



ТРАКТОРЫ И СЕЛЬХОЗМАШИНЫ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Каминский В.Н.

Издаётся с февраля 1930 г.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

Лепёшкин А.В.

3•2019

Выходит 6 раз в год

ISSN 0321-4443

DOI: 10.31992/0321-4443-2019-3

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Годжаев З.А.

Городецкий К.И.

Ерохин М.Н.

Жалнин Э.В.

Измайлов А.Ю.

Ковалёв М.М.

Котиев Г.О.

Ксеневич 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 издательства:

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

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ОБОРУДОВАНИЕ**Зволянский В.Н.**

Экологические аспекты обработки черноземов скоростными орудиями

НОВЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Демчук Е.В., Сабиев У.К., Мяло В.В.,**Чупин П.В., Коваль В.С.**

Результаты лабораторных исследований сошника для разноуровневого высева семян и внесения удобрений

Дмитренко В.П., Адакин Р.Д., Соцкая И.М., Хотько А.А.

Разработка фронтального погрузчика для трактора типа МТЗ с помощью 3D-моделирования

Казаков С.С., Живаев О.В., Никулин А.В.

Конструкционные пути снижения повреждаемости клубней посадочного картофеля при работе цепочно-ложечного высаживающего аппарата

ТЕОРИЯ, КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ

Золотаревская Д.И.

Результаты исследования жесткости шин тракторных колес и ее влияния на колебания тракторов

Калачин С.В.

Алгоритм управления режимами работы машинно-тракторного агрегата

Клепцов В.И.

Схематизация эксплуатационных нагрузок на несущую систему колесных сельскохозяйственных машин

**Ляшенко М.В., Поздеев А.В., Голяткин И.А.,
Искалиев А.И.**

Исследование теплового излучения упругодемпфирующих элементов пневматической подвески сиденья на стенде-гидропульсаторе

КАЧЕСТВО, НАДЕЖНОСТЬ

Каченюк М.Н., Сметкин А.А., Сомов О.В.

Получение пар трения торцевых уплотнений из композиционного материала системы TiC-SiC

**Михальченков А.М., Михальченкова М.А.,
Петраков М.А., Гучан А.А.**

Метод повышения служебных свойств остова плужного лемеха путем использования абразивостойких наплавочных материалов и полимерных композитов

Утаев С.А.

Результаты анализа непрерывного ввода присадок в смазочную систему двигателя, работающего на газообразном топливе

Цэдашиев Ц.В., Елтошкина Е.В.

Улучшение показателей качества работы машин для послеуборочной обработки зерна

ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ
И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА**Лавров А.В., Зубина В.А., Шевцов В.Г.,****Годжаев Т.З., Вязников М.В.**

Оценка технического уровня сельскохозяйственного трактора ТК-3-180 при включении его в робототехнический комплекс

Руденко Н.Е., Кулаев Е.В., Руденко В.Н., Носов И.А.

Оценка результативности технологических процессов

ENVIRONMENTALLY CLEAN TECHNOLOGIES
AND EQUIPMENT**Zvolinsky V.N.**

Environmental aspects of processing chernozem with high-speed tools

3

NEW MACHINES AND EQUIPMENT

**Demchuk E.V., Sabiev U.K., Myalo V.V.,
Chupin P.V., Koval' V.S.**

Laboratory results of coupler for multilevel sowing of seeds and fertilization

12

Dmitrenko V.P., Adakin R.D., Sockaya I.M., Hot'ko A.A.

Development of a front-end loader for an MTZ tractor using 3D modeling

19

Kazakov S.S., Zhivaev O.V., Nikulin A.V.

Structural ways to reduce the damage of planting potatoes bulbs when using a chain-spoon planting machine

29

THEORY, DESIGN, TESTING

Zolotarevskaya D.I.

The results of the study of the rigidity of tires of tractor wheels and its effect on tractor vibrations

35

Kalachin S.V.

Algorithm for managing the operation modes of a machin and tractor unit

45

Klepsov V.I.

Schematization of operational loads on the carrier system of wheeled agricultural vehicles

51

**Lyashenko M.V., Pozdeev A.V., Golyatkin I.A.,
Iskaliev A.I.**

Study of thermal radiation of the elastic-damping elements of the air suspension of the seat on the hydropulsator test bench

58

QUALITY, RELIABILITY

Kachenyuk M.N., Smetkin A.A., Somov O.V.

Obtaining friction pairs of mechanical seals made of composite material of the TiC-SiC system

64

**Mihal'chenkov A.M., Mihal'chenkova M.A.,
Petrakov M.A., Gucan A.A.**

Method of improving the service properties of the plowshare frame using abrasion-resistant surfacing materials and polymer composites

70

Utaev S.A.

The results of the analysis of the continuous input of additives in the lubricating system of the engine operating on gaseous fuel

76

Tsedashiev Ts.V., Eltoshkina E.V.

Improvement of quality indicators of machines for post-harvest grain processing

81

ECONOMICS, ORGANIZATION
AND TECHNOLOGY OF MANUFACTURING**Lavrov A.V., Zubina V.A., Shevcov V.G.,
Godzhaev T.Z., Vyaznikov M.V.**

Evaluation of the technical level of the agricultural tractor TK-3-180 when it is included in the robotic complex

85

Rudenko N.E., Kulaev E.V., Rudenko V.N., Nosov I.A.

Evaluation of the impact of technological processes

91

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.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБРАБОТКИ ЧЕРНОЗЕМОВ СКОРОСТНЫМИ ОРУДИЯМИ

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF PROCESSING CHERNOZEM SPEED GUNS

В.Н. ЗВОЛИНСКИЙ

Федеральный научный агронженерный центр ВИМ,
Москва, Россия, vic.nik.ru@yandex.ru

V.N. ZVOLINSKY

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia,
vic.nik.ru@yandex.ru

Внедрение передовых технологий возделывания сельскохозяйственных культур обычно связывают с минимизацией приемов основной обработки почвы с заменой их поверхностными операциями, включая дискование. Использование малоэнергетических широкозахватных орудий, работающих на глубину 10...14 см с высокими скоростями до 15...20 км/ч, позволяет обеспечивать экономический эффект, сократить сроки проведения весенних работ, сократить число обслуживающего персонала. Иногда такого же эффекта удается достичь за счет применения комбинированных машин, выполняющих за один проход несколько последовательных операций по обработке почвы, внесению удобрений и иногда – посеву. В последние годы для таких целей используются дисковые рыхлители с индивидуальным подпружиненным креплением дисков к раме (дискаторы) и фрезерные культиваторы, органично вписывающиеся в состав комбинированных машин. Однако многолетние наблюдения за применением этих дорогих и сложных орудий, наряду с высокой проходимостью орудий, повышенной рабочей скоростью и надежностью выполнения процесса, экономией ГСМ и др., выявили ряд их существенных недостатков по отношению к возделываемым культурам: постепенное переуплотнение почвы, особенно черноземов, снижение продуктивной влаги, повышенную засоренность полей, неравномерность глубины обработки, повышение эрозионно-опасных частиц и, как следствие всего этого, – тенденцию к снижению урожая. У приводных машин, кроме высокого качества крошения почвы, отмечается, особенно у отечественных фрез, низкая производительность, невысокая надежность работы, большой расход горючего и увеличение после прохода эрозионно-опасных фракций. Этому способствует отсутствие на наших фрезах многоскоростных редукторов, обычно позволяющих регулировать качество крошения путем контроля за кинематическим параметром – отношением окружной и поступательной скоростей.

Целью исследования является выявление случаев нерационального использования т.н. «агрессивных» почвообрабатывающих орудий и определение путей возможной минимализации отмеченных недостатков. Методы исследований заключаются в аналитическом рассмотрении недостатков, возникающих при эксплуатации выбранного типа орудий, выявлении причин их появления и указании на конкретные шаги по их устранению. Результаты исследований приводятся на реальных моделях, производящихся в настоящее время в ООО «Белагромаш-сервис», для чего приводятся нагрузочные характеристики наиболее ходовых образцов. Во избежание нерационального использования рассматриваемых современных орудий рекомендован ряд мероприятий, позволяющих повысить эффективность их применения, урожайность культурных растений и КПД орудий за счет снижения отрицательного воздействия рабочих органов на обрабатываемую почву – для дискаторов и привода – для фрез.

Ключевые слова: минимальная технология, обработка почвы, дисковые орудия, подпружиненная подвеска, глубина обработки, переуплотнение, производительность, почвенная фреза, многоскоростной редуктор, чернозем.

The introduction of advanced technologies for the cultivation of crops is usually associated with minimizing the techniques of basic tillage and replacing them with surface operations, including disking. The use of low-power wide-grip tools, working at a depth of 10...14 cm with high speeds of up to 15...20 km/h, allows you to provide an economic effect, reduce the time for spring work, and reduce the number of service personnel. Sometimes the same effect can be achieved through the use of combined machines that perform several successive operations for tillage, fertilization and sometimes sowing in one pass. In recent years, disc rippers with individual spring-loaded mounting of discs to the frame (diskators) and milling cultivators that fit organically into the combined machines are used for such purposes. However, now long-term observations of the use of these expensive and complex tools, along with high tool traffic, increased working speed and reliability of the process, fuel economy, etc., revealed a number of significant shortcomings in relation to cultivated crops – gradual soil compaction, especially chernozem, decrease in productive moisture, increased contamination of fields, uneven depth of processing, increase in erosion-hazardous particles and, as a result of all this, a tendency to decrease in yield. In addition to high quality crumbling of the soil, drive machines have, especially domestic mills, low productivity, low reliability, high fuel consumption and an increase after passing through erosion-hazardous fractions. This is facilitated by the lack of multi-speed gearboxes on our cutters, which usually make it possible to regulate the quality of crumbling by controlling the kinematic parameter – the ratio of peripheral and translational speeds. The purpose of the study is to identify cases of irrational use of so-called. «Aggressive» tillage tools and identify ways of minimizing possible deficiencies noted. The research methods consist in analyzing the deficiencies arising from the operation of the selected type of tools, identifying the causes of their occurrence and indicating concrete steps to eliminate them. The results of the research are presented on real models currently being produced in Belagromash-Service LLC, for which the load characteristics of the most popular samples are given. In order to avoid the irrational use of the considered modern tools, a number of measures are given to increase the efficiency of their use, the yield of cultivated plants and the efficiency of tools by reducing the negative impact of working bodies on the cultivated soil (for diskators) and the drive for milling machines.

Keywords: minimal technology, tillage, disc tools, spring-loaded suspension, depth of processing, repacking, productivity, soil mill, multi-speed gearbox, black earth.

Введение

В настоящее время агрофизические свойства почв, в том числе черноземов, отличаются от оптимальных величин и имеют устойчивую тенденцию к ухудшению. Происходит переуплотнение, утрата зернистой структуры; уменьшается количество водопрочных агрегатов; снижается водопроницаемость [1, 4, 10, 13]. При этом подготовка почвы должна быть низкозатратной, энергосберегающей и экологически обоснованной. В этом состоит актуальность рассматриваемых проблем.

Характер воздействия рабочих органов почвообрабатывающих машин на обрабатываемую почву можно условно разделить на две категории – щадящего и активного действия. Обеспечение современного сельского хозяйства энергонасыщенными тракторами привело к тому, что, например, на предпосевной подготовке почвы, в погоне за высокой производительностью, желанием совместить ряд последовательных операций, достичь экономии горючего, снижения зарплаты и других прямых затрат, все большее распространение стали получать орудия т.н. агрессивного действия, к которым можно отнести фрезерные орудия, как наиболее подходящие для совмещения операций в комбинированных орудиях и высокоскоростные орудия, например, дисковые орудия с индивидуальной подвеской дисковых секций.

Цель исследований

Рассмотреть положительные и отрицательные свойства современных орудий для минимальных технологий и наметить пути минимизации выявленных недостатков.

Критерием активности можно выбрать линейную или угловую скорость воздействия, например, при скорости до 5 м/с отнести к щадящей, а более этой скорости – к агрессивной. Из пассивных орудий такую скорость крошения мы имеем при работе дисковаторов, которые уверенно используются на поступательных скоростях до 5,5–7,0 м/с при глубине обработки до 12–14 см с тракторами тяговых классов до 8 тонн.

Материалы и методы исследований

Высокое качество крошения почвы приводными орудиями сопровождается значительными энергетическими затратами, распылением почвы и невысокой производительностью процесса. Это зависит как от состояния почвы на момент обработки, так и от соотношения

окружной и поступательной скоростей, влияющего на подачу фрезерования и степень крошения почвы.

Согласно П.У. Бахтина [2], 90–100 % содержания комков размером не более 50 мм и менее 5 % пыли (частицы менее 0,25 мм) соответствует высшему качеству обработки почвы, 70–90 % комков и 5–10 % пыли – хорошему качеству, 50–70 % комков и 10–15 % пыли – удовлетворительному.

Работа приводных почвообрабатывающих орудий в общем случае характеризуется эффективным разрушением почвенного пласта при окружных скоростях 3...10 м/с и поступательных скоростях от 2...5 м/с [3]. Дальнейшее повышение поступательных скоростей приводит к увеличению подачи фрезерования и резкому повышению энергоемкости процесса:

$$N_p + N_{\text{отб}} = aBV(K_p + K_{\text{отб}}v^2\lambda^2) \cdot \frac{1}{\eta_{\Pi}}, \quad (1)$$

где N_p – мощность на резание почвы, л.с.; $N_{\text{отб}}$ – мощность на отbrasывание, л.с.; a – глубина обработки почвы, м; B – ширина захвата орудия, м; V – поступательная скорость агрегата, м/с; K_p и $K_{\text{отб}}$ – коэффициенты удельного сопротивления, соответственно, резанию (кПа) и отbrasыванию ($\text{Н} \text{с}^2/\text{м}^4$) почвы; η_{Π} – КПД передачи ротора.

Для снижения требуемой мощности на фрезерование в конструкцию фрезы перед барабаном иногда ставят стрельчатые лапы (рис. 1), позволяющие повысить скорость до 6...7 км/ч. При этом реактивная сила подталкивания агрегата (при попутном фрезеровании) частично используется на преодоление тягового сопротивления лап и повышение общего КПД привода агрегата [5]:

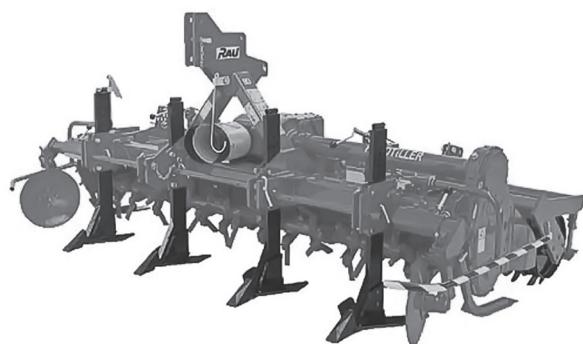


Рис. 1. Комбинированная фреза RDP-30
фирмы RAW (Германия)

$$\eta_a = \frac{N_p + N_{\text{отб}} + N_T}{\frac{N_p + N_{\text{отб}} + N_{\text{под}}}{\eta_{\text{ВОМ}} \eta_{\text{П}}} + (N_{\text{пер}} + N_T - N_{\text{под}}) \frac{1}{\eta_M \eta_b}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{под}}$, $N_{\text{пер}}$, N_T – мощности, расходуемые на отbrasывание почвы, подталкивание машины (преодоление сопротивления), перекатывание и преодоление потерь в трансмиссии машины; η_a , $\eta_{\text{ВОМ}}$, $\eta_{\text{П}}$, η_M , η_b – коэффициенты полезного действия, соответственно, фрезерного агрегата, с учетом привода к ВОМ трактора, передачи машины, самопередвижения и буксования трактора и наличия культиваторных лап (тяговый КПД).

Результаты и обсуждение

Рассматривая качество обработки почвы фрезерными орудиями на глубину до 12 см с окружными скоростями Г-образных ножей и прямом фрезеровании выше 5 м/с, следует отметить как высокую степень крошения пласта, ограниченную агротехническими требованиями из-за возможности образования эрозионно-опасных фракций размером менее 1 мм, так и возрастающую при этом плотность дна борозды, обусловленную несоблюдением т.н.

кинематического параметра $\lambda = \frac{V_o}{V_p}$. При этом

безусловно, необходимо учитывать такие конструктивные параметры, как угол установки ножа и ширину его крыла. В некоторой степени все эти элементы могут регулироваться подбором соотношения окружных и поступательных скоростей, т.е. путем использования многоскоростных редукторов, как это делается на зарубежных фрезах. В результате, при нарушении установленного λ , затылочная часть крыла ножа трется о необработанную стенку и сминает ее, таким же образом уплотняется и дно борозды. Чтобы избежать этого, иногда устанавливают ножи с минимальными значениями угла установки, т.е. менее 25° , но это приводит к плохому сходу почвенной стружки с ножа и возможности вовлечения ее во вращение вместе с барабаном, приводящее к возрастанию энергоемкости процесса и возможному забиванию или залипанию фрез барабана.

Производство высокомоментных и многоскоростных редукторов для почвообрабатывающих машин, таких как фрезерные культиваторы, ротационные плуги, пропашные

и садовые фрезы в нашей стране, так и не наложено, а покупать зарубежные редукторы достаточно дорого, да и конструкции самих машин, для которых эти редукторы были созданы, значительно разнятся с отечественными разработками, и поэтому встроить их в отечественные конструкции достаточно сложно. В результате массового производства фрез для предпосевной обработки, кроме культиватора-глубокорыхлителя КФГ-3,6 и комбинированной машины АКР-3,6, в России толком налажено не было.

Вместо организации производства фрезерных машин, в России в последние двадцать лет наблюдается скачок создания и использования новых дисковых почвообрабатывающих орудий, т.н. «дискаторов», отличающихся индивидуальным креплением рабочих органов к раме. В настоящее время только 2 предприятия – ОАО «Белагромаш-сервис» имени В.М. Рязанова и компания ООО «БДМ-Агро» – производят по 32 наименований каждой из таких машин захватом от 2,1 до 10,1 к тракторам классов 4–8. Этому буму способствовали два обстоятельства: широкое внедрение почвозащитных технологий, когда для минимизации основной обработки почвы отвальной вспашка заменяется безотвальным рыхлением, поверхностной или мелкой обработкой, а то и вообще полным отказом от обработки, и появление ряда технических решений, позволяющих увеличить скорость дискования до 3,3...4,2 м/с. В первую очередь это относится к схеме размещения и способам соединения рабочих органов с рамой посредством крепления индивидуальных пружинных стоек или поводков с эластичными вкладышами, позволяющими регулировать положение каждого диска относительно поверхности поля, тем самым обеспечивая повышенную способность для почвы и сорняков в междисковом пространстве, а также способствуя улучшению степени измельчения и перемешивания пожнивных остатков с почвой. Крепление позволяет эксплуатировать борону в условиях засоренности участков небольшими каменистыми включениями и облегчает ремонт орудия в случае поломки.

Новые дисковые орудия, как правило, существенно дороже по сравнению с боронами батарейной конструкции, и поэтому среди конструкций зарубежных дисковых борон пока чаще встречаются бороны этого типа.

Тем не менее, создатели дисков, делая в рекламе упор на экономические показатели, такие как высокая производительность, экономия до 50 % погектарного расхода горючего, меньшее число следов тракторных колес и т.п., совсем не замечают такие агротехнические аспекты, как отрицательные результаты долгосрочного применения дисковых орудий на мелкой обработке, приводящие к переуплотнению подпочвенного горизонта, потере эффективной влаги, глыбистости почвенных фракций, распыляющего воздействия на поверхности слои, увеличения засоренности посевов, снижения плодородия, особенно на черноземах, и постепенное снижение урожайности культурных растений [6, 9, 11, 12].

Одним из основных агротехнических требований дискования является способность орудия заглубляться и удерживать во время работы заданную глубину обработки. Особен-

но это относится к работе в жестких почвенных условиях, например, на черноземах центральной части Краснодарского края.

Дисковые орудия, построенные по классической схеме, т.е. с батарейными секциями, выполняют эти требования достаточно точно. Для дисковых орудий выполнение таких требований проблематично. По мнению некоторых исследователей, причиной тому служит низкая вертикальная нагрузка на диск [7, 8]. Это обстоятельство объясняется результатом слепого копирования отечественными производителями зарубежных конструкций, созданных без учета разнообразия почвенных условий России. В результате производители путем утяжеления конструкций и введения все более жестких упругих стоеч доводят удельное давление на диск от 70 до 130 кг, что приводит к постепенному переуплотнению подпочвенного горизонта (табл. 1).

Таблица 1

Нагрузочные характеристики дисков ОАО «Белагромаш»

Модель дисков	Захват, м	Число дисков, шт.	Масса, кг	Удельное давление на диск, кг	Модель дисков	Захват, м	Число дисков, шт.	Масса, кг	Удельное давление на диск, кг
Бороны дисковые навесные									
БДМ 2,4x2н	2,4	18	970	69,3	БДМ 3,2x2н	3,2	24	1300	54,2
Бороны дисковые прицепные									
БДМ 2,4x4пм	2,4	24	2150	89,6	БДМ 3,2x4пм	3,2	32	2350	73,4
БДМ 4x4пм	4,0	40	3462	86,5	БДМ 5x4пм	5,0	48	4348	90,6
БДМ 6x4пм	6,0	56	4764	85,1					
Бороны дисковые прицепные модульные									
БДМ 3,2x4/0,9	3,2	32	3045	95,2	БДМ 4x4п/0,9	4,0	40	3645	91,1
БДМ 5x4/0,9	5,0	48	4500	93,8					
Борона дисковая модульная полуприцепная									
БДМ 6x4/0,9	6,0	60	7450	124,2	БДМ 7x4/0,9	7,2	72	8400	116,7
БДМ 8x4/0,9	9,0	92	11950	129,9	БДМ 9x4/0,9	9,0	92	11950	129,9
Борона дисковая режущая									
БДР8x4	8,1	82	7250	88,4	БДР10x4	10,1	98	9550	97,4
Борона дисковая составная прицепная									
БДС-10x2п	10,0	80	8650	108,1	БДС-6x2п	6,0	48	5500	114,6
Агрегат дисковый универсальный									
АДУ-6Б	5,6	56	6500	110,1					

Окончание табл. 1

Модель дисковато- ра	Захват, м	Число дисков, шт.	Масса, кг	Удельное давление на диск, кг	Модель дисковато- ра	Захват, м	Число дисков, шт.	Масса, кг	Удельное давление на диск, кг
Дисковый мульчировщик									
ДМ-3,2	32	32	3200	100,0	ДМ-5,2	5,2	52	5100	100,0
ДМ-6х2сп	6,0	50	7300	146,0	ДМ-5х2м	5,0	42	5566	132,5
ДМ-6х2м	6,0	50	6250	125,0	ДМ-7х2м	7,0	58	7170	123,6
ДМ-3х2	3,0	26	3325	127,9	ДМ9х2м	9,0	74	9320	125,9
ДМ-4х2	4,0	34	3700	108,8					

На рис. 2 представлена сверхмощная дисковая борона Admiral-850 итальянской фирмы Maschio, рекламированная на последней выставке «Золотая осень» как универсальное орудие для всех случаев измельчения и перемешивания с почвой пожнивных остатков, сорняков и др. перед посевом пожнивных культур.

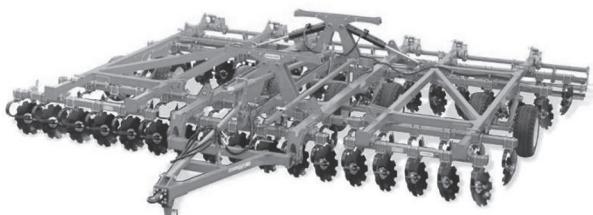


Рис. 2. Сверхмощная дисковая борона Admiral-850 фирмы Maschio

Анализ представленной характеристики показывает, что гарантированное качество обработки орудие может обеспечить только при 10-тонной массе, обеспечивающей нагрузку на диск около 150 кг.

Гипотеза о постепенном переуплотнении черноземов дисками не далека от истины, но основная причина, по нашему мнению, кроется в том, что эксплуатация этих орудий в силу

особенностей технологического процесса не может не приводить к интенсивному уплотнению подпочвенного горизонта. Индивидуальное крепление дисков, дающее возможность свободно, а иногда и принудительно перемещаться им в вертикальной плоскости, только усугубляет это уплотнение, так как процессу придается динамический характер. Отсюда – интенсивное крошение и излишнее образование эрозионно-опасных частиц в верхнем горизонте, особенно при обработке сухих почв [6].

Анализируя выводы различных исследователей [6] относительно вертикальной составляющей тягового сопротивления дискового орудия P_z и факторов, влияющих на величину этой составляющей, можно остановиться на результатах, полученных С.А. Сидоровым [7] при выборе материалов и методов упрочнения дисков для почвообрабатывающих машин:

$$P_z = S \cdot \sin(\delta - \varphi) \cdot \sin \alpha \times \\ \times \left[K_o + 2\gamma_{ob} \cdot K_{cpr} \cdot v^2 \cdot \frac{(\sin \beta)^2}{g} \right], \quad (3)$$

где S – площадь поперечного сечения погруженной в почву части диска, см^2 ; δ – угол

Таблица 2

Техническая характеристика дисковой бороны «Admiral-850»

№	Наименование показателя	Единицы измерения	Значение
1	Рабочая ширина	м	8,5
2	Рабочая скорость	км/ч	13...20
3	Глубина обработки	см	0...15
4	Диаметр диска	мм	610
5	Расстояние между дисками	мм	508
6	Угол атаки	град	22°
7	Масса (без бороны)	кг	9979
8	Число дисков	шт.	68
9	Удельная нагрузка на один диск	кг/диск	146,75
10	Потребляемая мощность	л.с.	330...450

между направлением силы сопротивления и горизонтом, град; φ угол трения металла по почве, град; α угол установки диска (угол атаки) в горизонтальной плоскости, град; K_o – удельное сопротивление почвы, кг/см²; γ_{ob} – объемный вес почвы (плотность), кг/см³; K_{cpr} – коэффициент, учитывающий увеличение давления за счет сгружки вания почвы при увеличении скорости обработки; v – скорость движения, м/с; β – угол крошения, град; g – ускорение свободного падения, м/с².

В работах ряда авторов [7, 8] приведены все выводы параметров, включенных в формулу (1), поэтому повторять их в данной статье не имеет смысла.

Представленные на рис. 2 зависимости $G = \varphi(a, v, T)$ показывают, что с увеличением поступательной скорости дисковатора вес орудия должен нарастать с увеличивающейся интенсивностью.

Использование дисковаторов на повышенных скоростях (от 4,2 м/с и более) обеспечивает рыхление почвы с посредственной выравненностью дна борозды, но при этом с высокой

надежностью выполнения технологического процесса и хорошей заделкой поверхностной растительности. Также появляется возможность их применения на слабо каменистых почвах без поломок рабочих органов (дисков).

Указанные свойства являются следствием индивидуальной подвески дисков на пружинных (или эластичных) подвесках, вызывающих ударное воздействие на комки при встрече с неровностями или небольшими препятствиями. То же самое происходит при работе на уплотненных участках, например, по следам трактора или комбайна, колесного хода сцепки широкозахватных агрегатов и т.п., когда отдельные диски выглубляются до нулевых, а то и выше, отметок, преодолевая усилие пружин или эластичных амортизаторов и оставляя после себя неравномерную по глубине и качеству крошения обработку, а также участки с неподрезанными сорняками.

При работе на влажных почвах происходит постепенное уплотнение нижнего горизонта борозды на глубину ниже установленной глубины обработки (20..30 см), а на сухих

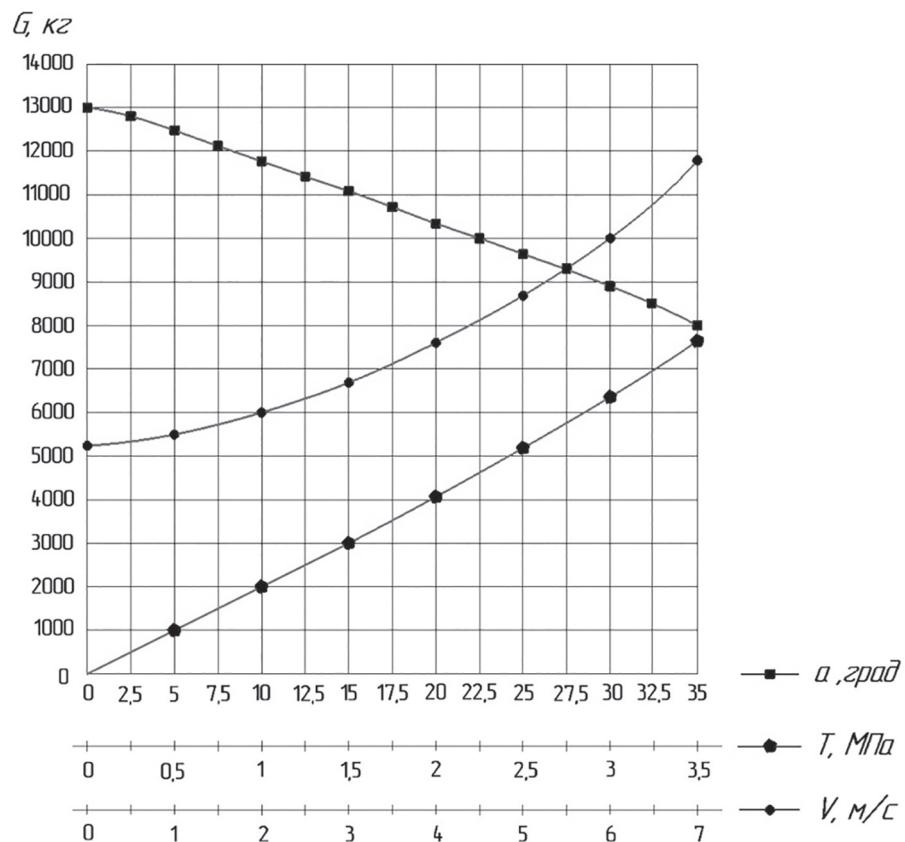


Рис. 3. Зависимость требуемой массы фронтальной дисковой бороны G от угла установки дисков α , рабочей скорости V и твердости почвы T

почвах – образование на поверхности пылеватых частиц.

По этим причинам нельзя рассматривать дисковаты в качестве универсальных орудий общего применения, так же как и сами минимальные почвозащитные технологии обработки почвы с их применением – для повсеместного использования.

Данные о влиянии приемов основной обработки почвы (чернозема обыкновенного и выщелоченного) под различные культуры (сахарная свекла, озимая пшеница, рожь, ячмень, подсолнечник и др.) и, особенно, приемов ее минимизации на агрофизические свойства почв весьма противоречивы, что обусловило необходимость проведения более детальных дальнейших исследований в условиях ЦЧР [13, 14, 15]. Однако во всех случаях различные приемы основной обработки почвы существенно влияли на изменение агрофизических показателей чернозема. В том числе тогда, когда отвальная обработка снижала плотность почвы по сравнению с другими приемами основной обработки на 4–6 %, длительное проведение дискования в системе минимальной обработки под все культуры севооборота приводило к переуплотнению почвы, особенно в горизонте 20...40 см. Длительное использование дисковатов на подготовке почвы под зерновые культуры приводило к повышению не только твердости дна борозды, но и общей плотности обрабатываемой почвы.

При этом тенденция повышения твердости почвы отмечалась как при использовании в течение трех лет разноглубинной безотвальной обработки, так и при проведении дискования, совмещенного с посевом, предпосевной минимальной или мелкой мульчирующей обработки по сравнению с отвальной разноглубинной обработкой почвы в севообороте. На деградированных черноземах без применения периодической глубокой отвальной или безотвальной обработки почвы в севообороте почва сильно уплотнялась, наблюдалось наличие плужной подошвы, существенно возрастила глыбистая фракция в структурно-агрегатном составе. Таким образом, для оптимизации агрофизических показателей плодородия на средне- и сильно выпаханных черноземных почвах рекомендуется отвальная, безотвальная, комбинированная разноглубинная обработка почвы с максимальным использованием в севообороте приемов биологизации (сидеральные пары, пожнивная сидерация,

циация, многолетние травы, оставление истоварной части урожая, внесение навоза, дефеката) в комплексе с внесением рекомендованных доз минеральных удобрений. Дискование в этих условиях проводить не рекомендуется.

Известно, что уплотнение почвы сферическими дисками диаметром 510...650 мм, применяемыми в конструкциях дисковатов, является результатом действия реактивных сил R_2 , выталкивающих орудие из почвы и компенсируемых весом орудия. Эти силы зависят от глубины обработки, плотности и твердости почвы, способа установки дисков, их формы и толщины, остроты лезвия, скорости работы агрегата.

Выводы

Успешное внедрение приемов минимализации основной обработки почвы, включающее использование дисковых орудий, возможно при соблюдении следующих условий:

- применение их на почвах, устойчивых к уплотнению;
- подбор сельскохозяйственных культур, обеспечивающих урожайность при минимальных обработках не ниже, чем при традиционных технологиях (это, прежде всего, озимые и яровые зерновые культуры);
- использование полей, сравнительно чистых от сорняков;
- при переходе к мульчирующим и нулевым обработкам необходимо периодически проводить глубокое рыхление почвы [14].

