10.2017).
2. Сравнение гусеничных мини-самосвалов. Режим доступа: <http://vsepogruzchiki.ru/articles/sravnenie-gusenichnyix-mini-samosvalov.php> (дата обращения 24.10.2017).
3. Войнаш А.С., Войнаш С.А. Использование трелевочных тракторов в дорожном строительстве // Строительные и дорожные машины. 2012. № 7. С. 25–27.
4. Менькин О.П., Кыдымасев Н.Р., Иванов Д.Н., Войнаш С.А., Войнаш А.С. Гусеничное транс-

портно-технологическое средство для дорожно-строительства // Строительные и дорожные машины. 2017. № 8. С. 22–24.

5. Поливаев О.И., Гребнев В.П., Ворохобин А.В. Теория трактора и автомобиля. СПб.: Лань, 2016. 232 с.
6. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. М.: КолосС, 2004. 504 с.

## References

1. Gusenichnye samosvaly morooka [Morooka crawler dumpers]. URL: [http://www.gidromik.ru/sites/default/files/pdf\\_catalog/morooka\\_product\\_brochure\\_rus.pdf](http://www.gidromik.ru/sites/default/files/pdf_catalog/morooka_product_brochure_rus.pdf). (accessed 24.10.2017).
2. Sravnenie gusenichnykh mini-samosvalov [Comparison of crawler mini dump-trucks]. URL: [http://](http://vsepogruzchiki.ru/articles/sravnenie-gusenichnykh-mini-samosvalov.php)

[vsepogruzchiki.ru/articles/sravnenie-gusenichnykh-mini-samosvalov.php](http://vsepogruzchiki.ru/articles/sravnenie-gusenichnykh-mini-samosvalov.php). (accessed 24.10.2017).

3. Voynash A.S., Voynash S.A. Use of trail tractors in road construction. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2012. No 7, pp. 25–27 (in Russ.).
4. Men'kin O.P., Kydymaev N.R., Ivanov D.N., Voynash S.A., Voynash A.S. Caterpillar transport and technological equipment for road construction. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2017. No 8, pp. 22–24 (in Russ.).
5. Polivaev O.I., Grebnev V.P., Vorokhobin A.V. Teoriya traktora i avtomobilya [Theory of tractor and automobile]. SPb.: Lan' Publ., 2016. 232 p.
6. Kut'kov G.M. Traktory i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskie svoystva [Tractors and automobile. Theory and technological properties]. Moscow.: KolosS Publ., 2004. 504 p.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОСНОВНОЙ НАГРУЗКИ РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ГОЛОВКИ ШАТУНА С КОСЫМ РАЗЪЕМОМ

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE MAIN LOAD FACTOR OF THREADED CONNECTION OF CONNECTING ROD HEAD WITH OBLIQUE CONNECTOR

**А.Н. ГОЦ**, д.т.н.

Владимирский государственный университет  
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, Россия, hotz@mail.ru

**A.N. GOTS**, DSc in Engineering

Vladimir State University named after Alexander  
and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia, hotz@mail.ru

По разработанной ранее методике проведены расчетно-экспериментальные исследования по определению напряжений в шатунных болтах шатунов с косым разъемом при затяжке болта, а также после нагружения шатуна внешней нагрузкой. Суть методики исследования напряженно-деформированного состояния шатунных болтов заключается в том, что на внешней окружности стержня болта на некотором расстоянии друг от друга наклеивают тензорезисторы. Координаты точек измерения должны быть точно определены в прямоугольной системе координат, а одной из координат по оси  $z$  принимаются напряжения в поперечном сечении стержня болта. Наиболее простые формулы для расчетов получены, если тензорезисторы наклеены по окружности через  $120^\circ$  друг от друга. По среднему значению по всем трем показаниям тензорезисторов определяется напряжение растяжения. Как показали результаты экспериментальных исследований, в процессе затяжки стержень шатуна испытывает напряжения растяжения и изгиба. Известно, что при установке вкладышей в кривошипную головку шатуна их длина по периметру превышает длину постели на величину выступания. Из-за выступания вкладыша вся нагрузка при затяжке болтов приходится на вкладыш и приложена внецентренно. Однако даже после деформации вкладыша по периметру усилие на болт передается через средний радиус резьбы. При нагружении внешней силой шатуна на шатунный болт передается только часть нагрузки, равной произведению этой силы на коэффициент основной нагрузки. Определив напряжения в шатунных болтах экспериментально, а также усилие в каждом из болтов при косом разьеме, расчетно-экспериментальным исследованием определен коэффициент основной нагрузки шатуна.

**Ключевые слова:** шатун, болт, косой разъем, напряжения растяжения, напряжения изгиба, коэффициент основной нагрузки.

According to the methodology developed earlier the experimental-calculated investigations of a determination of the stresses in the rod bolts of connecting rods with an oblique connector when the bolt was tightened, and after loading the connecting rod with an external load were conducted. The main point of an investigation's methodology of the stress-strain state of connecting rod bolts is in that on the outer circumference of the bolt body at some distance from each other strain gauges are glued. The coordinates of the measurement points must be precisely defined in a rectangular coordinate system, and one of the coordinates along the  $z$ -axis is taken by the stresses in the cross section of the bolt body. The simplest formulas for calculations have been obtained if the strain gauges are glued along the circumference  $120^\circ$  from each other. According to the average value for all three indications of strain gauges determines the tensile stress. As shown by the result of experimental investigations during the tightening process the body of connecting rod experiences tensile and bending stresses. It's known that when installation shells in the crank head of the connecting rod, their length exceeds the length of the saddle by the protrusion amount. Because of the protrusion of the shell the entire load during tightening the bolts falls on the shell and it is applied eccentrically. However even after a deformation of the shell around the perimeter, the force on bolt is transmitted through the average radius of the thread. When the external force of the connecting rod is applied to the rod bolt only a part of the load is transferred, it's equal to the product of this force by the coefficient of the main load. After experimental determination the stress in the connecting rod bolts, as well as the force in each of the bolts with the oblique connector, the main load of the connecting rod is determined by the experiment-calculated investigation.

**Keywords:** connecting rod, bolt, oblique connector, tensile stress, bending stress, load factor.

## Введение

В шатунах с косым разъемом кривошипной головки шатунные болты ввертывают в тело шатуна. Распределение нагрузки на шатунные болты неравномерное – большую нагрузку испытывает длинный шатунный болт, расположенный ниже горизонтальной оси кривошипной головки. При расчете шатунных болтов с учетом переменных сил от действия сил инерции деталей, совершающих возвратно поступательное движение (учитываются массы поршня, поршневого пальца, элементов крепления поршневого пальца, части массы шатуна на линии разъема кривошипной головки), в конкретной конструкции кривошипной головки необходимо знать нагрузку, приходящийся на шатунный болт. Для этого необходимо знать коэффициент основной нагрузки резьбового соединения шатуна [1]. Возникает вопрос: он такой же как и у шатуна с прямым разъемом или отличается от него [2]. Нагружения шатунного болта происходит по пульсирующему циклу. Поэтому при расчетах необходимо определить наиболее нагруженный болт, по которому необходимо вести расчет на долговечность.

## Цель исследования

Исследовать напряженное состояние ввертных шатунных болтов при затяжке (в процессе сборки) и при нагружении шатуна продольными силами, определить коэффициент основной нагрузки резьбового соединения.

## Методы исследования

Исследование проводилось по методике, приведенной в работах [2–6], суть которой заключается в следующем. Если на стержень шатунного болта наклеены по окружности тензорезисторы в точках  $A_1$ ,  $B_1$  и  $C_1$ , координаты которых известны, то это позволяет исследовать напряженно-деформированное состояние шатунных болтов – определяются напряжения растяжения и изгиба. В принципе, выбор точек определяет вид окончательных уравнений. Как показали расчеты, если точки расположить через  $120^\circ$ , то в решение получается наиболее простым.

Среднее значение напряжений в трех точках  $\sigma_{A_1}, \sigma_{B_1}, \sigma_{C_1}$  определяет напряжение растяжения  $\sigma_r$ :

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{A_1} + \sigma_{B_1} + \sigma_{C_1}}{3}.$$

Напряжения изгиба  $\sigma_i$  определяется по формуле:

$$\sigma_i = \frac{\sqrt{3}}{3}(\sigma_{B_1} - \sigma_{C_1})\sin\varphi_0 - \frac{1}{3}(\sigma_{B_1} + \sigma_{C_1} - 2\sigma_{A_1})\cos\varphi_0.$$

Площадки, где действуют экстремальные напряжения, определяются углом  $\varphi_0$ , отсчитываемым от продольной оси шатуна:

$$\sin\varphi_0 = -\frac{\sqrt{3}(\sigma_{B_1} - \sigma_{C_1})}{\sqrt{(\sigma_{B_1} + \sigma_{C_1} - 2\sigma_{A_1})^2 + 3(\sigma_{B_1} - \sigma_{C_1})^2}};$$

$$\cos\varphi_0 = \frac{\sigma_{B_1} + \sigma_{C_1} - 2\sigma_{A_1}}{\sqrt{(\sigma_{B_1} + \sigma_{C_1} - 2\sigma_{A_1})^2 + 3(\sigma_{B_1} - \sigma_{C_1})^2}}.$$

Максимальное или минимальное напряжения в сечении с учетом  $\sigma_r$  и  $\sigma_i$  равны:

$$\sigma_{\max,\min} = \sigma_r \pm \sigma_i.$$

Если на шатун приложить внешнюю нагрузку, то общее (суммарное) напряжение  $\sigma_s$  в шатунном болте будет складываться из напряжения от усилия затяжки  $\sigma_z$  с добавкой напряжения, которое возникает в болте от части внешнего усилия [1]:

$$\sigma_s = \sigma_z + \chi\sigma_N, \quad (1)$$

где  $\chi$  – коэффициент основной нагрузки резьбового соединения;  $\sigma_N$  – напряжение в шатунном болте от внешней нагрузки при условии, что вся нагрузка приходится на болт (полное раскрытие стыка).

Для определения продольных сил в поперечном сечении от растягивающих шатунных внешних нагрузок будем использовать приближенную зависимость с учетом равномерного распределения нагрузки по нижней части кривошипной головки. Если провести разрез поршневой головки по оси симметрии, то в месте разреза с использованием канонических уравнений метода сил можно определить изгибающий момент  $M_0$  и продольную силу  $N_0$ . Продольная сила  $N_0$  определяется в зависимости от угла заделки (рис. 1) кривошипной головки [1]:

$$N_0 = P_j(0,572 - 0,0008\varphi_3),$$

где  $\varphi_3$  – угол заделки, град (см. рис. 1);  $P_{jx} = m_3\omega_{\max}^2 r(1 + \lambda)$  – расчетная разрывающая сила инерции при положении поршня в ВМТ.

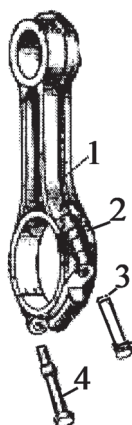


Рис. 1. Шатун дизеля 4Ч 13/14 (Д-440):

1 – стержень шатуна; 2 – кривошипная головка;  
3 – короткий болт; 4 – длинный болт

В этом случае продольная сила  $N_1$  в длинном болте определяется по формуле ( $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$ ) [1]:

$$N_1 = N_0 \cos \varphi + 0,5 P_j (1 - \cos \varphi), \quad (2)$$

В коротком болте ( $90^\circ \leq \varphi \leq \varphi_0$ ) продольная сила  $N_2$  равна [1]:

$$N_2 = N_0 \cos \varphi + 0,5 P_{jн} (\sin \varphi - \cos \varphi). \quad (3)$$

Определив по формулам (2) и (3) усилия  $N$  в сечении разъема, можно найти напряжения  $\sigma_N$ . С использованием зависимости (1) определяется значение коэффициента основной нагрузки  $\chi$ .

### Объект и результаты исследования

Проведены расчетно-экспериментальные исследования по определению напряжений в шатунных болтах дизеля 4Ч 13/14 (Д-440) при затяжке в кривошипную головку шатуна, а также при нагружении шатуна продольной растягивающей силой. Исследовались серийные шатуны с косым разъемом и ввертными болтами (см. рис. 1) (короткий длиной  $l_6 = 71$  мм,

длинный –  $l_6 = 84$  мм, диаметр стержня  $d_0 = 13,6$  мм (площадь поперечного сечения стержня болта  $F_6 = 0,145 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ , резьба М16Ч1,5).

Плоскость разъема нижней головки шатуна выполнена под углом  $55^\circ$  к оси стержня. Крышка соединяется с головкой шатуна по разъему при помощи треугольных шлицов. Для измерения напряжений на стержне болта под головкой были наклеены через  $120^\circ$  по окружности в соответствии с описанной выше методикой тензорезисторы с базой  $5 \cdot 10^{-3}$  м.

Момент затяжки  $M$  традиционно определяют по формуле [1]:

$$M = k Q d, \quad (4)$$

где  $k$  – приведенный коэффициент трения в резьбе и на опорной поверхности болта;  $Q$  – усилие в болте;  $d$  – наружный диаметр резьбы.

Как показывают результаты экспериментальных исследований, зависимость (4) не является устойчивой и обеспечивает точность получения усилия затяжки не более  $\pm 25\%$  [6], что обусловило необходимость в проведении предварительной калибровки ключа по условию предельного момента затяжки шатунных болтов. С этой целью болты вворачивались в резьбовое отверстие в толстой пластине, а между пластиной и опорной поверхностью болта устанавливалась цилиндрическая втулка с наклеенными тензорезисторами [3, 4].

При заданном моменте затяжки и принятом значении  $k = 0,18 \dots 0,2$  усилия затяжки  $Q$  соответствовали 62500...68750 Н. С учетом этого при исследовании максимальное усилие затяжки болта было принято равным 68750 Н.

В табл. 1 приведены результаты экспериментальных исследований по определению

Таблица 1

Напряжения в длинном шатунном болте при его затяжке

Усилие затяжки, Н	Напряжения в трех точках на наружной поверхности болта, МПа			$\sigma_{\max}$ , МПа	$\sigma_{\min}$ , МПа	$\sin \varphi_0$	Напряжение растяжения $\sigma_r$ , МПа	Напряжение изгиба $\sigma_i$ , МПа	$\sigma_i / \sigma_r \times 100\%$
	$\sigma_{A1}$	$\sigma_{B1}$	$\sigma_{C1}$						
12500	-14	291,5	-18	291,5	-118,5	-0,8716	86,5	205	237
25000	139	242,8	152,8	2243,3	113,1	-0,7983	178,2	65,1	36
37500	188,5	342,8	252,2	350,8	171,6	-0,5842	261,2	89,5	34
50000	264,3	432,5	378,2	460,5	249,5	-0,2973	355	105,5	29
56250	340	432	412,5	450,8	338,9	-0,2011	394,8	56	14
62500	398	459	445	470,9	397,1	-0,2191	434	36,9	9
68750	450	505	494	516,6	449,4	-0,1890	483	33,6	7

напряжений в длинном болте при различных усилиях его затяжки. В расчетах приведены также вычисленные значения  $\sin\varphi_0$  для определения положения площадки, где действуют экстремальные напряжения.

Напряжения в коротком болте при его затяжке приведены в табл. 2.

Из приведенных в таблицах данных видно, что на начальных стадиях затяжки шатунных болтов напряжения изгиба больше и в 2 раза превышают напряжения растяжения. Это вызвано тем, что сначала при затяжке болтов стык между крышкой и кривошипной головкой шатуна не закрыт и имеет зазор  $\Delta h = 0,07...0,09$  мм и деформируется выступающая зона вкладышей на величину этого зазора (рис. 2).

В этом случае на болт действует внецентренно приложенная сила с эксцентриситетом  $e$ , обуславливающая неравномерную деформацию кривошипной головки и появле-

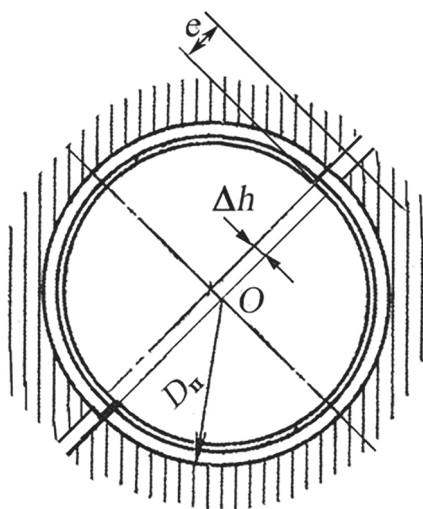


Рис. 2. Выступление вкладышей при сборке шатуна

ние дополнительных изгибных напряжений. Усилие для деформирования выступающей вкладки при его ширине 45 мм и толщине 2,5 мм составляет 11500...15500 Н. После закрытия стыка рост продольной силы затяжки приводит к относительному снижению изгибающих напряжений в болте и росту растягивающих (табл. 1 и 2).

На последующем этапе исследования после затяжки шатунных болтов шатун устанавливался в испытательную машину и нагружался продольной растягивающей силой 30, 40, 60 кН. Результаты испытаний по определению напряжений в шатунных болтах, возникающих при обособленном воздействии на шатун продольной растягивающей силы, приведены в табл. 3 и 4.

Для последующего определения коэффициента основной нагрузки резьбового соединения проводилась оценка характера сложного напряженного состояния болтов, возникающего от совместного воздействия максимального усилия затяжки ( $Q = 68750$  Н) и продольной растягивающей силы, действующей на шатун. Определение основных показателей напряженного состояния проводилось с учетом зависимостей (1–5) и с использованием результатов ранее проведенных исследований (табл. 1–4). Определенные таким образом показатели сложного напряженного состояния приведены в табл. 5 и 6.

Далее с использованием полученных экспериментальных данных по формулам (8) и (9) определяли усилия внешней нагрузки  $N$  в сечении разбега и обусловленные ей напряжения  $\sigma_N$ . В окончательном виде с использованием зависимости (6) определяли значение коэффициента основной нагрузки  $\chi$  (табл. 7).

Таблица 2

Напряжения в коротком шатунном болте при его затяжке

Усилие затяга, Н	Напряженное состояние в трех точках на наружной поверхности болта, МПа			$\sigma_{max}$ , МПа	$\sigma_{min}$ , МПа	$\sin\varphi_0$	Напряжение растяжения $\sigma_r$ , МПа	Напряжение изгиба $\sigma_b$ , МПа	$\sigma_i/\sigma_r \times 100\%$
	$\sigma_{A1}$	$\sigma_{B1}$	$\sigma_{C1}$						
12500	-12	289,2	-8,4	279,2	-106,7	-0,8608	86,3	199,9	224
25000	124,2	298,3	107,4	298,7	54,6	-0,9030	176,6	122,1	69
37500	182,4	406,3	195,9	406,5	116,6	-0,8379	261,5	145	55
50000	248	462	344	456,9	233,1	-0,5504	351,3	1124	32
56250	258	486	436	506,6	269,5	-0,2086	393	138,5	31
62500	412	470	438	482,3	386,3	-0,5507	440	33,5	11
68750	449	512	476	533,2	420,3	-0,5695	479	36,5	12

ТЕОРИЯ, КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ



Таблица 3

**Напряжения в длинном шатунном болте при нагружении шатуна продольной растягивающей силой**

Усилие в шатуне, Н	Напряженное состояние в трех точках на наружной поверхности болта, МПа			$\sigma_{\max}$ , МПа	$\sigma_{\min}$ , МПа	$\sin\varphi_0$	Напряжение растяжения $\sigma_r$ , МПа	Напряжение изгиба $\sigma_p$ , МПа	$\sigma_i/\sigma_r \times 100\%$
	$\sigma_{A1}$	$\sigma_{B1}$	$\sigma_{C1}$						
30000	16	26	22	26,4	16,2	-0,3974	21,3	5,1	24
40000	22	35	26	32,2	23,1	-0,6759	27,7	4,6	17
60000	34	52	38	46,7	36	-0,7406	41,3	5,4	13

Таблица 4

**Напряжения в коротком шатунном болте при нагружении шатуна продольной растягивающей силой**

Усилие в шатуне, Н	Напряженное состояние в трех точках на наружной поверхности болта, МПа			$\sigma_{\max}$ , МПа	$\sigma_{\min}$ , МПа	$\sin\varphi_0$	Напряжение растяжения $\sigma_r$ , МПа	Напряжение изгиба $\sigma_p$ , МПа	$\sigma_i/\sigma_r \times 100\%$
	$\sigma_{A1}$	$\sigma_{B1}$	$\sigma_{C1}$						
30000	8	24	15	22,3	9,0	-0,5610	15,7	6,7	43
40000	18	25	21	24,4	18,2	-0,5695	21,3	3,1	14
60000	24	37	28	34,2	25,1	-0,6759	29,7	4,6	15

Таблица 5

**Напряжения в длинном шатунном болте от совместного воздействия его затяжки и нагружения шатуна продольной силой**

Усилие в шатуне, Н	Напряженное состояние в трех точках на наружной поверхности болта, МПа			$\sigma_{\max}$ , МПа	$\sigma_{\min}$ , МПа	$\sin\varphi_0$	Напряжение растяжения, $\sigma_r$ , МПа	Напряжение изгиба, $\sigma_p$ , МПа	$\sigma_i/\sigma_r \times 100\%$
	$\sigma_{A1}$	$\sigma_{B1}$	$\sigma_{C1}$						
30000	466	529	516	541	466	-0,1954	504	37	7
40000	472	540	520	548	473	-0,2861	511	37,5	7
60000	484	557	532	563	486	-0,3369	524	38	7

Таблица 6

**Напряжения в коротком шатунном болте от совместного воздействия его затяжки и нагружения шатуна продольной силой**

Усилие в шатуне, Н	Напряженное состояние в трех точках на наружной поверхности болта, МПа			$\sigma_{\max}$ , МПа	$\sigma_{\min}$ , МПа	$\sin\varphi_0$	Напряжение растяжения $\sigma_r$ , МПа	Напряжение изгиба $\sigma_p$ , МПа	$\sigma_i/\sigma_r \times 100\%$
	$\sigma_{A1}$	$\sigma_{B1}$	$\sigma_{C1}$						
30000	457	536	509	542	459	-0,3362	501	41	8
40000	467	538	515	544	469	-0,3073	506	38	7
60000	473	551	522	555	476	-0,3678	515	40	8

Таблица 7

**Расчет коэффициента основной нагрузки в резьбовом соединении шатуна**

Нагрузка на шатун, Н	Напряжения в длинном болте, МПа		Напряжение $\sigma_N$ , МПа	Коэффициент основной нагрузки $\chi$	Напряжения в коротком болте, МПа		Напряжение $\sigma_N$ , МПа	Коэффициент основной нагрузки $\chi$
	От усилия затяжки $\sigma_z$ , МПа	Общее напряжение $\sigma_s$ , МПа			От усилия затяжки $\sigma_z$ , МПа	Общее напряжение $\sigma_s$ , МПа		
30000	483	504	102,5	0,2048	484	503	89	0,1910
40000	483	511	144	0,1944	484	506	117	0,1880
60000	483	524	216	0,1898	484	515	177	0,1751

## Заключение

Проведенные расчетно-экспериментальные исследования показали, что для расчета долговечности шатунных болтов в шатунах с косым разъемом кривошипной головки коэффициент основной нагрузки резьбового соединения может быть принят в размере 0,18...0,20.

## Литература

1. Биргер И.А., Шор Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин: Справочник. М.: Машиностроение, 1993. 640 с.
2. Гоц А.Н., Некрасов С.И. Снижение напряжений от изгиба в шатунных болтах // Двигателестроение. 1986. № 2. С. 54–56.
3. Гоц А.Н. Учет напряжений изгиба при расчете шатунных болтов // Двигателестроение. 2004. № 4. С. 16–18.
4. Гоц А.Н. Расчет шатунных болтов с учетом изгиба // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: материалы IX Международной научно-практической конференции. Под ред. В.В. Эфроса, А.Н. Гоца. Владимир: Владимирский гос. ун-т, 2005. С. 307–311.
5. Взоров Б.А., Адамович А.В., Арабян А.Г. и др. Тракторные дизели: справочник / под общ. ред. Б.А. Взорова. М.: Машиностроение, 1981. 535 с.
6. Иосилевич Г.Б., Строганов Г.Б., Шарловский Ю.В. Затяжка и стопорение резьбовых соединений: справочник. М.: Машиностроение, 1985. 224 с.