Рассматривая вопрос агрессивности работы индивидуальных дисков на повышенных скоростях, с одной стороны, следует учитывать, что для обеспечения постоянства глубины обработки на участках повышенной твердости, например, в колее после прохода колес трактора или сцепки, необходимо увеличение вертикального давления диска, т.е. использования более тяжелых орудий. С другой стороны, при изменении угла атаки дисков, вида заточки лезвия, толщины диска, агрофизических свойств почвы, особенно влажности и наличия песка, требований к размеру образующихся почвенных фракций необходимо обращать внимание на экологическую составляющую в виде увеличения эрозионно-опасных фракций, чему повышенное удельное давление на диск способствует в большей мере. Во избежание этого недостатка можно применить внутреннюю заточку гладких дисков, увеличить число дисков и оптимизировать требуемую ширину захвата орудия.

Литература

1. Трофимова Т.А., Коржов С.И. Энергосберегающие приемы обработки почвы и их влияние на показатели плодородия // Международная научно-практическая конференция «Адаптивно-ландшафтное земледелие: вызовы XXI века» 12–14 сентября 2018 г.
2. Алексеев В.В. Аэродинамический подход к оценке крошения почвы активными рабочими органами МТА // Вестник государственного аграрного университета. 2013. № 9 (107). С. 95–97.
3. Яцук Е.П. и др. Ротационные почвообрабатывающие машины. М.: Машиностроение, 1977. С. 156–164.
4. Лобачевский Я.П., Панов А.И., Панов И.М. Перспективные направления совершенствования конструкций лемешно-отвальных плугов // Тракторы и сельхозмашины 2000. № 12. С. 12–18.
5. Синеоков Г.Н.. Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977. С. 250–256.
6. Сохт К.А. и др. Дисковые бороны и лущильники. Проектирование технологических параметров: учебное пособие. Краснодар: КубГАУ, 2014. С. 164.
7. Сидоров С.А. Повышение долговечности и работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий в сельском и лесном хозяйстве: дис. ... д-ра техн. наук. М.: ВИСХОМ, 2007.
8. Зволинский В.Н., Гаврилин М.А. Анализ уплотнения почвы фронтальными дисковыми боронами // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 12. С. 17–22.
9. Черкасов Г.Н. Комбинированные системы основной обработки наиболее эффективны и обоснованы // Земледелие. 2006. № 6. С. 20–22.
10. Трофимова Т.А. Зяблевая обработка в юго-восточных районах ЦЧР // Сахарная свекла. 2002. № 7. С. 19–21.
11. Зволинский В.Н. Об оценке агроэкологических показателей почвообрабатывающих машин при работе на повышенных скоростях // Тракторы и сельхозмашины. 2009. № 6. С. 7–10.
12. Зволинский В.Н. Выполнение агроэкологических требований почвообрабатывающими машинами при работе на повышенных скоростях // Экология и сельскохозяйственная техника: материалы 6-й междунар. науч.-практ. конф. 13–14 мая 2009 г. Том 2. СПб. СЗНИИСХ. 2009. С. 69–75.
13. Трофимова Т.А. Научные основы совершенствования основной обработки и регулирование плодородия почв в ЦЧР: автореф. дис. ... докт. сельскохозяйственных наук. Воронеж. 2014. ГНУ «Воронежский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени В.В. Докучаева Россельхозакадемии»; ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I». С. 15–18.
14. Рябцева Н.А. Влияние систематической поверхностной обработки почвы на агрофизические свойства чернозема обыкновенного и фитосанитарное состояние посевов // Сельское, лесное и водное хозяйство. 2014. № 4. URL: <http://agro-snauka.ru/2014/04/1359>.
15. Коржов С.И., Трофимова Т.А. Плодородие чернозема обыкновенного при длительном применении обработки почвы // Плодородие. 2009. № 2. С. 44–45.

References

1. Trofimova T.A, Korzhov S.I. Energy saving tillage techniques and their impact on fertility indicators. Doklad na Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Adaptivno-landshaftnoe zemledelie: vyzovy HKHI veka» [Report at the International Scientific and Practical Conference «Adaptive-landscape agriculture: challenges of the XXI century»] 12–14 September 2018 (in Russ.).
2. Alekseev V.V. Aerodynamic approach to the assessment of soil crumbling by active working bodies of machine tractor unit. Bulletin of the State Agrarian University. 2013. No. 9 (107), pp. 95–97 (in Russ.).
3. Yatsuk E.P. Rotacionnye pochvoobrabatyvayushchie mashiny [Rotational tillage machines]. Moscow, Mechanical Engineering. 1977, pp. 156–164 (in Russ.).
4. Lobachevsky Ya.P., Panov A.I, Panov I.M. Perspective directions for improving the designs of land moldboard plows. Tractors and agricultural machines. 2000. № 12, pp. 12–18 (in Russ.).
5. Sineokov G.N. Panov I.M. Theory and calculation of tillage machines. Moscow Mechanical Engineering, 1977, pp. 250–256 (in Russ.).
6. Soht K.A. et al. Diskovye borony i lushchil'niki. Proektirovanie tekhnologicheskikh parametrov [Disk Harrows and Huskies. Designing technological parameters]. Textbook. Krasnodar: KubSAU, 2014. С. 164.
7. Sidorov S.A. Povyshenie dolgovechnosti i rabotosposobnosti rabochih organov pochvoobrabatyvayushchih mashin i orudij v sel'skom i lesnom hozyajstve. Dis. d-ra tekhn. nauk [Increasing the durability and efficiency of the working bodies of tillage machines and implements in rural and forest-

- ry. Dissertation for Degree of Dr. (Eng)]. Moscow: WISM, 2007.
8. Zvolinsky V.N., Gavrilin M.A. Analysis of soil compaction with frontal disc harrows. Tractors and agricultural machines. 2010. № 12, pp. 17–22 (in Russ.).
 9. Cherkasov G.N. Combined systems of the main processing are the most effective and justified. Agriculture. 2006. № 6, pp. 20–22 (in Russ.).
 10. Trofimova T.A. Winter Processing in the South-Eastern Regions of the Central Chernozem Region. Sugar beet. 2002. No 7. pp. 19–21 (in Russ.).
 11. Zvolinsky V.N. The evaluation of agro-ecological indicators of tillage machines when working at high speeds. Tractors and agricultural machinery. 2009. № 6, pp. 7–10 (in Russ.).
 12. Zvolinsky V.N. Fulfillment of agro-ecological requirements by tillage machines when working at increased speeds. Ekologiya i sel'skohozyajstvennaya tekhnika. Materialy 6-j mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Ecology and agricultural machinery. Materials of the 6th International scientific-practical conf.] May 13–14, 2009. Vol. 2. SPB. SZNIISH. 2009, pp. 69–75 (in Russ.).
 13. Trofimova T.A. Nauchnye osnovy sovershenstvovaniya osnovnoj obrabotki i regulirovanie plodoroziya pochv v CCHR. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora sel'skohozyajstvennyh nauk [Scientific bases for the improvement of the main processing and regulation of soil fertility in the Central Chernozem Region. Abstract for dissertation for the degree of Dr. (Agricultural Sciences)]. // Voronezh/ 2014. State Scientific Institution «Voronezh Research Institute of Agriculture named after V.V. Dokuchaeva of the Russian Agricultural Academy»; FGBOU VPO «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I», pp. 15–18 (in Russ.).
 14. Ryabtseva N.A. Influence of systematic surface tillage on the agrophysical properties of ordinary chernozem and phytosanitary condition of crops. Agriculture, forestry and water management. 2014. № 4 (in Russ.). URL: <http://agro.snauka.ru/2014/04/1359>.
 15. Korzhov S.I., Trofimova, T.A. Fertility of ordinary chernozem with prolonged use of tillage. Fertility. 2009. № 2, pp. 44–45 (in Russ.).

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОШНИКА ДЛЯ РАЗНОУРОВНЕВОГО ВЫСЕВА СЕМЯН И ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

LABORATORY RESULTS OF COUPLER FOR MULTILEVEL SOWING OF SEEDS AND FERTILIZATION

Е.В. ДЕМЧУК¹, к.т.н.
У.К. САБИЕВ¹, д.т.н.
В.В. МЯЛО¹, к.т.н.
П.В. ЧУПИН¹, к.т.н.
В.С. КОВАЛЬ², к.т.н.

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина», Омск, Россия

² Тарский филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина», Омская область, г. Тара, Россия, ev.demchuk@omgau.org

E.V. DEMCHUK¹, PhD in Engineering
U.K. SABIEV¹, DSc in Engineering
V.V. MYALO¹, PhD in Engineering
P.V. CHUPIN¹, PhD in Engineering
V.S. KOVAL², PhD in Engineering

¹ Omsk State Agrarian University n.a. Pyotr A. Stolypin, Omsk, Russia

² Tarsk branch of Omsk State Agrarian University n.a. Pyotr A. Stolypin, Tara, Russia, ev.demchuk@omgau.org

Перспективным направлением научных исследований в области совершенствования существующих и разработки новых рабочих органов сельскохозяйственных машин является изыскание технологических и технических решений, позволяющих обеспечить надежный качественный посев семян с учетом зональных особенностей производства зерновых культур. Качественный посев характеризуется двумя составляющими: равномерным распределением посевного материала по площади питания и глубине заделки; внесением минеральных удобрений ниже уровня семян основной культуры. Установлено, что совместное с семенами внесение минеральных удобрений может повлечь за собой солевой эффект и химический ожог, что приводит к снижению всходов и урожайности. Наиболее благоприятным является разноуровневое внесение семян и удобрений, что позволяет образовать разветвленную корневую систему, развивающуюся в направлении источника питания. Целью исследований является повышение урожайности зерновых культур путем применения сошника, обеспечивающего разноуровневый высев семян и минеральных удобрений. Для реализации поставленной цели разработан сошник, обеспечивающий разноуровневый высев семян и внесение минеральных удобрений. Лабораторные исследования опытного образца сошника проводились в почвенном канале факультета технического сервиса в АГК Омского ГАУ; при этом в качестве исследуемой функции выбрана толщина почвенной прослойки между семенами и удобрениями. В ходе экспериментальных исследований определены основные параметры предлагаемого сошника, при которых минеральные удобрения располагаются на 30...35 мм ниже уровня семян основной культуры и засыпаются влажным слоем почвы, что устраняет прямой контакт семян и удобрений и, следовательно, химический ожог семян.

Ключевые слова: сошник, посев, зерновая культура, минеральные удобрения.

A promising area of research in the field of improving existing and developing new working bodies of agricultural machines is the search for technological and technical solutions to ensure reliable, high-quality sowing of seeds, taking into account the zonal features of grain production. Quality sowing is characterized by two components: a uniform distribution of seed over the feed area and the embedment depth; and the application of mineral fertilizers below the seed level of the main crop. It has been established that the joint application of mineral fertilizers with seeds may entail a salt effect and chemical burn, which leads to a decrease in seedling and yield. The most favorable is the multi-level application of seeds and fertilizers, this allows to form an extensive root system, developing in the direction of the power source. The aim of the research is to increase the yield of grain crops through the use of a coulter, providing multi-level seeding of seeds and mineral fertilizers. To achieve this goal a coulter providing multi-level seeding and mineral fertilizer application, has been developed. Laboratory studies of a prototype coulter were carried out in the soil channel of the Faculty of technical service in the agro-industrial complex of Omsk State Agrarian University, while the thickness of the soil layer between seeds and fertilizers was selected as the studied function. During experimental studies, the main parameters of the proposed coulter were determined. At these mineral fertilizers are located 30...35 mm below the level of seeds of the main crop and are filled with a wet layer of soil, which eliminates direct contact of seeds and fertilizers, and, therefore, chemical burn of seeds.

Keywords: coulter, crops, grain crops, mineral fertilizers.

Введение

Развитие агропромышленного комплекса – залог продовольственной безопасности государства, сохранения жизни, здоровья и работоспособности населения страны.

Одним из крупнейших направлений сельскохозяйственного производства является возделывание зерновых культур. Зерно – это не только продукт питания для населения, но и незаменимый корм для птиц и животных. Все вышесказанное свидетельствует о том, что производство зерновых культур в нашей стране является важной государственной задачей.

Внимание ведущих ученых и специалистов АПК России направлено на совершенствование машин и технологий возделывания зерновых культур с целью увеличения их урожайности и снижения себестоимости производства.

Совершенствование существующих и разработка новых рабочих органов сельскохозяйственных машин должны проходить в направлении обеспечения оптимальных условий для роста культурных растений, отвечать технологическим, технико-эксплуатационным и экономическим требованиям (рис. 1).

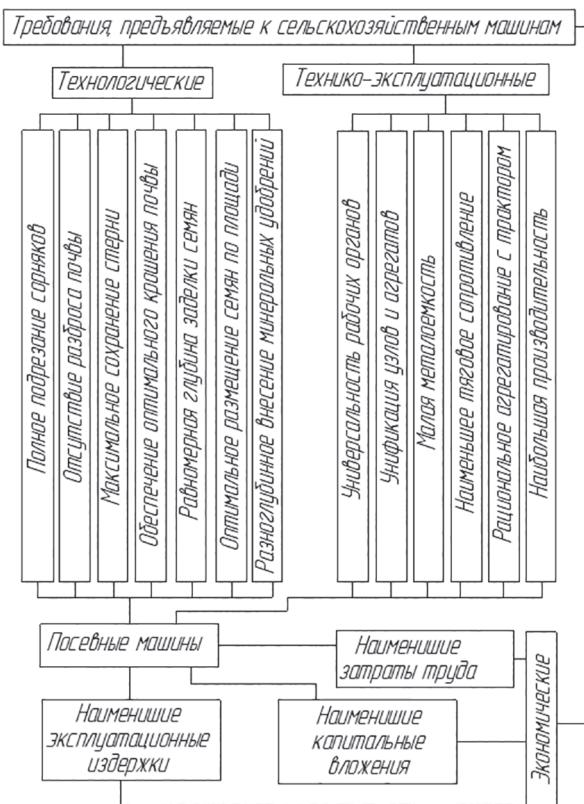


Рис. 1. Требования, предъявляемые к сельскохозяйственным машинам

Перспективной областью научных исследований является изыскание технологических и технических решений, позволяющих обеспечить надежный качественный высев семян с учетом зональных особенностей производства зерновых культур.

Качественный посев характеризуется двумя составляющими: равномерным распределением посевного материала по площади питания и глубине заделки; внесением минеральных удобрений ниже уровня семян основной культуры.

Внимание к равномерному распределению семян по площади питания объясняется потенциалом повышения урожайности при снижении нормы высева. От качества заделки семян в почву в значительной мере зависят их всхожесть, развитие и урожайность. Наибольший урожай получится в том случае, когда количество растений будет размещено по площади так, что каждое из них будет обеспечено в достатке влагой и питательными веществами [1, 2]. При одинаковой норме высева семена по площади поля можно разместить по-разному, поэтому одинаковая площадь питания может иметь разную геометрическую форму.

В ходе исследований установлено, что рациональной площадью питания зерновых культур является круг, а рациональным размещением растений по площади поля является триангуляционное размещение, характеризующееся равноотстоянием растений и рядковой структурой с 60° между рядками. При обеспечении данных параметров семена в достатке обеспечены питательными веществами и не оказывают друг на друга угнетающего воздействия [3, 4, 5].

Для достижения максимального эффекта от припосевного внесения минеральных удобрений необходимо: обеспечить оптимальную глубину их заделки и пространственное размещение, относительно корневой системы растений; не допускать контакта удобрений с семенным материалом, чтобы исключить повреждение последнего, а также размещения удобрений в верхнем (пересыхающем) слое почвы. При соблюдении этих требований обеспечивается наилучшая густота всходов и повышение урожая. При совместном с посевом внесении, когда удобрения укладываются в одно ложе с семенами, можно вносить только небольшие дозы. При этом обеспечивается мощный старт роста растений, однако питательных веществ не хватает на весь вегета-

ционный период, поэтому этот способ необходимо совмещать с основным внесением или дальнейшими подкормками, что ведет к увеличению трудозатрат на производство. Если вносить совместно с семенами большие дозы удобрений, обеспечивающие питание растений на весь период развития, можно повредить посевной материал и существенно снизить урожайность [6].

Установлено, что совместное с семенами внесение минеральных удобрений может привлечь за собой солевой эффект и химический ожог. Некоторые семена при этом погибают в период токсического воздействия, что приводит к снижению всходов, урожайности и, как следствие, прибыли предприятия. Наиболее благоприятным является разноуровневое внесение семян и удобрений, что позволяет образовать разветвленную корневую систему, развивающуюся в направлении источника питания. В ходе исследований установлено, что минеральные удобрения при посеве зерновых культур должны располагаться на 30...50 мм ниже уровня высева семян [7, 8, 9].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что разработка и освоение в производстве высокопродуктивных, ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий, а также новых рабочих органов для посевных машин является актуальной задачей.

Цель исследований

Повышение урожайности зерновых культур путем применения сошника, обеспечивающего

разноуровневый высев семян и минеральных удобрений.

Методы и средства проведения исследований

Общими недостатком большинства сошников является повышенный отброс почвы и, как следствие, неравномерная заделка семян по глубине и площади питания. Устранить данный недостаток можно путем создания сошников исходя из объемной деформации почвы, суть которой заключается в том, что подрезанная почва сжимается с боков и выдавливается вверх, а затем без оборота укладывается на прежнее место. По данному принципу работают сошники, выполненные по схеме «катамаран» [10, 11].

Как показывает практика, результаты лабораторных исследований отличаются от полевых, следовательно для получения более точных данных необходимо максимально приблизить условия проведения опыта в лаборатории к полевым. В связи с этим лабораторные исследования опытного образца сошника проводились в почвенном канале факультета технического сервиса в АПК Омского ГАУ (рис. 2) [12, 13]. В качестве исследуемой функции была выбрана толщина почвенной прослойки между семенами и удобрениями, а в качестве варьируемых факторов: l – расстояние между нижними кромками рабочего элемента и стойки, мм; τ – угол расположения профиля нижней кромки стойки, град. (рис. 3, а); h – глубина посева культуры, мм.

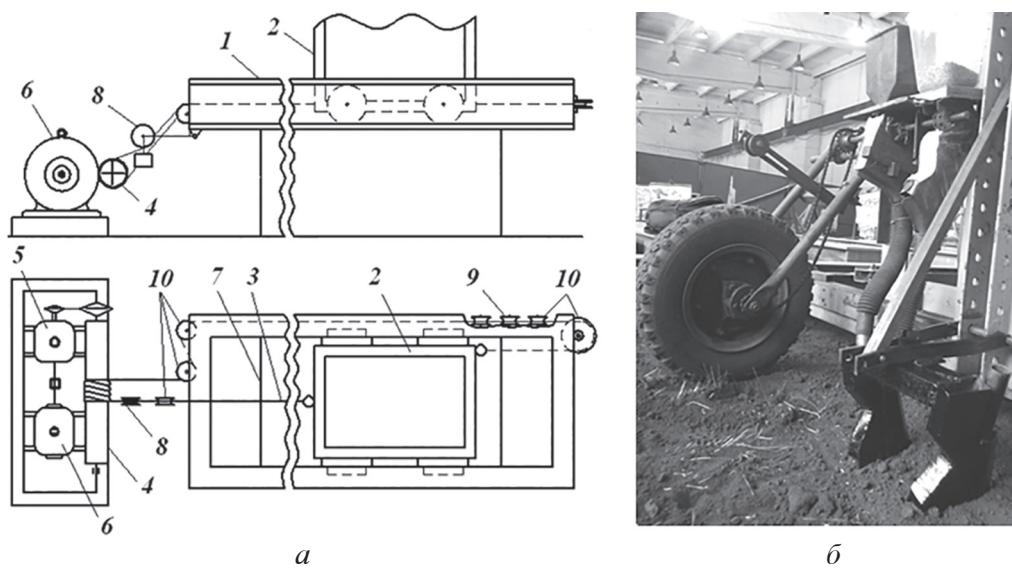


Рис. 2. Почвенный канал:

а – схема; *б* – лабораторная установка: 1 – рама; 2 – тележка; 3 – тяговый трос; 4 – барабан; 5 – редуктор; 6 – электродвигатель; 7 – каркас; 8, 9 – натяжной ролик; 10 – желобчатый ролик

Результаты и их обсуждение

В ходе исследований разработан сошник, для разноуровневого высева семян и минеральных удобрений [14, 15]. Сошник включает рабочие элементы 1 и пустотелые стойки 2 (рис. 3, а). Туконаправители 3 установлены в верхней части рабочих элементов, а семянаправители 4 – в верхней части стоек. Каждая стойка в горизонтальной плоскости установлена под углом атаки α , следовательно расстояние между стойками на входе, в передней части, больше чем на выходе, в задней части. В вертикальной плоскости стойки наклонены под углом β в боковые стороны, что обеспечивает изменение расстояние между ними по высоте. Сверху стойки соединены кронштейном 5 в попечной горизонтальной плоскости. В нижней части с тыльной стороны стоек выполнены вырезы 6 с углом схождения γ , направленным вперед. С наружной стороны профиля нижней кромки стойки выполнен вырез 7. Рабочие элементы и стойки жестко закреплены, при этом прямолинейные профили нижних кромок рабочих элементов расположены ниже профилей нижних кромок стоек.

При работе, благодаря заостренным носкам, рабочие элементы 1 врезаются в почву. Почва, подрезанная с двух сторон, перемещается вдоль рабочих элементов. При этом в образовавшиеся бороздки подаются минеральные удобрения через туконаправители 3 и рабочие элементы 1. Благодаря тому что рабочие элементы и стойки расположены под углом атаки α , почва смеща-

ется к оси симметрии сошника, одновременно, из-за наличия угла крена β , почва поднимается вверх, крошится и в разрыхленном состоянии перемещается по боковым внутренним плоскостям рабочих элементов.

При переходе почвы с рабочих элементов на стойки, вследствие того что прямолинейные профили нижних кромок рабочих элементов расположены ниже профилей нижних кромок стоек на величину l , и наличия выреза с углом τ , (рис. 3, а), происходит частичное осипание почвы и засыпание минеральных удобрений. Подрезанная не осипавшаяся почва проходит дальше в межстоечное пространство. При этом нижние внутренние кромки стойки формируют дно борозды, образуя уплотненное ложе, на которое через семянаправители 4 и стойки 2 подаются семена и укладываются на дно бороздки. Почва при выходе из межстоечного пространства осипается и засыпает засеянные бороздки.

При лабораторных исследованиях производились замеры толщины почвенной прослойки (рис. 4).

В ходе экспериментальных исследований получены зависимости толщины почвенной прослойки от угла τ , расстояния l и глубины заделки семян в почву h (рис. 5–7).

Анализируя полученные зависимости, можно сделать вывод, что изменение показателя толщины почвенной прослойки имеет отчетливо выраженную закономерность. При увеличении расстояния между нижними кром-

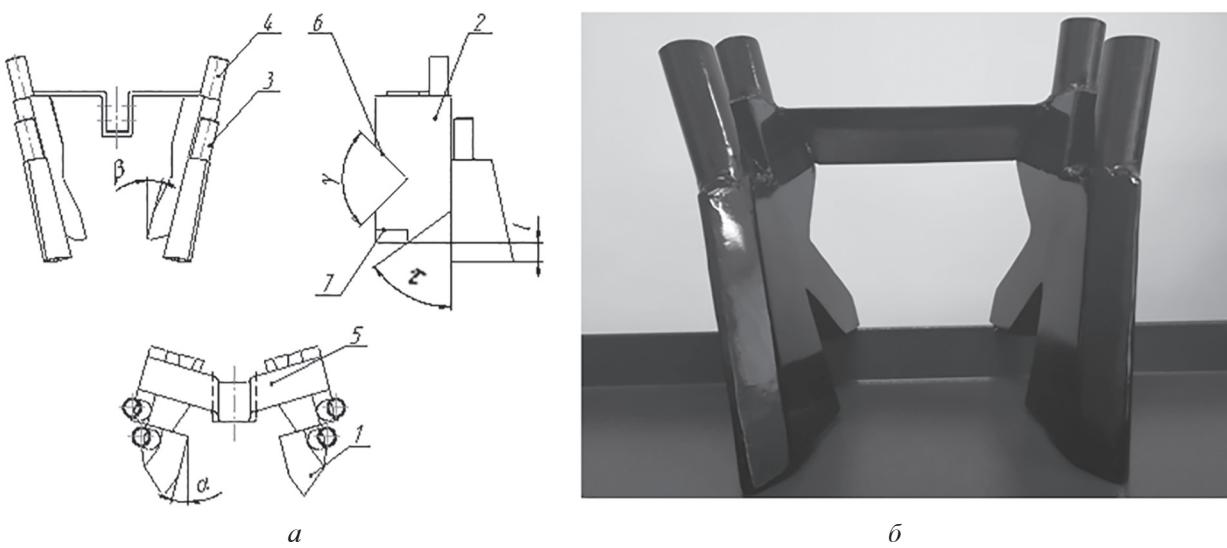


Рис. 3. Сошник для разноуровневого высева семян и минеральных удобрений:
а – схема; б – опытный образец; 1 – рабочий элемент; 2 – стойка; 3 – туконаправитель;
4 – семянаправитель; 5 – кронштейн; 6, 7 – вырез

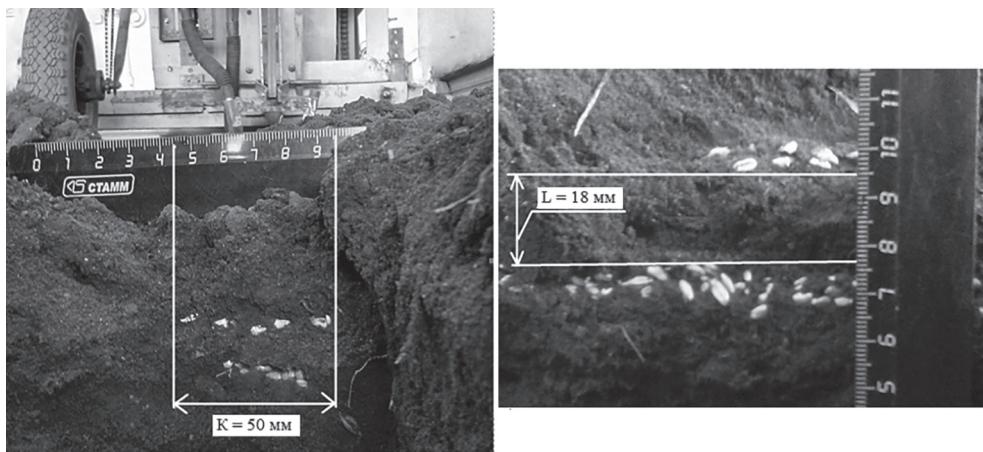
*a**б*

Рис. 4. Разрез почвенного слоя:
а – в поперечной плоскости; *б* – в продольной плоскости

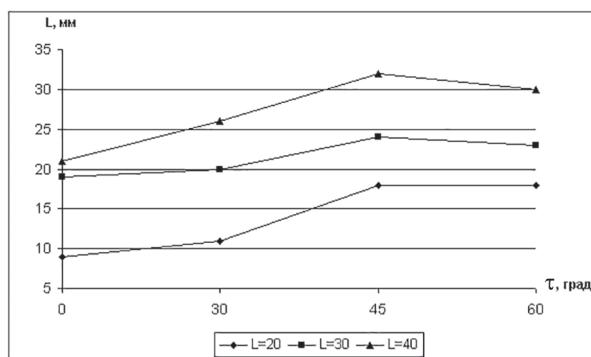


Рис. 5. Зависимости толщины почвенной прослойки при глубине заделки $h = 6$ см

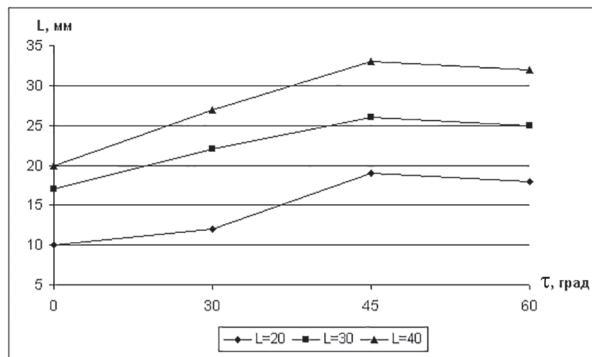


Рис. 6. Зависимости толщины почвенной прослойки при глубине заделки $h = 8$ см

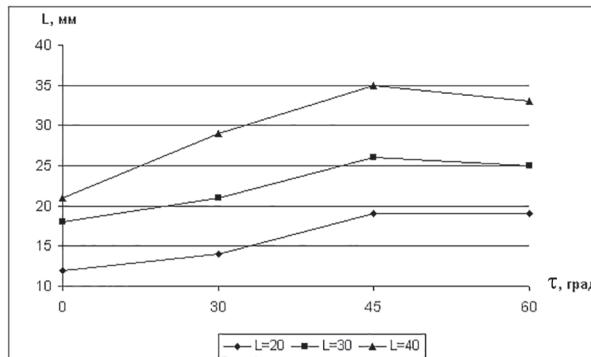


Рис. 7. Зависимости толщины почвенной прослойки при глубине заделки $h = 10$ см

ками рабочего элемента и стойки толщина почвенной прослойки L увеличивается при всех рассматриваемых показателях глубины заделки семян. При увеличении угла расположения профиля нижней кромки стойки τ до значения 45 градусов толщина почвенной прослойки увеличивается при всех рассматриваемых показателях глубины заделки семян. При увеличении угла τ свыше 45 градусов толщина почвенной прослойки уменьшается. С увеличением по-

казателя глубины заделки семян толщина почвенной прослойки L увеличивается.

Толщина почвенной прослойки между семенами и удобрениями в размере 30...35 мм, попадающая в рациональный диапазон, достигается при угле $\tau = 45$ градусов и расстоянии $l = 40$ мм. Следовательно, именно эти значения примем в качестве рациональных параметров предлагаемого сошника.

Заключение

В ходе исследований разработан сошник, позволяющий получить двуххленточный посев; при этом минеральные удобрения располагаются ниже уровня семян основной культуры не 30...35 мм и засыпаются влажным слоем почвы, что устраниет прямой контакт семян и удобрений и, следовательно, химический ожог семян. Семена укладываются на уплотненное ложе равномерно по площади питания и глубине заделки, сверху засыпаются влажным слоем почвы.

Литература

1. Демчук Е.В., Союнов А.С. Совершенствование технологии возделывания сельскохозяйственных культур // Вестник омского государственного аграрного университета. 2016. № 2 (22). С. 242–246.
2. Демчук Е.В. Обоснование параметров двухленточного сошника зерновой сеялки: автореф. дис. канд. техн. наук. Новосибирск: Новосибирский ГАУ, 2010. 19 с.
3. Домрачев В.А., Кем А.А., Ковтунов В.Е., Красильников Е.В., Шевченко А.П. Механизация процессов селекции, земледелия и растениеводства: Монография. Омск: Издательство ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П.А. Столыпина. 2011. 190 с.
4. Демчук Е.В., Голованов Д.А., Янковский К.А. К вопросам совершенствования технологии посева зерновых культур // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 6. С. 45–48.
5. Demchuk E.V., Sabiev U.K., Mylo V.V., Soyunov A.S., V.S. Koval Two-cotton sowing soundry of grain crops with different mineral fertilizer level // Journal of Physics: Conference Series 9. Сер. «IX International Scientific Practical Conference “Innovative Technologies in Engineering”» 2018. Р. 012009.
6. Мулленков Е.В., Шумаев В.В. Анализ способов посева семян зерновых культур с одновременным внесением удобрений // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: сборник статей Международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященная 65-летию ФГБОУ ВО Пензенская ГСХА. 2016. С. 186–189.
7. Кем А.А., Миклашевич В.Л., Чекусов М.С. Сошник для двухстрочного посева зерновых культур с разноуровневым внесением минеральных удобрений // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2017. № 2 (26). С. 105–111.
8. Демчук Е.В., Союнов А.С., Мяло В.В., Чупин П.В. Исследования равномерности распределения семян зерновых культур комбинированным сошником // Омский научный вестник. 2015. № 1 (138). С. 105–110.
9. Demchuk E.V., Kem A.A., Myalo V.V., Soyunov A.S., Chupin P.V. Coulter for the double-row cereal crops' seeding with different depth of fertilizer dressing // British journal of innovation in science and technology. 2017. T. 2. № 1. P. 41–49.
10. Демчук Е.В., Евченко А.В. Новая технология посева зерновых двухленточным сошником // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 11. С. 23.
11. Демчук Е.В. Анализ сил, действующих на двухленточный сошник // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 11. С. 20–21.
12. Кобяков И.Д., Евченко А.В., Демчук Е.В., Союнов А.С. Методологические основы совершенствования рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин: монография // Омск: Изд-во ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П.А. Столыпина. 2012. 144 с.
13. Демчук Е.В., Кобяков И.Д. Равномерность распределения семян зерновых культур // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2012. № 2. С. 21–23.
14. Сошник сеялки: Патент на полезную модель № 166955 Российская Федерация, МПК A01C7/20 (2006.01) // Демчук Е.В., Кобяков И.Д., Браулих Р.А. № 2016108357/13; заявл. 09.03.2016; опубл. 20.12.2016.
15. Демчук Е.В., Мяло В.В. Комбинированный сошник зерновой сеялки // Вестник омского государственного аграрного университета. 2014. № 1 (13). С. 81–83.