## References

1. Birger I.A., Shor B.F., Iosilevich G.B. Raschet na prochnost' detaley mashin: Spravochnik [The strength calculation of machine elements: Reference book]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1993. 640 p.
2. Gots A.N., Nekrasov S.I. Reducing stresses from bending in connecting rod bolts. Dvigatelistroenie. 1986. No 2, pp. 54–56 (in Russ.).
3. Gots A.N. Accounting for bending stresses in the calculation of connecting rod bolts. Dvigatelistroenie. 2004. No 4, pp. 16–18 (in Russ.).
4. Gots A.N. Calculation of connecting rod bolts subject to a bending. Fundamental'nye i prikladnye problemy sovershenstvovaniya porshnevnykh dvigateley: materialy IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Fundamental and applied problems of an improvement of piston engines: materials of IX International scientific-practical conference]. Pod red. V.V. Efrosa, A.N. Gotsa. Vladimir: Vladimirskiy gos. un-t Publ., 2005, pp. 307–311 (in Russ.).
5. Vzorov B.A., Adamovich A.V., Arabyan A.G. i dr. Traktornye dizeli: Spravochnik [Tractor diesel engines: Reference book]. Pod obshch. red. B.A. Vzorova. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1981. 535 p.
6. Iosilevich G.B., Stroganov G.B., Sharlovskiy Yu.V. Zatyazhka i stoporenie rez'bovykh soedineniy: Spravochnik [Tightening and fixing of threaded connections: Reference book]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1985. 224 p.

# ФОРМИРОВАНИЕ ДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ КОЛЕСНЫХ И ГУСЕНИЧНЫХ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

## FORMATION THE DRIVING FORCE OF WHEELED AND CATERPILLAR MACHINE-TRACTOR UNITS

**М.М. МАХМУТОВ**, д.т.н.  
**Ю.Р. ХИСМАТУЛЛИНА**, к.фил.н.

Российский государственный аграрный заочный университет, Балашиха, Россия,  
mansur.mahmutov@yandex.ru

**M.M. MAKHMUTOV**, DSc in Engineering  
**YU.R. KHISMATULLINA**, PhD

Russian State Agrarian Correspondence University, Balashikha, Russia, mansur.mahmutov@yandex.ru

На основании существующих зависимостей, описывающих тягово-сцепные свойства колесных и гусеничных машинно-тракторных агрегатов, теоретических и экспериментальных исследований получена модель формирования движущей силы тяги агрегатов в зависимости от веса трактора, сцепных свойств движителя, распределения нагрузки и буксования движителя. Анализ расчетных коэффициентов показывает значительный разброс значений, что вызывает затруднения в использовании при расчетах. Для этого необходимо знать их значения при каждом взаимодействии тракторного движителя с почвой. Одни и те же значения буксования можно получить при различных значениях коэффициентов. Задача упрощается, если данные зависимости будут иметь один коэффициент. При проведении полевых исследований разработан активный эксперимент: уровни варьирования факторов изменяли целенаправленно в зависимости от условий проведения каждого опыта. Были реализованы композиционные В-планы (планы Бокса) второго порядка. В качестве варьируемых факторов были выбраны следующие показатели: коэффициент использования сцепного веса, коэффициент сцепления и вес трактора. Работы проводились по плану матрицы трехфакторного эксперимента. В качестве агрофона служили свежеспаханное поле, стерня и влажный луг с коэффициентами сцепления, соответственно, 0,50, 0,65 и 0,80. Силу сопротивления движению фиксировали динамометром при буксировке тракторов МТЗ-82, МТЗ-2022 и МТЗ-3022 ДЦ.1 на нейтральной передаче на различных агрофонах. Усилия на крюке изменяли за счет переключения передач в коробке передач буксируемого тягача, двигатель которого работал в режиме компрессора. Коэффициент сцепления определяли при полностью заторможенных колесах трактора и буксировкой его с помощью тягача при одновременном измерении усилия на сцепке с помощью динамометра. Полученная модель формирования движущей силы тяги колесных и гусеничных машинно-тракторных агрегатов учитывает вес трактора, сцепные свойства движителей, распределения нагрузки, буксование и имеет минимальное количество экспериментальных коэффициентов, что делает ее более доступной и легко применяемой для инженерных расчетов.

**Ключевые слова:** сила тяги, буксование, колесо, движитель, почва, экспериментальный коэффициент, крюковая нагрузка, сила сопротивления движению, коэффициент распределения нагрузки колес, сцепление колеса с почвой, вес трактора, опыт, экспериментальные исследования.

On the basis of existing dependencies describing the traction-coupling properties of wheeled and caterpillar machine-tractor units, theoretical and experimental investigations, a model of the formation of the driving traction force of units depending on the weight of the tractor, coupling properties of the propulsion unit, load distribution and propulsion slipping is obtained. The analysis of calculated coefficients shows a considerable variation of values, which causes difficulties in using in the calculations. Therefore it's necessary to know their values at each interaction of the tractor propulsion unit with the soil. The same values of slipping can be obtained with different values of the coefficients. The task is simplified if data of this dependence have the same coefficient. During field investigations an active experiment was developed i.e. the levels of factors variation changed purposefully depending on the conditions of conducting each experiment. Composite B-plans (Box-design) of the second order were realized. The following parameters were chosen as the variable factors: the coefficient of the using coupling weight, the coefficient of traction and the weight of the tractor. The works were conducted according to the plan of the three-factor experiment matrix. As the agricultural field were a freshly plowed field, a stubble field and a wet meadow, with the coefficients of traction of 0,50, 0,65 and 0,80 respectively. The value of resistance to movement was fixed by a dynamometer during towing tractors MTZ-82, MTZ-2022 and MTZ-3022 DC.1 in neutral on the various agricultural fields. Efforts on the hook were changed by shifting gears in the gearbox of a towed tractor whose engine operated in the compressor mode. The coefficient of traction was determined with completely braked wheels of the tractor and towing it with a towing vehicle during simultaneously measuring the force on the coupling with the help of a dynamometer. The obtained model of driving force formation for wheeled and tracked machine-tractor units takes into account the weight of the tractor, coupling properties of propulsion units, load distribution, slipping and has a minimum number of experimental coefficients, which makes it more accessible and easily used for engineering calculations.

**Keywords:** propulsive force, slipping, wheel, propulsion unit, soil, experimental coefficient, hook load, drag force, wheel load distribution coefficient, wheel coupling to soil, tractor weight, experience, experimental investigations.

## Введение

В настоящее время известно более полу-сотни математических моделей, описывающих взаимодействие колесного движителя с почвой [1]. Большая часть из них создана в результате наложения экспериментальных кривых буксования и определения расчетных коэффициентов, зависящих от марки трактора, типа ходовой системы, состояния почвы, агрофона и т.д. [2].

Анализ расчетных коэффициентов показывает значительный разброс значений, что вызывает затруднения в использовании при расчетах. Для этого необходимо знать их значения при каждом взаимодействии тракторного движителя с почвой. Одни и те же значения буксования можно получить при различных значениях коэффициентов. Задача упрощается, если данные зависимости будут иметь один коэффициент [3].

## Цель исследования

Целью исследования является определение модели формирования движущей силы тяги колесных машинно-тракторных агрегатов при минимальном количестве экспериментальных коэффициентов.

## Материалы, методы исследования и обсуждение результатов

Существующие программы регрессионного анализа типа Regress от ENEK Group или Advanced Grapher не позволили подобрать функцию по графической зависимости взаимодействия движителя с почвой за счет одного экспериментального коэффициента. Однако, используя возможности программы Mathcad, получили следующее выражение движущей силы тяги машинно-тракторного агрегата (МТА):

$$P_k = \frac{\delta_k G_{\text{сц}}}{a + \delta_k (1 - a)}, \quad (1)$$

где  $P_k$  – касательная силы тяги, Н;  $\delta_k$  – коэффициент буксования;  $G_{\text{сц}}$  – сцепной вес трактора, Н;  $a$  – экспериментальный коэффициент, зависящий от марки трактора, типа ходовой системы, состояния почвы и агрофона.

Касательную силу тяги можно определить также как сумму крюковой нагрузки и силы сопротивления движению, тогда экспериментальный коэффициент  $a$  определится из выражения (1):

$$a = \frac{\delta_k (P_{\text{кр}} + P_f - \lambda \varphi_{\text{сц}} G_{\text{тр}})}{(P_{\text{кр}} + P_f)(\delta_k - 1)}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{кр}}$  – крюковая нагрузка, Н;  $P_f$  – сила сопротивления движению, Н;  $\lambda$  – коэффициент распределения нагрузки колес,  $\varphi_{\text{сц}}$  – коэффициент сцепления колеса с почвой;  $G_{\text{тр}}$  – вес трактора, Н.

Анализ выражения (2) показывает, что экспериментальный коэффициент  $a$  зависит от нескольких факторов. Коэффициенты сцепления и буксования зависят от типа и параметров ходовой системы, физико-механических свойств почвы и режимов нагрузки на движитель. Крюковая нагрузка определяется тяговым сопротивлением сельскохозяйственной машины и орудия. Сила сопротивления движению зависит от параметров колеса, внутришинного давления, твердости почвы, веса трактора. Сцепной вес зависит от массы агрегата и нагрузки, приходящей на ведущие колеса трактора [4].

Полученная аналитическим путем зависимость экспериментального коэффициента  $a$  (2) позволяет организовать экспериментальные исследования на примере колесных тракторов типа «Беларусь» МТЗ-82, МТЗ-2022 и МТЗ-3022 ДЦ.1 с ориентировочным весом, соответственно, 40, 70 и 100 кН.

При проведении полевых исследований разработан активный эксперимент: т.е. уровни варьирования факторов изменяли целенаправленно в зависимости от условий проведения каждого опыта. Были реализованы композиционные В-планы (планы Бокса) второго порядка. В качестве варьируемых факторов были выбраны следующие показатели: коэффициент использования сцепного веса  $X_1$  ( $\varphi_k = P_k / G_{\text{сц}}$ ), коэффициент сцепления  $X_2$  ( $\varphi_{\text{сц}}$ ) и вес трактора  $X_3$  ( $G_{\text{тр}}$ ) (табл. 1). Работы проводились по плану матрицы трехфакторного эксперимента. В качестве агрофона служили свежеспаханное поле, стерня и влажный луг, с коэффициентами сцепления, соответственно, 0,50, 0,65 и 0,80.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Наименование уровней	Обозначение	Факторы		
		$X_1$	$X_2$	$X_3$ , кН
Нижний	-1	0,3	0,50	40
Центральный	0	0,5	0,65	70
Верхний	+1	0,7	0,80	100
Интервал варьирования	$\Delta X$	0,2	0,15	30

Переход фактических уровней к кодированному производился по формулам:

$$X_1 = \frac{\varphi_K - 0,5}{0,2}; X_2 = \frac{\varphi_{\text{СЦ}} - 0,65}{0,15}; X_3 = \frac{G_{\text{ТР}} - 70}{30}.$$

С целью измерения и регистрации параметров при исследовании тягово-сцепных свойств колесного движителя использовали малогабаритный прибор для энергооценки МТА-ЭМА-П. Питание прибора осуществлялось от аккумуляторной батареи. Прибор одновременно регистрирует сигналы с восьми аналоговых и двенадцати дискретных датчиков. Сигналы во время опыта фиксировались в памяти и по окончании опыта выводились на индикатор прибора. Повторность опытов была трехкратной.

Силу сопротивления движению определяли буксировкой тракторов МТЗ-82, МТЗ-2022 и МТЗ-3022 ДЦ.1 на нейтральной передаче, соответственно, на различных агрофонах динамометром. Необходимую крюковую нагрузку для каждого опыта определяли по формуле:

$$P_{\text{кр}} = \varphi_K \lambda \varphi_{\text{СЦ}} G_{\text{ТР}} - P_f.$$

Усилия на крюке изменяли за счет переключения передач коробки передач буксируемого тягача, двигатель которого работал в режиме компрессора. Коэффициент сцепления определяли при полностью заторможенных колесах трактора и буксировки его с помощью

тягача при одновременном измерении усилия на сцепке с помощью динамометра. Отношение этого усилия к полному весу буксируемого трактора представляет собой коэффициент сцепления [5–7].

С целью сведения к минимуму влияния неуправляемых факторов порядок проведения опытов рандомизировали следующим образом: 4, 5, 7, 8, 15, 6, 12, 9, 11, 1, 14, 2, 10, 13, 3 (табл. 2). Влияние исследуемых параметров на величину экспериментального коэффициента  $a$  оценивалось после обработки результатов опытов по разработанному алгоритму.

Сравнение коэффициентов регрессии при факторах, рассчитанных по плану второго порядка с соответствующим доверительным интервалом, показывает, что влияние на величину коэффициента  $a$  оказывает фактор коэффициента сцепления. Остальные параметры не влияют на значения коэффициента  $a$  (табл. 3). Влияния квадратов и факторов при парных взаимодействиях значений коэффициентов регрессии в условиях проведения экспериментальных исследований имели показатели ниже доверительного интервала и поэтому исключаются из уравнения.

Таким образом, модель, отражающая в закодированном виде влияние значимых факторов на величину коэффициента  $a$ , будет иметь вид:

$$a = 0,125 - 0,075 X_2. \quad (3)$$

Таблица 2

Результат обработки экспериментальных данных

№ опыта	Факторы и их уровни							
	$\varphi_K$	$\varphi_{\text{СЦ}}$	$G_{\text{ТР}}$ , кН	$G_{\text{СЦ}}$ , кН	$P_f$ , кН	$P_{\text{к}}$ , кН	$\delta_{\text{к}}$ , %	$a$
1	2	3	4	5		6	7	8
1	0,3	0,5	40	20	5,4	0,6	8	0,20
2	0,7	0,5	40	20	5,4	8,6	31	0,21
3	0,3	0,8	40	32	1,9	7,7	2	0,05
4	0,3	0,5	100	50	13,5	1,5	8	0,20
5	0,5	0,8	40	32	1,9	20,5	11	0,05
6	0,3	0,8	100	80	4,8	19,2	3	0,05
7	0,7	0,5	100	50	13,5	21,5	32	0,19
8	0,7	0,8	100	80	4,8	51,2	10	0,06
9	0,3	0,65	70	45,5	6,4	11,8	5	0,12
10	0,7	0,65	70	45,5	6,4	25,4	23	0,13
11	0,5	0,5	70	35	9,5	8,1	17	0,20
12	0,5	0,8	70	56	3,4	24,6	5	0,04
13	0,5	0,65	40	26	3,7	9,3	11	0,13
14	0,5	0,65	100	65	9,2	23,4	12	0,12
15	0,5	0,65	70	45,5	6,4	16,3	11	0,12

Таблица 3

**Коэффициенты уравнения регрессии экспериментального коэффициента  $a$**

№ п/п	Наименование коэффициентов	Обозначение	Значение
1	Свободный член	$B_0$	0,125
Коэффициенты при факторах			
2	Коэффициент использования сцепного веса, $\varphi_K$	$B_1$	0
3	Коэффициент сцепления, $\varphi_{сц}$	$B_2$	-0,175
4	Вес трактора, $G_{тр}$	$B_3$	0
Коэффициенты квадратов при факторах			
6	Коэффициент использования сцепного веса, $\varphi_K$	$B_{11}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$
7	Коэффициент сцепления, $\varphi_{сц}$	$B_{22}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$
8	Вес трактора, $G_{тр}$	$B_{33}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$
Коэффициенты факторов при парных взаимодействиях			
10	$\varphi_K$ и $\varphi_{сц}$	$B_{12}$	0
11	$\varphi_K$ и $G_{тр}$	$B_{13}$	0
13	$\varphi_{сц}$ и $G_{тр}$	$B_{23}$	0

Перейдя из кодированной формы записи выражения (3), получим окончательную формулу экспериментального коэффициента  $a$  для колесных тракторов в зависимости от коэффициента сцепления:

$$a = 0,45 - 0,5\varphi_{сц} \quad (4)$$

С увеличением коэффициента сцепления на 0,1 экспериментальный коэффициент  $a$  для колесных тракторов снижается по пропорциональной зависимости и составляет 0,05 (рис. 1).

Подставим выражение (4) в формулу (1), получим выражение для движущей силы тяги колесного МТА:

$$P_K = \frac{\delta_K \lambda \varphi_{сц} G_{тр}}{(0,45 - 0,5\varphi_{сц}) + \delta_K (0,55 + 0,5\varphi_{сц})}$$

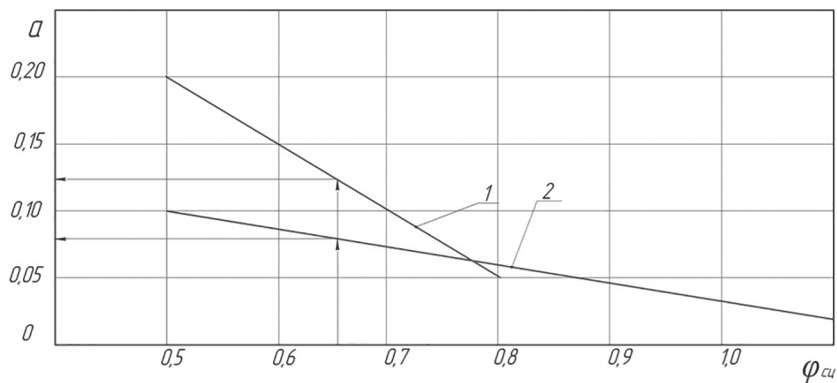
Аналогично, проведя исследования МТА на гусеничном ходу, получили следующую формулу экспериментального коэффициента  $a$  для гусеничных тракторов в зависимости от коэффициента сцепления:

$$a = 0,17 - 0,13 \varphi_{сц} \quad (5)$$

С увеличением коэффициента сцепления на 0,1 экспериментальный коэффициент  $a$  для гусеничных тракторов снижается по пропорциональной зависимости и составляет 0,02 (рис. 1).

Подставив выражение (5) в (1), получим выражение для движущей силы тяги гусеничного МТА:

$$P_K = \frac{\delta_K \lambda \varphi_{сц} G_{тр}}{(0,17 - 0,13\varphi_{сц}) + \delta_K (0,83 + 0,13\varphi_{сц})}$$



**Рис. 1. Влияние коэффициента сцепления на экспериментальный коэффициент:**  
1 – колесные тракторы; 2 – гусеничные тракторы

## Заключение

Получена математическая модель формирования движущей силы тяги для колесных и гусеничных МТА, учитывающая вес трактора, сцепные свойства движителей, распределение нагрузки на колеса, буксование движителей. Данная модель имеет минимальное количество экспериментальных коэффициентов, что делает ее более доступной и легко применяемой для инженерных расчетов.

## Литература

1. Колобов Г.Г., Парфенов А.П. Тяговые характеристики тракторов. М.: Машиностроение, 1972. 152 с.
2. Гуськов В.В. Оптимальные параметры сельскохозяйственных тракторов. М.: Машиностроение, 1966. 196 с.
3. Водяник И.И. Воздействие ходовых систем на почву (научные основы). М.: Агропромиздат, 1990. 172 с.
4. Бойков В.П., Белковский В.Н. Шины для тракторов сельскохозяйственных машин. М.: Агропромиздат, 1988. 240 с.
5. Агафонов К.П. Удельная тяга трактора с учетом вязких свойств грунта // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1979. № 9. С. 7–9.
6. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. М.: КолосС, 2004. 504 с.
7. Парфенов А.П., Щетинин Ю.С. Об унификации некоторых терминов и понятий, применяемых в теории трактора, автомобиля, быстроход-

ных колесных и гусеничных транспортно-тяговых машин // Известия МГТУ «МАМИ». 2014. № 4 (22). Т. 1. С. 102–106.

## References

1. Kolobov G.G., Parfenov A.P. Tyagovye kharakteristiki traktorov [Towing performance of tractors]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1972. 152 p.
2. Gus'kov V.V. Optimal'nye parametry sel'skokhozyaystvennykh traktorov [Optimum parameters of agricultural tractors]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1966. 196 p.
3. Vodyanik I.I. Vozdeystvie khodovykh sistem na pochvu (nauchnye osnovy) [Impact of running systems on soil (scientific basis)]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1990. 172 p.
4. Boykov V.P., Belkovskiy V.N. Shiny dlya traktorov sel'skokhozyaystvennykh mashin [Tires for tractors of agricultural vehicles]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1988. 240 p.
5. Agafonov K.P. Specific thrust of the tractor subject to the soil viscous properties. Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny. 1979. No 9, pp. 7–9 (in Russ.).
6. Kut'kov G.M. Traktory i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskie svoystva [Tractors and automobiles. Theory and technological properties]. Moscow: KolosS Publ., 2004. 504 p.
7. Parfenov A.P., Shchetinin Yu.S. The unification of some terms and concepts used in the theory of the tractor, automobile, high-speed wheeled and caterpillar transport-traction vehicles. Izvestiya MGTU «МАМИ». 2014. No 4 (22). Vol. 1, pp. 102–106 (in Russ.).

# РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВТОРИЧНОЙ КИНЕМАТИКИ ПОРШНЯ В ЦИЛИНДРЕ БЫСТРОХОДНОГО ДИЗЕЛЯ

## RESULTS OF MODELING THE SECONDARY KINEMATICS OF THE PISTON IN THE CYLINDER OF A HIGH-SPEED DIESEL ENGINE

**С.В. ПУТИНЦЕВ**<sup>1</sup>, д.т.н.  
**А.Г. КИРИЛЛОВ**<sup>2</sup>, к.т.н.  
**А.С. РАТНИКОВ**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия,  
<sup>2</sup> Владимирский государственный университет  
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, Россия,  
putintsev50@yandex.ru

**S.V. PUTINTSEV**<sup>1</sup>, DSc in Engineering  
**A.G. KIRILLOV**<sup>2</sup>, PhD in Engineering  
**A.S. RATNIKOV**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow,  
Russian Federation  
<sup>2</sup> Vladimir State University named after Alexander  
and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russian Federation,  
putintsev50@yandex.ru

Актуальность исследования процессов вторичной кинематики поршня в цилиндре ДВС обусловлена как сильным их влиянием на такие показатели, как механические потери, износ, шум, вибрация, расход масла, так и их недостаточной изученностью применительно к быстроходным поршневым двигателям. Цель работы состояла в оценке влияния на характер вторичной кинематики поршня быстроходного ДВС факторов конструкции, режима работы и смазочного материала и поиске на этой основе вариантов улучшения условий смазки и трения в сопряжении «цилиндр – юбка поршня». Задачи, решаемые для достижения цели исследования, состояли в выявлении наиболее влияющих на вторичную кинематику поршня показателей конструкции, режима работы и свойств смазочного материала, получении диаграмм вторичной кинематики поршня в зависимости от изменения значений влияющих показателей, а также анализе полученных результатов и выработке рекомендаций, направленных на снижение трения и изнашивания в ЦПГ. Объектом исследования был выбран поршень быстроходного дизеля 1СН 8,5/8,0, имеющий в серийном исполнении бочкообразный профиль юбки поршня и отрицательный дезаксиал поршневого пальца. Метод исследования – математическое моделирование с помощью расчетной программы PISTON-DHT. Обсуждение полученных результатов позволило выявить два наиболее влияющих на характер вторичной кинематики поршня параметра: дезаксиал поршневого пальца и профиль юбки поршня. Варьированием знака и значений этих показателей было установлена целесообразность перехода с отрицательного на положительный дезаксиал и применение рационального профиля юбки поршня. Для двух наиболее динамически нагруженных тактов рабочего цикла «Сжатие» и «Расширение» было отмечено доминирование движения поршня в положении скребка по отношению к прилегающей стороне стенки цилиндра. Носящие обобщенный характер рекомендации, направленные на устранение доминирования указанной нежелательной ситуации, могут быть приняты во внимание и использованы при конструировании и доводке поршней быстроходных ДВС с целью минимизации механических потерь и износа.

**Ключевые слова:** поршень, юбка поршня, профиль юбки поршня, дезаксиал, цилиндр, вторичная кинематика.

The relevance of the investigation of the processes of secondary kinematics of the piston in the internal combustion engine's cylinder is due to their strong influence on such indicators as mechanical losses, wear, noise, vibration, oil consumption, and their insufficient knowledge concerning high-speed piston engines. The purpose of the research was an assessment of the influence on the character of the secondary kinematics of the piston of the high-speed internal combustion engine design factors, operating conditions and lubricant and on this basis finding the ways to improve the lubrication and friction conditions in coupling of the «cylinder-piston skirt». The tasks to be performed to achieve the research goal were in an identification the most significant parameters of the construction on the piston's secondary kinematics, mode of operation and properties of the lubricant; obtaining diagrams of the piston's secondary kinematics depending on the change in the values of the influencing factors, as well as the analysis of the obtained results and the development of recommendations aimed at reducing friction and wear in the piston-cylinder-unit. For the subject of the research the piston of the high-speed diesel engine 1CH 8,5/8,0, having a barrel-shaped profile of the piston skirt in the serial production and a negative dezaksial of piston pin, was chosen. The research method is mathematical modeling using the calculation program PISTON-DHT. Discussion of the obtained results made it possible to reveal the two most influential parameters on the character of the secondary kinematics of the piston: the dezaksial of piston pin and piston skirt profile. The variation of the sign and the values of these indicators were established an expedience to switch from a negative one to the positive dezaxial and an application of rational profile of the piston skirt. For the two most dynamically loaded strokes of the working cycle «Compression» and «Expansion», the dominance of the piston movement in the position of the scraper relative to the adjacent side of the cylinder wall was highlighted. The generalized recommendations aimed at eliminating the dominance of this undesirable situation can be taken into account and used in the design and completion of high-speed internal combustion engines pistons in order to minimize mechanical losses and wear.