References

1. Demchuk E.V., Soyunov A.S. Improving the technology of cultivation of agricultural crops. Vestnik omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. No 2 (22), pp. 242–246 (in Russ.).
2. Demchuk E.V. Obosnovanie parametrov dvuhlentochnogo soshnika zernovojo seyalki: Avtoref. dis.... kand. tekhn. nauk [Justification of the parameters of a two-belt coulter of a seeding machine: Abstract to dissertation for Degree of Ph.D. (Eng)]. Novosibirsk: Novosibirskij GAU Publ., 2010. 19 p.
3. Domrachev V.A., Kem A.A., Kovtunov V.E., Krassil'nikov E.V., Shevchenko A.P. Mekhanizaciya processov selekcii, zemledeliya i rastenievodstva [Mechanization of breeding, farming and plant growing processes]: Monografiya. Omsk: Izdatel'stvo FGBOU VPO Om-GAU im. P.A. Stolypina Publ. 2011. 190 p.
4. Demchuk E.V., Golovanov D.A., Yankovskij K.A. Improving the technology of sowing crops. Traktory i sel'hoz-mashiny. 2016. No 6, pp. 45–48 (in Russ.).
5. Demchuk E.V. Two-cotton sowing soundry of grain crops with different mineral fertilizer level / E.V. Demchuk, U.K. Sabiev, V.V. Mylo, A.S. Soyunov, V.S. Koval // Journal of Physics: Conference Series 9. Ser. «IX International Scientific Practical

- Conference "Innovative Technologies in Engineering"» 2018. S. 012009.
6. Mulenkov E.V., SHumaev V.V. Analysis of the methods of sowing seeds of grain crops with simultaneous fertilization. V sbornike: Vklad molo-dyh uchenyh v innovacionnoe razvitiye APK Rossii Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchenyh, posvyashchennaya 65-letiyu FGBOU VO Penzenskaya GSKHA [In the collection: The contribution of young scientists to the innovative development of the Russian agro-industrial complex. The collection of articles of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists dedicated to the 65th anniversary of Penza State Agrarian University]. 2016, pp. 186–189 (in Russ.).
7. Kem A.A., Miklashevich V.L., CHekusov M.S. Coulter for two-line sowing of grain crops with multi-level application of mineral fertilizers. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. No 2 (26), pp. 105–111 (in Russ.).
8. Demchuk E.V., Soyunov A.S., Myalo V.V., CHupin P.V. Studies of the uniform distribution of grain seeds with a combined coulter. Omskij nauchnyj vestnik. 2015. No 1(138), pp. 105–110 (in Russ.).
9. Demchuk E.V. Coulter for the double-row cereal crops' seeding with different depth of fertilizer dressing / E.V. Demchuk, A.A. Kem, V.V. Myalo, A.S. Soyunov, P.V. Chupin // British journal of in-novation in science and tech-nology. 2017. Vol. 2. No 1, pp. 41–49.
10. Demchuk E.V., Evchenko A.V. New technology of sowing cereals by double tape coulter. Trakto-ry i sel'sko-hozyajstvennye mashiny. 2008. No 11, pp. 23 (in Russ.).
11. Demchuk E.V. Analysis of forces acting on a two-belt coulter. Traktory i sel'hozmashiny. 2010. No 11, pp. 20–21 (in Russ.).
12. Kobyakov I.D., Evchenko A.V., Demchuk E.V., Soyunov A.S. Metodologicheskie osnovy sover-shenstvovaniya rabochih organov pochvoobra-batyvayushchih i posevnyh mashin: monografiya [Methodological basis for improv-ing the working bodies of tillage and seeding machines: a mono-graph]. Omsk: Izd-vo FGBOU VPO OmGAU im. P.A. Stolypina Publ.. 2012. 144 p.
13. Demchuk E.V., Kobyakov I.D. Uniform distribu-tion of grain seeds. Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny. 2012. No 2, pp. 21–23 (in Russ.).
14. Patent na poleznuyu model' No 166955, RF, MPK A01S7/20 (2006.01). Soshnik seyalki [Coulter]. E.V. Demchuk, I.D. Kobyakov, R.A. Braulik. No 2016108357/13; zayavl. 09.03.2016; opubl. 20.12.2016.
15. Demchuk E.V., Myalo V.V. Combined seed drill coulter. Vestnik omskogo gosudarstvennogo agrar-nogo universi-teta. 2014. No 1(13), pp. 81–83 (in Russ.).

РАЗРАБОТКА ФРОНТАЛЬНОГО ПОГРУЗЧИКА ДЛЯ ТРАКТОРА ТИПА МТЗ С ПОМОЩЬЮ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ

DEVELOPMENT OF A FRONT-END LOADER FOR AN MTZ TRACTOR USING 3D-MODELING

В.П. ДМИТРЕНКО, к.т.н.

Р.Д. АДАКИН

И.М. СОЦКАЯ, к.т.н.

А.А. ХОТЬКО

ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия,
rdadakin@gmail.com

V.P. DMITRENKO, PhD in Engineering

R.D. ADAKIN

I.M. SOCKAYA, PhD in Engineering

A.A. HOT'KO

Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russia,
rdadakin@gmail.com

В работе рассмотрены вопросы проектирования фронтального погрузчика с помощью трехмерного моделирования с последующим его изготовлением. Область использования фронтального погрузчика – это индивидуальные фермерские хозяйства с небольшой, но регулярной потребностью в объемах перевозимых грузов. Существующие погрузчики имеют большую производительность и, соответственно, высокую стоимость, что не подходит для индивидуальных хозяйств. Была поставлена задача спроектировать простой и надежный фронтальный погрузчик, который может агрегатироваться с трактором типа МТЗ. Погрузчик должен иметь максимальную грузоподъемность в 1000 кг с коэффициентом запаса прочности 2...2,5. Погрузчик фронтальный был спроектирован и изготовлен. Проектирование выполнялось в трехмерной САПР-программе SolidWorks, расчет на предельную нагрузку производился методом конечных элементов. В ходе расчетов были определены оптимальные геометрические параметры деталей погрузчика, способные выдержать заданную нагрузку с минимальными напряжениями. Была выполнена и проверена кинематика узлов и деталей позволяющая конструкции выполнять свою функционал правильно, по заданной траектории. Фронтальный погрузчик был изготовлен на базе индивидуального фермерского хозяйства. Для производства данного погрузчика использовали доступные материалы: швеллер, труба, уголки, цельный металл толщиной 40 мм и стандартные изделия – гидроцилиндры и шланги высокого давления. Испытания на погрузке бревен показали, что устройство надежное, с хорошей производительностью. Нареканий и замечаний по работе погрузчика отмечено не было. Определены мероприятия по совершенствованию погрузчика: это разработка поворотного узла вертикальной стойки, усиление оси крепления стрелы, разработка упоров трактора. Их внедрение позволит более мобильно работать с грузом свыше 1000 кг.

Ключевые слова: фронтальный погрузчик, численный расчет, грейфер леса, агрегатирование с трактором МТЗ, 3D-моделирование.

The paper deals with the design of a front loader using three-dimensional modeling, and its manufacturing. The area of use of the front loader is individual farms with a small but regular need for the volume of transported goods. The existing loaders have greater productivity and correspondingly high cost, which is not suitable for individual farms. The task is to design a simple and reliable front loader that can be aggregated with an MTZ tractor. The loader must have a maximum load capacity of 1000 kg with a safety factor of 2...2,5. The front loader was designed and manufactured. The design was carried out in a three-dimensional CAD software SolidWorks, the calculation of the maximum load was made by the finite element method. During calculations, the optimal geometrical parameters of the loader parts, capable of withstanding a given load with minimum stresses, were determined. The kinematics of assemblies and parts were made and tested allowing the structure to perform its functionality correctly along a given trajectory. The front loader was made on the basis of an individual farm. The available materials for the production of this loader were: channel, pipe, angle bars, 40 mm thick solid metal and standard units – hydraulic cylinders and high pressure hoses. Tests for loading logs have shown that the device is reliable and has good performance. No complaints and comments on the work of the loader were noted. The measures to improve the loader are outlined. These are the development of a rotary assembly of a vertical stand, reinforcement of the boom anchoring axis, development of tractor stoppers. This will allow mobile work with a load of more than 1000 kg.

Keywords: front loader, numerical calculation, timber grapple, aggregation with an MTZ tractor, 3D-modeling.

Введение

На сельхозпредприятиях большой объем работ связан с необходимостью выполнять погрузочно-разгрузочные работы. Для этих целей используют фронтальные погрузчики. Погрузчики осуществляют погрузку сена в рулонах в тракторные прицепы для перевозки с полей на фермы, а также перевозку минеральных и органических удобрений, семенного материала, леса и пиломатериалов, бетонных колец для колодцев и пр. Крупные хозяйства для этих целей приобретают специальные погрузчики или приспособливают трактор МТЗ за счет навешивания на него комплекта стандартного оборудования. Погрузчик имеет сменимый рабочий орган, например ковш для сгребания снега, навоза или грейфер для погрузки леса. Подобные погрузчики показаны на рис. 1, *а–г*.

Достоинства погрузчиков

Как видно, существующая техника имеет довольно сложную конструкцию с параллелограммной кинематической рамой погрузчика.

Рама приводится в действие несколькими гидроцилиндрами.

Гиросистема трактора позволяет работать с гидроцилиндрами погрузчиков. Управление работой погрузчика производится из кабины трактора с помощью рычагов гидросистемы, имеющих несколько положений.

Рама погрузчиков массивная, усиленная, стрелы разнесены в стороны, благодаря чему возможно поднятие грузов с достаточной устойчивостью к опрокидыванию.

Погрузчики имеют большую грузоподъемность: 3000...6000 кг, что обеспечивает возможность работы с различными грузами при высокой производительности.

Недостатки погрузчиков

Высокая стоимость как навесных погрузчиков (500–600 тыс. руб.), так и грейферов леса в отдельности (70–80 тыс. руб.).

Прицеп с манипулятором (рис. 1, *г*) имеет свою гидравлическую систему, что приводит, с



а) фронтальный погрузчик, класс D



б) экскаватор-погрузчик JCB 4CX



в) фронтальный погрузчик, класс С



г) прицеп с манипулятором для погрузки леса

Рис. 1. Погрузчики

одной стороны, к управлению большим числом гидроцилиндров, повышая мобильность на погрузке леса, а с другой стороны – к существенному удорожанию.

Актуальность проекта

В малых фермерских хозяйствах разгрузо-погрузочные работы требуются регулярно. Объем работ, необходимый для обеспечения личного хозяйства, характеризуется большим разнообразием их видов, и не является большим по сравнению с объемом работ сельхозпредприятий. Для частных фермеров вопросы погрузочно-разгрузочных работ представляет проблему, потому что в большинстве случаев они имеют в наличии один трактор, для проведения сельскохозяйственных работ, без специального погрузчика. Частные фермеры не могут приобретать дорогие специальные погрузчики, мощность и производительность, которых не будут использоваться в полной мере.

Поэтому поставлена задача: разработать простое съемное погрузочно-разгрузочное устройство для возможности его монтажа на трактор МТЗ. Максимально поднимаемый груз должен быть не более 1000 кг. Такое устройство должно выполнять различные виды погрузочно-разгрузочных работ, что в значительной степени расширит спектр и объем работ, выполняемых фермерами, поскольку практически подавляющее большинство грузов сельского хозяйства лежит в указанных пределах. Конструкторское решение погрузчика фронтального по техническим возможностям должно быть доступно в изготовлении фермерам личных подсобных хозяйств.

Тема является актуальной, поскольку большой сегмент малых подсобных хозяйств нуждается для проведения погрузо-разгрузочных работ в универсальных фронтальных погрузчиках приемлемой стоимости, простой и надежной конструкции, с возможностью их изготовления в условиях хозяйства из недорогих доступных материалов, при этом с эффективной работоспособностью и безотказностью. Поэтому тема работы важна для социально-экономического развития сельского и лесного хозяйств России, в частности, и Ярославской области, а также для продвижения инженерной науки. Тема и содержание исследования соответствуют профильному научному направлению.

Цели, задачи и новизна проекта

Цель

Разработка конструкции фронтального погрузчика, оснащенного грейфером для погрузки/разгрузки леса, и других грузов не превышающих 1000 кг, имеющего возможность агрегатирования с трактором класса С типа МТЗ-82.

Новизна

Данное разгрузо-погрузочное устройство создано такой конфигурации и грузоподъемности. Разработка является полностью инновационной, характеризуется оригинальностью решения проблемы. Устройство отличается от имеющихся погрузчиков меньшей стоимостью, простотой монтажа/демонтажа к трактору и следующими конструктивными особенностями: конструкцией вертикальной стойки, конструкцией стрелы, конструкцией навесного и прицепного устройств. Устройство монтируется на тракторе МТЗ.

Для решения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи.

Задачи

- Провести анализ существующей техники, выявить достоинства и недостатки.
- Провести конструкторскую разработку фронтального погрузчика с помощью 3D-моделирования.
- Разработать узел крепления фронтального погрузчика к трехточечной навеске трактора МТЗ.
- Фронтальный погрузчик должен обеспечивать подъем грузов на высоту не менее 2,5 м. Это позволит не только укладывать грузы в кузов транспортного средства, но и выполнять другие работы.
- Провести кинематический и визуальный контроль работоспособности конструкции фронтального погрузчика численным методом с доводкой геометрии деталей и узлов с целью наилучшего перемещения и функциональности.
- Провести расчет максимальных напряжений в конструкции фронтального погрузчика численным методом при нагрузке в 1000 кг.
- Провести расчет максимального изгиба в конструкции фронтального погрузчика численным методом при нагрузке в 1000 кг.
- Оптимизировать детали конструкции фронтального погрузчика под нагрузку 1000 кг с целью получения минимальных напряжений и коэффициента запаса прочности минимум 2...2,5.

9. Монтаж и демонтаж погрузчика на трактор обеспечить с применением простых приспособлений.

10. Создать натурный образец фронтального погрузчика и провести его испытания с различными грузами.

11. Обозначить пути совершенствования конструкции фронтального погрузчика после испытаний, выявив особенности работы его с различными грузами.

Трактор МТЗ был выбран, потому что он является самым массовым в РФ и имеет следующие особенности.

1. Навесное устройство, которое может воспринимать достаточное усилие от нагрузки фронтального погрузчика при погрузо-разгрузочных работах. Навесное устройство представляет собой трехточечную схему, позволяющую агрегатировать трактор с фронтальным погрузчиком достаточно жестко. Устройство имеет возможность подъема и опускания наавески, что позволяет удобно производить монтаж/демонтаж погрузчика с трактором.

2. Трактор имеет гидросистему, которая позволит работать с гидроцилиндрами погрузчика, что дает возможность управления из кабины трактора фронтальным погрузчиком с помощью рычагов, является хорошей безопасной опцией при работе на погрузке леса. Например, на манипуляторе рычаги выведены на самом устройстве, вне кабины, и трактористу приходится выходить из кабины, чтобы управлять погрузкой, что не безопасно. При погрузке леса существует повышенная опасность срыва или опрокидывания бревен, поэтому кабины тракторов, оснащенных погрузчиками леса, армируют специальными довольно таки дорогостоящими устройствами.

Практическая значимость заключается в том, что фронтальный погрузчик был спроектирован с использованием численного расчетного метода, изготовлен и опробован в работе. Изготовление проводилось на базе малого фермерского хозяйства А.А. Хотько. В процессе испытаний погрузчик обеспечивал выполнение работ без каких-либо отказов в работе, как в гидравлической части, так и в конструктивной части.

Область применения: данный погрузчик имеет целевую направленность при работе на погрузке-разгрузке леса, для этого он оснащен специальным захватом – грейфером леса. Погрузчик позволяет выполнять комплекс раз-

грузо-погрузочных работ грузов разного назначения: бревна, сено в рулонах, силос, мешки с удобрениями, строительные материалы. Это расширяет сферу его использования. Поскольку высота подъема крайней точки стрелы составляет 2,8 м, то это позволяет использовать погрузчик при строительстве небольших частных домов: поднимать на первый этаж грузы до 1 т, а так же бетонные кольца для колодцев.

Погрузчик оборудован дополнительным захватом, на который возможно крепить металлический трос, что позволяет поднимать грузы любой формы, которые можно закрепить тросом.

Материалы и методы

Конструкция фронтального погрузчика разрабатывалась в программе Solidworks методом конечных элементов в трехмерном пространстве (по другому этот метод проектирования называют численным расчетом) [1]. Были построены твердотельные детали погрузчика, а затем детали поочередно соединялись друг с другом по условиям соприкосновения [2]. Валы и болты соединяли уши гидроцилиндров, уши стрелы и уши вертикальной стойки по условиям соосности. Дополнительно были назначены условия соприкосновения и отношение сторон деталей различных групп как параллельности или перпендикулярности по отношению друг к другу [3]. На грейфер были наложены дополнительные условия ограничения раскрытия угла его зубьев. Гидроцилиндры также имели условия ограничения выхода на определенное расстояние штока. Была проведена проверка условия интерференции всей сборки конструкции – это условие непроникновения деталей друг в друга. Проведена проверка кинематики звеньев погрузчика, при которой учитывалось движение всех деталей. Программа позволяет выполнить функциональные движения конструкции, при этом видно, как правильно выполняют свои функции в движении детали сборки. В случае неверных геометрических параметров хотя бы одной детали конструкция не будет выполнять верные направления движения. Таким образом, геометрия всех деталей доведена до необходимых допустимых размеров [4].

Результаты и обсуждение

На рис. 2 представлен общий вид фронтального погрузчика. Само устройство пред-

ставляет собой вертикальную стойку 2, которая крепится с помощью автосцепки 1 в месте крепления сельскохозяйственных машин на трехточечную систему навески трактора МТЗ. Материалом вертикальной стойки 2 был выбран швеллер, как наиболее доступный из материалов. К вертикальной стойке 2 крепится стрела 4 в виде круглой трубы диаметром 100 мм и толщиной 8 мм. В нижней части вертикальной стойки 2 расположено крепление нижней опоры гидроцилиндра 3, а верхняя часть гидроцилиндра связана со стрелой.

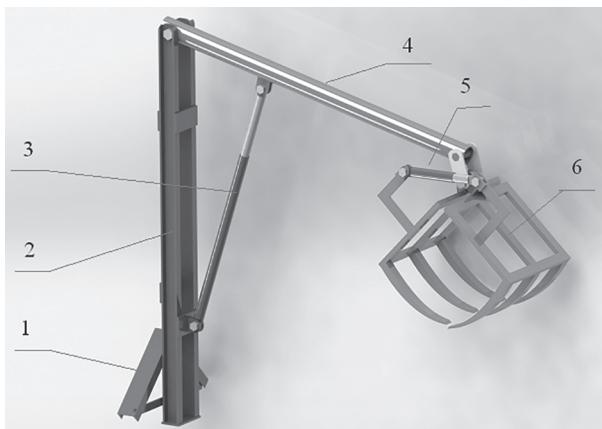


Рис. 2. Общий вид фронтального погрузчика:
1 – автосцепка; 2 – вертикальная стойка;
3, 5 – гидроцилиндры; 4 – стрела; 6 – грейфер леса

Погрузчик способен поднимать груз до 1000 кг на высоту 2,8 м. Этого достаточно, чтобы фронтальный погрузчик смог провести погрузку/разгрузку тракторного прицепа.

Благодаря винтовой стяжке фермер выравнивает стойку 2 строго вертикально для получения минимальных боковых напряжений при работе.

Учитывая специфику работы с бревнами, сделан специальный захват с гидроприводом – грейфер. Лесопромышленники называют его грейфером леса. У грейфера одна сторона частично зафиксирована, а вторая имеет свободный ход, состоит из двух частей.

Гидроцилиндры 3 и 5 работают от гидравлической системы трактора МТЗ. Подача масла на гидроцилиндр 3 позволяет подниматься и опускаться стреле 4, а на гидроцилиндр 5 позволяет открываться и закрываться грейферу леса 6. Для взятия бревна, например, необходимо убрать давление масла из гидроцилиндра 3; стрела при этом опустится, грейфер должен быть открыт. Гидроцилиндр 5 получает давление масла и выдвигает свой шток, благодаря чему грейфер закрывается, происходит захват

бревна. Затем подается давление масла на гидроцилиндр 3, и стрела поднимается с грузом.

Перемещение груза по территории осуществляется путем передвижения трактора до нужного места разгрузки, например к платформе тракторного прицепа.

На рис. 3 и 4 показан грейфер в двух видах. Схема движения грейфера имеет непростую кинематику, поскольку требуется четкаястыковка деталей грейфера, чтобы они не задевали друг за друга при максимальном и минимальном открытии. Необходимо также, чтобы зубья грейфера были смешены и имели небольшой зазор в закрытом положении.

Гидроцилиндр при максимальном закрытом положении не должен прикасаться к грейферу корпусом. Предельные положения грейфера (открытие и закрытие) должны соответствовать предельным положениям гидроцилиндра.

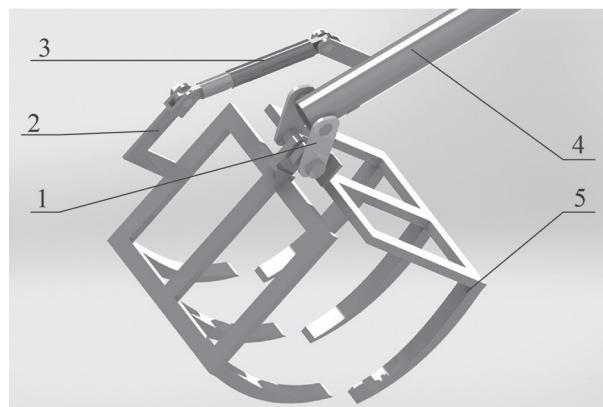


Рис. 3. Грейферный захват для леса фронтального погрузчика (вид сбоку):
1 – уши крепления; 2 – плечо гидроцилиндра;
3 – гидроцилиндр; 4 – стрела; 6 – грейферный захват

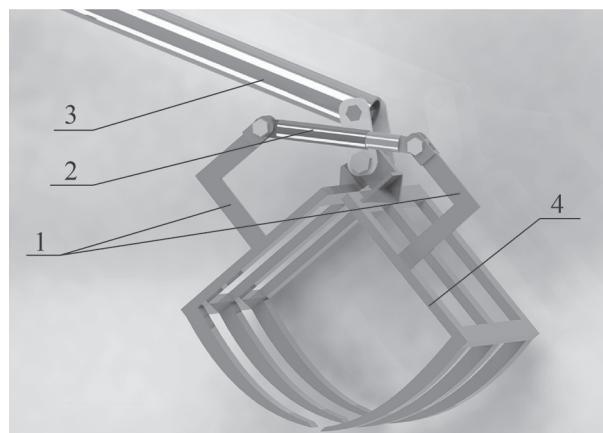


Рис. 4. Грейферный захват для леса фронтального погрузчика (вид спереди):
1 – плечи гидроцилиндра; 2 – гидроцилиндр;
3 – стрела; 4 – грейферный захват

За эту задачу отвечают геометрия плечей 1 гидроцилиндра (рис. 3).

На рис. 5 показано крепление грейфера к стреле. Шестигранник 5 вставлен в отверстие стрелы 6 и проварен для фиксации. Таким образом, уши крепления 2 крепятся к шестиграннику 5 и тоже не имеют свободного перемещения – они зафиксированы. Ось крепления грейфера 4 соединяет уши крепления 2 и грейфер 3 таким образом, что грейфер имеет возможность менять свое положение от открытого до закрытого.

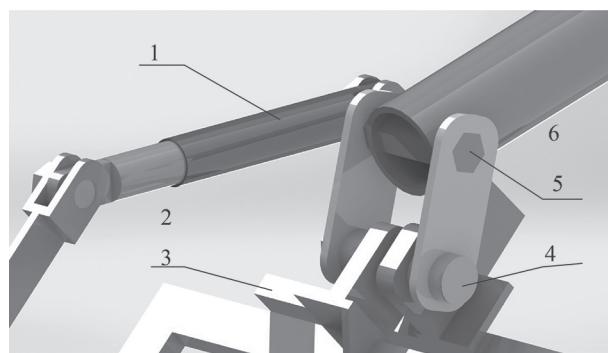


Рис. 5. Крепление грейфера к стреле:
1 – гидроцилиндр; 2 – уши крепления; 3 – грейфер;
4 – ось крепления грейфера; 5 – шестигранник

Расчет конструкции фронтального погрузчика на прочность численным методом

Расчет конструкции производился при следующих геометрических параметрах (результат расчета показан на рис. 6):

- вылет стрелы составляет 1800 мм;
- высота вертикальной стойки составляет 2000 мм;
- нагрузка на зубья грейфера составляет 1000 кг. Нагрузка, показанная стрелочками на рис. 6, приложена по нормали к поверхности зубьев грейфера;
- вертикальная стойка зафиксирована снизу, поскольку это место крепления к навеске трактора (графически показано на рис. 6 кнопками-гвоздиками – это условное обозначение в программе) [5, 6].

Были получены максимальные напряжения 187,6 МПа в оси стрелы (указано флагжком на рис. 6). Диаметр оси составляет 50 мм. Выбираем для оси сталь с пределом текучести $\sigma_t = 400...500$ МПа. Таким образом, коэффициент запаса прочности составляет 2...2,5, что вполне достаточно для безотказной работы фронтального погрузчика [7, 8].

На рис. 7 показан результат численного расчета максимального изгиба конструкции

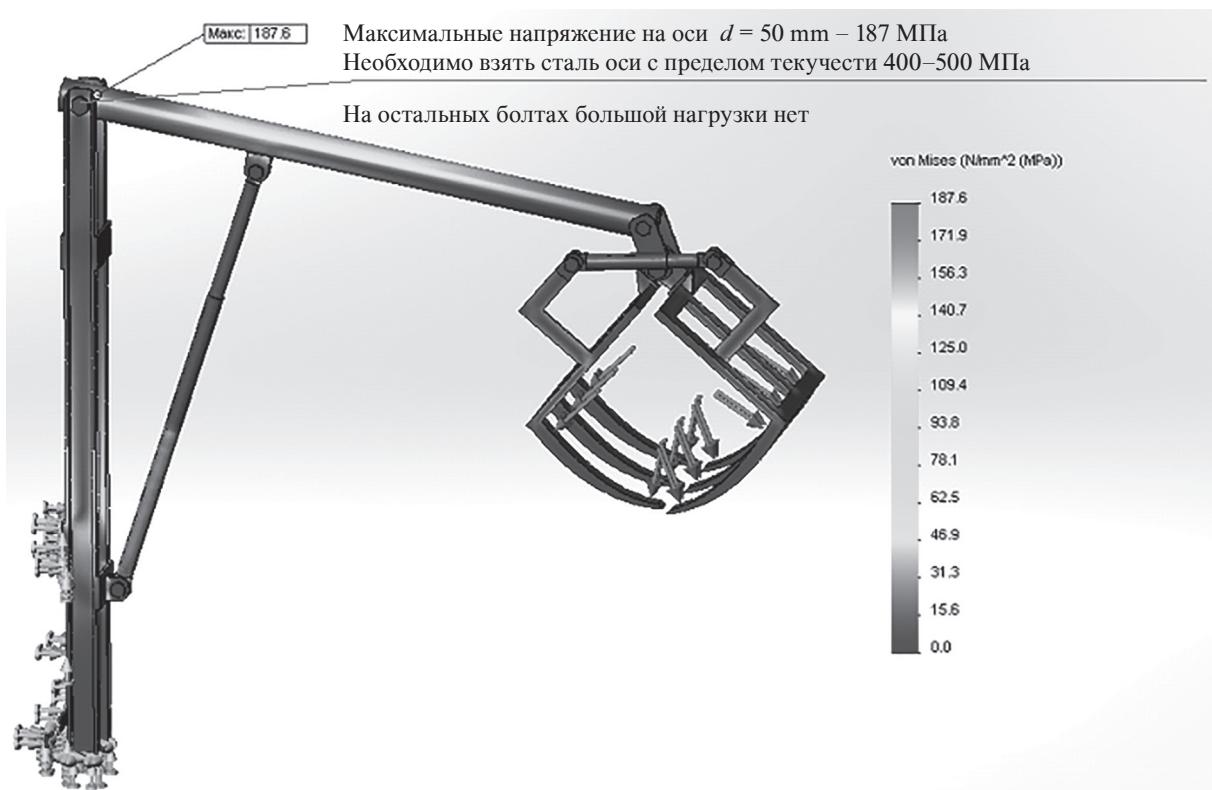


Рис. 6. Графическая эпюра максимальных напряжений

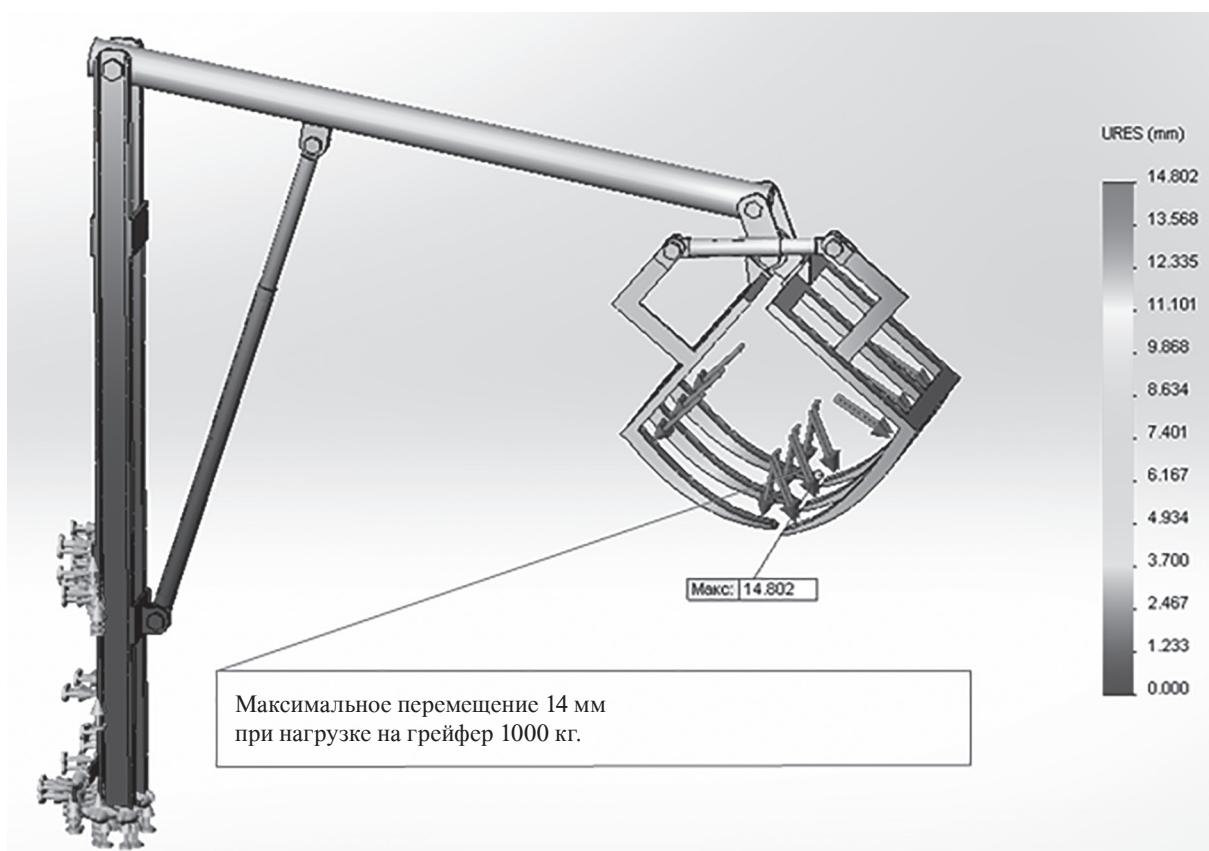


Рис. 7. Графическая эпюра максимального изгиба

фронтального погрузчика. На рисунке видно, что максимальное перемещение кончика зуба грейфера относительно точки крепления вертикальной стойки к системе навески трактора составляет всего 14 мм. Иными словами 14 мм – это величина наклона всей конструкции от точки крепления вертикальной стойки при максимально допустимой нагрузке.

Изготовление опытного образца фронтального погрузчика.

Выбор гидроцилиндров для стрелы и грейфера погрузчика

Чтобы правильно подобрать гидроцилиндр нужно знать минимальный набор характеристик,

которые определяют присоединительные размеры гидроцилиндра и его рабочие параметры.

Диаметр поршня – определяет значение толкающего/тянущего усилия гидроцилиндра.

Диаметр штока и ход поршня гидроцилиндров – определяют фактические нагрузки и необходимый диапазон перемещений.

Расстояние по центрам (в сложенном состоянии) – определяет присоединительные размеры гидроцилиндра.

Конструктивное исполнение – определяет способ крепления гидроцилиндра [9].

Из таблицы следует, что большой гидроцилиндр диаметром 90 мм может создать толкающее усилие в 10 тонн. Гидроцилиндры

Таблица

Характеристики гидроцилиндров

Гидроцилиндр	Диаметр поршня, мм	Диаметр штока, мм	Ход поршня, мм	Расстояние по центрам, мм	Номинальное давление, МПа	Максимальное давление, МПа	Толкающее усилие, кг	Тянущее усилие, кг
Гидроцилиндр ГЦ 90.40.205.515.02.0032	80	56	970	1285	16	20	10000	5100
Гидроцилиндр ГЦ 40.25.300.490.20	40	25	300	490	16	20	2500	1500

имеют большой запас на толкающее усилие. Ограничение в подъеме груза зависит только от конструкции погрузчика и от наличия упоров. Упоры должны разводиться в стороны; они позволяют конструкции погрузчика не перевешивать трактор при подъеме тяжелых грузов.