**Keywords:** piston, piston skirt, piston skirt profile, dezaksial, cylinder, secondary kinematics.



## Введение

Изучению так называемой вторичной кинематики, или вторичного движения поршня (от немецкого *Kolbensekunddrbewegung*) с учетом (или в пределах) зазоров в цилиндре следует уделять пристальное внимание, поскольку это движение, не охватываемое классической кинематикой ДВС, где зазорами пренебрегают, оказывает определяющее влияние на такие процессы в цилиндро-поршневой группе (ЦПГ) как трение и изнашивание, расход масла на угар, нагарообразование, шум и вибрация [1–5].

Под воздействием сил и моментов, приложенных к поршню, последний совершает в цилиндре сложное движение, характеризующееся в общем случае четырьмя-пятью степенями свободы. Однако главными вторичными перемещениями поршня в пределах зазоров в цилиндре следует признать линейное перемещение в плоскости качания шатуна по нормали к оси цилиндра и угловое перемещение (опрокидывание) относительно оси поршневого пальца. Эти перемещения часто называют поперечной и угловой перекадками поршня. Поперечная и, в особенности, угловая перекадка как порознь, так и совместно сильно влияют на процесс формирования гидродинамической несущей способности (ГНС) смазываемой юбки поршня. ГНС в свою очередь определяет трение и изнашивание сопряженных поверхностей поршня и цилиндра. Поэтому знание характера вторичной кинематики поршня позволяет корректировать профиль поверхности юбки в целях минимизации трения, изнашивания, шума, вибрации и кавитационных процессов в ЦПГ [6].

На процесс вторичной кинематики поршня в цилиндре влияет большое количество факторов. В большинстве ранее выполненных работах по этой теме исследовалось в основном влияние дезаксиала поршневого пальца и длины поршня, при этом степень вовлеченности в процесс вторичного движения поршня профиля его юбки, а также скоростного и нагрузочного режимов не была выяснена. Недостаточно изученным является также влияние на характер перекадок поршня свойств моторного масла, главным из которых выступает вязкость.

## Цель и задачи исследования

Цель исследования состояла в оценке влияния на характер вторичной кинематики поршня быстроходного ДВС факторов кон-

струкции, режима работы и смазочного материала и поиске на этой основе вариантов улучшения условий смазки и трения в сопряжении «цилиндр – юбка поршня».

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- выявление наиболее влияющих на характер вторичной кинематики поршня показателей конструкции, режима работы и свойств смазочного материала;
- получение и анализ диаграммы вторичной кинематики поршня в цилиндре при изменении значений наиболее влияющих показателей;
- сопоставление характера вторичной кинематики поршня в цилиндре с условиями его маслоснабжения;
- выработка рекомендаций для минимизации трения и изнашивания в ЦПГ на основе улучшения характера вторичной кинематики поршня и условий его маслоснабжения в цилиндре.

## Материалы и метод исследования

Объектом исследования был выбран серийно выпускаемый быстроходный малоразмерный дизель с воздушным охлаждением 1С 8,5/8,0 (ТМЗ-450Д).

Частным объектом моделирования был взят поршень указанного выше дизеля, общий вид и характерные размеры которого показаны на рис. 1.

Метод исследования – математическое моделирование на основе использования расчетной программы PISTON-DHT [7, 8].

В качестве расчетного режима по нагрузке и частоте вращения был выбран номинальный режим работы дизеля в составе дизель-генераторной установки, соответствующий эффективной мощности 7 кВт, достигаемой при скоростном режиме 3000 мин<sup>-1</sup>. Соответству-

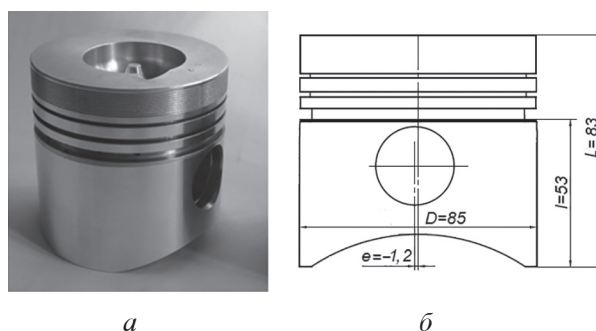
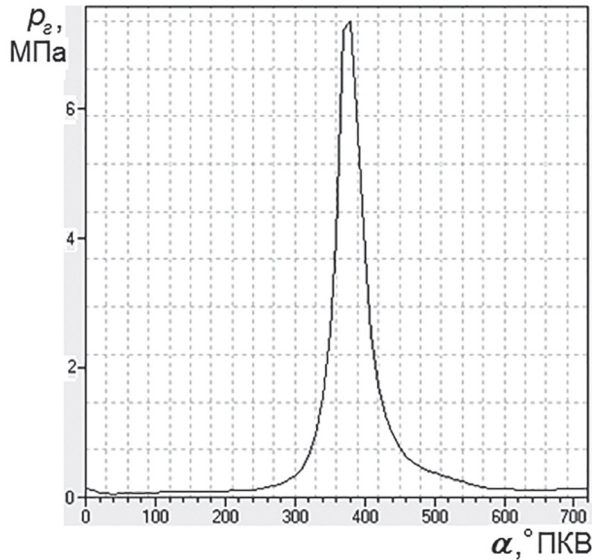


Рис. 1. Общий вид (а) и характерные размеры (б) поршня дизеля 1С 8,5/8,0

ющая данному режиму и являющаяся атрибутом входных данных программы PISTON-DHT индикаторная диаграмма была получена с помощью обращения к известному расчетному комплексу Дизель-РК [9] (рис. 2).



**Рис. 2.** Индикаторная диаграмма, полученная с помощью программного комплекса Дизель-РК для режима работы дизеля 1Ч 8,5/8,0:  $N_c = 7$  кВт;  $n_c = 3000$  мин<sup>-1</sup>

В качестве основных входных данных, необходимых для построения диаграмм вторичной кинематики поршня в цилиндре, программа PISTON-DHT предоставляет возможность получения значений следующих параметров в функции угла поворота коленчатого вала (ПКВ): минимальная толщина слоя масла (минимальный зазор) в сопряжении «цилиндр – юбка поршня»  $h$ ; радиальная координата смещения центральной оси поршня относительно центральной оси цилиндра  $\xi$ ; углом опрокидывания поршня  $\gamma$  (рис. 3).

Эти три параметра рассматривались далее в качестве контрольных выходных величин, определяющих положение поршня в цилиндре.

Согласно используемой в программе PISTON-DHT системе знаков, для контрольных величин (рис. 3) принимали во внимание, что положительному значению:

- угла опрокидывания поршня  $\gamma$  соответствует поворот поршня относительно оси поршневого пальца против часовой стрелки и наоборот;
- радиальной координате смещения центральной оси поршня относительно центральной оси цилиндра  $\xi$  ставится в соответствие направление

поперечной перекладки поршня к ненагруженной стороне стенки цилиндра и наоборот.

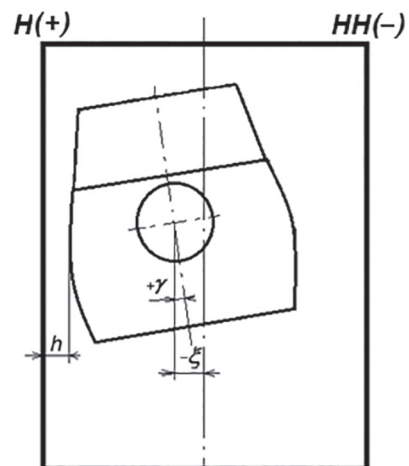
Минимальная толщина слоя масла (минимальный зазор) в сопряжении «цилиндр – юбка поршня»  $h$ , согласно рис. 3, не может быть знакопеременной, при этом по умолчанию подразумевается, что речь идет о толщине слоя масла на той стороне стенки цилиндра, к которой смещен или наклонен поршень в рассматриваемый момент времени.

С целью оценки степени влияния на представленные на рис. 3 контрольные выходные величины вторичной кинематики поршня в качестве исследуемых входных величин было выбрано семь параметров, отражающих конструкцию ЦПГ, режим работы двигателя и свойства его смазочного материала. При этом, для повышения информативности результатов значения каждого из семи входных параметров рассматривались как точки плана численного эксперимента (табл. 1).

Примечание: профили юбки поршня «Опытный 1» и «Опытный 2» в табл. 1 представляли собой, соответственно, двухпорный и рациональный бочкообразный варианты модернизации конструкции поршня с бочкообразной юбкой (профиль «Серийный») дизеля 1Ч 8,5/8,0 в нагретом состоянии деталей.

Критерием существенности влияния входного параметра на характер вторичной кинематики поршня были выбраны:

- изменение знака контрольной величины;



**Рис. 3.** Графическая интерпретация параметров вторичной кинематики и принятая в программе PISTON-DHT система их знаков для идентификации положения поршня: H, HN – соответственно, признак нагруженной и ненагруженной сторон стенки цилиндра

Таблица 1

## Наименования и значения входных параметров

№	Наименование входного параметра, размерность	Точки плана, значения или характеристика входного параметра		
		-1	0	+1
1	Дезаксиал пальцевого отверстия поршня $e$ , мм	-1,2	0,0	+1,2
2	Длина юбки поршня $l$ , мм	50	53	56
3	Профиль юбки поршня $y(x)$ , мкм	Опытный 1	Серийный	Опытный 2
4	Минимальный радиальный «горячий» зазор в сопряжении «юбка поршня – цилиндр» $\Delta$ , мкм	28	34	40
5	Частота вращения коленчатого вала $n$ , мин <sup>-1</sup>	2400	3000	3600
6	Среднее индикаторное давление $p_i$ , бар	7,5	8,0	8,5
7	Исходная кинематическая вязкость моторного масла при 100 °С $\nu_{100}$ , сСт	10	14	18

– значимое (более 5 % по значению угла  $\alpha$ ) смещение графика контрольной величины по оси абсцисс;

– значимое (более 5 %) изменение контрольной величины.

За базу отсчета при сопоставлении (вычислении относительной разницы) принимали значение контрольной величины для входных данных, соответствующих центру плана.

### Результаты исследования и их обсуждение

Анализ полученных данных расчета показал, что из всего перечня представленных в табл. 1 входных показателей критерию существенности при условии одновременного влияния на все три контрольные величины отвечают три входных показателя: дезаксиал пальцевого отверстия, профиль юбки поршня и частота вращения коленчатого вала.

Понимание того, что скоростной режим работы двигателя (частота вращения коленчатого вала) способен достаточно однозначно и предсказуемо влиять на контрольные величины, увеличивая при своем росте в основном только их модуль, позволило обоснованно вывести этот входной показатель из дальнейшего рассмотрения, оставив в качестве исследуемых показателей только два наиболее эффективно влияющих на контрольные величины:

- дезаксиал пальцевого отверстия;
- профиль юбки поршня.

Обработка значений контрольных величин по специальному алгоритму, замена формы поршня его условной пиктограммой и принятие во внимание (вслед за рекомендациями работы [10]) только двух наиболее динамически нагруженных тактов рабочего цикла

четырёхтактного дизеля («Сжатие» и «Расширение») позволили упростить процесс построения диаграмм вторичной кинематики поршня, а сами диаграммы сделать информативными и удобными для анализа.

Влияние как дезаксиала поршневого пальца, так и профиля юбки поршня на вторичную кинематику последнего исследовали при соблюдении принципа прочих равных условий, т.е. при использовании нулевой точки плана численного эксперимента в табл. 1 для значений всех остальных, не участвующих в оценке влияния, входных параметров.

#### 1. Влияние дезаксиала

Как следует из рис. 4, на подавляющей части такта «Сжатие» поршень с отрицательным дезаксиалом пальца движется прижатым к правой (ненагруженной) стенке цилиндра в состоянии отрицательного угла наклона (поворот по часовой стрелке). Уровень как нагрузки боковой силой, так и опрокидывания поршня – промежуточный, не достигающий максимальных значений. В самом конце такта «Сжатие» боковая сила меняет знак, заставляя поршень начать в последующем такте линейно-поперечное перемещение к противоположной (нагруженной) стенке цилиндра.

В отношении условий смазывания юбки поршня показанное на рис. 4 угловое положение центральной оси поршня свидетельствует о следующем:

– на такте «Сжатие» юбка поршня движется вверх (от НМТ к ВМТ) в положении скребка практически по сухому цилиндру, поскольку излишки смазочного материала были сняты со стенки поршневыми кольцами на предыдущем такте «Впуск» при ходе поршня от ВМТ к НМТ;

– на последующем такте «Расширение» (при движении поршня от ВМТ к НМТ) после завершения поперечной перекладки поршень на протяжении всего хода движется прижатым к нагруженной стороне стенки цилиндра в состоянии наклона под углом того же знака, т.е. снова в положении скребка по отношению к продольной образующей цилиндра.

Использование аксиального варианта расположения поршневого пальца несколько меняет характер вторичной кинематики поршня в более благоприятную сторону с точки зрения условий формирования масляного клина в сопряжении «цилиндр – юбка поршня» за счет того, что протяженность движения поршня в положении скребка на такте «Сжатие» сокращается практически в два раза (рис. 5).

Смена знака дезаксиала поршневого пальца на положительный приводит к еще большему улучшению условий смазывания сопряжения

«цилиндр – юбка поршня» на такте «Сжатие»: знак угла опрокидывания поршня, способствующий формированию масляного клина на юбке, становится доминирующим (рис. 6).

Однако, как можно видеть из диаграмм на рис. 4–6, варьирование как знаком, так и величиной дезаксиала поршневого пальца в заданных пределах не смогло изменить характер вторичной кинематики поршня на такте «Расширение», в течение которого движение прижатого к нагруженной стороне стенки цилиндра поршня в состоянии скребка осталось неизменным. Однако, в отличие от такта «Сжатие», на такте «Расширение» юбка поршня движется по стенке цилиндра, которая имеет определенное количество смазочного материала, не подвергшегося испарению от контакта с раскаленными отработавшими газами и дополненного за счет разбрызгивания и струйной маслоподачи на открытую поршнем поверхность цилиндра.

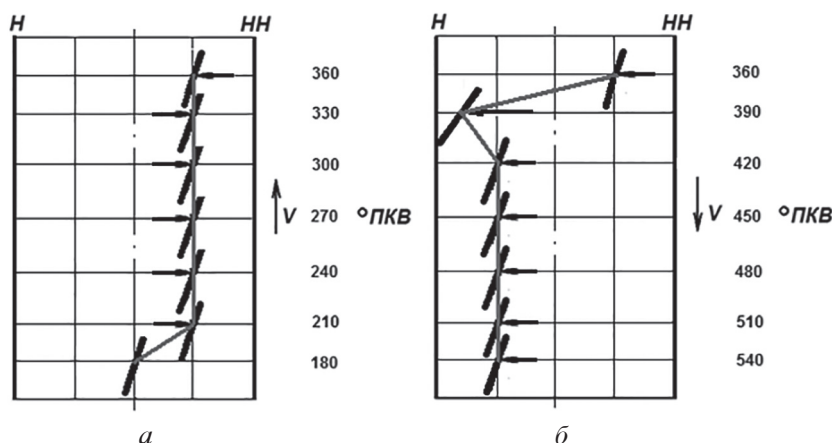


Рис. 4. Диаграммы вторичной кинематики в цилиндре серийного поршня с отрицательным дезаксиалом пальцевого отверстия ( $e = -1,2$  мм):

$a$  – такт «Сжатие»;  $b$  – такт «Расширение»; горизонтальной стрелкой показано направление и условное значение боковой силы поршня

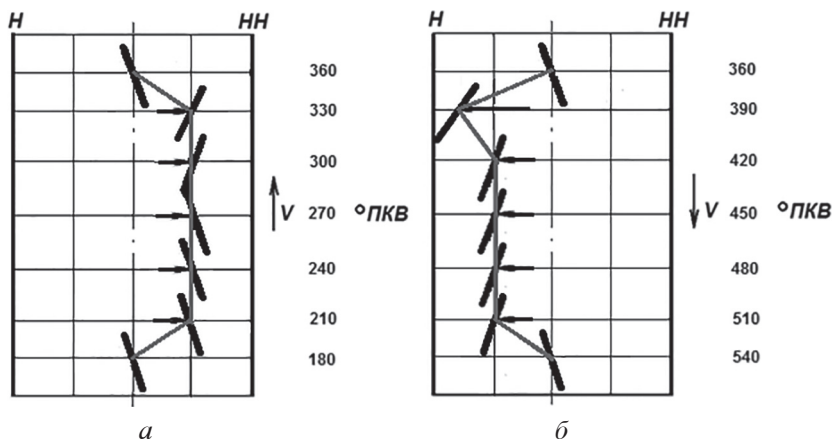


Рис. 5. Диаграммы вторичной кинематики в цилиндре аксиального серийного поршня ( $e = 0,0$  мм):

$a$  – такт «Сжатие»;  $b$  – такт «Расширение»

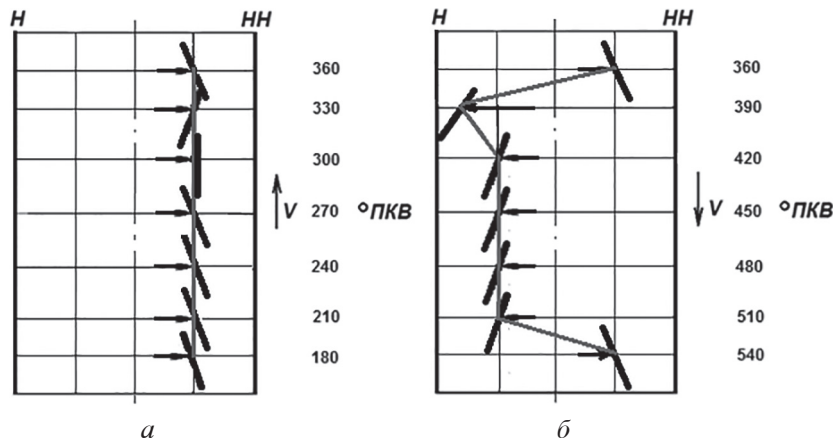


Рис. 6. Диаграммы вторичной кинематики в цилиндре серийного поршня с положительным дезаксиалом пальцевого отверстия ( $e = +1,2$  мм):  
*a* – такт «Сжатие»; *б* – такт «Расширение»

## 2. Влияние профиля юбки поршня

Поскольку, в виду следования правилу прочих равных условий, при оценке дезаксиала использовали профиль «Серийный», то обсуждению подлежат результаты, касающиеся только профилей «Опытный 1» и «Опытный 2», полученные для аксиального варианта расположения поршневого пальца.

Из сравнения характера изменения угла  $\gamma$  на тактах «Сжатие» и «Рабочий ход» вытекает, что поршень с двухопорным профилем юбки («Опытный 1») при прочих равных условиях обладает большей угловой стабильностью при перемещении в цилиндре, чем поршень с серийным бочкообразным профилем юбки (рис. 5). Особенно это заметно при сравнении характера угловой перекладки сравниваемых поршней на такте «Сжатие», на котором угол опрокидывания двухопорного поршня практически равен нулю (рис. 7, *a*). На такте «Расширение» (рис. 7, *б*) картина положений поршня в цилин-

дре в целом аналогична таковой для поршня с профилем «Серийный».

Использование рационального бочкообразного профиля юбки поршня («Опытный 2») дало картину вторичной кинематики поршня в цилиндре, аналогичную полученной для аксиального поршня с профилем юбки «Серийный» (рис. 5).

Таким образом, в отличие от двухопорного профиля юбки, влияние вариаций бочкообразного профиля юбки аксиального поршня (профили «Серийный» и «Опытный 2») на характер вторичной кинематики поршня в цилиндре оказалось несущественным.

## Выводы

В итоге анализ результатов моделирования вторичной кинематики поршня в цилиндре быстроходного четырехтактного дизеля показал, что в течение двух наиболее динамически нагруженных тактов рабочего цикла – «Сжатие»

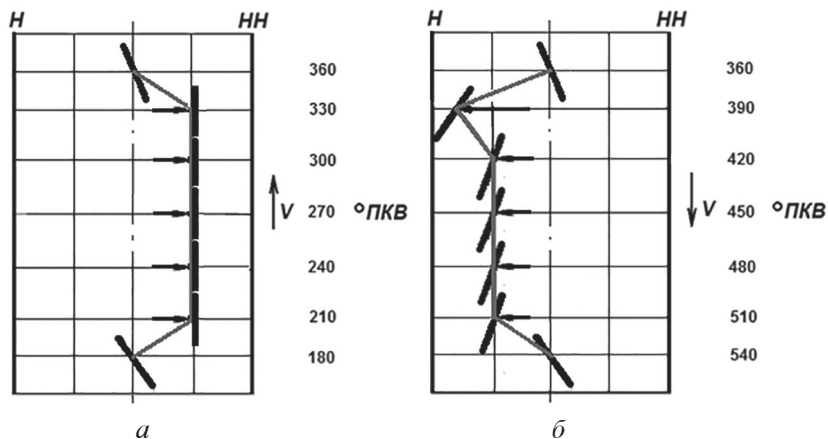


Рис. 7. Диаграммы вторичной кинематики в цилиндре аксиального поршня с двухопорной юбкой (профиль «Опытный 1»):  
*a* – такт «Сжатие»; *б* – такт «Расширение»

и «Расширение» – поршень системно занимает два невыгодных с точки зрения снижения трения и изнашивания положения по отношению к ближайшей к нему стороне стенки цилиндра.

1. На такте «Сжатие», когда поршень движется вдоль ненагруженной стороны стенки цилиндра от НМТ к ВМТ под отрицательным углом атаки в положении скребка, способствуя снятию масла передней (верхней) кромкой юбки. Поскольку на предшествующем прямом ходе поршня (такт «Впуск») масло с поверхности цилиндра удаляется поршневыми кольцами, то при обсуждаемом обратном ходе поршень движется по поверхности цилиндра, имеющей дефицит смазочного материала. Такая ситуация склонна вызывать повышенное трение, изнашивание и, как следствие, чревата появлением натиров и даже задиров поршня. Устранение этой аномалии может быть получено изменением знака угла  $\gamma$  опрокидывания поршня на такте «Сжатие» с отрицательного на положительный путем использования положительного дезаксиала поршневого пальца и/или организацией принудительной подачи смазочного материала в зону трения перед верхней кромкой юбки поршня.

2. На такте «Расширение» при прямом ходе поршня (от ВМТ к НМТ) независимо от знака и значения варьируемых в данном исследовании входных параметров поршень движется прижатой боковой силой к нагруженной стороне стенки цилиндра в положении отрицательного угла атаки, т.е. снова в положении скребка, что, несмотря на имеющийся на стенке цилиндра смазочный материал, доставляемый путем разбрызгивания, снижает гидродинамическую эффективность профилирования (особенно при использовании традиционных бочкообразных профилей юбки), приводя к падению создаваемой юбкой ГНС и, как следствие, интенсификации процессов трения и изнашивания, усугубляемых высокими значениями и постоянным знаком боковой силы, действующими на данном такте. Смягчению жесткости таких условий смазки может способствовать организация дополнительной подачи смазочного материала в зону трения юбки, а также использование технических решений, обеспечивающих изменение знака угла опрокидывания поршня таким образом, чтобы путь (или время нахождения) поршня на этом такте в положении скребка юбки был минимизирован.

## Литература

1. Никишин В.Н. Исследование динамики пары поршень – гильза // Тезисы докладов XI НТК Ярославского правления НТО и объединения «Автодизель». Ярославль, 1976. С. 8–10.
2. Tschoke H., Essers U. Einfluss der Reibung an Kolben und Pleul auf Sekundärbewegung des Kolbens // MTZ, 1983, no 3, S. 89–93.
3. Chucholowsli C., Woschni G., Zeilinger K. Simulationsrechnung der Kolbensekundärbewegung // MTZ, 1987, no 4, S. 133–137.
4. Григорьев М.А., Ющенко А.А. Экспериментальное исследование пространственного движения поршня в пределах зазора // Двигателестроение. 1989. № 1. С. 14–16.
5. Костров А.В., Макаров А.Р., Смирнов С.В. Исследование влияния конструкции поршня бензинового двигателя на динамику его движения в цилиндре // Двигателестроение. 1991. № 3. С. 3–6.
6. Никишин В.Н. Профилирование юбки поршня с учетом перекладки поршня: учебное пособие. Набережные Челны: Камский политехнический институт, 1996. 48 с.
7. Путинцев С.В., Аникин С.А., Иванов О.В. Программа PISTON-DHT для расчета параметров динамики, гидродинамики и трибологии поршня ДВС // Двигатель-2007: сб. научн. трудов Межд. конф. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. С. 235–241.
8. Путинцев С.В., Аникин С.А., Иванов О.В. Моделирование параметров динамики, гидродинамики и трибологии поршня двигателя внутреннего сгорания // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Спец. выпуск сер. «Машиностроение». 2007. С. 150–156.
9. DIESEL-RK is an engine simulation tool. Режим доступа: <http://www.diesel-rk.bmstu.ru> (дата обращения: 29.10.2017).
10. Путинцев С.В., Аникин С.А., Агеев А.Г. Применение принципа трибоадаптивности для профилирования юбки поршня быстроходного дизеля // Известия вузов. Машиностроение. 2015. № 5 (662). С. 18–24.