Проверка работоспособности фронтального погрузчика в действии

Фронтальный погрузчик был изготовлен и смонтирован на тракторе (см. рис. 8). Гидросистема погрузчика подсоединенна к гидросистеме трактора.



Рис. 8. Фронтальный погрузчик прицеплен и навешен на сцепку трактора МТЗ

Чтобы захватить бревно, необходимо подъезжать трактором к нему, так как у стрелы нет перемещения по длине.

Работа погрузчика с бревнами показана на рис. 9.



Рис. 9. Фронтальный погрузчик в работе с бревнами

Фронтальный погрузчик имеет хорошую производительность: может за 0,4...1,5 минуты поднять бревно и погрузить его в тракторный прицеп. Это позволило выполнить погрузку бревен в тракторный прицеп и отвезти на пилораму.

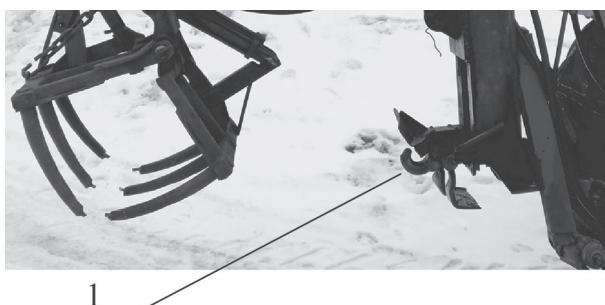
В работе не было каких-либо замечаний по эффективности использования фронтального погрузчика.

Благодаря дополнительному креплению на стреле есть возможность поднимать грузы различной геометрической формы: например, большие мешки с удобрениями, скрученное в рулон сено или кольца для колодцев. Пример использования такой технологии показан на рис. 10.



Рис. 10. Фронтальный погрузчик в работе с железобетонными кольцами

На фронтальном погрузчике снизу на вертикальной стойке установлено сцепное устройство (рис. 11), что позволяет прицеплять к трактору прицеп. Приехав на место работы, тракторист отсоединяет прицеп от погрузчика, и трактор отъезжает грузить бревна или другой груз в прицеп (рис. 12). При этом фронтальный погрузчик продолжает быть навешенным на трактор. Это очень удобно, поскольку трактор выполняет две функции – погрузки и перевозки груза.



1

Рис. 11. Сцепное устройство:
1 – серьга

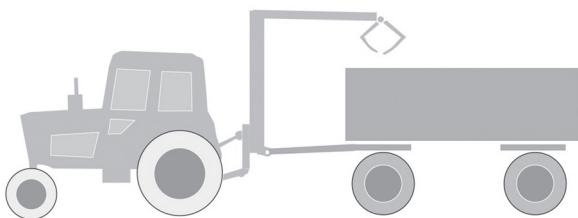


Рис. 12. Трактор транспортирует прицеп
совместно с фронтальным погрузчиком

Рекомендации по дальнейшему совершенствованию конструкции

Расширение сферы действия устройства позволит фермеру использовать дополнительные возможности в работе. Выделим пути совершенствования устройства.

1. Необходимо предусмотреть установку на стрелу различных устройств, например крюка. Крюк позволит подъем грузов любой формы, используя стропы или металлический трос. Крюк позволяет фиксировать стропы груза надежно, что позволяет обеспечить безопасность работы людей при передвижении грузов. Крюк имеет большую надежность.

2. Поворот вертикальной стойки позволит улучшить условия работы фермера, повысит удобство в маневрировании фронтальным погрузчиком при выборе удобного положения захвата груза. Но это потребует изменения конструкции.

3. Для повышения устойчивости и снижения напряжения в местах опоры стрелы рекомендуем изменение конфигурации опорной части стрелы.

Намеченные изменения планируется реализовать ближайшее время.

Достоинства разработанного фронтального погрузчика и стоимость изготовления

Выбранные расчетным путем параметры (размеры и сечения деталей) погрузчика обеспечивают его работу с высокой надежностью.

Для изготовления погрузчика использованы доступные элементы стального проката. Готовыми изделиями являются только гидроцилиндры и шланги гидросистемы.

Монтаж погрузчика на трактор может быть осуществлен с помощью простых приспособлений и не занимает много времени.

Погрузчик фронтальный имеет хорошую производительность: позволяет приблизительно за 0,4...1,5 минуты захватить бревно, поднять и перевезти его в тракторный прицеп.

При испытаниях фронтальный погрузчик обеспечил выполнение различных погрузочно-разгрузочных работ без каких-либо замечаний.

Испытания показали, что возможно совершенствование конструкции устройства для повышения эффективности его работы.

Стоимость изготовления фронтального погрузчика составила 50 тыс. рублей. Существующие погрузчики находятся в ценовых пределах 500...600 тыс. руб., так и грейферы леса в отдельности 70...80 тыс. руб. Это показывает, что предлагаемый нами фронтальный погрузчик имеет значительную конкурентную способность на сельскохозяйственном рынке.

Заключение

Работа является полностью завершенной: поставленная цель и соответствующие ей задачи выполнены последовательно и полностью реализованы. Все стадии проекта от постановки задачи до изготовления и испытаний опытного образца также выполнены в полном объеме.

Была создана простая, надежная и недорогая конструкция фронтального погрузчика.

При многократных расчетах 3D-модели были оптимизированы детали под максимальную нагрузку на конструкцию в целом на 1000 кг. Максимальные напряжения 189 МПа при нагрузке в 1 т в два раза меньше предела текучести стали, то есть с коэффициентом запаса 2.

Фронтальный погрузчик был изготовлен и проверен в работе.

Нареканий и замечаний к работе погрузчика не было отмечено.

Намечены мероприятия по совершенствованию конструкции погрузчика.

Имеется акт внедрения, подтверждающий успешно прошедшие испытания опытного образца фронтального погрузчика.

Разработанный погрузчик может быть рекомендован для изготовления и применения в условиях малых хозяйств РФ.

Работа имеет большое значение для социально-экономического развития лесного и сельского хозяйства в России и, в частности, Ярославской области, а также для продвижения Российской инженерной науки.

Литература

1. Справка по SOLIDWORKS: основные принципы SolidWorks URL: http://help.solidworks.com/2013/russian/SolidWorks/sldworks/c_solidworks_fundamentals_overview.htm?verRedirect=1 (дата обращения: 01.08.2018).
2. CADArtifex.Solidworks 2015. A Power Guide for Beginner and Intermediate Users. CADArtifex, 2015.
3. UCF Engineering.SolidWorks lessons [Текст] / University of Central Florida, College of Engineering and Computer Science, USA, 2015. 253 p.
4. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. М.: ДМК Пресс, 2015. 562 с.
5. Ашайчик А.А., Полонский В.Л. Расчет деталей машин методом конечных элементов. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. 243 с.
6. Варыдин В.В., Романеев Н.А., Никитин В.В. Расчет деталей и механизмов подъемно-транспортных машин с элементами САПР: учебное пособие. Брянск: Издательство Брянской ГСХА, 2013. 131 с.
7. Герасимов С.В., Долотов А.М., Кулаков Ю.Н. Краткий справочник для расчета грузоподъемных машин. Братск.: ГОУ ВПО «БрГУ», 2009. 103 с.
8. Чернега В.И., Мазуренко И.Я. Краткий справочник по грузоподъемным машинам. 2-е изд., перераб. и доп. К.: Техника, 1988. 303 с.
9. Характеристики гидроцилиндров: размеры и усилия ГЦ. URL: http://gik43.ru/articles/harakteristiki_gidrotsilindrov.html (дата обращения: 20.03.2019).

References

1. Spravka po SOLIDWORKS [Elektronnyj resurs]: osnovnye principy SolidWorks URL: http://help.solidworks.com/2013/russian/SolidWorks/sldworks/c_solidworks_fundamentals_overview.htm?verRedirect=1 (data obrashcheniya: 1.08.2018).
2. CADArtifex.Solidworks 2015 [Tekst] / A Power Guide for Beginner and Intermediate Users. CADArtifex, 2015.
3. UCF Engineering.SolidWorks lessons [Tekst]/ University of Central Florida, College of Engineering and Computer Science, USA, 2015. 253 p.
4. Alyamovskij A.A. SolidWorks Simulation. Inzherernyj analiz dlya professionalov: zadachi, metody, rekomendacii [SolidWorks Simulation. Engineering analysis for professionals: objectives, methods, recommendations]. Moscow: DMK Press Publ., 2015. 562 p.
5. Ashejchik A.A., Polonskij V.L. Raschet detalej mashin metodom konechnyh elementov [Calculation of machine parts by the finite element method]. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta Publ., 2016. 243 p.
6. Varyvdin V.V., Romaneev N.A., Nikitin V.V. Raschet detalej i mekhanizmov pod'emno-transportnyh mashin s elementami SAPR [Calculation of parts and mechanisms of hoisting machines with elements of CAD]. Uchebnoe posobie. Bryansk.: Izdatel'stvo Bryanskoy GSKHA Publ., 2013. 131 p.
7. Gerasimov S.V., Dolotov A.M., Kulakov YU.N. Kratkij spravochnik dlya rascheta gruzopod'emnyh mashin [Quick reference guide for the calculation of lifting machines]. Bratsk.: GOУ VPO «BrGU» Publ., 2009. 103 p.
8. Chernega V.I., Mazurenko I.YA. Kratkij spravochnik po gruzopod'emnym mashinam [Quick reference guide to lifting machines]. 2-e izd., pererab. i dop. K.: Tekhnika Publ., 1988. 303 p.
9. Harakteristiki gidrocilindrov [Elektronnyj resurs]: razmery i usiliya GC [Characteristics of hydraulic cylinders]. URL: http://gik43.ru/articles/harakteristiki_gidrotsilindrov.html (data obrashcheniya: 20.03.2019).

КОНСТРУКЦИОННЫЕ ПУТИ СНИЖЕНИЯ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ КЛУБНЕЙ ПОСАДОЧНОГО КАРТОФЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ ЦЕПОЧНО-ЛОЖЕЧНОГО ВЫСАЖИВАЮЩЕГО АППАРАТА

STRUCTURAL WAYS TO REDUCE THE DAMAGE OF PLANTING POTATOES BULBS WHEN USING A CHAIN-SPOON PLANTING MACHINE

С.С. КАЗАКОВ¹, к.т.н.
О.В. ЖИВАЕВ¹
А.В. НИКУЛИН², к.т.н.

¹ Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Княгинино, Россия
² Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, Н. Новгород, Россия, kazakoff.85@mail.ru

S.S. KAZAKOV¹, PhD in Engineering
O.V. ZHIVAEV¹
A.V. NIKULIN², PhD in Engineering

¹ Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Russia
² Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia, kazakoff.85@mail.ru

В работе представлены теоретические основы по оценке влияния на урожайность повреждения посадочных клубней, а также представлены данные по изучению количества повреждений клубней картофеля цепочно-ложечным высаживающим аппаратом и пути их снижения. Проведенные исследования показали, что при установке направляющей в кожухе высаживающего аппарата его производительность повышается до 10 кл./с при повреждениях клубней картофеля в пределах агротехнических требований, при этом скорость картофелесажалки повышается на 35 % (до 10,8 км/ч). Анализ полученных результатов показывает необходимость выявления для картофелепосадочных машин рабочих органов и технологических процессов, обусловливающих меньшее повреждение посадочного материала. Особое внимание должно быть уделено снижению уровня тяжелых внешних повреждений клубней (трещины, раздавливание, разрезание), а также внутренних. Целью работы является повышение качества процесса посадки клубней картофеля с обоснованием оптимальных параметров цепочно-ложечного высаживающего аппарата. В процессе проведенных исследований установлено, что с увеличением частоты высадки количество повреждений клубней увеличивается, причем увеличение частоты высадки свыше 5,7 кл./с на обеих фракциях ведет к резкому росту количества повреждений. Для решения задачи по снижению количества поврежденных клубней картофеля предложен конструкционный путь, который заключается в установке направляющей для клубней, позволяющей снизить повреждения до пределов агротехнических требований.

Ключевые слова: посадка картофеля, высаживающий аппарат, повреждения клубня.

The paper presents the theoretical basis for assessing the impact of damage to planting bulbs on yield. It gives the data on the study of the amount of damage to potato bulbs by chain-spoon planting apparatus and discusses the ways to reduce them. Studies have shown that when installing a guide in the case of the planting machine, productivity increases up to 10 bulbs per second and potato bulbs are damaged within the agrotechnical requirements, while the speed of the potato planter increases by 35 % (up to 10,8 km/h). Analysis of the results shows the need to identify for the potato planter machines working bodies and technological processes, causing less damage to the planting material. Special attention should be paid to reducing the level of severe external damage to bulbs (cracks, crushing, cutting). The aim of the work is to improve the quality of the process of planting potato tubers with the substantiation of the optimal parameters of the chain-spoon planting apparatus. During the studies it was found that with an increase in the frequency of planting, the number of damages to bulbs increases, and an increase in the frequency of planting over 5,7 bulbs per second in both fractions leads to a sharp increase in the number of damages to bulbs. To solve the problem of reducing the number of damaged potato bulbs, a structural way to solve the problem was proposed. It consists in installing a guide for bulbs, which allows reducing damage to potato bulbs to the limits of agrotechnical requirements.

Keywords: planting potatoes, planting machine, damage of bulb.

Введение

Исследованиями В.М. Годухина, Е.Ф. Кисиной и другими [1], а также В.Ф. Синякова [2] установлено, что повреждения клубней картофеля при посадке снижают урожайность. Особенно резко снижают урожайность клубни разрезанные, раздавленные и с глубокими трещинами.

При машинной посадке клубни картофеля повреждаются рабочими органами посадочных машин, и эти повреждения отрицательно влияют на развитие растений.

Наиболее серьезная работа по оценке влияния на урожайность повреждения посадочных клубней выполнена совместно Горьковским СХИ, Рязанским ГСКБ по машинам для возделывания и уборки картофеля и НИИ картофельного хозяйства. Учет влияния повреждений проведен по видам. Выявлены тенденции снижения урожайности картофеля в среднем за ряд лет за счет внутренних (скрытых) повреждений, а также поражений глубиной более 5 мм. Тенденция некоторого снижения урожайности от внешне неповрежденных клубней наблюдается с увеличением частоты посадки. Статистически доказано снижение урожайности клубней с сильными повреждениями следующих видов: трещины длиной по хорде более 20 мм, раздавливание, разрезание на половинки. Во всех вариантах повреждений отмечается увеличение относительно контроля заболеваний черной ножкой. Снижение урожайности от сильных повреждений особенно заметно в годы с неблагоприятными для прорастания клубней условиями. В годы с благоприятными погодными условиями вырыв мякоти клубня оказывал стимулирующее влияние: урожайность в этом варианте была несколько выше контроля. Наблюдалась и тенденция к снижению урожайности дочерних клубней, выращенных в вариантах с сильным повреждением, т.е. в последствии. В работе показана возможность расчета снижения урожайности в зависимости от повреждений. С целью проверки этой возможности в опыты был введен сборный вариант с процентной и видовой комбинацией повреждений, соответствующей получаемой при пропускании клубней через сажалку СН-4Б. Снижение урожайности в связи с повреждением посадочных клубней этой сажалкой в 1974 году соответствовало по сборному варианту 7,8 % [3]. Отмечено, что, судя по форме потемневшей мякоти, у внешне целых клубней причиной

внутренних повреждений являются не только удары ложечками, но и сдавливание, и заклинивание клубней в высаживающем аппарате.

Цель исследований

Повышение качества посадки клубней картофеля с обоснованием параметров цепочно-ложечного высаживающего аппарата.

Объект исследования

Технологический процесс посадки клубней картофеля и конструкция цепочно-ложечного высаживающего аппарата.

Предмет исследований

Показатели качества посадки клубней картофеля, конструктивные и технологические параметры цепочно-ложечного высаживающего аппарата.

Методика исследований

Теоретические исследования выполнялись с использованием основных положений законов и методов классической механики и математики. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных и полевых условиях в соответствии с действующими стандартами, а также разработанными методиками. Обработка результатов расчетов и экспериментов выполнялась на персональном компьютере с использованием стандартных программ Microsoft Excel, Edius 12 и STATGRAPHICS Plus 2.1.

Для посадки картофеля в России широко применяются картофелесажалки Л-202, Л-207, поставляемые Белорусским заводом «Лидсельмаш», с цепочно-ложечным высаживающим аппаратом.

Результаты и обсуждение

Для выбора оптимального скоростного режима работы высаживающего аппарата проводились однофакторные эксперименты. Определялось влияние частоты высадки на количество повреждений клубней. Результаты испытаний представлены графически (рис. 1) [4, 5]. Как следует из графика (рис. 1), с увеличением частоты высадки количество повреждений клубней увеличивается; причем увеличение частоты высадки свыше 5,7 кл./с на обеих фракциях ведет к резкому росту количества повреждений клубней. На фракции 80–100 г опыт при частоте высадки более 6,81 кл./с не проводился, т.к. повреждения превышали 30 %.

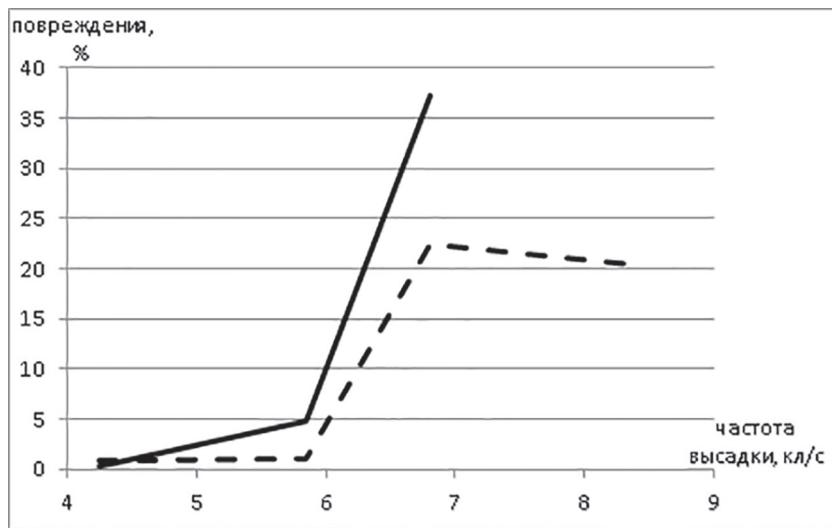


Рис. 1. Повреждения клубней:
— фракция 50–80 г; — фракция 80–100 г

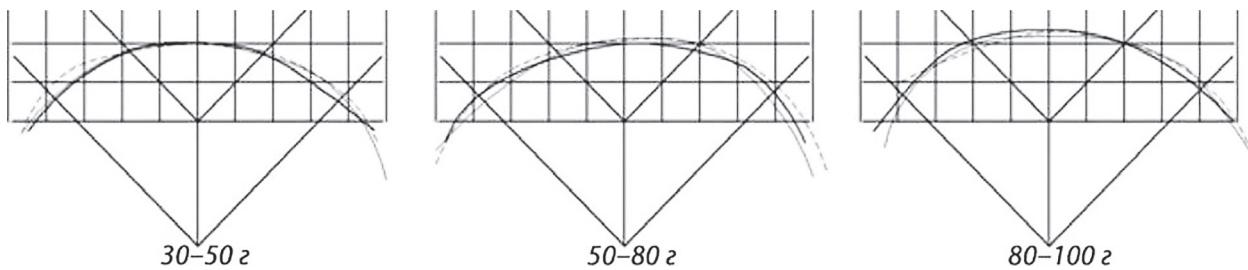


Рис. 2. Траектории движения клубней $v = 4,24$ кл/с; $i = 1,786$

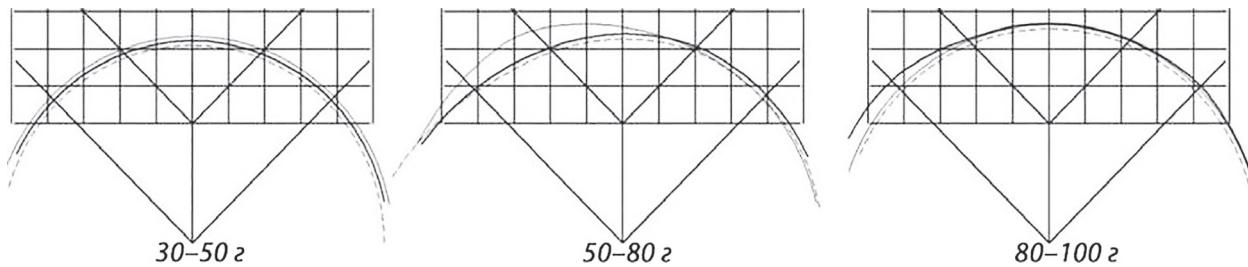


Рис. 3. Траектории движения клубней $v = 5,85$ кл/с; $i = 1,294$

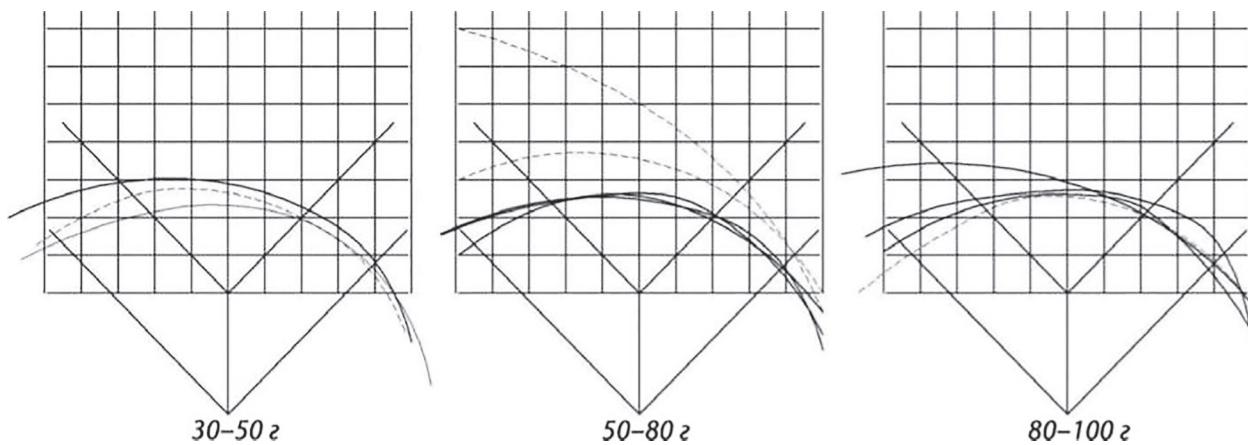


Рис. 4. Траектории движения клубней $v = 6,81$ кл/с; $i = 1,111$

Повреждения клубней наблюдались при прохождении ими ведомой звездочки высаживающего аппарата. Для изучения процесса сброса клубней на ведомой звездочке были проведены экспериментальные исследования. Результаты опытов представлены графически (рис. 2, 3, 4).

Проведенные исследования показали, что с увеличением скоростного режима и размера высаживаемой фракции траектория движения клубней все более отдаляется от окружности. Клубни отрываются от ложечек, ударяются о кожух высаживающего аппарата и, теряя скорость, подвергаются удару догоняющей их ложечки, вследствие чего они травмируются, и ломается большое количество ложечек (рис. 5).

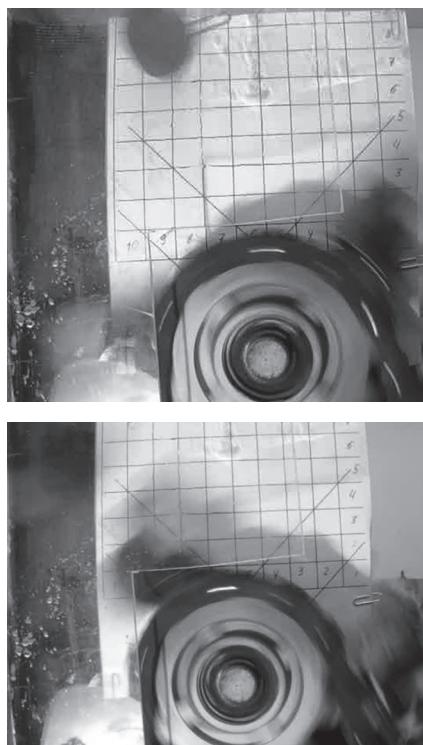


Рис. 5. Фотографии траекторий движения клубней

Для предотвращения повреждений клубней, снижающих потенциальный урожай, зубья на верхней (ведомой) звездочке были обрезаны заподлицо с щечками цепи, т.к. из-за удара клубня зубом ведомой звездочки клубень отрывается от ложечки и меняет траекторию движения. Обрезка зуба не дала ожидаемого результата, однако позволила снизить повреждения на 8,2–9,6 %, но они превышали допустимые по агротехническим требованиям. В связи с этим из листовой стали была изготовлена и установлена по радиусу движения

ложечки в кожухе высаживающего аппарата направляющая с постепенно уменьшающимся зазором (рис. 6, 7).

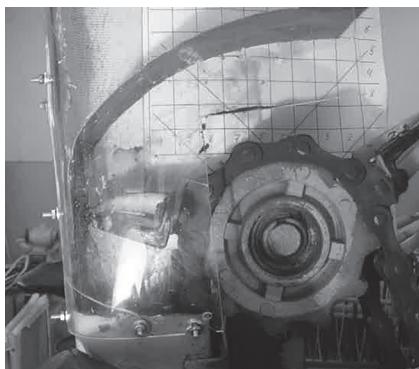


Рис. 6. Направляющая клубней

Экспериментальные исследования влияния установки направляющей, смонтированной над ведомой звездочкой высаживающего аппарата, на качество посадки клубней проводили на лабораторной установке.

Исследование проводили следующим образом. В бункер загружалась партия клубней, заполнялся питательный ковш, включался привод установки. Длительность опыта составляла проход 200 ложечек одной ветвью аппарата. Количество поврежденных клубней определялось как частное, выраженное отношением количества поврежденных клубней к общему количеству, умноженное на 100 %. Опыты проводились при частотах посадки 4,24; 5,85; 6,81; 8,41 кл./с. Уровень клубней в питательном ковше устанавливался 15–25 см (рекомендация завода изготовителя) и 25–35 см. Для достоверности получаемых данных была выбрана трехкратная повторность каждого опыта. Для опытов использовались клубни фракций 50–80 г и 80–100 г сорта Аспия. По результатам исследований, приведенных в таблице [6, 7], можно заключить следующее.

1. Повреждаемость клубней возрастает в 2–3 раза с увеличением их уровня в питательном ковше.

2. Уровень повреждений у стандартного высаживающего аппарата находится в пределах агротехнических требований на обеих фракциях несмотря на увеличение частоты высадки до 7,4 кл./с (одной ветвью – до 3,7 кл./с).

3. Резкое увеличение повреждений клубней происходит при дальнейшем увеличении частоты высадки у стандартного высаживающего аппарата.

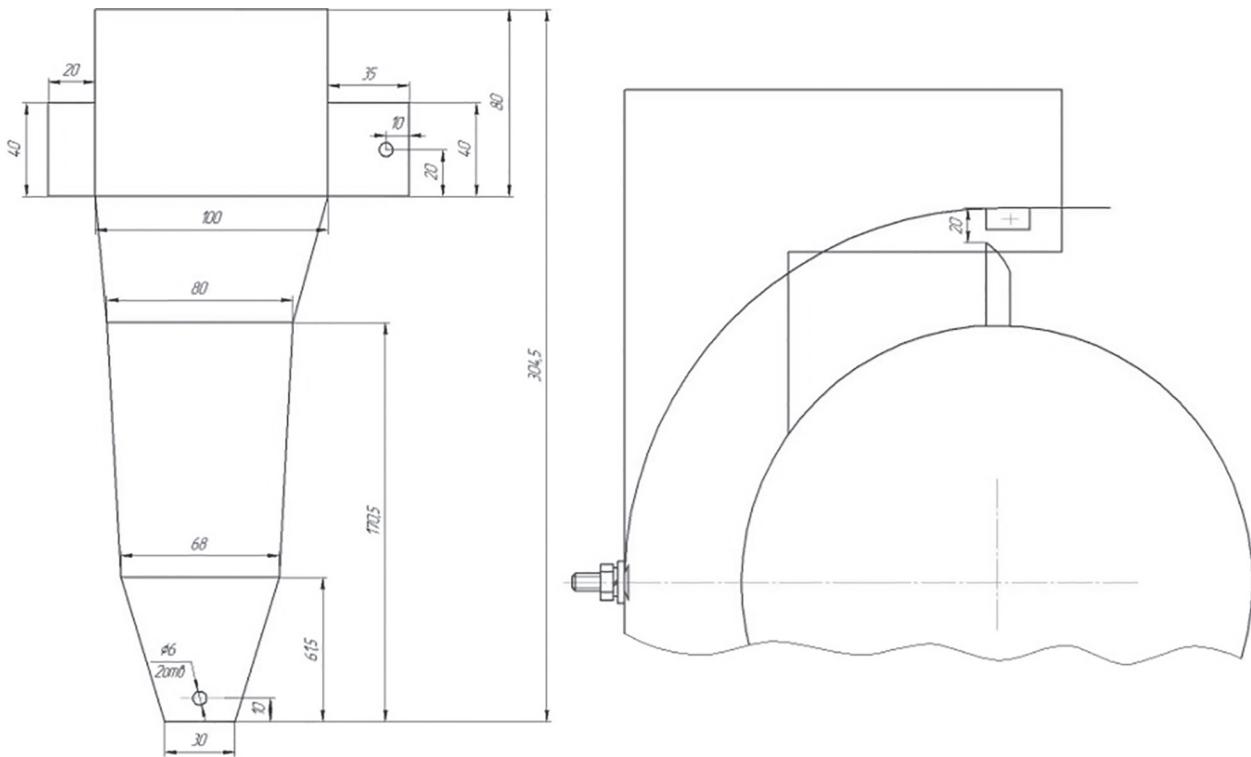


Рис. 7. Схема установки направляющей клубней

Таблица

Повреждение клубней посадочного картофеля

Частота высадки клубней, кл./с	Высаживаемая фракция клубней, г	Процент повреждения клубней, %			
		Уровень клубней в питательном ковше, см			
		С направляющей		В стандартном исполнении	
		15–25	25–35	15–25	25–35
10	50–80	0,68	0,7	0,56	2,6
8,4		0	0,35	0,98	3,29
7,4		0,2	0,65	19,3	23
5,3		0,15	0,3	20,4	20,1
10	80–100	0	0	0,34	0,36
8,4		0	0	4,6	5,06
7,4		3,3	3,5	29,8	37,15
5,3		3,6	3,8	—	—

4. Повреждение клубней, высаживаемых аппаратом с направляющей, находятся в пределах агротребований при частоте высадки до 10 кл./с (5 кл./с – на одной ветви) на обеих фракциях.

Выводы

1. Увеличение уровня клубней в питательном ковше до 25–35 см ведет к увеличению повреждений клубней.

2. Работа стандартного высаживающего аппарата, исходя из повреждений клубней, возможна только до частоты высадки 7,4 кл./с, что соответствует скорости 7,8 км/ч при густоте посадки 47 000 кл./га.

3. Установка направляющей в кожухе высаживающего аппарата резко снижает повреждения клубней и позволяет работать с частотой высадки 10 кл./с, что соответствует скорости 10,8 км/ч при густоте посадки 47 000 кл./га.

Литература

- Годухин В.М., Кисина Е.Ф. и др. Влияние повреждения клубней при машинной посадке картофеля на урожай // Труды ГСХИ. Горький: ГСХИ, 1975. Т. 72.
- Синяков В.Ф. Травмирование посадочных клубней и урожай картофеля // Труды ГСХИ. Горький: ГСХИ, 1977. Т. 108.

3. Засыпкин Г.П. Обоснование метода и расчет критерии качества работы картофелесажалок. Н. Новгород: НГСХА, 1997.
4. Никулин А.В. Усовершенствование картофелесажалки // Сельский механизатор. 2012. № 2. С. 6–7.
5. Вольников А.И., Никулин А.В. Исследование работы ложечно-цепного высаживающего аппарата // Техника в сельском хозяйстве. 2011. № 5. С. 9–10.

References

1. Goduhin V.M., Kisina E.F. The influence of damage to the bulbs on the crop during automatic potato-planting. Trudy GSKHI. Gor'kij: GSKHI Publ., 1975. Vol. 72 (in Russ.).
2. Sinyakov V.F. Damage of planting bulbs and potato harvest. Trudy GSKHI. Gor'kij: GSKHI Publ., 1977. Vol. 108 (in Russ.).
3. Zasyplkin G.P. Obosnovanie metoda i raschet kriteriev kachestva raboty kartofelesazhalok [Substantiation of the method and calculation of quality criteria for potato planters]. N. Novgorod: NGSKHA Publ., 1997.
4. Nikulin A.V. Improving potato planters. Sel'skij mekhanizator. 2012. No 2, pp. 6–7 (in Russ.).
5. Vol'nikov A.I., Nikulin A.V. The study of operation of spoon-chain sowing machine. Tekhnika v sel'skom hozyajstve. 2011. No 5, pp. 9–10 (in Russ.).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕСТКОСТИ ШИН ТРАКТОРНЫХ КОЛЕС И ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА КОЛЕБАНИЯ ТРАКТОРОВ

THE RESULTS OF THE STUDY OF THE RIGIDITY OF TIRES OF TRACTOR WHEELS AND ITS EFFECT ON TRACTOR VIBRATIONS

Д.И. ЗОЛОТАРЕВСКАЯ, д.т.н.