## References

1. Nikishin V.N. Investigation of the dynamics of the piston-liner pair. Tezisy dokladov XI NTK Yaroslavskego pravleniya NTO i ob'edineniya «Avtodizel'» [Brief outline reports of the XI STC of the Yaroslavl NTA board and the Association of «Avtodiesel»]. Yaroslavl', 1976, pp. 8–10 (in Russ.).
2. Tschoke H., Essers U. Einfluss der Reibung an Kolben und Pleul auf Sekundärbewegung des Kolbens. MTZ, 1983, No 3, pp. 89–93.

3. Chucholowski C., Woschni G., Zeilinger K. Simulationsrechnung der Kolbensekunddrbewegung. MTZ, 1987, No 4, pp. 133–137.
4. Grigor'ev M.A., Yushchenko A.A. Experimental research of the spatial motion of the piston within the gap. Dvigatelsestroenie. 1989. No 1, pp. 14–16 (in Russ.).
5. Kostrov A.V., Makarov A.R., Smirnov S.V. Research of the influence of the design of the gasoline engine piston on the dynamics of its movement in a cylinder. Dvigatelsestroenie. 1991. No 3, pp. 3–6 (in Russ.).
6. Nikishin V.N. Profilirovanie yubki porshnya s uchetom perekladki porshnya [Forming of the piston skirt subject to the piston shift]: Naberezhnye Chelny: Kamskiy politekhnicheskiiy institute Publ., 1996. 48 p.
7. Putintsev S.V., Anikin S.A., Ivanov O.V. Program PISTON-DHT for calculating the parameters of dynamics, hydrodynamics and tribology of internal combustion engine's piston. Dvigatel'-2007: Sb. nauchn. trudov Mezhd. konf. [The engine-2007: Collection of scientific works of the International conference]. Moscow: MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2007, pp. 235–241 (in Russ.).
8. Putintsev S.V., Anikin S.A., Ivanov O.V. Modeling of the parameters of dynamics, hydrodynamics and tribology of the internal combustion engine's piston. Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Spets. vypusk ser. «Mashinostroenie». 2007, pp. 150–156 (in Russ.).
9. DIESEL-RK is an engine simulation tool. URL: <http://www.diesel-rk.bmstu.ru> (accessed 29.10.2017).
10. Putintsev S.V., Anikin S.A., Ageev A.G. Application of the principle of triboadaptivity for the forming of the fast-running diesel engine's piston skirt. Izvestiya vuzov. Mashinostroenie. 2015. No 5 (662), pp. 18–24 (in Russ.).

## К 30-ЛЕТИЮ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОБЪЕДИНЕНИЙ ВУЗОВ СТРАНЫ

## THE 30TH ANNIVERSARY OF THE EDUCATIONAL AND METHODOLOGICAL ASSOCIATIONS OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF THE COUNTRY

**Е.Е. БАУЛИНА**<sup>1</sup>, к.т.н.  
**В.Н. КРАВЕЦ**<sup>2</sup>, д.т.н.  
**А.В. КРУТАШОВ**<sup>1</sup>, к.т.н.  
**В.В. СЕРЕБРЯКОВ**<sup>1</sup>, к.т.н.  
**В.М. ШАРИПОВ**<sup>1</sup>, д.т.н.

<sup>1</sup> Московский политехнический университет, Москва, Россия

<sup>2</sup> Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, Нижний Новгород, Россия, ws@mami.ru

**E.E. BAULINA**<sup>1</sup>, PhD in Engineering  
**V.N. KRAVETS**<sup>2</sup>, DSc in Engineering  
**A.V. KRUTASHOV**<sup>1</sup>, PhD in Engineering  
**V.V. SEREBRYAKOV**<sup>1</sup>, PhD in Engineering  
**V.M. SHARIPOV**<sup>1</sup>, DSc in Engineering

<sup>1</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation,

<sup>2</sup> Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russian Federation, ws@mami.ru

Показана роль учебно-методических объединений, созданных в 1987 г. приказом Министерства высшего образования СССР, в совершенствовании высшего образования в стране. Описана и проанализирована деятельность учебно-методической комиссии по специальности «Автомобиле- и тракторостроение» учебно-методического объединения вузов по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов в развитии и совершенствовании учебного процесса в вузах, осуществляющих подготовку кадров для автомобильной и тракторной промышленности. Показаны периоды исторических преобразований коллектива учебно-методической комиссии и основные виды деятельности, в которых члены учебно-методических комиссий принимали активное участие. Дано краткое описание уровня квалификации заведующих кафедрами и ведущих профессоров кафедр, входящих в состав учебно-методической комиссии. Кратко изложено содержание приказов Минобрнауки РФ о формировании новых федеральных учебно-методических объединений и федеральных учебно-методических объединений в системе высшего образования по укрупненным группам специальностей и направлений подготовки, в том числе по направлению подготовки 23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта». Приведены выдержки из положений о деятельности Координационного совета федеральных учебно-методических объединений и Совета федеральных учебно-методических объединений по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки и задачах, которые им предстоит решать в своей работе. На основе проведенного анализа многолетней деятельности учебно-методической комиссии предложено использовать накопленный ее членами богатый практический опыт для совершенствования учебного процесса автомобильных и тракторных кафедр технических вузов страны в современных условиях. Выказано предложение о целесообразности участия членов учебно-методической комиссии в работе федерального учебно-методического объединения высшего образования «Техника и технологии наземного транспорта» в качестве членов советов по направлению подготовки «Наземные транспортно-технологические комплексы» и совета по специальности «Наземные транспортно-технологические средства».

**Ключевые слова:** учебно-методическое объединение, учебно-методическая комиссия, высшее образование, автомобиле- и тракторостроение, Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования, бакалавр, магистр, специалист, аспирант.

The role of Educational and methodological associations, established in 1987 on the basis of an order of the Ministry of Higher Education of the USSR, in an improvement of higher education in the country is shown. The activity of the educational and methodological committee on a specialty «Automotive and tractor industry» of the Educational and methodological association of higher education institutions in the field of education of transport vehicles and technological transport complexes in a development and an improvement of the educational process in the higher education institutions that train skilled personnel for the automotive and tractor industries has been described and analyzed. The periods of historical transformations of the collective of the educational and methodological committees and the main activities in which the members of the educational and methodological committee took an active participation are shown. A brief description of the qualification level of the heads of the departments and leading professors of the departments which is part of the educational and methodological committee is given. The contents of the orders of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation on the formation of new Federal educational and methodological associations and Federal educational and methodological associations in the system of higher education on the enlarged groups of specialties and training's directions, including, in the direction of training 23.00.00 Land transport processes and technology are briefly discussed. Excerpts from the provisions on the activities of the Coordinating council of the Federal educational and methodological associations and the Council of federal educational and methodological associations on a large group of specialties and orientations of training and tasks to be



addressed by them in their work. On the basis of the conducted analysis of the long-term activity of the educational and methodological committee, it is proposed to use the rich practical experience accumulated by its members for an improvement of the educational process of the automotive and tractor departments of technical higher education institutions of the country in modern conditions. It was proposed about the expediency of participation the members of the educational and methodological committee in the work of the Federal educational and methodological association of higher education «Land transport processes and technology» as members of the Councils in the direction of the training of «Ground transportation and technological complexes» and the Council on the specialty «Ground transport and technological vehicles».

**Keywords:** educational and methodological associations, educational and methodological committee, higher education, automotive and tractor industry, Federal state educational standard of higher education, bachelor, master, specialist, postgraduate student.

## Введение

18 сентября 1987 г. приказом № 650 Минвуза СССР были созданы учебно-методические объединения (УМО) вузов в системе высшего образования страны. Создание УМО отвечало требованиям времени – начинающимся процессам демократизации в обществе в целом и в системе высшего образования в частности.

Прошло 30 лет. Менялась страна, менялась система высшего образования, менялись поколения методических работников, но всегда учебно-методические объединения были во главе совершенствования научно- и учебно-методического обеспечения образовательного процесса. Анализ качества и совершенствованию высшего образования в России уделяется большое внимание [1–5].

## Цель исследования

Целью исследования является анализ деятельности учебно-методических комиссий (УМК) при УМО вузов за 30-летний период.

## Работа УМК при УМО вузов

«Рабочими лошадками» деятельности УМО были учебно-методические комиссии (УМК) по специальностям высшего образования. В первые годы деятельности УМО они назывались научно-методическими советами по специальностям.

Научно-методический совет по специальности «Автомобили и тракторы» был образован в составе учебно-методического объединения по автотракторным и дорожным специальностям Государственного комитета СССР по народному образованию. В его состав входили представители ведущих вузов СССР, осуществлявших подготовку инженеров по специальности 15.02 «Автомобили и тракторы», и ведущие специалисты промышленности – работники Министерства автотракторного и сельскохозяйственного машиностроения и главные конструкторы крупнейших автомобильных и тракторных предприятий отрасли.

На начальном этапе работы НМС в его составе были представлены все вузы РСФСР, Украины, Белоруссии, Грузии, Казахстана, Узбекистана и Латвии, занимавшиеся подготовкой инженеров по автотракторостроению.

За многие годы активной работы НМС по специальности «Автомобили и тракторы» произошли большие изменения в организации высшего образования в России, которые сказались и на деятельности НМС. В 1997 г. научно-методический совет по специальности 15.02 «Автомобили и тракторы» был преобразован в учебно-методический совет (УМС) по специальности 150100 «Автомобиле- и тракторостроение». С 2001 г. совет преобразован в учебно-методическую комиссию (УМК) по специальности 150100 «Автомобиле- и тракторостроение». За этот период несколько раз менялись названия учебно-методического объединения, в составе которого работала УМК. Менялись и названия профильного министерства.

Главным вузом УМК со дня ее образования являлся Московский автомеханический институт (МАМИ), претерпевший в последние годы несколько реорганизаций и получивший в настоящее время название Московский политехнический университет.

В состав УМК в разные годы входили представители 27–30 технических вузов России и стран СНГ. В комиссии работали все заведующие автомобильными и тракторными кафедрами, ведущие профессора автотракторных и политехнических вузов, ведущие специалисты автомобильных и тракторных предприятий и отраслевых НИИ.

В среде научно-педагогической общественности УМК зарекомендовала себя организационной структурой, которая за годы своей деятельности определяла стратегию развития высшего автотракторного образования в СССР и Российской Федерации. Членами УМК была разработана первая квалификационная характеристика выпускника вуза по специальности

«Автомобили и тракторы» и три поколения Федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) в области высшего автотракторного образования, введенных в действие приказами министерства.

На первых заседаниях научно-методический совет рассмотрел, проанализировал и утвердил представленные МАМИ проекты типового учебного плана, квалификационной характеристики инженера-механика, программы 17 учебных дисциплин и комплексные контрольные задания к государственному экзамену по специальности 15.02 «Автомобили и тракторы».

В начале 1990-х годов высшая школа Российской Федерации перешла на многоуровневую систему обучения. Для ее реализации учебно-методический совет по специальности «Автомобили и тракторы» разработал Государственный образовательный стандарт первого поколения и учебный план по направлению Т.14 «Наземные транспортные системы», в которое вошла специальность 15.02 «Автомобили и тракторы». Также были разработаны рабочие программы 10 профилирующих учебных дисциплин, включенных в учебный план.

В 2000 г. УМС по специальности «Автомобиле- и тракторостроение» был разработан и утвержден Министерством образования РФ Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования второго поколения по направлению подготовки 653200 «Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы» и специальности 150100 «Автомобиле- и тракторостроение». Вместе с образовательным стандартом были разработаны и утверждены: типовой учебный план по специальности, основные образовательные программы (ООП) специальности, рабочие программы 10 профилирующих учебных дисциплин, включенных в учебный план, а также комплект контрольных заданий и вопросов для комплексной оценки знаний в ходе государственного экзамена по специальности.

Опыт разработки этих, важных для организации учебного процесса, документов, которые положительно себя зарекомендовали в практике применения их в вузах разных регионов страны, пригодился членам УМК при разработке в 2004–2011 гг. Федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования

(ФГОС ВПО) третьего поколения. С 2011 г. все высшие учебные заведения России перешли на обучение студентов по вновь разработанным образовательным стандартам, которые значительно отличались по содержанию и структуре от стандартов первого и второго поколений. Принципиальное отличие состояло в том, что в основу образовательных стандартов третьего поколения был положен компетентностный подход к оценке результатов обучения студентов, тогда как образовательные стандарты первого и второго поколений предполагали оценку усвоения студентами знаний по основным разделам учебных дисциплин.