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия,
dina.zolotarevskaya@mail.ru

D.I. ZOLOTAREVSKAYA, DSc in Engineering

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia,
dina.zolotarevskaya@mail.ru

Работа посвящена теоретическому исследованию жесткости пневматических шин колес тракторов и анализу ее влияния на вертикальные колебания тракторов. Математическое моделирование закономерностей деформирования эластичных тракторных колес и почвы выполнено на основе использования экспериментальных данных о закономерностях деформирования исследованных почв, полученных в наших работах ранее в полевых испытаниях, в которых измеряли нормальные напряжения в контакте колес и почвы, а также плотность и влажность разрыхленной до проходов колес почвы и после последовательных проходов колес по одной и той же колее. По разработанной нами компьютерной программе, позволяющей рассчитать жесткости шин тракторных колес, проведены однофакторные и полные факторные компьютерные эксперименты трех типов. В компьютерных экспериментах первого типа исследовали зависимости жесткости шин ряда эластичных колес при работе трактора МТЗ-82 на почве от давления воздуха в шинах при различных вертикальных динамических нагрузках на оси соответствующих колес трактора. По результатам компьютерных экспериментов первого типа нашли уравнения регрессии, отражающие исследованные зависимости. В компьютерных экспериментах второго типа исследовали зависимости жесткости шин различных типоразмеров от давления воздуха в шинах при постоянных вертикальных динамических нагрузках на оси колес. По результатам компьютерных экспериментов второго типа нашли уравнения регрессии, отражающие соответствующие зависимости. Высокие значения корреляционных отношений для полученных уравнений регрессии свидетельствуют о большой тесноте связей в найденных корреляционных зависимостях. В компьютерных экспериментах обоих типов отклонения показателей взаимодействия колес с почвой, найденные с применением значений жесткости шин, полученных расчетным путем, находятся в пределах точности измерений экспериментальных данных. Компьютерные эксперименты третьего типа выполнены с использованием полученных в наших работах экспериментальных данных. Были проведены расчеты вертикальных колебаний осей трактора МТЗ-82 при различных значениях жесткости шин передних и задних колес, затем построены характеризующие эти колебания графики. Результаты выполненного исследования показывают, что при увеличении жесткости шин колес амплитуды вертикальных колебаний осей трактора уменьшаются. Это способствует повышению плавности хода трактора и снижению его уплотняющего воздействия на почву. Расчетным путем выяснили, что на задней оси трактора МТЗ-82 оптимальными являются колеса с шинами 18.4R38.

Ключевые слова: эластичное колесо, жесткость шины колеса, давление воздуха вшине, вертикальная нагрузка на ось колеса, вертикальные колебания трактора, математическое моделирование.

The work is devoted to a theoretical study of the rigidity of pneumatic tires of tractor wheels and analysis of its influence on the vertical oscillations of tractors. Mathematical modeling of the patterns of deformation of elastic tractor wheels and soil using experimental data was performed. These experimental data on the patterns of deformation of the studied soils were obtained in our works earlier in field trials, when normal stresses at the contact of the wheels and the soil, as well as the density and humidity of the soil loosened before the wheel passes and after successive wheel passes along the same track were measured. According to the developed computer program, which allows to calculate the rigidity of tires of tractor wheels, one-factor and full factorial computer experiments of three types were carried out. In computer experiments of the first type, the dependence of tire stiffness of a number of elastic wheels under the MTZ-82 tractor on the soil operation from air pressure at different vertical dynamic loads on the axes of the respective tractor wheels was investigated. According to the results of computer experiments of the first type, the regression equations, reflecting the dependencies studied, were found. In computer experiments of the second type, the tire stiffness of various sizes on tire pressure with constant vertical dynamic loads on the axles of the wheels was investigated. According to the results of computer experiments of the second type, the regression equations were

found, reflecting the corresponding dependences. High values of correlation relations for the obtained regression equations indicate a great closeness of relations in the correlation dependences found. In computer experiments of both types, the deviations of the wheel-soil interaction values, found using tire stiffness values obtained by calculation, are within the limits of measurement accuracy of experimental data. Computer experiments of the third type are performed using the experimental data obtained in authors works. The vertical oscillations of the axles of the MTZ-82 tractor for different values of the rigidity of the tires of the front and rear wheels were calculated. The graphs that characterize these fluctuations were built. The results of the study show that with an increase in tire stiffness, the amplitudes of the vertical axes of the tractor axles decrease. This helps to improve the smoothness of the tractor and reduce its sealing effect on the soil. By calculation, it was found out that wheels with 18.4R38 tires are optimal on the rear axle of the MTZ-82 tractor.

Keywords: elastic wheel, wheel tire stiffness, tire pressure, vertical load on the wheel axle, tractor vertical oscillations, mathematical modeling.

Введение

Для сельскохозяйственного машиностроения весьма актуально при выполнении полевых работ решение проблемы увеличения плавности хода тракторов и другой мобильной сельскохозяйственной техники. От плавности хода тракторов и сельхозмашин зависит способность осуществлять машинами технологические операции по возделыванию сельскохозяйственных культур с выполнением заданных агротехнических требований в различных почвенно-климатических условиях. Снижение колебаний тракторов и других мобильных машин при их работе на почве способствует повышению качества выполняемых машинно-тракторными агрегатами технологических операций, необходимых для выращивания сельскохозяйственных культур, улучшению условий труда водителей, оказывает положительное влияние на работу механизмов, способствует повышению производительности МТА и урожайности полевых культур. Важными являются решения проблем повышения тягово-цепных свойств тракторов и другой мобильной сельскохозяйственной техники, предотвращения переуплотнения почв в результате воздействия мобильных средств. Решение этих проблем непосредственно связано с повышением плавности хода машин. Необходимо разрабатывать и применять меры, способствующие снижению колебаний машин при их работе на почве и уплотняющего воздействия машин на почву. Предлагаемые меры нужно создавать с учетом упругих или вязкоупругих свойств подвесок тракторов и вязкоупругих свойств почв.

Этому значительно должны способствовать разработка и широкое практическое применение расчетных методов определения с большой

степенью точности показателей исследуемых процессов. Необходимо располагать формулами и алгоритмами расчетов показателей взаимодействия колес, снабженных пневматическими шинами (эластичных колес) с деформируемыми основаниями. Выполнено большое число работ, посвященных исследованиям взаимодействия колес с пневматическими шинами с различными основаниями [1–4]. Однако в настоящее время теория качения эластичных колес и теория колебаний мобильных машин при их работе на почве развита недостаточно.

Точность расчетных формул зависит прежде всего от выбора определяющих (исходных) уравнений, моделирующих закономерности деформирования контактирующих тел. Для практического применения этих формул нужно знать численные значения параметров определяющих уравнений. В работах ряда авторов [5–10] выявлены закономерности деформирования и найдены параметры определяющих уравнений для ряда тракторных и автомобильных колес с пневматическими шинами. Большое внимание удалено исследованию свойств эластичных колес, обладающих упругими свойствами. Разработаны методы расчета коэффициентов упругости шин эластичных тракторных [7, 8] колес, а также вертикальных колебаний тракторов с упругими [11] и вязкоупругими [12] подвесками.

Цель исследования

Цели данной работы состояли в следующем. На основе результатов, полученных в работе [11], и применения компьютерных программ, разработанных нами, которые позволяют реализовать результаты исследования, следует:

1) выявить влияние основных факторов (давления воздуха в шинах, вертикальной динамической нагрузки на оси колес) на жест-

кость шин исследованных в данной работе эластичных колес;

2) провести сопоставление между собой эластичных колес с шинами различных типоразмеров по их жесткости;

3) расчетным путем выявить влияние жесткости шин тракторных колес на колебания тракторов при их работе на почве.

Научная новизна

Выявление расчетным путем влияния на жесткость эластичных тракторных колес давления воздуха в шинах, вертикальных нагрузок на оси колес, типоразмеров шин колес, получение расчетных данных о влиянии жесткости колес на их колебания при работе на почве, представляет собой научную новизну данной работы.

Методы и средства проведения исследования

В работах [7, 9] описаны экспериментальные исследования, проведенные с целью выявления закономерностей деформирования эластичных колес трактора МТЗ-142 сшинами 11.2R20 (передние колеса) и 16.9R38 (задние колеса). Краткое описание проведенных экспериментов приведено также в работе [13].

В опытах изменяли давление воздуха в шинах передних и задних колес (p_{w1} и p_{w2}) и вертикальные динамические нагрузки на их оси (G_{01} и G_{02}). Измеряли с помощью тензометрических датчиков давления мембранныго типа нормальные напряжения в месте контакта колес и опорного основания. Экспериментальные данные обработаны статистически. Предложены экспериментальный и расчетный методы определения коэффициентов упругости практических упругих эластичных колес.

В работе [11] предложен метод расчета вертикальных колебаний передней и задней осей колесного трактора с упругой передней подвеской. В работе [11] также разработан метод расчета показателей уплотнения почвы при проходах трактора, в котором учитывается влияние колебаний трактора на его уплотняющее воздействие на почву. Результаты расчетов этим методом достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Нами разработана компьютерная программа Tire Stiffness, позволяющая рассчитывать жесткость шин (c_{w1} и c_{w2}) эластичных тракторных колес. По этой программе находят

нормальный прогиб f_1 и жесткость c_{wi} шин эластичных колес (здесь и далее для переднего колеса $i = 1$, а для заднего $i = 2$) при различных задаваемых значениях вертикальных нагрузок на ось каждого колеса и варьировании давления воздуха в шине.

В данной работе по компьютерной программе Tire Stiffness проведены однофакторные и полные факторные компьютерные эксперименты. В этих экспериментах находили жесткость c_{wi} ряда колес с пневматическими шинами и исследовали зависимости c_{wi} от давления воздуха в шинах p_{wi} и от вертикальных нагрузок G_{0i} на соответствующие оси колес. Результаты выполненных расчетов использовали для построения графиков, характеризующих зависимости жесткости шин исследованных эластичных колес от p_{wi} и G_{0i} . Для построения графиков применили компьютерные программы SGIN. EXE и программы, составленные в комплексной компьютерной программе MATLAB. По программе SGIN. EXE нашли при различных G_{0i} уравнения регрессии, отражающие зависимости жесткости шин исследованных колес от давления воздуха в шине. Расчеты показали, что уравнения регрессии близки к квадратичным зависимостям: $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$ (обозначения: $y = c_{w_i}$, $x = p_{w_i}$). Корреляционные отношения для найденных уравнений регрессии – не менее 0,99. Это показывает, что найденные зависимости близки к функциональным.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 представлены графики, характеризующие зависимости жесткости c_{w2} колеса с шиной 16.9R38 от давления воздуха в шине, изменяющегося в интервале $p_{w2} \in [90-210]$ кПа при различных значениях вертикальных нагрузок G_{02} на ось колеса.

Расчетным путем выявили, что для исследованных эластичных колес жесткость при увеличении давления воздуха в шине $p_{w2} \in [90-210]$ кПа и при увеличении G_{02} возрастает. Так, получили, что у колеса с шиной 16.9R38 при $G_{02} = 13,58$ и возрастании давления воздуха в шине от 100 до 200 кПа жесткость возрастает в среднем на 47,88 % (от 288,21 до 426,22 кН/м).

Провели расчеты, представляющие собой опыты в трех сериях полного факторного компьютерного эксперимента типа $N = 2^2$, где $N -$

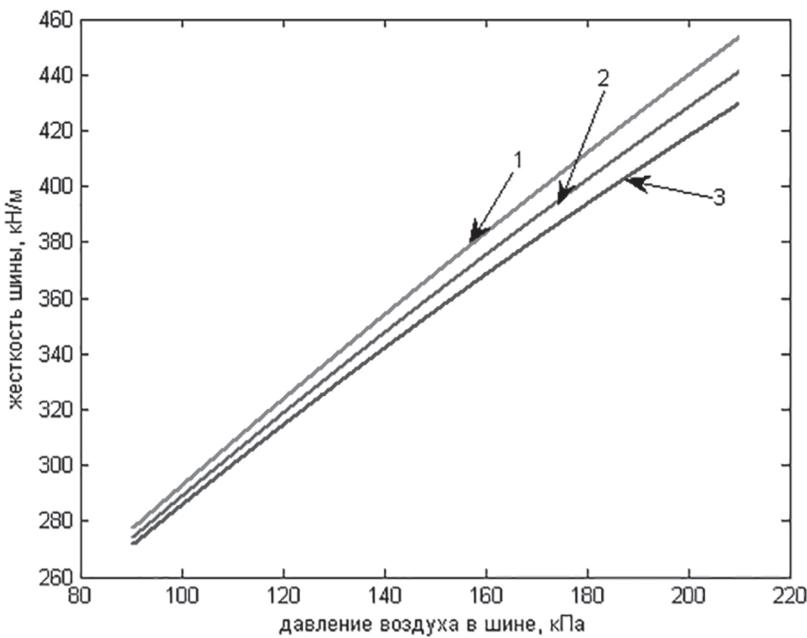


Рис. 1. Корреляционные зависимости жесткости эластичного колеса с шиной 16.9R38 от давления воздуха вшине при различных значениях вертикальных нагрузок на ось колеса:

1, 2, 3 – при $G_{02} = 20,03; 13,58; 11,65$ кН, соответственно

число опытов в серии; число 2, стоящее в основании степени выражения – число влияющих факторов, а показатель степени 2 – число уровней варьирования факторов [14].

В одной из серий полного факторного компьютерного эксперимента типа $N = 2^2$ исследовали влияние на жесткость эластичного колеса с шиной 15.5R38 давления воздуха вшине и вертикальной нагрузки на ось колеса при совместном изменении этих факторов. Для каждого влияющего фактора выбрали основной уровень и по два равно от него отстоящих – нижний и верхний, которые соответственно равны: для $G_{02} = 11,65$ и 19,73 кН, для $p_{w2} = 90$ и 180 кПа.

Уравнение регрессии находим в следующем виде:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_1 x_2, \quad (1)$$

где y – жесткость шины; x_1 – вертикальная нагрузка на ось колеса; x_2 – давление воздуха вшине.

В результате расчетов по компьютерной программе SGWIN. EXE для колеса с шиной 15.5R38 получили выраженное в натуральных значениях переменных следующее уравнение регрессии:

$$y = 170,269 - 0,4592x_1 + 0,4046x_2 + 0,0378x_1 x_2. \quad (2)$$

На рис. 2 представлена соответствующая уравнению (2) поверхность, характеризующая корреляционную зависимость жесткости эластичного колеса с шиной 15.5R38 от давления воздуха вшине и вертикальной нагрузки на ось колеса при совместном изменении этих влияющих факторов. Рис. 2 построен по компьютерной программе, составленной в MATLAB.

Полные факторные компьютерные эксперименты, как и однофакторные, показали, что для исследованных эластичных колес жесткость c_{wi} при увеличении давления воздуха вшинах $p_{wi} \in [90-210]$ кПа и при увеличении G_{0i} возрастает.

В таблице приведены найденные по компьютерной программе Tire Stiffness некоторые значения жесткости эластичного тракторного колеса с шиной 18.4R38 при различных значениях давления воздуха вшине и при двух различных вертикальных нагрузках на ось колеса. Результаты полного факторного эксперимента, представленные на рис. 2, находятся в соответствии со всеми полученными по программе Tire Stiffness результатами расчетов.

Одним из способов снижения потерь энергии при работе трактора является более точный подбор шин и выбор оптимальных режимов и условий эксплуатации трактора. Шины оптимальных типоразмеров к трактору данной марки обеспечивают при работе МТА с заданной ско-

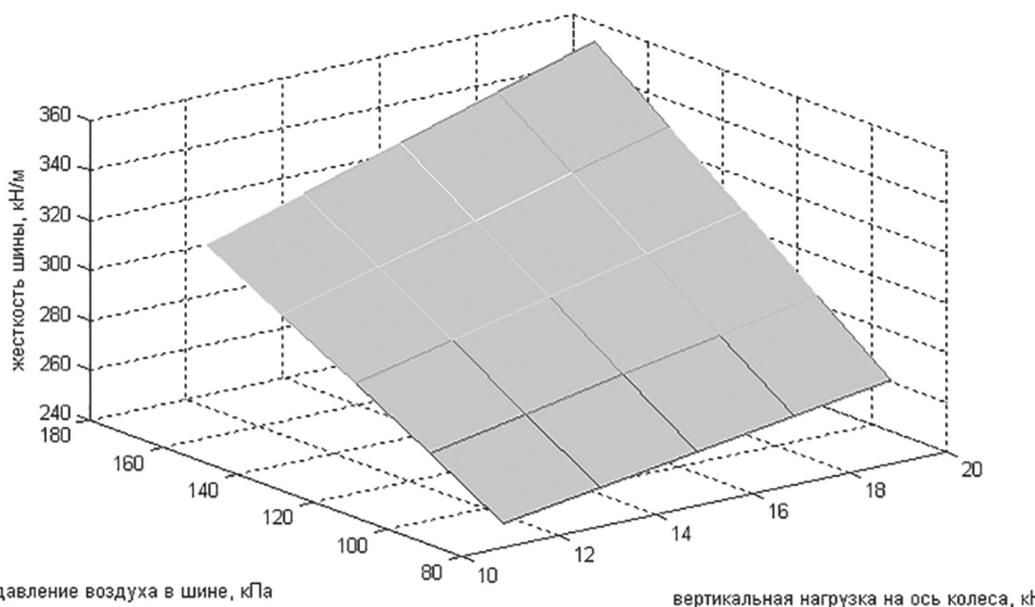


Рис. 2. Корреляционная зависимость жесткости колеса с шиной 15.5R38 от давления воздуха в шине и вертикальной нагрузки на ось колеса при совместном изменении этих факторов

Таблица

Жесткость эластичного колеса с шиной 18.4R38 при различных значениях давления воздуха в шине при различных вертикальных нагрузках на ось колеса

p_{w2} , кПа	$G_{02} = 11,65$ кН	$G_{02} = 20,56$ кН
	$c_{\text{ш2}}$, кН/м	$c_{\text{ш2}}$, кН/м
90	245,63	291,14
120	268,78	326,73
180	294,78	368,47
210	302,72	381,63

ростью наименьшее уплотнение почвы, наилучшие тяговые свойства, наибольшую плавность хода трактора. В настоящее время выбор шин оптимальных типоразмеров с учетом агротехнических требований к плотности почвы на различной глубине выполняют только по результатам экспериментов. Для рационального решения стоящих при выполнении технологических операций в сельскохозяйственном производстве вопросов важно располагать расчетными методами выбора шин оптимальных типоразмеров.

В данной работе провели компьютерные эксперименты, в которых нашли жесткость ряда эластичных колес с шинами различных типоразмеров в зависимости от давления воздуха в шинах p_{wi} при постоянной вертикальной нагрузке на оси колес $G_{0i} = 11,65$. Давление воздуха в шинах изменили в интервале $p_{wi} \in [90-210]$ кПа.

Жесткость $c_{\text{ши}}$ шин исследованных эластичных колес нашли по компьютерной программе Tire Stiffness. Уравнения регрессии $c_{\text{ши}}(p_{wi})$

для этих колес при $G_{0i} = 11,65$ кН получили по компьютерной программе SGWIN.EXE. Эти уравнения регрессии с большой степенью точности можно принять квадратичными. Так, для колеса с шиной 18.4R38 соответствующее уравнение регрессии имеет вид: $y = 153,281 + 1,2865x - 0,0027x^2$, а для колеса с шиной 11.2-42 имеем уравнение регрессии: $y = 89,9493 + 1,9863x - 0,004x^2$ (обозначения x и y в этих уравнениях те же, что и в уравнениях (1) и (2)). По программе, составленной в MATLAB, построили соответствующие найденным уравнениям регрессии графики.

На рис. 3 представлены графики, характеризующие корреляционные зависимости $c_{\text{ши}}(p_{wi})$ от давления воздуха в шинах при $G_{02} = 11,65$ для эластичных колес с шинами 18.4R38; 13.6R38; 15.5R38; 16.9R38; 11.2-42, соответственно. Как видно из рис. 3, наибольшей жесткостью из исследованных колес обладают колеса с шинами 18.4R38, а наименьшей – с шинами 11.2-42.

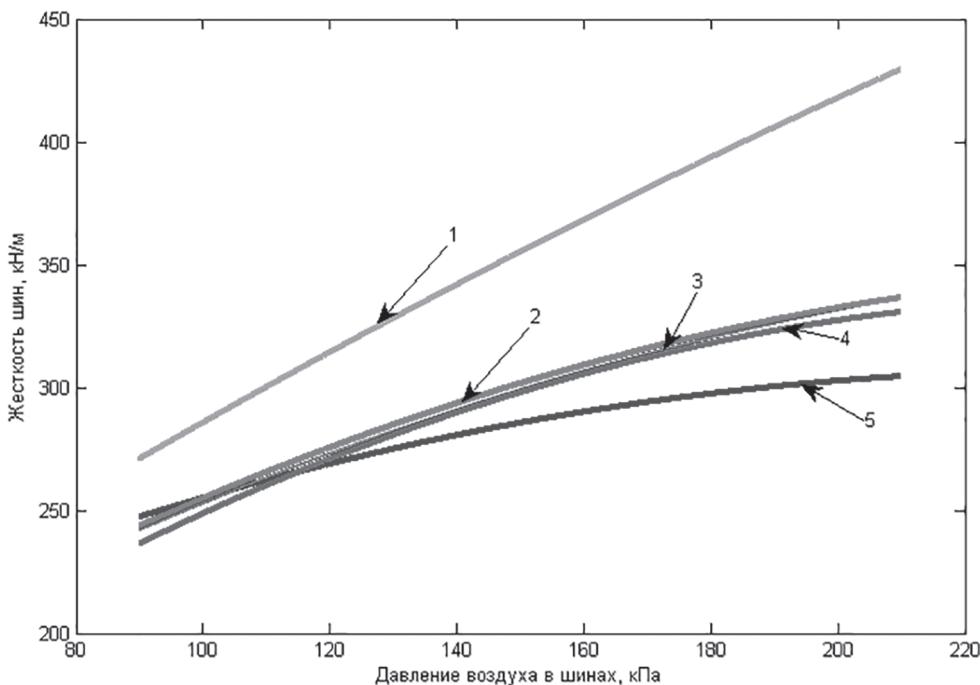


Рис. 3. Корреляционные зависимости жесткости шин различных типоразмеров эластичных колес от давления воздуха в шинах при постоянной вертикальной нагрузке $G_{02} = 11,65$ кН:
1, 2, 3, 4, 5 – для колес с шинами 18.4R38; 13.6R38; 15.5R38; 16.9R38; 11.2-42, соответственно

В данной работе расчетным путем выявили влияние жесткости тракторных колес с шинами 11.2R20 и 13.6R38 на вертикальные колебания трактора МТЗ-82 при его работе на дерново-подзолистой супесчаной почве.

Как и в работе [11], рассмотрели работу МТА, состоявшего из трактора МТЗ-82 и агрегатируемой им машины. У трактора МТЗ-82 подвеска полужесткая. При полужесткой подвеске задние колеса трактора не подпрессорены [1, 4]. Поверхность почвы приняли горизонтальной. Почва перед опытами была вспахана и дважды проронована на глубину 30 см. Ввели вертикальные оси координат x и y , проходящие через вертикальные диаметры переднего и заднего колес, расположенных на одной и той же стороне трактора. Начало каждой из осей расположили на поверхности почвы, рассматриваемой до прохода по ней трактора. Вертикальные отклонения от положения равновесия точек трактора при колебаниях его передней и задней осей равны соответственно x и y .

Приведенная жесткость упругого элемента передней подвески равна

$$C_{\text{пп}} = c_p c_{\text{ш1}} / (c_p + c_{\text{ш1}}), \quad (3)$$

где c_p – жесткость рессоры; $c_{\text{ш1}} = G_{01} / f_1$ – жесткость шины переднего колеса; G_{01} – вертикаль-

ная нагрузка на ось переднего колеса; f_1 – вертикальное перемещение его оси [1, 4].

Для определения колебаний x и y передней и задней осей трактора составили, воспользовавшись принципом Даламбера, систему двух дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m_1 x'' + c_{\text{пп}} x + c_{\text{ш2}} y = p_1 \sin \omega_1 t, \\ m_2 y'' + c_{\text{ш2}} y + c_{\text{пп}} x = p_2 \sin \omega_2 t, \end{cases} \quad (4)$$

где $c_{\text{ш2}} = G_{02} / f_2$ – жесткость шины заднего колеса; G_{02} – вертикальная нагрузка на ось заднего колеса; f_2 – вертикальное перемещение его оси; m_1 – подпрессоренные части массы трактора, приходящиеся соответственно на его переднюю и заднюю полуоси; p_i – амплитуды колебаний вертикальных реакций опорного основания (возмущающих сил); ω_i – круговые частоты колебаний возмущающих сил; t – время.

Вертикальные колебания передней и задней осей трактора получили как решение следующей задачи: найти частное решение системы дифференциальных уравнений (4), удовлетворяющее начальным условиям:

$$\begin{aligned} 1) & x|_{t=0} = -h_1; 2) & y|_{t=0} = -h_2; \\ 3) & x'|_{t=0} = 0; 4) & y'|_{t=0} = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

где h_1 и h_2 – остаточная осадка почвы соответственно под передним и задним колесами трак-

тора, найденная без учета влияния колебаний трактора.

Величины f_i , входящие в формулы для вычисления $c_{\text{ш}1}$ и $c_{\text{ш}2}$ находим по формуле из работы [2]:

$$f_i = \frac{c_{2i} G_{0i}}{2(p_{0i} + p_{wi})} + \sqrt{\left[\frac{c_{2i} G_{0i}}{2(p_{0i} p_{wi})} \right]^2 + c_{1i} G_{0i}}, \quad (6)$$

где p_{wi} , кПа – давление воздуха вшине; G_{0i} , кПа; c_{1i} , $\text{м}^2/\text{кН}$, c_{2i} , 1/м – коэффициенты, предложенные В.Л. Бидерманом [5], характеризующие упругие свойства эластичного колеса.

Общее решение системы уравнений (4) получено в работе [11], в которой задача о вертикальных колебаниях колесного трактора с упругой передней подвеской рассмотрена с нулевыми начальными условиями.

В результате решения задачи (4)–(5) получили формулы для расчета $x(t)$ и $y(t)$.

Общее решение системы (4) имеет вид:

$$\begin{cases} x(t) = -A_0 \sin nt + A_1 \sin \omega_1 t + A_2 \sin \omega_2 t - h_1; \\ y(t) = -B_0 \sin nt + B_1 \sin \omega_1 t + B_2 \sin \omega_2 t - h_2, \end{cases} \quad (7)$$

где $n = \sqrt{\frac{c_{\text{ш}2} m_1 + c_{\text{пп}} m_2}{m_1 m_2}}$ – угловая частота собственных колебаний; A_1, A_2, B_1, B_2 – амплитуды слагаемых гармоник. Коэффициенты A_1, A_2, B_1, B_2 находим в результате решения двух определенных систем линейных уравнений с неизвестными A_1, B_1 и A_2, B_2 (вторая система). Величины A_1, A_2, B_1, B_2 – коэффициенты, которые входят в частное решение системы дифференциальных уравнений (4). Зная эти коэффициенты, находим A_0 и B_0 , а затем решение уравнения (7), удовлетворяющее начальным условиям (5).

Нами проведены опыты на поле экспериментального хозяйства РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева [15]. Опыты описаны в работе [15]. В экспериментах осуществляли проходы по почве трактора МТЗ-82. Тяговую нагрузку на МТЗ-82 создавал сцепленный с ним трактор Т-25А, которым управлял второй тракторист. Для раздельной оценки уплотнения почвы передние колеса с шинами 11.2R20 и задние колеса с шинами 13.6R38 были расставлены на разную колею. Массы, приходящиеся на переднюю и заднюю полуоси, были соответственно равны: $m_1 = 707,1$ кг и $m_2 = 1137$ кг. Жесткость рессоры $c_p = 600$ кН/м [16].

Для нахождения вертикальных колебаний осей трактора и условий, позволяющих снизить эти колебания, важно разработать способ для выявления этих условий расчетным путем. Разработаны компьютерные программы позволяющие выполнить предложенный способ расчета.

С использованием полученных экспериментальных данных выполнили компьютерные расчеты вертикальных колебаний $x(t)$ и $y(t)$ осей трактора МТЗ-82 при различных значениях жесткости шин передних и задних колес. По разработанной нами компьютерной программе Shina вначале нашли (в соответствии с результатами, полученными в работе [7]) приведенные радиусы колес: $R_{\text{пп1}} = 0,5664$ м и $R_{\text{пп2}} = 0,9975$ м, а также остаточную осадку почвы $h_1 = 2,43$ см и $h_2 = 2,62$ см. Скорость трактора равнялась 2,5 м/с, буксование передних и задних колес соответственно равнялось $\delta_1 = -0,01$ и $\delta_2 = 0,18$; частоты угловых колебаний (угловые скорости) колес были соответственно равны $\omega_1 = 4,3701$ 1/с и $\omega_2 = 3,0564$ 1/с.

На рис. 4 и 5 представлены построенные по программе, составленной в MATLAB, графики, характеризующие вертикальные колебания осей трактора.

На рис. 4 приведены графики, характеризующие вертикальные колебания осей трактора при жесткости шин $c_{\text{ш}1} = 215,11$ кН/м и $c_{\text{ш}2} = 240,64$ кН/м. Построенные кривые описываются уравнениями:

$$\begin{cases} x(t) = -0,1546 \sin(0,6632t) + \\ + 0,0220 \sin(4,3701t) + 0,0021 \sin(3,0564t) - 2,43; \\ y(t) = -0,2580 \sin(0,6632t) + \\ + 0,0004 \sin(4,3701t) + 0,0555 \sin(3,0564t) - 2,62. \end{cases}$$

На рис. 5 даны графики, характеризующие вертикальные колебания осей трактора при жесткости шин $c_{\text{ш}1} = 315,58$ кН/м и $c_{\text{ш}2} = 335,56$ кН/м. Построенные кривые описываются уравнениями:

$$\begin{cases} x(t) = -0,1349 \sin(0,7668t) + \\ + 0,0213 \sin(4,3701t) + 0,0030 \sin(3,0564t) - 2,43; \\ y(t) = -0,2196 \sin(0,7668t) + \\ + 0,0002 \sin(4,3701t) + 0,0553 \sin(3,0564t) - 2,62. \end{cases}$$

Построенные по результатам расчетов рис. 4 и 5, а также результаты других выполненных расчетов показывают, что при уве-

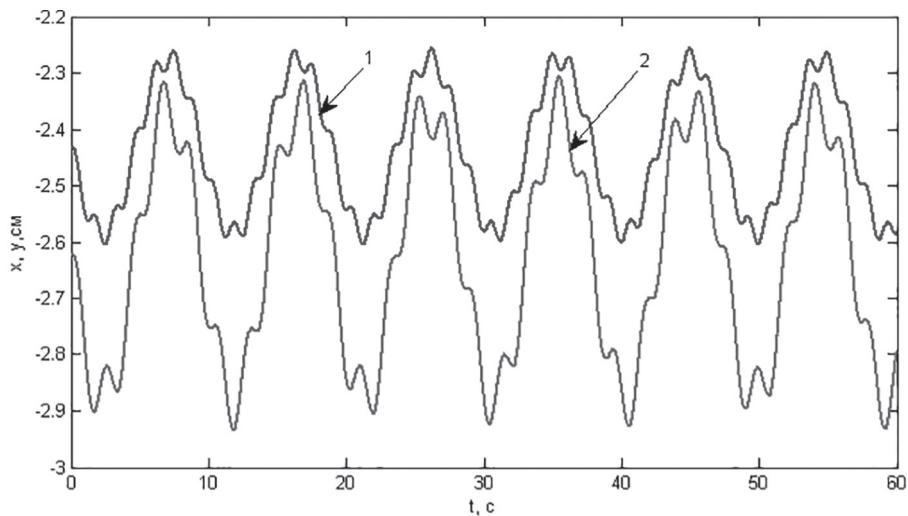


Рис. 4. Вертикальные колебания передней (1) и задней (2) осей трактора МТЗ-82 при его проходе по почве (жесткость шин: $c_{w1} = 215,11$ кН/м (передние колеса с шинами 11.2R20); $c_{w2} = 240,64$ кН/м (задние колеса с шинами 13.6R38); давление воздуха в шинах $p_{wi} = 90$ кПа)

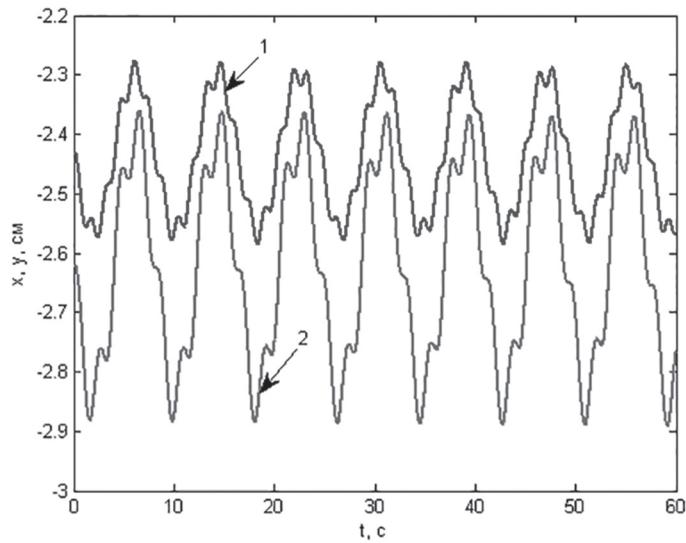


Рис. 5. Вертикальные колебания передней (1) и задней (2) осей трактора МТЗ-82 при его проходе по почве (жесткость шин: $c_{w1} = 315,58$ кН/м (передние колеса с шинами 11.2R20); $c_{w2} = 335,86$ кН/м (задние колеса с шинами 13.6R38); давление воздуха в шинах $p_{wi} = 210$ кПа)

личении жесткости шин колес амплитуды колебаний осей трактора уменьшаются. Это способствует повышению плавности хода трактора и снижению его уплотняющего воздействия на почву.

Выполненные расчеты показали, что значения жесткости эластичных колес, найденные при определенных G_{0i} и p_{wi} , а также конструкционные параметры колеса с пневматической шиной оказывают существенное влияние на уплотнение почвы при проходе этого колеса. Получили, что наименьшее уплотнение почвы при проходе трактора МТЗ-82 возникает, если на задней оси этого трактора установлены

колеса с шинами 18.4R38. Наибольшее уплотнение почвы возникает при проходе трактора МТЗ-82, если на задней оси этого трактора установлены колеса с шинами 11.2-42. Эти результаты соответствуют экспериментальным и расчетным данным, приведенным в работах [7, 11, 15]. Расхождения находятся в пределах измерения экспериментальных данных.

Выводы

Для рационального выбора шин к тракторам различных марок необходимо разработать и широко применять на практике методы расчета показателей, характеризующих законо-

мерности деформирования шин эластичных тракторных колес.

Математическое моделирование закономерностей деформирования эластичных тракторных колес выполнено на основе использования полученных нами экспериментальных данных. Эти данные найдены в полевых испытаниях, в которых осуществляли проходы тракторов по почве. В опытах измеряли нормальные напряжения в месте контакта колес и почвы, а также плотность и влажность разрыхленной до проходов колес почвы и после последовательных проходов колес по одной и той же колее.

Проведены однофакторные и полные факторные компьютерные эксперименты. По результатам этих экспериментов нашли корреляционные зависимости жесткости шин исследованных эластичных колес от давления воздуха в шинах при различных вертикальных нагрузках на оси колес.

Компьютерные эксперименты выполнены по предложенному автором методу расчета исследуемых показателей с помощью разработанных автором программ, позволяющих реализовать этот метод.

В компьютерных экспериментах выявили влияние основных факторов (давления воздуха в шинах p_{wi} , вертикальной динамической нагрузки на оси колес G_{0i}) на жесткость шин $c_{\text{ши}}$ исследованных в данной работе эластичных колес.

Нашли корреляционные зависимости жесткости исследованных эластичных колес от p_{wi} и от G_{0i} .

Провели исследование влияния жесткости шин на колебания тракторов при их работе на почве.

Расчетным путем выявили, что при увеличении давления воздуха вшине p_{wi} и вертикальной нагрузки на ось колеса G_{0i} жесткость шин 11.2R20, 16.9R38, 15.5R38, 16-20, 11.2-42 и других исследованных в данной работе шин эластичных колес возрастает.

Провели сопоставление жесткости шин различных типоразмеров при различных значениях и одной и той же вертикальной нагрузки на ось колеса. Выявили, что при этих условиях наибольшей жесткостью обладают шины 18.4R38, а наименьшей – шины 11.2-42.

Расчетным путем выявили влияние жесткости шин тракторных колес на колебания тракторов. Результаты расчетов показывают, что при увеличении жесткости шин колес ампли-

туды вертикальных колебаний осей тракторов уменьшаются. Это способствует повышению плавности хода трактора и снижению его уплотняющего воздействия на почву.

Нужно комплектовать трактор колесами с шинами оптимальных типоразмеров, имеющими оптимальную жесткость. Для выбора шин оптимальных типоразмеров при соответствующих значениях влияющих факторов важно применять на практике расчетный метод нахождения жесткости шин эластичных колес.

Необходимы дальнейшие исследования по разработке методов расчета жесткости шин различных типоразмеров.

Литература

- Тракторы. Теория / под ред. В.В. Гуськова. М.: Машиностроение, 1988. 376 с.
- Ксеневич И.П., Скотников В.А., Ляско М.И. Ходовая система-почва-урожай. М.: Агропромиздат, 1985. 304 с.
- Скотников В.А., Пономарев А.В., Климанов А.В. Проходимость машин. Минск: Наука и техника, 1982. 28 с.
- Кутыков Г.М. Тракторы и автомобили: Теория и технологические свойства. М.: Инфра-М. 2014. 506 с.
- Бидерман В.Л., Гуслицер Р.Л., Захаров С.В. и др. Автомобильные шины (конструкция, расчет, испытания, эксплуатация). М.: Госхимиздат. 1963. 384 с.
- Кнороз В.И., Кленников В.И. Шины и колеса. М.: Машиностроение. 1975. 184 с.
- Золотаревская Д.И. Основы теории и методы расчета уплотняющего воздействия на почву колесных движителей мобильной сельскохозяйственной техники: дис. ... докт. техн. наук. М.: 1997. 432 с.
- Золотаревская Д.И. Характеристики вязкоупругих и упругих свойств эластичных колес // Изв. ТСХА. 1989. Вып. 2. С. 142–151.
- Хабатов Р.Ш., Золотаревская Д.И., Матвеев В.В., Трушин В.Г., Трушин А.Г. Лядин В.П. Закономерности деформирования тракторных колес с пневматическими шинами // Изв. ТСХА. 1987. Вып. 3. С. 173–180.
- Золотаревская Д.И. Математические модели деформирования эластичных колес // Техника в сельском хозяйстве. 1989. № 1. С. 45–49.
- Золотаревская Д.И. Математическое моделирование колебаний колесного трактора // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 7. С. 14–18.
- Золотаревская Д.И. Математическое моделирование колебаний колесного трактора с амортизацией

- торами на передней подвеске // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 1. С. 6–9.
13. Золотаревская Д.И. Анализ влияния основных факторов на характеристики упругих свойств эластичных колес тракторов // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 4. С. 71–78.
 14. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 280 с.
 15. Золотаревская Д.И., Иванцова Н.Н., Лядин В.П. Математическое моделирование деформирования почв при качении колес // Тракторы и сельскохозмашины. 2008. № 5. С. 28–33.
 16. Барский И.Б. Конструирование и расчет тракторов. М.: Машиностроение. 1980. 335 с.

References

1. Traktory. Teoriya [Tractors. Theory]. Pod red. V.V. Gus'kova. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1988. 376 p.
2. Ksenevich I.P., Skotnikov V.A., Lyasko M.I. Hodovaya sistema-pochva-urozhaj [Suspension-soil-harvest]. Mos-cow: Agropromizdat Publ., 1985. 304 p.
3. Skotnikov V.A., Ponomarev A.V., Klimanov A.V. Prohodimost' mashin [Flotation of vehicle]. Minsk: Nauka i tekhnika Publ., 1982. 28 p.
4. Kut'kov G.M. Traktory i avtomobili: Teoriya i tekhnologicheskie svojstva [Tractors and automobiles: Theory and technological properties]. Moscow: Infra-M Publ.. 2014. 506 p.
5. Biderman V.L., Guslicer R.L., Zaharov S.V. i dr. Avtomobil'nye shiny (konstrukciya, raschet, ispytaniya, eksplu-ataciya) [Automobile tires (design, calculation, testing, operation)]. Moscow: Goskhimizdat Publ.. 1963. 384 p.
6. Knoroz V.I., Klennikov V.I. SHiny i kolesa [Tires and wheels]. Moscow: Mashinostroenie Publ.. 1975. 184 p.
7. Zolotarevskaya D.I. Osnovy teorii i metody rascheta uplotnyayushchego vozdejstviya na pochvu kolesnyh dvizhitelej mobil'noj sel'skohozyajstvennoj tekhniki: dis... dokt. tekhn. nauk [Fundamentals of the theory and methods for calculating the compaction effect on the soil of wheeled propellers of mobile agricultural equipment: Dissertation for degree of Dr.Eng.]. Moscow: 1997. 432 p.
8. Zolotarevskaya D.I. Viscoelastic and elastic characteristics of elastic wheels. Izv. TSKHA. 1989. Vyp. 2, pp. 142–151 (in Russ.).
9. Habatov R.SH., Zolotarevskaya D.I., Matveev V.V., Trushin V.G., Trushin A.G., Lyadin V.P. Patterns of deformation of tractor wheels with pneumatic tires. Izv. TSKHA. 1987. Vyp. 3, pp. 173–180 (in Russ.).
10. Zolotarevskaya D.I. Mathematical models of deformation of elastic wheels. Tekhnika v sel'skom hozyajstve. 1989. No 1, pp. 45–49 (in Russ.).
11. Zolotarevskaya D.I. Mathematical modeling of wheel tractor vibrations. Traktory i sel'hozmashiny. 2011. No 7, pp. 14–18 (in Russ.).
12. Zolotarevskaya D.I. Mathematical modeling of wheel tractor vibrations with shock absorbers on the front suspen-sion. Traktory i sel'hozmashiny. 2014. No 1, pp. 6–9 (in Russ.).
13. Zolotarevskaya D.I. Analysis of the influence of the main factors on the characteristics of the elastic properties of the elastic wheels of tractors. Traktory i sel'hozmashiny. 2018. No 4, pp. 71–78 (in Russ.).
14. Adler YU.P., Markova E.V., Granovskij YU.V. Planirovanie eksperimenta pri po iske optimal'nyh uslovij [Planning an experiment when searching for optimal conditions]. Moscow: Nauka Publ., 1976. 280 p.
15. Zolotarevskaya D.I., Ivancova N.N., Lyadin V.P. Mathematical modeling of soil deformation during rolling of wheels. Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny. 2008. No 5, pp. 28–33 (in Russ.).
16. Barskij I.B. Konstruirovanie i raschet traktorov [Design and calculation of tractors]. Moscow: Mashinostroenie Publ. 1980. 335 p.

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

ALGORITHM FOR MANAGING THE OPERATION MODES OF A MACHIN AND TRACTOR UNIT

С.В. КАЛАЧИН, д.т.н.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет имени
Н.П. Огарева», Саранск, Россия, s.v.kalachin@mail.ru

S.V. KALACHIN, DSc in Engineering

N.P.Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia,
s.v.kalachin@mail.ru

На современном этапе развития сельскохозяйственного производства на смену существующей сельскохозяйственной технике приходит новая, основанная на роботизации технологических процессов с элементами автономных систем принятия решений. Основу работы таких систем составляют алгоритмы управления, базирующиеся на технологиях построения математических моделей объекта управления с учетом закономерностей его функционирования. Целью представленного в статье исследования является разработка эффективного алгоритма управления режимами работы машинно-тракторного агрегата, основанного на высокопроизводительном методе эксплуатационного контроля. Решение поставленной задачи проведено на основе методов математического моделирования и программирования на языке Python. Контроль интенсивности изменения эксплуатационного параметра является самым высокоеффективным среди известных методов эксплуатационного контроля и его практическая реализация позволяет управлять режимами работы машинно-тракторного агрегата с прогнозированием (предвидением) по времени за счет выполнения упреждающих управляющих воздействий. Кроме того, алгоритм управления режимами работы машинно-тракторного агрегата на основе данного метода по временной сложности является наиболее предпочтительным по сравнению с аналогичными известными алгоритмами управления.

Ключевые слова: роботизация, цифровое земледелие, машинно-тракторный агрегат, алгоритм управления, эксплуатационный контроль, времененная сложность.

At the present stage of development of agricultural production to replace the existing agricultural machinery comes new, based on robotization technological processes with elements of autonomous decision-making systems. The basis of which are the control algorithms, based on the technology of constructing mathematical models of the control object, taking into account its laws of functioning. The aim of the research presented in the article is to develop an efficient algorithm for controlling the operating modes of the machine and tractor unit based on the high-performance method of exploitative control. The solution of the problem is based on the methods of mathematical modeling and programming in the Python language. Control of the intensity of change in the operational parameter is the most highly effective among the known methods of exploitative control. The practical implementation of whom allows you to manage operation modes of the machine and tractor unit with prediction over time due to the implementation of preemptive control actions. In addition, the algorithm for controlling the modes of operation of the machine and tractor unit on the basis of this method, by time complexity, is the most preferable in comparison with similar known control algorithms.

Keywords: robotization, digital farming, machine and tractor unit, control algorithm, exploitative control, time complexity.

Введение

На современном этапе развития сельскохозяйственного производства на смену существующей сельскохозяйственной технике, где уже, начиная с 2010 года, в качестве стандартного оборудования применяются разнообразные бортовые системы контроля и управления, приходит новая, основанная на роботизации технологических процессов с элементами автономных систем принятия решений. Основу работы таких систем составляют алгоритмы обработки данных (алгоритмы управления), базирующиеся на технологиях построения математических моделей объекта управления с учетом его системных связей, структурных особенностей и закономерностей функционирования [1–7].

Основой алгоритмов управления режимами работы машинно-тракторного агрегата (МТА) являются методы контроля эксплуатационных параметров. Согласно проведенным нами исследованиям, развитие методов эксплуатационного контроля на различных этапах формирования сельскохозяйственного производства, на наш взгляд, можно распределить на несколько направлений (табл.).

Анализ представленных материалов показывает, что для решения задач следующего этапа развития сельскохозяйственного производства (Сельское хозяйство 4.0 – «Цифровое земледелие» [8]), могут быть использованы алгоритмы, основанные на контроле текущих значений и интенсивности изменения эксплуатационного параметра.

Соответственно возникает вопрос: какой из вышеперечисленных методов эксплуатационного контроля необходимо использовать для разработки алгоритма управления режимами работы МТА и как он влияет на производительность роботизированной системы управления?

Формирование методов эксплуатационного контроля режимов работы МТА

Методы эксплуатационного контроля	Этап развития сельскохозяйственного производства
Субъективный контроль – на слух, по дымности выхлопа и т.д.	Сельское хозяйство 1.0 – Трудоемкая система сельского хозяйства с низкой производительностью [8]
Допусковый контроль – по среднему значению контролируемого параметра	Сельское хозяйство 2.0 – «Зеленая революция» [8]
Допусковый контроль текущего значения контролируемого параметра	Сельское хозяйство 3.0 – «Точное земледелие» [8]
Допусковый и измерительный контроль интенсивности изменения контролируемого параметра	Сельское хозяйство 3.0 – «Точное земледелие» [8]

Цель исследования

Целью представленного в статье исследования является разработка эффективного алгоритма управления режимами работы МТА, основанного на высокопроизводительном методе эксплуатационного контроля.

Методы исследования

Согласно проведенным нами исследованиям [9], установлено, что контроль интенсивности изменения эксплуатационного параметра является самым высокоэффективным среди известных методов эксплуатационного контроля. Его практическая реализация позволяет:

- управлять режимами работы МТА с предвидением (прогнозированием) по времени за счет осуществления упреждающих управляющих воздействий (рис. 1);
- устранить возникновение ошибочных изменений режимов работы МТА;
- снизить суммарное время, требуемое для принятия решения по управлению МТА;
- устраниТЬ необоснованные и скрытые простоты МТА;
- приблизить эффективность деятельности человека-оператора к эффективности работы технических звеньев в процессе управления МТА.

Расход топлива является наиболее подходящим контролируемым параметром, отражающим режимы работы МТА, для осуществления эксплуатационного контроля с предвидением по времени. На рис. 2 представлена общая структурная схема алгоритма управления режимами работы МТА.

В блоках 1–3 представленного на рис. 2 алгоритма управления осуществляется определение текущих значений G_{mi} , измерение суммарного значения ΣG_m и определение интенсивности изменения G_{mui} расхода топлива.

Таблица

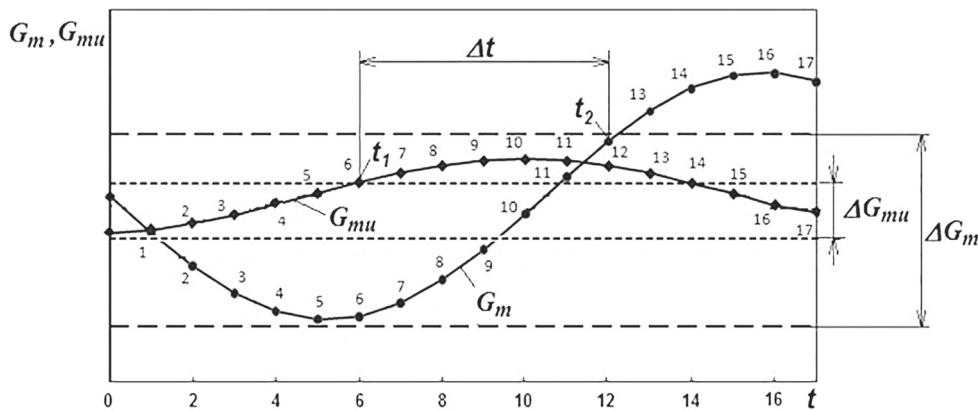


Рис. 1. Схема методов контроля режимов работы МТА:

t_1 – выход значений интенсивности изменения расхода топлива G_{mu} за границу установленного допуска ΔG_{mu} (научно-обоснованного предельного отклонения от номинального значения);
 t_2 – выход текущих значений расхода топлива G_m за границу установленного допуска ΔG_{mu} ;
 $\Delta t = t_2 - t_1$ – резерв времени для ожидающего изменения режима работы МТА

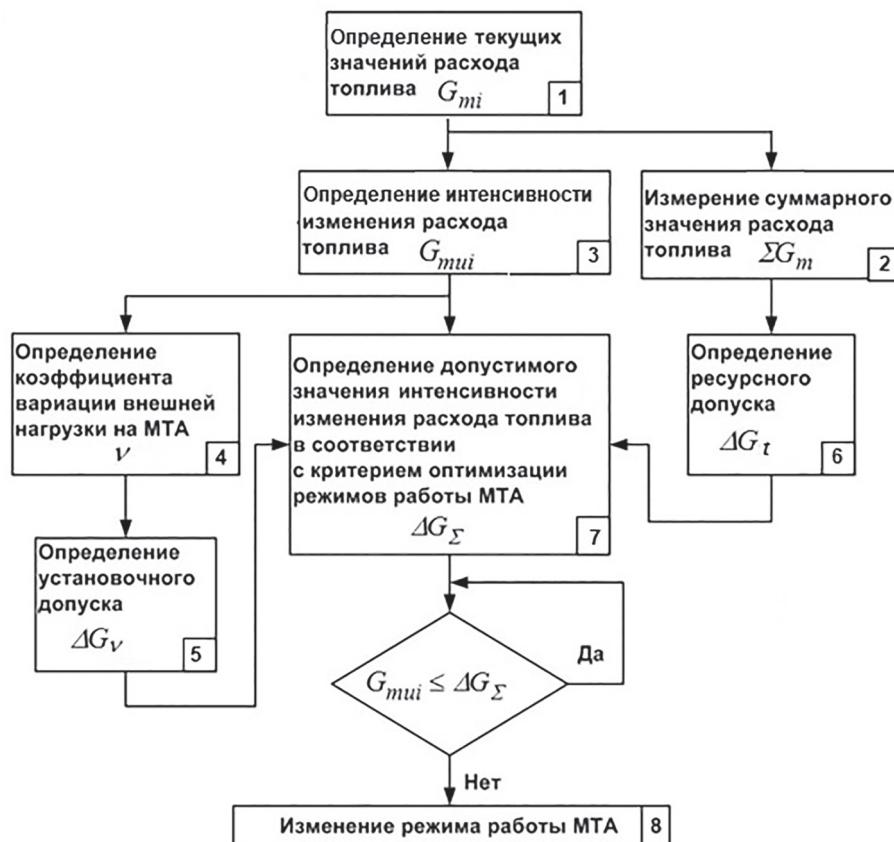


Рис. 2. Структурная схема алгоритма управления режимами работы МТА

Текущие значения расхода топлива двигателя определяются на основе математической модели прогнозирования [10]:

$$G_{m1}(M_\Sigma) = A_{\Sigma g1} + B_{\Sigma g1} M_\Sigma + [W(p)_{Gm} + C_{\Sigma g1}] M_\Sigma^2 \quad \text{при } M_\Sigma < M_h;$$

$$G_{m2}(M_\Sigma) = A_{\Sigma g2} + B_{\Sigma g2} M_\Sigma + [W(p)_{Gm} + C_{\Sigma g2}] M_\Sigma^2 \quad M_\Sigma \geq M_h, \quad (1)$$

где M_Σ – входное суммарное воздействие, приведенное к коленчатому валу двигателя; M_h – номинальный крутящий момент двигателя; $W(p)_{Gm}$ – параметр, характеризующий неустановившийся режим работы МТА; $A_{\Sigma g1}$, $A_{\Sigma g2}$, $B_{\Sigma g1}$, $B_{\Sigma g2}$, $C_{\Sigma g1}$, $C_{\Sigma g2}$ – коэффициенты характеристики двигателя $G_m(M_\Sigma)$ соответственно на регуляторном $G_{m1}(M_\Sigma)$ и корректорном $G_{m2}(M_\Sigma)$ участках.

Интенсивность изменения расхода топлива определяется путем дифференцирования текущих значений, полученных на основе выражения (1).

Кроме того, интенсивность изменения расхода топлива $G_{mu}(M_\Sigma)$ соответственно для регуляторного $G_{mu1}(M_\Sigma)$ и корректорного $G_{mu2}(M_\Sigma)$ режимов работы двигателя можно определить на основе математической модели, разработанной нами по результатам научных исследований [10]:

$$G_{mu1}(M_\Sigma) = A_{\Sigma gu1} + B_{\Sigma gu1} M_\Sigma$$

при $M_\Sigma < M_h$;

$$G_{mu2}(M_\Sigma) = A_{\Sigma gu2} + B_{\Sigma gu2} M_\Sigma$$

при $M_\Sigma \geq M_h$, (2)

где $A_{\Sigma gu1} = B_{\Sigma g1}$; $A_{\Sigma gu2} = B_{\Sigma g2}$; $B_{\Sigma gu1} = 2[W(p)_{Gm} + C_{g1}]$; $B_{\Sigma gu2} = 2[W(p)_{Gm} + C_{g2}]$.

Выражения (1) и (2) представляют собой основу для разработки алгоритмов управления режимами работы МТА.

В блоке 4 (рис. 2) определяется текущее значение коэффициента вариации v внешней нагрузки.

В блоке 5 (рис. 2) определяется установочный допуск ΔG_v на величину которого постоянно в соответствии с условиями эксплуатации МТА корректируется нижняя граница допуска ΔG_Σ . Количественное значение ΔG_v определяется из выражения:

$$\begin{aligned} \Delta G_v = & G_{mh} - [W(p)_{Gm}(\bar{M}_\Sigma^2 + \sigma_\Sigma^2)] - 0,5[A_{\Sigma g1} + \\ & + A_{\Sigma g2} + \bar{M}_\Sigma(B_{\Sigma g1} + B_{\Sigma g2})] + (\pi)^{-1}[A_{\Sigma g1} - A_{\Sigma g2} + \\ & + \bar{M}_\Sigma(B_{\Sigma g1} - B_{\Sigma g2}) + \bar{M}_\Sigma^2(C_{\Sigma g1} - C_{\Sigma g2})] \times \\ & \times \arcsin[(M_h - \bar{M}_\Sigma)/A_\Sigma] - (\pi)^{-1}[B_{\Sigma g1} - B_{\Sigma g2} + \\ & + \bar{M}_\Sigma(C_{\Sigma g1} - C_{\Sigma g2})]\sqrt{A_\Sigma^2 - (M_h - \bar{M}_\Sigma)^2}, \end{aligned} \quad (3)$$

где A_Σ , \bar{M}_Σ , σ_Σ – амплитуда колебаний, среднее значение и среднее квадратическое отклонение M_Σ ; G_{mh} – расход топлива на номинальном режиме работы двигателя.

В блоке 6 (рис. 2) определяется значение ресурсного допуска ΔG_t , на величину которого корректируется верхняя граница допуска ΔG_Σ . Количественное значение ΔG_t определяется по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta G_t = & G_{mh} - [W(p)_{Gm}\bar{T}] + 0,5(A_{gt} + B_{gt}\bar{T}) - \\ & - (A_{gt} + B_{gt}\bar{T})\Phi(T) + B_{gt}\sigma_t\Phi(T), \end{aligned} \quad (4)$$

где T – наработка МТА; \bar{T} , σ_t – среднее значение и среднее квадратическое отклонение наработки; $\Phi(T)$, $\varphi(T)$ – функция и плотность распределения наработки для закона Гаусса [11]; A_{gt} , B_{gt} – коэффициенты функциональной зависимости расхода топлива в функции наработки.

В блоке 7 (рис. 2) устанавливается допустимое значение для интенсивности изменения расхода топлива ΔG_Σ . Сравниваются значения G_{mu} с границами допуска ΔG_Σ . Изменение режима работы МТА выполняется, если текущее значение G_{mu} выходит за пределы допуска ΔG_Σ (блок 8).

Анализ результатов

Оценка алгоритмов может быть проведена по различным критериям, но чаще всего интересует временная сложность, то есть порядок роста временных затрат на их выполнение [12]. Поэтому далее проведем сравнительный анализ вышеописанных алгоритмов управления режимами работы МТА, основанных на выражениях (1) и (2), по их временной сложности. Для этого разработаны программы на языке программирования Python с использованием модуля *timeit* [13–15], пример кода и результат выполнения которых представлен на Листинг_1 и Листинг_2 (рис. 3). Вычислительный эксперимент для рассматриваемых алгоритмов управления рассматривается на примере математических моделей (1) и (2) для регуляторного участка характеристики двигателя СМД-62 трактора Т-150К вблизи номинальной загрузки.

Анализ представленных результатов (Листинг_1) показывает, что порядок роста временных затрат при определении интенсивности изменения расхода топлива на основе выражения (1) будет на 12,4 % выше, чем при определении текущих значений расхода топлива. Операции дифференцирования и умножения, наряду с операцией возведения в степень, одни из самых медленных в электронно-вычислительных машинах (ЭВМ). Поэтому, с позиции временной сложности, представленный алгоритм на основе выражения (1) является неудачным.

Алгоритм на основе математической модели (2) (Листинг_2) позволяет освободиться от операций возведения в степень и дифференцирования, что, согласно представленным результатам, позволяет снизить временные

```
# Листинг_1. Алгоритм управления – математическая модель (1)
from timeit import default_timer as timer
start1= timer()
a=[round((0.219+0.0000054*i+0.000028*i**2),2) for i in range(500,550,1)] # Определение
# текущих значений расхода топлива
end1=timer()
b=[a[i]-a[i-1] for i in range(len(a))] # Определение интенсивности изменения
# расхода топлива
end2 = timer()
print("Time1:", round(end1-start1,7))
print("Time2:", round(end2-start1,7))

>>>Time1: 0.0002053 # Время(с) определения текущих значений расхода топлива
>>>Time2: 0.0002343 # Время(с) определения интенсивности изменения расхода топлива

# Листинг_2. Алгоритм управления – математическая модель (2)
from timeit import default_timer as timer
start1= timer()
b=[round((0.0000054+0.000056*i),2) for i in range(500,550,1)] # Определение
# интенсивности изменения расхода топлива
end1=timer()
print("Time:", round(end1-start1,7))

>>>Time: 0.0001397 # Время(с) определения интенсивности изменения расхода топлива
```

Рис. 3. Измерение времени выполнения программного кода

затраты при определении интенсивности изменения значений расхода топлива на 40,4 %, по сравнению с алгоритмом Листинг_1. Кроме того, структурная схема алгоритма управления режимами работы МТА, представленная на рис. 2, может быть сокращена на один (первый) блок, так как операция определения текущих значений расхода топлива не предусмотрена для алгоритма, основанного на определении интенсивности изменения эксплуатационного параметра (Листинг_2).

Выводы

1. Контроль интенсивности изменения эксплуатационного параметра является самым высокоэффективным среди известных методов эксплуатационного контроля. Практическая реализация такого контроля позволяет управлять режимами работы машинно-тракторного агрегата с прогнозированием (предвидением) по времени за счет выполнения упреждающих управляющих воздействий.

2. Применение математической модели прогнозирования изменения интенсивности текущих значений расхода топлива позволяет сократить количество медленных вычислительных операций и оптимизировать структурную схему алгоритма управления режимами работы МТА. Это позволяет снизить временные затраты на выполнение алгоритма на 40,4 %, по сравнению с известными аналогами.

3. Разработанный алгоритм управления (на основе контроля интенсивности изменения эксплуатационного параметра) по временной сложности является наиболее эффективным по сравнению с аналогичными известными решениями и поэтому наиболее предпочтительным при разработке роботизированных систем управления режимами работы МТА.

Литература

- Сычев В.Г., Афанасьев Р.А., Годжаев З.А., Гришин А.П., Гришин А.А. Робототехника и агрохимическое обеспечение растениеводства // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 9. С. 40–43.
- Грязнов Н.А., Лопота А.В., Соснов Е.Н. Современные тенденции развития робототехники // Робототехника и техническая кибернетика. № 2 (15). Санкт-Петербург: ЦНИИ РТК. 2017. С. 4–11.
- Афанасьев Р.А., Ермолов И.Л. Перспективные направления роботизации точного земледелия // Робототехника и техническая кибернетика. № 1 (14). Санкт-Петербург: ЦНИИ РТК. 2017. С. 27–32.
- Очиров Н.Г., Эвiev В.А., Беляева Б.И., Хулхачисва С.Д. Алгоритм расчета математической модели эксплуатационных показателей МТА в среде MAPLE // Вестник аграрной науки Дона. 2017. Т. 3. № 39. С. 55–63.
- Jabborov N.I., Eevie V.A., Belyaeva B.I., Ochirov N.G. Estimation of operation efficiency of

- machin-tractor units equipped with constant power engines // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 2015. Vol. 6. № 1. P. 1793–1802.
6. Vieira A.W., Drews P., Campos M. Efficient change detection in 3d environment for autonomous surveillance robots based on implicit volume // The 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation, (ICRA'12), 2012. P. 2999–3004.
 7. Drews-Jr P., Rocha R., Campos M., Dias J. Fast and adaptive 3D change detection algorithm for autonomous robots based on Gaussian mixture Models // In International Conference on Robotic and Automation, ICRA, 2013. P. 4670–4675.
 8. Беленков А.И. Цифровое земледелие // Нивы России. 2017. № 10. С. 52–58.
 9. Калачин С.В. Контроль эффективности функционирования машинно-тракторного агрегата. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2009. 144 с.
 10. Калачин С.В. Оптимизация режимов работы машинно-тракторного агрегата на основе непрерывного контроля интенсивности изменения его эксплуатационных параметров: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Саранск, 2011. 34 с.
 11. Калачин С.В. Прогнозирование эксплуатационных параметров МТА с учетом его технического состояния // Тракторы и сельскохозмашини. 2008. № 7. С. 30.
 12. Стивенс Р. Алгоритмы: Теория и практическое применение. М.: Изд-во «Э», 2016. 544 с.
 13. Калачин С.В. Повышение производительности роботизированных систем управления мобильных сельскохозяйственных агрегатов // Нива Поволжья. 2018. № 2 (47). С. 118–122.
 14. Lutz M. Learning Python 5th Edition, O'Reilly Media. Inc, 2013. 1600 p.
 15. Lutz M. Programming Python 4th Edition, O'Reilly Media. Inc, 2014. 1628 p.
- ## References
1. Sychev V.G., Afanas'ev R.A., Godzhaev Z.A., Grishin A.P., Grishin A.A. Robotics technology and agrochemical support of plant cultivation. Tractors and farm machinery. 2016. No 9, pp. 40–43 (in Russ.).
 2. Gryaznov N. A., Lopota A. V., Sosnov E. N. Modern trends in the development of robotics. Robotics and technical cybernetics. № 2 (15). St. Petersburg. 2017, pp. 4–11 (in Russ.).
 3. Afanasiev R.A., Ermolov I.L. Perspective directions of robotization of precision farming. Robotics and technical cybernetics. № 1 (14). St. Petersburg. 2017, pp. 27–32 (in Russ.).
 4. Ochirov N.G., Eviev V.A., Belyaeva B.I., Khulkhachieva S. D. Algorithm for calculating the mathematical model of operational parameters of MTA in MAPLE software. Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2017. Vol. 3. № 39, pp. 55–63 (in Russ.).
 5. Jabborov N.I., Eviev V.A., Belyaeva B.I., Ochirov N.G. Estimation of operation efficiency of machin-tractor units equipped with constant power engines // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 2015. Vol. 6. № 1, pp. 1793–1802.
 6. Vieira A.W., Drews P., Campos M. Efficient change detection in 3d environment for autonomous surveillance robots based on implicit volume // The 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation, (ICRA № 12), 2012, pp. 2999–3004.
 7. Drews-Jr P., Rocha R., Campos M., Dias J. Fast and adaptive 3D change detection algorithm for autonomous robots based on Gaussian mixture Models // In International Conference on Robotic and Automation, ICRA, 2013, pp. 4670–4675.
 8. Belenkov A.I. Digital Farming. Niva of Russia. 2017. № 10, pp. 52–58 (in Russ.).
 9. Kalachin S.V. Performance monitoring of functioning of the machine and tractor unit [Performance monitoring of operation of the machine and tractor unit]. Saransk: Publishing house of the Mordovian university, 2009. 144 p.
 10. Kalachin S.V. Optimization of operating modes of the machine and tractor units on the basis of continuous monitoring of changes in the intensity of its operating parameters: Abstract. Dis. ... Dr. Technical Science [Optimization of operating modes of the machine and tractor units on the basis of continuous monitoring of changes in the intensity of its operating parameters: Abstract for Dissertation for Degree of Dr.Eng.]. Saransk, 2011. 34 p.
 11. Kalachin S.V. Forecasting of the machine and tractor unit operational parameters taking into account its technical condition. Tractors and farm machinery. 2008. № 7, pp. 30 (in Russ.).
 12. Stevens R. Algoritmy: Teoriya i prakticheskoe primenenie [Algorithms: Theory and practical application]. Mos-cow: Publishing house «E», 2016. 544 p.
 13. Kalachin S.V. Improving the performance of robotic control systems for mobile agricultural units. Niva Povolzhya. 2018. № 2 (47), pp. 118–122 (in Russ.).
 14. Lutz M. Learning Python 5th Edition, O'Reilly Media. Inc, 2013. 1600 p.
 15. Lutz M. Programming Python 4th Edition, O'Reilly Media. Inc, 2014. 1628 p.

СХЕМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК НА НЕСУЩУЮ СИСТЕМУ КОЛЕСНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

SCHEMATIZATION OF OPERATIONAL LOADS ON THE CARRIER SYSTEM OF WHEELED AGRICULTURAL VEHICLES

В.И. КЛЕПЦОВ, к.т.н.

Группа компаний «Ростсельмаш», Ростов-на-Дону,
Россия, 032474@oaorsm.ru

V.I. KLEPCOV, PhD in Engineering

«Rostselmash» group of companies, Rostov-on-Don, Russia,
032474@oaorsm.ru

В статье изложен подход к схематизации процессов случайного стационарного и нестационарного нагружения каркаса машины со стороны колес и тягово-цепных устройств, а также детерминированного нагружения со стороны работающих функциональных систем. В целях сокращения объема исходных данных для расчета долговечности предложено, во-первых, выявление нагрузок, являющихся линейными комбинациями друг друга, во-вторых, замена корреляционной таблицы средних и амплитудных значений, полученной обработкой исходной реализации, на линейные комбинации корреляционных таблиц более коротких участков. Выражение одних компонент нагрузки через другие компоненты домножением на некоторую, предварительно определенную, константу позволяет уменьшить количество независимых аргументов и, следовательно, продолжительность расчета. Аналогично, оптимизация корреляционной таблицы всей записи заключается в поиске интервалов этой же записи с такими корреляционными таблицами, которые после применения простых преобразований (суммирования и умножения) способны воспроизвести исходную корреляционную таблицу с заданной погрешностью. Тогда расчет долговечности можно выполнить только для найденных интервалов, а с результатами расчета проделать те же операции, что и с корреляционными таблицами. Время расчета может быть сокращено, результаты расчета усталостной долговечности от схематизированных реализаций будут эквивалентны результатам расчета усталостной долговечности от исходных реализаций в силу теории линейного суммирования повреждений.

Подход опробован при схематизации нагружения зерноуборочного комбайна шестого класса, разработанного на «Ростсельмаш», оценены погрешности расчета долговечности от схематизированных нагрузок. Показано сокращение времени расчетов от схематизированных реализаций по сравнению с исходными реализациями.

Ключевые слова: нагружение, схематизация, когерентность, повреждаемость, долговечность.

The article presents an approach to the schematization of the processes of random stationary and non-stationary loading of the vehicle structural frame from the side of the wheels and traction coupling devices, as well as deterministic loading from the operating functional systems. In order to reduce the amount of input data for calculating durability, it was proposed, first, to identify loads that are linear combinations of each other, and second, to replace the correlation table of average and amplitude values obtained by processing the original implementation with linear combinations of correlation tables of shorter sections. The expression of some components of the load through other components by multiplying by some predetermined constant allows to reduce the number of independent arguments and, therefore, the duration of the calculation. Similarly, the optimization of the correlation table of the entire record consists in finding the intervals of the same record with such correlation tables that, after applying simple transformations (summation and multiplication), are able to reproduce the original correlation table with a given error. Then the calculation of durability can be performed only for the intervals found, and with the results of the calculation to do the same operations as with the correlation tables. The calculation time can be reduced, the results of the calculation of fatigue life from the schematized realizations will be equivalent to the results of the calculation of the fatigue life from the original realizations by virtue of the theory of linear summation of damage. The approach was tested when schematizing the loading of a combine harvester (ZUK) of the sixth class, developed at Rostselmash, the errors in calculating the durability of the schematized loads were estimated. The reduction of the computation time from schematized implementations in comparison with the initial implementations is shown.

Keywords: loading, schematization, coherence, damageability, durability.

Введение

Расчет долговечности конструкции несущей системы вновь создаваемого образца сельскохозяйственной машины представляет собой достаточно длительный производственный процесс, подразумевающий завершенное проектирование, подготовленную расчетную конечно-элементную модель и сформированный эксплуатационный спектр нагрузления. В компании «Ростсельмаш» принят усовершенствованный метод расчета долговечности конструкции по номинальным напряжениям вблизи сварного шва, реализованный в программном обеспечении (ПО) LMS Virtual.Lab Durability. Используется, в том числе, принцип суперпозиции: суммарное действие на тело системы сил равносильно сумме изолированных действий сил и не зависит от порядка их приложения. Поочередно вычисляют напряженно-деформированное состояние конструкции от единичных нагрузок, приложенных в местах и по направлению действия эксплуатационных нагрузок. Затем в каждом конечном элементе получают изменения напряжений по времени от действия системы сил и моментов суммированием произведений напряжений от каждой из единичных нагрузок на значения нагрузки в текущий отсчет времени.

Такая последовательность действий является максимально точной, но максимально продолжительной по времени, поэтому ее использование целесообразно при проведении поверочных расчетов усталостной долговечности. Доводка конструкции до требуемого уровня надежности по долговечности, в общем случае, требует нескольких итераций, и наиболее экономичный сценарий реализуется при совпадении по времени этапа такой доводки с этапом строительства опытного образца. Оперативно выявленные критические места можно откорректировать с меньшими временными и материальными затратами.

Однако для выполнения серии проектировочных расчетов долговечности в сжатые сроки необходимо располагать компактной, пусть даже несколько менее точной, «историей нагружения». Редуцирование «историй нагружения» является распространенной практикой и называется схематизацией нагрузок. Происхождение исходных нагрузок значения не имеет: это могут быть записи с машины-аналога, масштабированные на размерность создаваемого образца, или результаты чис-

ленного моделирования динамики движения. ГОСТ 25.507-85 [1] содержит процедуры обработки экспериментальных данных, приводящие к блок-программному нагружению, эквивалентному по повреждаемости исходной записи. Построение функции распределения экстремумов, ее замена многоступенчатым спектром с регулярными нагружениями постоянных уровней способствует уменьшению объема исходных данных для расчета, однако применимость данного подхода ограничена случаями действия на конструкцию одиночной нагрузки либо системы линейно зависимых сил с постоянными фазовыми соотношениями. Схематизация системы случайных сил по ГОСТ 25.507-85 не позволяет учесть их совместное действие, что может привести к отсутствию эквивалентности напряжений в элементах конструкции при эквивалентности отдельно рассматриваемых нагрузок, схематизированных и исходных.

Цель исследования

Состоит в анализе возможных способов схематизации системы случайных независимых нагрузок.

Материалы и методы

Сокращение количества независимых нагрузок

В силу случайного характера усилий и моментов, передаваемых на конструкцию от колес при движении по неровностям, а также случайно изменяющейся потребляемой мощности агрегатов записи нагрузок на прототип или опытный образец, полученные в ходе полевых испытаний, требуют предварительной обработки. Должны быть определены частотные диапазоны сигналов нагрузок для дальнейшего использования, при необходимости – проведена соответствующая частотная фильтрация, понижена частота дискретизации. Подготовленные таким образом сигналы нагрузок можно использовать для расчета долговечности конструкции на временном интервале сделанных записей. Их совместное действие на конструкцию соответствует прототипу, фазовые соотношения сохранены. Распространение результатов расчета долговечности с ограниченного временного интервала на весь срок службы путем экстраполяции соответствующих функций распределения выполнимо в специализированном ПО, например LMS TecWare.

Одновременно с подготовкой сигналов в частотной области можно выполнить поиск линейно зависимых нагрузок. С точки зрения теоретической механики, движущаяся колесная сельскохозяйственная машина представляет собой механическую голономную систему с нестационарными освобождающими связями [2]. Нестационарность обусловлена деформациями шин, резинометаллических упруго-демпферных опор, на которых установлены кабина оператора, силовая установка, подвижные части функциональных систем, таких как очистка, соломотряс. Активными силами и моментами, действующими на данную систему, являются сила тяжести, крутящие моменты приводов ведущих колес, агрегатов отбора мощности от двигателя. Реакциями связей при анализе машины будут вертикальные, продольные и боковые усилия от колес, моменты сопротивления качению, боковому уводу [3], при анализе подвижных частей функциональных систем – усилия и моменты в сайлент-блоках их навески. Таким образом, несущая система машины оказывается под воздействием случайно изменяющихся активных и реактивных сил и моментов, среди которых могут существовать зависимые. Зависимыми могут быть приложенные в одной точке конструкции синхронно изменяющиеся компоненты вектора силы или момента постоянной ориентации, либо активные и реактивные усилия и моменты в различных точках конструкции, уравнения движения которой, в рассматриваемом частотном диапазоне, представляют собой уравнения динамики твердого тела.

Различают функциональную, корреляционную и статистическую зависимости случайных величин [4]. Функциональная зависимость существует тогда, когда каждому возможному значению одной случайной величины соответствует единственное возможное значение другой случайной величины. Пример линейной функциональной зависимости, приемлемой для замены нагрузок при используемом методе расчета долговечности:

$$x(t) = k \cdot y(t), \quad (1)$$

где $x(t)$, $y(t)$ – временные реализации нагрузок; k – константа.

В контексте рассматриваемого вопроса обнаружение функционально зависимых компонент нагрузления способствует сокращению объема исходных данных для расчета долговечности.

Корреляционная зависимость означает, что изменение одной случайной величины влечет за собой изменение среднего значения другой. Замена компонент с выявленными корреляционными зависимостями возможна только при квазистатическом нагружении, поскольку в этом случае исключаются как значимые, так и незначимые для накопления повреждаемости периодические компоненты.

Статистическая зависимость выражается в том, что изменение одной случайной величины вызывает изменение закона распределения другой. Установление статистической связи, при принятом методе расчета долговечности, неспособно изменить объем исходных данных.

Для поиска возможных замен компонент нагружения несущей системы сельхозмашин наиболее уместным является использование функции когерентности:

$$\gamma_{xy}^2(f) = \frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_x(f) \cdot G_y(f)},$$

где $G_{xy}(f)$ – взаимная спектральная плотность сигналов x и y ; $G_x(f)$ – спектральная плотность мощности сигнала x ; $G_y(f)$ – спектральная плотность мощности сигнала y .

Функция когерентности [5] представляет собой действительную величину, принимающую значения от 0 до 1 и характеризующую степень зависимости сигналов $x(t)$ и $y(t)$ на каждой из частот спектра. Преимущество ее использования заключается в возможности принятия решения о замене на основании информации об отдельных частотах или полосах частот сигнала, а не обо всем сигнале, как это происходит при анализе с применением коэффициента корреляции.

Зависимость, описываемая соотношением (1), приведет к графику, у которого значение функции когерентности будет равно 1,0 при всех значениях частоты. Такие случаи бывают, когда для определения нагрузок используется численное моделирование динамики движения тел (MBD – MultiBody Dynamics) и результаты расчета силовых факторов в моделях подвижных соединений выражены компонентами в ортогональной системе координат.

Для записанных нагрузок значение функции когерентности чаще всего:

$$0 \leq \gamma_{xy}^2(f) \leq 1,$$

даже для сигналов с линейной функциональной связью на определенных частотах из-за

наложения случайных помех, в том числе электрического характера, из-за ошибок квантования. При практическом применении данного вида схематизации к нагрузкам на несущую систему зерноуборочного комбайна (ЗУК) было сделано допущение возможности замены на линейные комбинации при условии:

$$0,7 \leq \gamma_{xy}^2(f) \leq 1,$$

в полосе частот от 0 до 7 Гц. Для ЗУК количество замененных компонент нагрузок составило 22 из общего количества 118. Ориентировочно, в общем случае, можно ожидать сокращение количества нагрузок на 20 %.

Замена временных реализаций нагрузок эквивалентными фрагментами

Рекомендации Р 50-54-80-88 [6] трактуют схематизацию как упрощенное представление нагруженности. Очевидно, что в качестве критериев адекватности замены исходной реализации нагружения на схематизированную должны быть приняты во внимание:

- структура нагружения (импульсное, ступенчатое, непрерывное);
- вид нагружения (детерминированное, случайное, смешанное);
- равенство повреждаемостей, вносимых в конструкцию исходным и схематизированным нагружением.

Структура и вид нагружения могут быть определены первичной (экранный просмотр) и вторичной (статистический, спектральный анализ) обработкой сигналов нагрузок.

Повреждаемость каждого критического места конструкции является результатом действия переменных напряжений, которые, как было отмечено ранее, представляют собой сумму произведений мгновенных значений нагрузок на напряжения, вызываемые их единичными значениями:

$$\sigma(t) = \sum_{i=1}^N \sigma_i^1 \cdot F_i(t),$$

где N – количество нагрузок, действующих на конструкцию; $F_i(t)$ – зависимость величины i -й нагрузки от времени; σ_i^1 – напряжение, возникающее в данном критическом месте при действии на конструкцию единичной нагрузки F_i .

Наиболее простой способ сохранить при схематизации неизменное сочетание нагрузок, оставив временную реализацию напряжений без искажений, – разделить исходную реализацию нагрузок на короткие фрагменты, например, как зависимости вертикальных усилий на колеса, выраженные в килоньютонах, от номера отсчета, представленные на рис. 1.

Далее предстоит проверить возможность получения корреляционной таблицы исходной реализации путем линейных комбинаций корреляционных таблиц фрагментов (рис. 2).

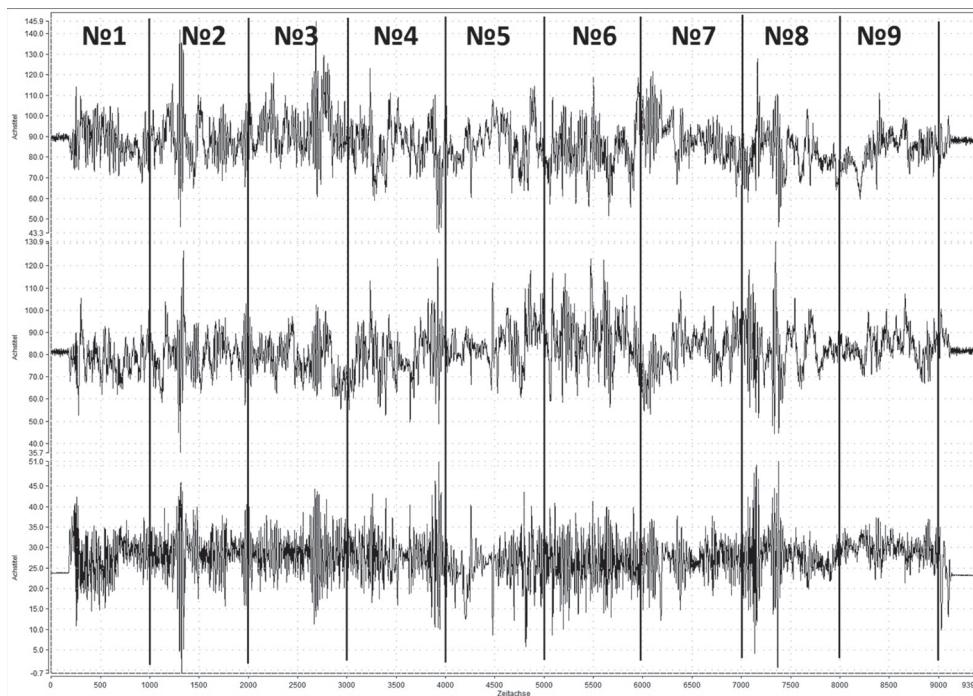
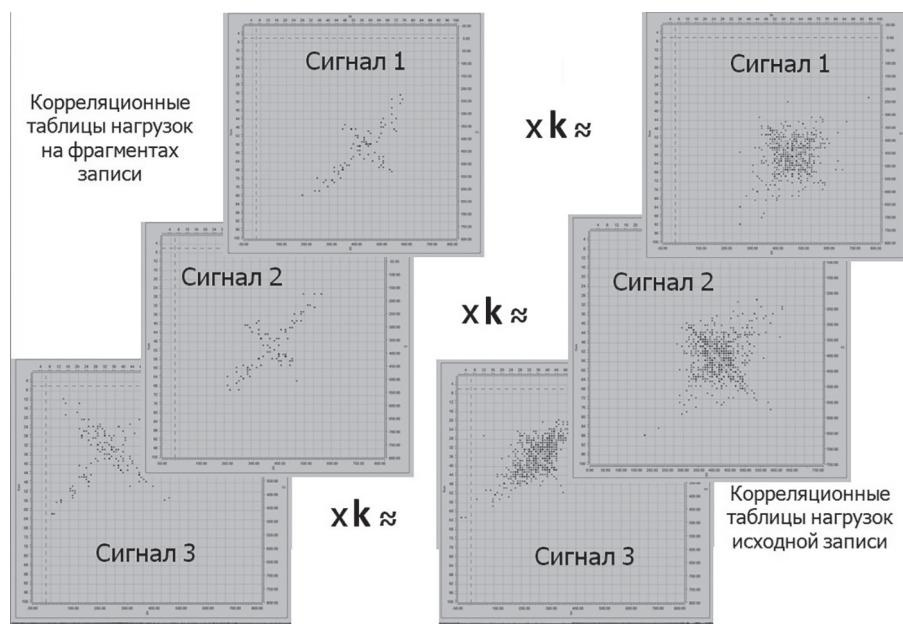


Рис. 1. Разделение исходной реализации на фрагменты

Рис. 2. Пример получения корреляционных таблиц умножением на целое число k

Критерием допустимости замены является сходимость относительной повреждаемости по каждому сигналу нагрузки, обязательным условием – подсчет повреждаемости всех сигналов в пределах одного фрагмента. Такая процедура также реализована в ПО LMS TecWare. Модуль CombiTrack изначально был разработан для автомобильной промышленности в целях подбора записей нагрузок на раму, полученных на различных участках испытательного полигона с собственными профилями неровностей, эквивалентных по воздействию переменной нагруженности на раму этого же автомобиля в условиях эксплуатации на дорогах общего пользования. Результатом работы модуля являются номера участков и количество проездов по ним. Цель – проведение натурных испытаний изделий на полигоне в условиях, максимально приближенных к реальным. Алгоритм данной оптимизации и его

программная реализация допускают задание целевой корреляционной таблицы и заменяющих корреляционных таблиц для любых нагрузок, без указания источника их получения.

На рис. 3 показан пример подбора заменяющих фрагментов из девяти предложенных пользователем для комплекта из трех вертикальных усилий на колеса ЗУК RSM 161 (режим «Ближний транспорт»). Отброшены фрагменты № 1 и 7 (весовые коэффициенты Weight фрагментов Track1 и Track7 равны нулю), фрагмент № 6 предложено учесть дважды (весовой коэффициент Weight фрагмента Track6 равен двум). Сопоставление исходной (Target) и получившейся (CombiTrack) относительной повреждаемости по каждому из каналов нагружения (Channel 5, 6, 7) указывает на погрешность не более 7 %.

Дальнейшее сокращение количества фрагментов, участвующих в замене, до трех приве-

[Coefficients]			
Track	Weight	Track	Weight
Track1	0	Track2	1
Track3	1	Track4	1
Track5	1	Track6	2
Track7	0	Track8	1
Track9	1		
Channel	Target	CombiTrack	
5	0.0875	0.0905	
6	0.0723	0.0775	
7	6.5133E-5	6.9862E-5	

Рис. 3. Замена исходной записи девятью фрагментами

[Coefficients]			
Track	Weight	Track	Weight
Track3	7	Track6	4
Channel	Target	CombiTrack	
5	0.0875	0.0941	
6	0.0723	0.0852	
7	6.5133E-5	7.7013E-5	

Рис. 4. Замена исходной записи двумя фрагментами

ло к погрешности не более 12 %, до двух (№ 3 и 6) – не более 18 %. Весовые коэффициенты при замене на два фрагмента составляют: 7 для участка № 3 и 4 для участка № 6 (рис. 4). Сокращение объема исходных данных:

$$9/2 = 4,5 \text{ раза.}$$

Для расчета относительной повреждаемости используется кривая усталости, определенная в координатах «напряжения – количество циклов». Чтобы иметь возможность определить эквивалентную по повреждаемости нагрузку, нужно задаться коэффициентом пересчета нагрузки в напряжения. Он может быть любым: постоянным для одной нагрузки, необязательно одинаковым для всех нагрузок, поскольку после подбора амплитуд напряжений, обеспечивающих равную повреждаемость исходного и схематизированного сигналов, происходит обратный переход к нагрузкам и влияние коэффициента на результаты подбора прекращается. Область определения кривой усталости, к примеру, околосшовной зоны нахлесточного сварного шва (малоуглеродистая сталь), начинается с 50 МПа эквивалентного напряжения цикла с коэффициентом асимметрии 0,1 и доходит до 1000 МПа. Соответственно, до построения корреляционных таблиц записи нагрузок нужно масштабировать таким образом, чтобы полуразмах абсолютных экстремумов оказался в диапазоне от 50 до 1000 единиц.

Показатель степени данной кривой усталости 4,26. С его помощью можно установить погрешность расчета напряжений, соответствующую погрешности долговечности 18 %:

$$\sqrt[4,26]{1,18} = 1,04,$$

то есть 4 %, что сопоставимо с погрешностями конечно-элементного метода, применяемого для расчета напряжений.

Оптимизация корреляционных таблиц модулем CombiTrack производится без учета

остатков. Поэтому, кроме подобранных фрагментов, в расчете долговечности конечно-элементной модели в ПО LMS Virtual.Lab Durability должны участвовать остатки, сформированные после обработки нагрузок методом «падающего дождя». Если перед построением корреляционных таблиц использовался коэффициент перехода в область определения кривой усталости, остатки должны бытьозвращены к масштабу нагрузок.

Схематизация периодических (а также их частного случая – регулярных) нагрузок путем замены исходных реализаций на фрагменты не требует дополнительных проверок по относительной повреждаемости с использованием кривой усталости. Достаточно выдержать соответствие продолжительности действия, что может быть достигнуто делением длительности исходной записи на длительность фрагмента и указанием в ПО LMS Virtual.Lab Durability данного количества повторений. Предпочтительным является определение фрагментов в тех же интервалах времени, что и фрагментов случайных нагрузок.

Результаты и обсуждение

Проверка эффективности предложенной методики схематизации выполнена на примере расчета долговечности несущей системы ЗУК RSM 161. Объем исходных данных – 2420 секунд записи нагрузок на режимах: «Ближний транспорт», «Дальний транспорт», «Уборка зерна», «Уборка кукурузы». Количество каналов нагрузок 118. После схематизации объем исходных данных уменьшился до 462 секунд (сокращение более чем в 5 раз). Продолжительность расчета долговечности сократилась более чем в 2 раза. Погрешность расчета долговечности, по отношению к исходным нагрузкам, составила 12 %, расчет от схематизированных нагрузок дал более консервативную оценку. Локализация критических мест не изменилась.

Выводы

Среди нагрузок на несущую систему сельскохозяйственных машин существуют зависимые (порядка 20 % от общего количества), их замена линейными комбинациями способна сократить время расчета долговечности.

Вид и структура эксплуатационного нагружения несущей системы со стороны колес при движении машины таковы, что схематизация путем замены исходной реализации на ее мультилинированные фрагменты приводит к сокращению объема выборки в несколько раз.

Погрешность расчета относительной повреждаемости нагрузок со стороны колес, возникающая при схематизации заменой на фрагменты, прямо зависит от глубины редукции: приемлемой для проектировочного расчета является погрешность порядка 20 %.

При расчете долговечности конструкции несущей системы в зависимости от схематизированных нагрузок локализация критических мест сохраняется, погрешность расчета долговечности не превышает погрешности относительной повреждаемости нагрузок.

Продолжительность расчета долговечности конструкции в зависимости от схематизированных нагрузок сокращается более чем в два раза по сравнению с продолжительностью расчета от исходных нагрузок.

Литература

- ГОСТ 25.507-85. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы испытаний на усталость при эксплуатационных режимах нагружения. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 1985. 19 с.
- Голубева О.В. Теоретическая механика. М.: Высшая школа, 1968. 487 с.
- Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.
- Статистический анализ данных: методические указания к расчетной работе / Сост. Е.А. Денискина, П.Э. Коломиец; Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2004. 64 с.
- Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. М.: Машиностроение, 1971. 408 с.
- Р50-54-80-88. Надежность в технике. Комплексные испытания изделий машиностроения на надежность. Общие положения. Рекомендации. М.: 1988.

References

- GOST 25.507-85. Calculations and tests for strength in mechanical engineering. Test methods for fatigue under operating conditions of loading. General requirements. Moscow: Izd-vo standartov Publ., 1985. 19 p.
- Golubeva O.V. Teoreticheskaya mekhanika [Theoretical mechanics]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1968. 487 p.
- Smirnov G.A. Teoriya dvizheniya kolyosnyh mashin [Theory of the movement of wheeled vehicles]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1990. 352 p.
- Deniskina E.A., Kolomiec P.E. Statisticheskij analiz dannyh: Metodicheskie ukazaniya k raschetnoj rabote [Statistical data analysis: Methodical instructions for the calculation work]. Samar. gos. aerokosm. un-t. Samara, 2004. 64 p.
- Bendat Dzh., Pirsol A. Izmerenie i analiz sluchajnyh processsov [Measurement and analysis of random processes]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1971. 408 p.
- R50-54-80-88 Nadyozhnost' v tekhnike. Kompleksnye ispytaniya izdelij mashinostroeniya na nadyozhnost'. Obshchie polozheniya. Rekomendacii [Reliability in technology. Complex testing of engineering products for reliability. General provisions. Recommendations]. Moscow: 1988.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УПРУГОДЕМПИРЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКИ СИДЕНЬЯ НА СТЕНДЕ-ГИДРОПУЛЬСАТОРЕ

STUDY OF THERMAL RADIATION OF THE ELASTIC-DAMPING ELEMENTS OF THE AIR SUSPENSION OF THE SEAT ON THE HYDROPULOSSATOR TEST BENCH

М.В. ЛЯШЕНКО, д.т.н.
А.В. ПОЗДЕЕВ, к.т.н.
И.А. ГОЛЯТКИН
А.И. ИСКАЛИЕВ

Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ), Волгоград, Россия, ts@vstu.ru,
asamat-iskaliev@mail.ru

M.V. LYASHENKO, DSc in Engineering
A.V. POZDEEV, PhD in Engineering
I.A. GOLYATKIN
A.I. ISKALIEV

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia,
ts@vstu.ru, asamat-iskaliev@mail.ru

Пневматическая подвеска сиденья относится к важнейшим составляющим системы виброзащиты человека – оператора транспортного средства. Вся энергия колебаний, передаваемая через подвеску сиденья от пола кабины водителю, с помощью упругодемптирующих элементов запасается, поглощается и в дальнейшем расходуется, переходя в тепло. Оценка интенсивности теплового излучения пневматической рессоры и амортизатора в процессе работы может позволить в дальнейшем совершенствовать конструкции существующих систем подпрессоривания сидений. В качестве примера можно упомянуть о возможности рекуперации энергии колебаний, которая в штатных пассивных подвесках при гашении переходит в тепло.

В статье представлены результаты испытаний пневматической подвески сиденья фирмы Sibeco на одноопорном стенде с гидравлическим приводом производства индийской компании BiSS. Цель испытаний – исследование термограмм поверхностей упругодемптирующих элементов в процессе их работы. Описаны экспериментальная установка, включающая в себя металлические элементы соединения исполнительного механизма стенда-гидропульсатора только с амортизатором и с подвеской сиденья в целом, а также встроенный в конструкцию стенда датчик силы. Получены рабочие диаграммы амортизатора и пневматической подвески сиденья в каждый фиксированный момент времени через одну минуту. Для замера значений температур и снятия термограмм поверхностей использовался тепловизор фирмы Testo. Исследование проводилось на режиме гармонического воздействия. В ходе обработки и анализа полученных данных выявлен характер нагрева внешней поверхности амортизатора и пневматической рессоры, а также факт достижения температур стабилизации. В заключении выдвинуты причины несоответствия интенсивности теплового излучения пневматической рессоры и амортизатора подвески сиденья.

Ключевые слова: стенд-гидропульсатор, установка, тепловизор, амортизатор, пневматическая рессора, подвеска сиденья, температура, термограмма, амплитуда, частота.

Air suspension of seat is one of the most important components of the system of vibration protection of the human operator of the vehicle. All vibrational energy transmitted through the suspension of the seat from the cab floor to the driver is stored, absorbed and later dissipated by means of elastic damping elements, turning into heat. An assessment of the intensity of thermal radiation from the air spring and the shock absorber during operation may further improve the design of existing seat suspension systems. As an example, we can mention the possibility of vibrational energy recovery, which in regular passive suspensions turns into heat when extinguished. The article presents the results of tests of the air suspension of the seat of the company Sibeco on a single-support test bench with a hydraulic drive manufactured by the Indian company BiSS. The purpose of the test is to study the thermograms of the surfaces of the elastic damping elements during operation. An experimental setup, which includes the metal elements of the connection of the actuator of the hydropulsator test bench with a shock absorber and the suspension of the seat as a whole, as well as a force sensor built into the design of the stand, is described. The working diagrams of the shock absorber and air suspension of the seat at each fixed point in time of one minute are obtained. To measure the values of temperature and read surface thermograms the Testo thermal imager was used. The study was conducted on the harmonic mode of exposure. During processing and analyzing the obtained data, the nature of the heating of the outer surface of the shock absorber and the air spring, as well as the fact of reaching stabilization temperatures, were revealed. In conclusion, the reasons for the discrepancy between the intensity of thermal radiation of the air spring and the shock absorber of the seat suspension are given.

Keywords: hydropulsator test bench, installation, thermal imager, shock absorber, pneumatic gear, suspension of seat, temperature, thermogram, amplitude, frequency.

Введение (актуальность)

Система подпрессоривания сиденья является важнейшей составляющей системы виброзащиты человека – оператора транспортного средства от негативного влияния колебаний, вибраций и шума и представляет собой компактный узел, включающий, кроме прочего, упругий элемент и гаситель колебаний, которые, в свою очередь, играют определяющую роль в обеспечении виброзащиты. Вся энергия колебаний, передаваемая через подвеску сиденья, поглощается и рассеивается, переходя в тепло. Важно оценить в процессе работы упругодемпфирующих элементов интенсивность их теплового излучения, так как это может позволить в дальнейшем совершенствовать конструкции существующих систем подпрессоривания. К примеру, можно обеспечить возможность рекуперации части энергии колебаний, которая в штатных пассивных подвесках при гашении переходит в тепло [1, 2].

Цель исследований

В данной работе была поставлена цель, заключавшаяся в исследовании термограмм поверхностей упругодемпфирующих элементов пневматической подвески сиденья в процессе работы.

Материалы и методы.

Результаты и обсуждение

Для исследований использовался одноопорный стенд с гидравлическим приводом индийской компании BiSS [3], тепловизор фирмы Testo [4] и секундомер. Для калибровки тепловизора использовался ртутный термометр, замерялась комнатная температура, которая на момент начала работ была равна 21 °C.

Первым испытывался гидравлический однотрубный амортизатор MAYSAN TS3034 H6293101F 1 AMR 009-01 28 12 417945 (рис. 1, поз. 2), входящий в штатную конструкцию пневматической подвески сиденья фирмы Sibeco [5].

Амортизатор 2 устанавливался и закреплялся на стенд в вертикальном положении

(рис. 1). Шток амортизатора изначально находился в положении, близком к среднему положению относительно полного хода поршня (см. табл.).

Закон возбуждения стенд – гармонический синусоидальный с частотой 1 Гц.

Согласно ГОСТ Р 53816-2010 [6], величина хода поршня при записи рабочей диаграммы амортизатора (рис. 2) на стенде должна быть не менее 80 % его полного хода S (с округлением до целых десятков миллиметров), но не более 100 мм. Тогда амплитуда гармонического возбуждения стендса:

$$\frac{S \cdot 80 \%}{2 \cdot 100 \%} \leq q \leq 50 \text{ мм} \Rightarrow 20 \text{ мм} \leq q \leq 50 \text{ мм} \Rightarrow q \approx 20 \text{ мм.}$$

Каждую минуту при помощи тепловизора фиксировалась термограмма поверхности цилиндра (рис. 3, а–в).