Большинство членов УМК из многих вузов страны приняли самое активное участие в разработке этих образовательных стандартов. Специалистами, членами УМК разработаны два ФГОС ВПО по направлению подготовки бакалавров и магистров 190100 «Наземные транспортно-технологические комплексы» и ФГОС ВПО по специальности 190109 «Наземные транспортно-технологические средства». Большая и кропотливая работа была проведена специалистами, членами УМК периферийных вузов по разработке примерных основных образовательных программ (ПрООП), составленных в соответствии с этими образовательными стандартами. ПрООП, включающие в себя содержание компетенций, примерные учебные планы, примерные программы учебных дисциплин и аннотации к ним, примерные программы учебных, производственных и преддипломных практик, были разработаны для всех трех ФГОС ВПО третьего поколения.

Представляет интерес численный состав и уровень квалификации членов УМК в разрезе стран в этот период деятельности (табл. 1).

Практически одновременно с введением в учебный процесс высших учебных заведений образовательных стандартов третьего поколения началась работа по их модернизации. В 2014 г. модернизированные образовательные стандарты были введены в учебный процесс. Работа по модернизации образовательных стандартов третьего поколения была сопряжена со значительными трудностями. Были коренным образом пересмотрены подходы к разработке содержания образовательных стандартов бакалавров, магистров и специалистов. Была проведена большая работа по согласованию положений модернизированных образова-

Таблица 1

## Состав УМК

Страна	Количество городов	Количество членов УМК	Должности членов УМК	Имющие степень д.т.н.	Имющие степень к.т.н.
Россия	21	51	ректор – 1 декан – 3 зав. кафедрой – 22 профессор – 16 доцент – 9	28	23
Белоруссия	2	2	зав. кафедрой – 2	2	–
Украина	3	3	профессор – 1 доцент – 2	1	2

тельных стандартов с вновь разработанными профессиональными стандартами в области автомобиле- и тракторостроения. Наиболее трудоемкой и требующей больших затрат времени оказалась задача разработки образовательных стандартов подготовки академических и прикладных бакалавров, а также вновь разрабатываемых образовательных стандартов подготовки аспирантов. Одновременно с этой работой был введен в действие новый классификатор образовательных программ, для которых УМК разработала образовательные стандарты и которые были включены в 23-ю группу укрупненных специальностей и направлений подготовки «Техника и технологии наземного транспорта».

Учебный процесс подготовки бакалавров, магистров и специалистов в вузах страны третий год ведется по модернизированным образовательным стандартам. Вузы накапливают опыт подготовки по обновленным учебным программам, осваивают новые технологии обучения студентов в условиях компетентностного подхода к оценке результатов их обучения. Во многих вузах страны постепенно, с неизбежными в новом деле трудностями, вводятся программы проектного подхода к организации учебного процесса, вводятся новые принципы организации лекционных и семинарских занятий. Этот опыт должен быть использован для дальнейшего совершенствования системы высшего образования в нашей стране.

Одновременно продолжается работа по модернизации образовательных стандартов третьего поколения уже в рамках деятельности вновь сформированных федеральных учебно-методических объединений (ФУМО). Они созданы в соответствии с приказом Минобрнауки РФ от 08.09.2015 г. № 987.

В сфере деятельности автомобильных и тракторных кафедр вузов этим приказом сформировано федеральное учебно-методическое объединение в системе высшего образования по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки 23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта» (федеральное УМО ВО «Техника и технологии наземного транспорта»). В его состав на добровольных началах вошли заведующие кафедрами, профессора технических вузов, научные сотрудники отраслевых НИИ и представители работодателей.

Наиболее значимыми основными направлениями деятельности вновь созданного федерального УМО ВО «Техника и технологии наземного транспорта» являются:

- подготовка предложений в Минобрнауки РФ по проектам федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования;
- участие в разработке проектов федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования;
- организация работы по актуализации федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования с учетом положений соответствующих профессиональных стандартов;
- подготовка предложений по оптимизации перечней специальностей и направлений подготовки высшего образования;
- организация разработки и проведения экспертизы проектов примерных образовательных программ высшего образования;
- участие в разработке и экспертизе фонда оценочных средств для промежуточной аттестации обучающихся и для итоговой (государственной итоговой) аттестации.

Для организации эффективного управления деятельностью по совершенствованию учебно-методического обеспечения учебного процесса в вузах в рамках новых ФУМО этим же приказом Минобрнауки РФ созданы координационные советы по областям образования, в том числе и по области образования «Инженерное дело, технологии и технические науки».

Координационный совет осуществляет координацию деятельности федеральных учебно-методических объединений в системе высшего образования, в том числе и федерального УМО ВО «Техника и технологии наземного транспорта», в обеспечении качества и развития содержания инженерного образования. Он взаимодействует с федеральными органами законодательной и исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, образовательными и научными организациями. В его состав входят руководители ведущих образовательных и научных организаций, представители работодателей. Его состав утверждается приказом Минобрнауки РФ.

Наиболее важными основными задачами координационного совета по этой области образования являются:

- формирование и реорганизация совместно с Минобрнауки РФ и другими органами исполнительной власти сети федеральных УМО по области образования «Инженерное дело, технологии и технические науки»;
- подготовка предложений по оптимизации перечней специальностей и направлений подготовки высшего образования;
- организация разработки и проведения экспертизы проектов примерных образовательных программ высшего образования;
- обеспечение научно-методического и учебно-методического сопровождения разработки и реализации образовательных программ, в том числе проведение экспертизы качества учебной литературы с выдачей заключения о рекомендации опубликования;
- экспертиза и разработка проектов нормативных правовых актов в области высшего образования;
- участие совместно с работодателями в организации профессионально-общественной аккредитации образовательных программ.

Из перечня задач, поставленных перед новыми учебно-методическими объединениями, видно, что многие из них аналогичны тем

задачам, которые решали в свое время созданные тридцать лет назад первые УМО. Конечно, решать их надо на новом, современном уровне, но с учетом того опыта организации учебного процесса, который приобрели специалисты высших учебных заведений, активно и творчески работая в составе структур УМО, в том числе и в составе учебно-методических комиссий, таких как УМК по специальности «Автомобиле- и тракторостроение».

Все годы своей деятельности комиссия обеспечивала единый согласованный подход кафедр курируемых вузов к содержанию учебных планов по специальности, содержанию учебных программ по общетехническим и профилирующим дисциплинам, формировала и методически обеспечивала разработку квалификационных характеристик выпускников вуза, образовательных стандартов высшего образования, примерных образовательных программ по курируемому направлению подготовки.

Учебно-методическая комиссия была подлинной школой передового опыта в области подготовки специалистов с высшим образованием по автотракторостроению. В процессе деятельности комиссии было проведено более шестидесяти заседаний в тридцати пяти вузах и производственных и научных организациях. Это позволило получить полное и всестороннее представление о действительном состоянии подготовки специалистов с высшим образованием и перенять все ценное и передовое, что десятилетиями складывалось на кафедрах, факультетах и институтах автотракторного профиля.

На заседаниях УМК были заслушаны доклады и сообщения авторитетных ученых: заслуженных деятелей науки и техники России, Белоруссии и Украины. В программе каждого заседания УМК организаторы предусматривали посещение промышленных предприятий и научно-исследовательских организаций автотракторной и оборонной отраслей народного хозяйства. На предприятиях и в научно-исследовательских организациях члены комиссии встречались с руководителями и ведущими специалистами, посещали конструкторские, испытательные, производственные подразделения, библиотеки и музеи. В результате у членов УМК складывалось полное и подлинное представление о современном состоянии и перспективах развития автомобильной, тракторной и оборонной отраслей страны.

Организаторы заседаний УМК по возможности, старались совмещать их с научными конференциями, симпозиумами, выставками и юбилейными мероприятиями. Членам УМК была предоставлена возможность выступать на них с докладами и сообщениями. Совмещение заседаний УМК с научными конференциями и симпозиумами, проводимыми принимающими вузами, в немалой степени способствовало активизации научно-исследовательской и публикационной деятельности не только членов комиссии, но их учеников – студентов, магистров, аспирантов, соискателей, а также преподавателей и сотрудников кафедр.

Уровень научной квалификации членов УМК позволял заслушивать на заседаниях предварительные доклады по докторским диссертациям специалистов промышленности и преподавателей вузов. Замечания и рекомендации членов УМК во многом способствовали успешной защите работ в диссертационных советах.

В рамках мероприятий координационного совета УМО старого созыва, посвященных 30-летию создания первых учебно-методических объединений в сфере высшего образования страны, в октябре с.г. в Московском политехническом университете прошла встреча бывших членов УМК по специальности «Автомобиле- и тракторостроение».

Во встрече приняли участие заведующие профильными кафедрами из восемнадцати вузов России. На мероприятии обсуждались современные насущные проблемы высшего автомобильного и тракторного образования в вузах страны и предлагались решения этих проблем. Одним из предложений было предложение использовать большой накопленный опыт совместной работы членов комиссии для совершенствования учебно-методического процесса вузов в современных условиях. Знания и практический опыт членов комиссии можно использовать при решении таких проблем, стоящих перед новыми федеральными УМО, которые невозможно решить без привлечения непосредственных участников и организаторов учебного процесса в вузе – заведующих кафедрами и ведущих профессоров кафедр. В области научно-методического обеспечения учебного процесса по направлению подготовки «Наземные транспортно-технологические комплексы» и специальности «Наземные транспортно-технологические средства»

лучших специалистов, чем бывшие члены УМК, представляющие школы всех автомобильных и тракторных кафедр страны, найти очень сложно.

По нашему мнению, эти специалисты, будучи объединенными в рамках научно-методического совета по направлениям подготовки и специальностям, могли бы принять участие в решении нескольких или, как минимум, двух из основных проблем, стоящих перед федеральным УМО ВО «Техника и технологии наземного транспорта», а именно:

- организация разработки и проведения экспертизы проектов примерных образовательных программ высшего образования;
- обеспечение научно-методического и учебно-методического сопровождения разработки и реализации образовательных программ, в том числе проведение экспертизы качества учебной литературы с выдачей заключения о рекомендации опубликования.

### Выводы

Анализируя деятельность учебно-методических комиссий вузов за 30-летний период, можно сделать следующие выводы:

- УМК накопили большой опыт разработки и совершенствования учебно-методического обеспечения образовательного процесса;
- имеющиеся знания и опыт необходимо учитывать при решении проблем, стоящих перед новыми федеральными УМО;
- не следует копировать опыт УМК слепо, а использовать лучшие подходы и методы для выполнения задач на более высоком современном уровне.

### Литература

1. Коршунов С.В. Государственно-общественные объединения в системе инженерного образования в России. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 328 с.
2. Ворожейкина О.Л., Покладюк Е.Б., Тарасюк Л.Н. Тенденции развития высшего образования и механизмы обеспечения качества подготовки в странах Европы. М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2007. 226 с.
3. Становление и развитие системы университетского технического образования России / под ред. И.Б. Федорова и В.К. Балтяна. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 187 с.

4. Сазонов Б.А. Болонский процесс: актуальные вопросы модернизации российского высшего образования. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 157 с.
5. Сазонов Б.А. Классификация профессиональных образовательных программ в Российской Федерации: проблемы и возможные решения // Высшее образование в России. Научно-педагогический журнал. 2017. № 11. С. 20–30.

### References

1. Korshunov S.V. Gosudarstvenno-obshchestvennye ob"edineniya v sisteme inzhenerного obrazovaniya v Rossii [State-public associations in the system of engineering education in the Russian Federation]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2005. 328 p.
2. Vorozheykina O.L., Pokladyuk E.B., Tarasyuk L.N. Tendentsii razvitiya vysshego obrazovaniya i mekhanizmy obespecheniya kachestva podgotovki v stranakh Evropy [Development tendencies of higher education and the mechanisms of support the quality of training of personnel in Europe]. Moscow: Issledovatel'skiy tsentr problem kachestva podgotovki spetsialistov Publ., 2007. 226 p.
3. Stanovlenie i razvitie sistemy universitetskogo tekhnicheskogo obrazovaniya Rossii [Formation and development the system of university technical education in the Russian Federation]. Pod red. I.B. Fedorova i V.K. Baltyana. Moscow: MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2007. 187 p.
4. Sazonov B.A. Bolonskiy protsess: aktual'nye voprosy modernizatsii rossiyskogo vysshego obrazovaniya [Bologna process: topical issues of modernization of higher education in the Russian Federation]. Moscow: MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2007. 157 p.
5. Sazonov B.A. Classification of professional educational programs in the Russian Federation: problems and possible solutions. Vysshee obrazovanie v Rossii. Nauchno-pedagogicheskiy zhurnal. 2017. No 11, pp. 20–30 (in Russ.).