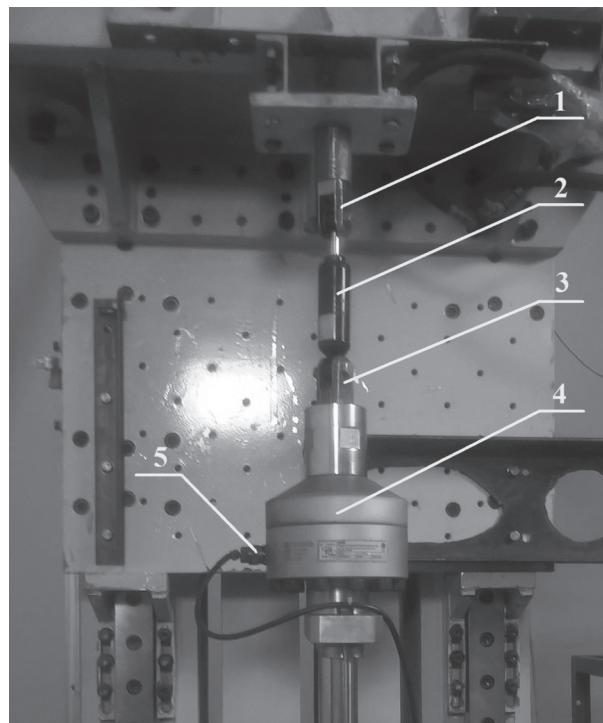


Рис. 1. Установка для испытаний амортизатора:
1 – верхнее крепление; 2 – амортизатор; 3 – нижнее крепление; 4 – гидропульсатор; 5 – датчик силы

Таблица

Параметры амортизатора

Длина амортизатора в растянутом состоянии, $l_{\text{раст}}$, м	Длина амортизатора в сдвинутом состоянии, $l_{\text{сд}}$, м	Полный ход поршня амортизатора, м
0,22	0,17	$S = l_{\text{раст}} - l_{\text{сд}} \approx 0,05$

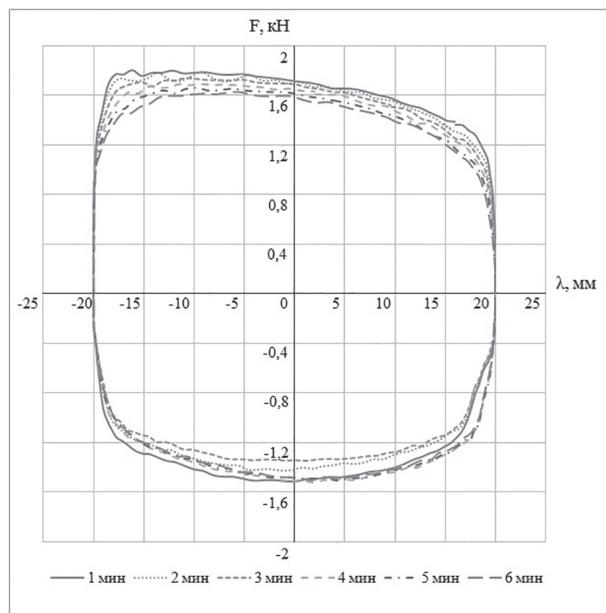


Рис. 2. Рабочая диаграмма амортизатора

В итоге было получено графическое представление изменения температуры поверхности амортизатора во времени (рис. 4).

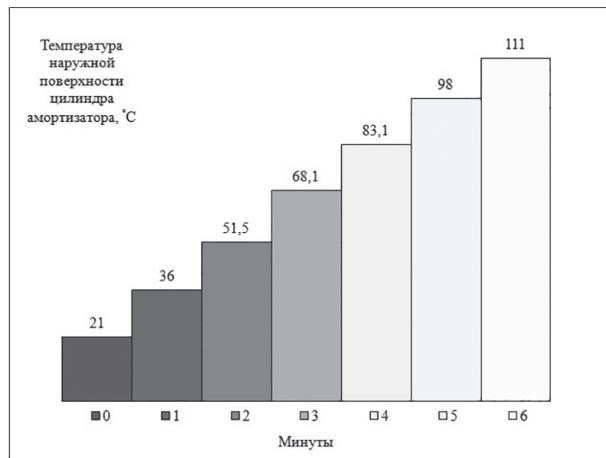


Рис. 4. Динамика изменения температуры поверхности амортизатора

С увеличением времени испытаний на рабочей диаграмме амортизатора (рис. 2) наблюдалось уменьшение площади замкнутой фигуры, описывающей цикл ходов сжатия и отбоя устройства. В итоге разность площадей фигур рабочих диаграмм в начальный и конечный моменты времени испытаний можно охарактеризовать как долю поглощенной гасителем энергии колебаний, переходящую в тепло.

За 6 минут температура тепловыделений амортизатора (рис. 4) на заданном режиме возрастала и достигла отметки 111 °C. В ходе процесса не была достигнута температура ста-



Рис. 3, а. Термограмма амортизатора в действии на 2-й минуте испытаний



Рис. 3, б. Термограмма амортизатора в действии на 3-й минуте испытаний



Рис. 3, в. Термограмма амортизатора в действии на 4-й минуте испытаний

билизации. Продолжение опыта было чревато разрушениями в уплотнениях гасителя колебаний. Исходя из полученных термограмм (рис. 3, а-в), можно сказать, что фиксируемые максимальные температуры наблюдались, по большей части, в верхней части цилиндра амортизатора. Циклический процесс сжатия и отбоя демпфирующего устройства на стенде с амплитудой 20 мм и частотой 1 Гц сопрово-

ждался дросселированием жидкости через отверстия клапанов, что приводило к ее нагреву и дальнейшей передаче тепла через стенки цилиндра. Высокая скорость роста температуры объясняется недостаточной площадью теплоотдачи и низкой теплоемкостью рабочего тела.

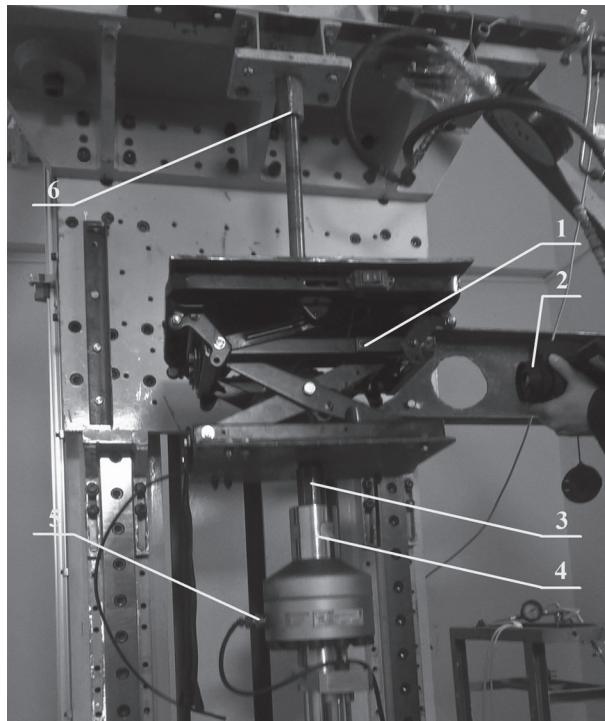


Рис. 5. Общий вид установки:
1 – подвеска сиденья; 2 – тепловизор;
3 – нижнее крепление; 4 – гидропульсатор;
5 – датчик силы; 6 – верхнее крепление

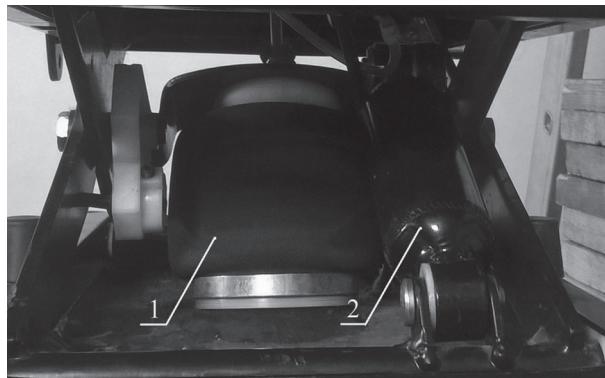


Рис. 6. Упругодемпфирующие элементы подвески сиденья:
1 – пневматическая рессора; 2 – амортизатор

На следующем этапе была собрана установка (рис. 5), включающая в себя подвеску сиденья 1 ножничного типа с амортизатором, нижнюю плиту, соединяющую основание сиденья со штоком гидропульсатора 4, и верхнюю плиту с центральной осью с резьбой для

крепления кронштейна 6 к станине стенда. В режиме ходов сжатия-отбоя подвески по гармоническому закону с амплитудой 20 мм и частотой 1 Гц [7] с помощью датчика силы 5 снималась рабочая диаграмма подвески сиденья (рис. 7), а с помощью тепловизора 2 термограммы наружных поверхностей упругодемпфирующих элементов (рис. 6, 8, а–в).

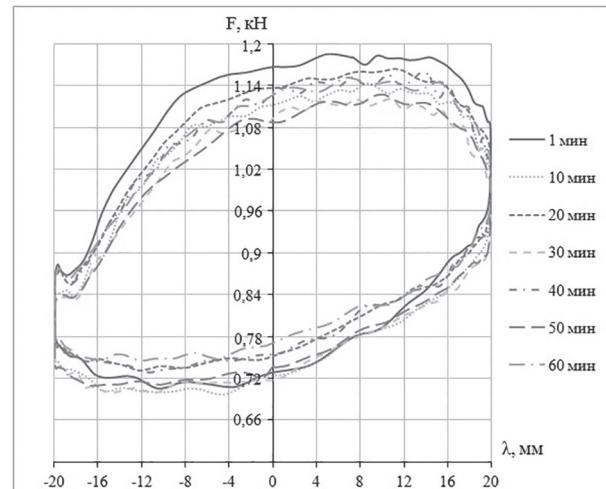


Рис. 7. Рабочая диаграмма подвески сиденья

Значения максимальных температур поверхностей пневматической рессоры и амортизатора отслеживались каждую минуту. В целом, измерение длилось 1 час и 3 минуты. Дальнейшее нагружение подвески не привело к росту температур, так как был достигнут некий установившийся предел.

Как видно из рисунков 8, а–в, температурное поле неравномерно распределялось по поверхности резинокордной оболочки рессоры 1: в верхней части, в месте взаимодействия с пластиковым поршнем, виден температурный пояс, связанный, в том числе, с изгибами деформациями упругого элемента и, как следствие, трением между слоями и тканями корда. На амортизаторе 2 (рис. 8, а–в) максимальная температура наблюдалась около места крепления к нижней раме (основанию) подвески сиденья. Это связано с кинематикой и расположением гасителя в структуре направляющего механизма сиденья, а также постоянно меняющимся в динамике приведенным демпфированием. Рабочая жидкость амортизатора 2 сжимает и разжимает через плавающий поршень газовую подушку, которая, в свою очередь, интенсивно нагревается и выделяет через стенку цилиндра тепло. На рабочей диаграмме подвески сиденья (рис. 7)

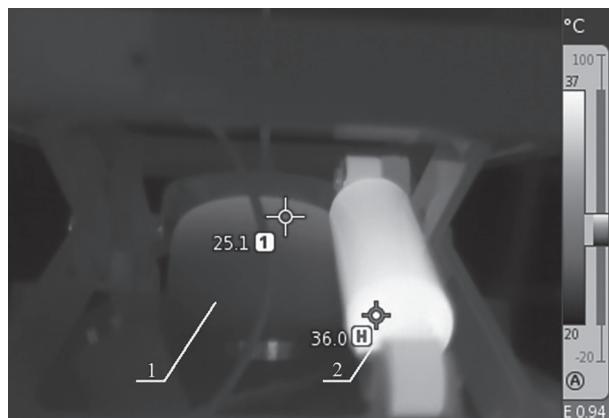


Рис. 8, а. Термограмма подвески сиденья в действии на 15-й минуте испытаний:
1 – пневматическая рессора; 2 – амортизатор

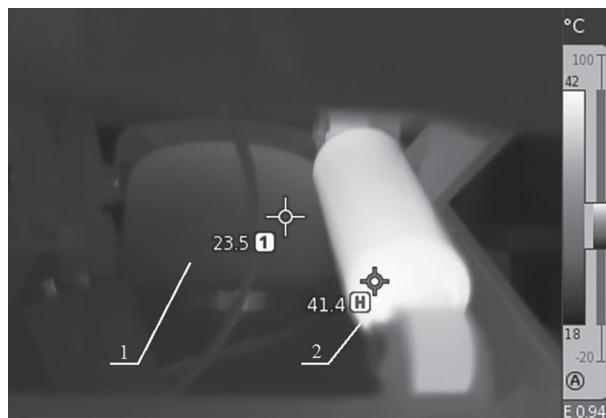


Рис. 8, б. Термограмма подвески сиденья в действии на 30-й минуте испытаний:
1 – пневматическая рессора; 2 – амортизатор

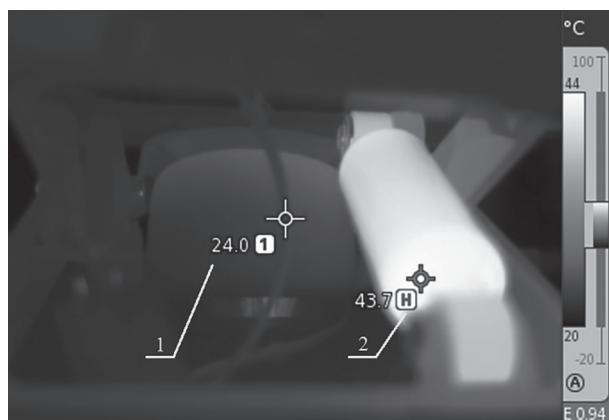


Рис. 8, в. Термограмма подвески сиденья в действии на 45-й минуте испытаний:
1 – пневматическая рессора; 2 – амортизатор

ТЕОРИЯ, КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ

площадь замкнутой фигуры, описывающей полный цикл колебаний, уменьшилась за 10 мин и в дальнейшем практически не изменилась, что связано, скорее всего, с достижением температур стабилизации упругодемпфирующих элементов.

Результатом обработки полученных по термограммам данных стала осциллограмма

нагрева поверхностей упругодемпфирующих элементов подвески сиденья (рис. 9) за весь период испытаний.

Выходы

Анализ полученных графических данных показал, что на данном режиме кинематического нагружения интенсивней всего нагревался амортизатор. Причем за полное время испытаний температура амортизатора возросла до 45 °C, а рессоры – до 29 °C. Рессора достигла соответствующей температуры стабилизации за 10 мин, а амортизатор – за 55 мин. Объясняется это, прежде всего, различной спецификой работы, назначением, материалом, внутренним наполнением, передаточным числом упругодемпфирующих элементов.

Литература

- Ляшенко М.В., Шеховцов В.В., Искалиев А.И. Математическая модель пневматической релаксационной подвески сиденья с рекуперацией энергии колебаний // Тракторы и сельхозмашини. 2017. № 4. С. 30–37.

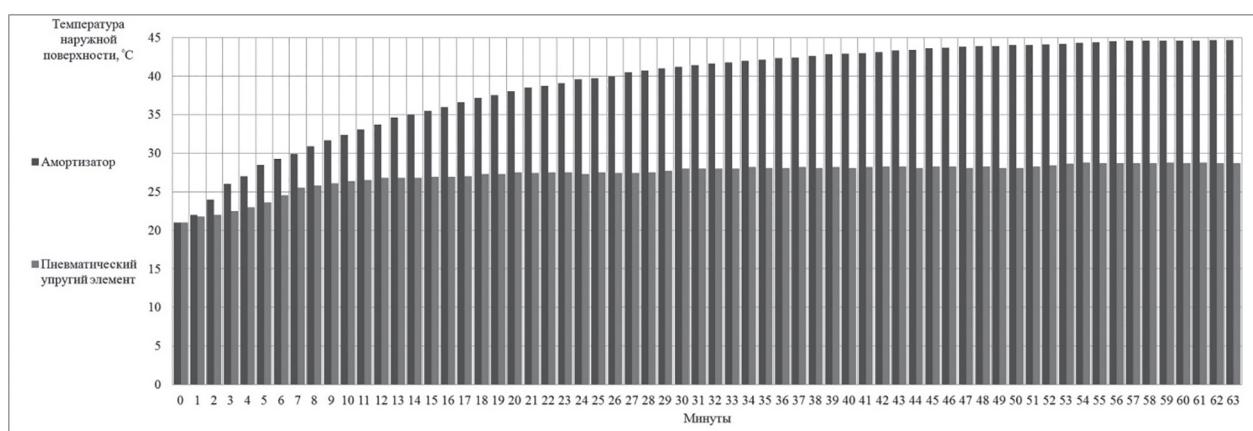


Рис. 9. Осциллограмма нагрева поверхностей упругодемпфирующих элементов подвески сиденья

2. Ляшенко М.В., Потапов П.В., Искалиев А.И. Analysis of vibroprotection characteristics of pneumatic relaxation seat suspension with capability of vibration energy recuperation [Электронный ресурс] // MATEC Web of Conferences. Vol. 129: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (IC-MTMTE 2017) (Sevastopol, Russia, September 11–15, 2017) / eds.: S. Bratan [et al.]; Sevastopol State University, National University of Science and Technology «MISIS», Polzunov Altai State Technical University, Inlink Ltd. and International Union of Machine Builders. [Publisher: EDP Sciences], 2017. 5 p. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/43/matecconf_icmtmte2017_06018.pdf.
 3. Устройство и функционирование стенда-гидропульсара: метод. указ. / сост.: А.В. Поздеев, В.В. Новиков, А.В. Похлебин; ВолгГТУ. Волгоград, 2016. 16 с.
 4. Тепловизоры Testo [Электронный ресурс]. 2018. URL: https://www.testo.ru/ru-RU/po-parametru/tieplovizory/c/parameters_thermal_imager.
 5. Sibeco. Сиденья оператора для строительной и сельхозтехники [Электронный ресурс]. 2018. Режим доступа: <http://sibeco.net/catalog/seats-for-operators/>.
 6. ГОСТ Р 53816-2010. Автомобильные транспортные средства. Амортизаторы гидравлические телескопические. Технические требования и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2010. 18 с.
 7. ГОСТ ИСО 10326-1-2002. Вибрация. Оценка вибрации сидений транспортных средств по результатам лабораторных испытаний. Часть 1. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2006. 10 с.
- References**
1. Lyashenko M.V., SHekhovcov V.V., Iskaliev A.I. Mathematical model of pneumatic relaxation sus-
 - pension of seat with vibrational energy recovery. Traktory i sel'hozmashiny. 2017. No 4, pp. 30–37 (in Russ.).
 2. Lyashenko M.V., Potapov P.V., Iskaliev A.I. Analysis of vibroprotection characteristics of pneumatic relaxation seat suspension with capability of vibration energy recuperation [Elektronnyj resurs]. MATEC Web of Conferences. Vol. 129: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017) (Sevastopol, Russia, September 11–15, 2017) / eds.: S. Bratan [et al.] ; Sevastopol State University, National University of Science and Technology «MISIS», Polzunov Altai State Technical University, Inlink Ltd. and International Union of Machine Builders. [Publisher: EDP Sciences], 2017. 5 p. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/43/matecconf_icmtmte2017_06018.pdf.
 3. Pozdeev A.V., Novikov V.V., Pohlebin A.V. Usstrojstvo i funkcionirovanie stenda-gidropul'sara [Design and operation of hydropulsator test bench]: metod. ukaz. VolgGTU. Volgograd, 2016. 16 p.
 4. Teplovizory Testo [Elektronnyj resurs]. 2018. URL: https://www.testo.ru/ru-RU/po-parametru/tieplovizory/c/parameters_thermal_imager.
 5. Sibeso. Siden'ya operatora dlya stroitel'noj i sel'hoztekhniki [Sibeso.Operator seats for construction and agricultural machinery] [Elektronnyj resurs]. 2018. URL: <http://sibeco.net/catalog/seats-for-operators/>.
 6. GOST R 53816–2010. Automotive vehicles. Hydraulic telescopic shock absorbers. Technical requirements and test methods. Vved. 07.07.10. Moscow: Standartinform Publ., 2010. 18 p. (Nacional'nyj standart).
 7. GOST ISO 10326-1-2002. Vibration. Evaluation of vehicle seat vibration based on laboratory test results. CHast' 1. Obshchie trebovaniya. Vved. 01.11.07. Moscow: Standartinform Publ., 2006. 10 p. (Mezhgosudarstvennyj standart).

ПОЛУЧЕНИЕ ПАР ТРЕНИЯ ТОРЦЕВЫХ УПЛОТНЕНИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СИСТЕМЫ TiC-SiC

OBTAI^NING FRICTION PAIRS OF MECHANICAL SEALS MADE OF COMPOSITE MATERIAL OF THE TiC-SiC SYSTEM

М.Н. КАЧЕНЮК, к.т.н.

А.А. СМЕТКИН, к.т.н.

О.В. СОМОВ, к.т.н.

ФГБОУ ПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия,
max@pm.pstu.ru

M.N. KACHENYUK, PhD in Engineering

A.A. SMETKIN, PhD in Engineering

O.V. SOMOV, PhD in Engineering

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia,
max@pm.pstu.ru

Разработка новых материалов и покрытий с повышенной износостойкостью, применяемых в парах трения является актуальной задачей, решение которой направлено на обеспечение надежности и безотказности работы в процессе эксплуатации. Одним из новых и перспективных функциональных материалов для изготовления плотных и прочных деталей и изделий, подвергающихся интенсивному износу в процессе эксплуатации, является порошковый материал системы TiC-SiC, получаемый энергосберегающим и более производительным, чем горячее прессование, способом – плазменно-искровым спеканием.

Цель работы заключалась в получении и исследовании экспериментальных образцов пар трения, изготовленных из композиционного материала системы TiC-SiC методом механоактивации и ПИС. Поставленная цель направлена на решение задач по повышению ресурса работы торцевого уплотнения центробежного насоса 16-08-140СП системы охлаждения дизеля Д-160 (180) для трактора Т10. Исследованы процессы консолидации порошковых смесей, в т.ч. содержащих оксид алюминия. Установлено, что введение оксида алюминия препятствует уплотнению при спекании и повышает пористость материала. Оптимальная температура спекания соответствует 1350 °C. Полученный материал обладает высокой твердостью и износостойкостью. Изготовлены и испытаны детали пары трения торцевого уплотнения насоса. Стендовые испытания деталей показали, что интенсивность износа при сухом трении составляет $4,49 \cdot 10^{-9}$ мм износа / мм пути трения. При работе в охлаждающей жидкости наблюдается приработка деталей, что снижает износ, коэффициент трения и повышает герметичность торцевого уплотнения. Разработанный материал обладает прирабатываемостью, т.е. поверхность складывается в процессе эксплуатации, что нехарактерно для другой керамики данного назначения.

Ключевые слова: механоактивация, плазменно-искровое спекание, карбид титана, карбид кремния, пара трения, износостойкость, плотность, пористость, микротвердость.

The development of new materials and coatings with increased wear resistance, used in friction pairs, is an urgent task. Its solution is aimed at ensuring reliability and dependability of work during operation. One of the new and promising functional materials for the manufacture of dense and durable parts and products subjected to intensive wear during operation is the powder material of the TiC-SiC system, obtained by an energy-saving and more productive than hot pressing method – spark plasma sintering (SPS). The aim of the work was to obtain and study experimental samples of friction pairs made of a composite material of the TiC-SiC system by the method of mechanical activation and SPS. The goal is aimed at solving problems of increasing the service life of the mechanical seal of the centrifugal pump 16-08-140SP diesel engine cooling system D-160 (180) for the tractor T10. The processes of consolidation of powder mixtures, including containing aluminum oxide. It has been established that the introduction of aluminum oxide prevents compaction during sintering and increases the porosity of the material. The optimum sintering temperature corresponds to 1350 °C. The resulting material has high hardness and wear resistance. Parts of a friction pair for a pump mechanical seal were manufactured and tested. Bench tests of parts showed that the wear rate with dry friction is $4,49 \cdot 10^{-9}$ mm of wear / mm of the friction path. When working in the coolant, there is an additional burn-in, which reduces wear, friction coefficient and increases the tightness of the mechanical seal. The developed material has an earnability, so the surface is smoothed during operation, which is not typical of other ceramics of this purpose.

Keywords: mechanical activation, spark plasma sintering, titanium carbide, silicon carbide, friction pair, wear resistance, density, porosity, microhardness.

Введение

Современный уровень развития техники выдвигает все более сложные требования к материалам изделий добывающей, химической, автомобильной и тракторной промышленности, работающих в условиях высоких температур и давлений, износа и коррозии в различных агрессивных средах.

Поиск новых материалов для пар трения является актуальной задачей, решение которой направлено на снижение потерь энергии в узлах трения, снижение износа деталей пар трения и повышение ресурса работы узлов и механизмов различного оборудования. В настоящее время применяют различные материалы для пар трения. В большинстве современных конструкций пар трения торцевых уплотнений зарубежного производства, в частности, в торцевых уплотнениях центробежных насосов системы охлаждения дизельных двигателей в тракторостроении, используется техническая керамика на основе карбида кремния (пара трения: SiC-SiC). Детали пар трения из технической керамики обладают высокой износостойкостью и коррозионной стойкостью, но при повышенных оборотах (более 3500 об/мин) и, особенно, в момент «сухого трения» возрастают риск растрескивания их рабочей поверхности, что приводит к появлению «течи» торцевого уплотнения и потере его работоспособности. Кроме того, получение изделий из карбида кремния является трудоемким и энергоемким процессом, а, при этом они обладают повышенной хрупкостью и низкой ударной прочностью [1].

В конструкции центробежного насоса 16-08-140СП системы охлаждения дизеля Д160 (180) отечественного трактора Т10 применяется торцевое уплотнение с парой трения сталь (бронза) – графит (силицированный графит). Применение пары «мягкая – по твердой» не всегда обеспечивает ресурс работы торцевого уплотнения в связи с влиянием мелких абразивных частей на износ «мягкой» поверхности, что приводит к течи охлаждающей жидкости в контакте пары трения. Более твердые тела в паре трения внедряются в мягкое контролло и выводят пару из строя при перегрузках. Кроме того, производство изделий из силицированного графита экологически вредно.

Тугоплавкие материалы и покрытия с высокой прочностью и износостойкостью рассматриваются в настоящее время как перспектив-

ные для экстремальных условий эксплуатации [2]. Одним из новых и перспективных функциональных материалов для изготовления плотных и прочных деталей и изделий, подвергающихся интенсивному износу в процессе эксплуатации, является материал системы TiC-SiC-Al₂O₃. Выбор композиции обусловлен возможностью формирования многофазной системы из твердых карбидных зерен, соединенных между собой квазипластичным тернарным соединением Ti₃SiC₂, которое может сформироваться в процессе получения композиционного материала. При этом оксид алюминия увеличивает износостойкость всей композиции [3].

В настоящее время для получения плотных изделий применяют горячее прессование, которое требует высоких энерго- и трудозатрат. Перспективным энергосберегающим и более производительным способом получения плотных, прочных и износостойких изделий является механоактивация в высокоэнергетической мельнице порошковой смеси и ее последующее плазменно-искровое спекание (ПИС) [4–8].

Механоактивация позволяет создавать активные состояния в порошковой композиции и ускорения химических реакций между твердыми телами при получении материалов в высоко неравновесном состоянии. При плазменно-искровом спекании через порошковый материал, находящийся под давлением в пресс-форме, пропускают электрические импульсы большой мощности, формируемые с помощью генератора постоянного тока, в свою очередь, вызывающие выделение тепла, которое разогревает спекаемый материал. Одновременное воздействие давления и высокой температуры, как и при горячем прессовании, приводит к интенсивному уплотнению материала. Однако, поскольку происходит внутренний разогрев порошкового материала, скорость нагрева может быть значительной, что снижает продолжительность обработки и затраты энергии.

Цель работы

Цель работы заключалась в получении и исследовании экспериментальных образцов пар трения, изготовленных из композиционного материала системы TiC-SiC методом механоактивации и ПИС. Поставленная цель направлена на решение задач по повышению ресурса работы торцевого уплотнения центробежного насоса 16-08-140СП системы охлаждения дизеля Д-160(180) для трактора Т10.

Материалы, методы эксперимента и исследований

В качестве исходных материалов для пар трения использовали порошки титана ТПП-7 фракции менее 325 мкм, порошок технического карбида кремния фракции менее 10 мкм, порошок углерода С-1, порошок измельченного глинозема фракции менее 0,3 мкм с преимущественной фазой $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ в необходимом соотношении и в количестве, не превышающем массу загрузки мельницы.

Механоактивацию смесей Ti-16,7%SiC-16,7% С (A0) и Ti-16,7 % SiC-16,7 % С-10 % Al_2O_3 (A10) проводили на планетарной мельнице «САНД» при следующем режиме:

- частота вращения барабана мельницы – 240 мин⁻¹;
- частота вращения кювет 615 мин⁻¹;
- суммарное время размола 3 ч (прерывистый режим для охлаждения оснастки: 20 мин размола, 60 мин охлаждения);
- соотношение масс мелющих тел и обрабатываемого материала 7,5 : 1.

Плазменно-искровое спекание проведено на установке SPS-1050b (Dr. Sinter) в следующих условиях. Нагрев велся за счет ступенчатого увеличения тока через оснастку со скоростью 100 А/мин, что соответствовало скорости нагрева 80 °С/мин. В участках образования контактных перешейков между частицами спекаемого материала концентрировалась энергия высокой плотности, которая обеспечивает пространственную точность прессовки и однородность компактного материала. После достижения нужной температуры производится выдержка. Высокотемпературная выдержка составляла 5 и 10 мин. После окончания высокотемпературной выдержки нагрузка снималась, образец охлаждался вместе с оснасткой в камере установки.

Микротвердость определяли на микротвердомере ПМТ-3 по стандартной методике при нагрузке 0,1 и 1,0 кгс.

Значения температурной усадки образцов определяли по изменению расстояния между токоподводами установки SPS-1050b в процессе сжатия порошковой смеси и ПИС.

Предварительные испытания поверхности образцов на износ проводили на машине трения СМЦ-2 по схеме «колодка – диск».

Результаты и обсуждение

Материал колец должен обеспечивать работоспособность пары трения центробежного

насоса системы охлаждения дизеля Д-160 при следующих условиях эксплуатации торцевого уплотнения:

- частота вращения, мин⁻¹: 500 (min) – 2285 (max);
- усилие прижатия колец, Н: 175;
- удельное давление, МПа: 0,12;
- работа в жидкости ОЖ-40 (ОЖ-65) или тосол А-40 (65).

Эскиз деталей пар трения представлен на рис. 1.

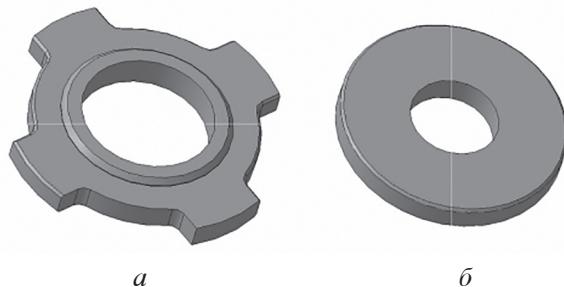


Рис. 1. Эскиз деталей пар трения:
а – кольцо 35x24x5,8; б – кольцо 41,8x16,8x4

Конструкция прессовой оснастки для ПИС с целью получения экспериментальных образцов выбрана исходя из принципов устройства пресс-форм для двустороннего одноосевого прессования порошковых материалов и с учетом усадки смеси при ПИС. Разработанная оснастка предназначена для ПИС на установке с площадью токоподводов не менее 50 см², током не менее 4000 А, усилием прессования не менее 50 кН.

В качестве материала всех деталей пресс-формы выбран графит МПГ-6. Графит используется для изготовления высокотемпературных пресс-форм, поскольку не подвержен высокотемпературной текучести и с увеличением температуры только увеличивает прочность в отличие от металлических материалов. Графит легко подвергается механической обработке, обладает хорошей электропроводностью, что является необходимым условием при разработке оснастки для ПИС. Среди различных марок графита выбирали МПГ-6 как мелкозернистый графит высокой прочности.

Для разработки оснастки проводили расчет обоймы на прочность. Обойма представляет собой кольцо, нагруженное внутренним давлением на его внутреннюю поверхность. Осевое усилие прессования, КН, определяли по формуле (1):

$$P = q \cdot S, \quad (1)$$

где q – удельное давление прессования, МПа; S – площадь сечения прессовки, расположенная перпендикулярно направлению прессования, м^2 .

Для однослойных обойм должно выполняться условие прочности:

$$\sigma_{\text{эквивал.}} \leq [\sigma_{\text{растяж.}}], \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{эквивал}}$ рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{\text{эквивал}} = \frac{2q}{1 - \frac{r_{\text{внутр}}^2}{r_{\text{наружн}}^2}}, \quad (3)$$

где $[\sigma_{\text{растяж.}}]$ – допускаемое напряжение растяжения для материала обоймы, $[\sigma_{\text{растяж.}}] = 32$ МПа для графита МПГ-6; $r_{\text{боков}}$ – внутреннее давление на боковую стенку матрицы, $p_{\text{боков}} = (0,2...0,4)q$, МПа; $r_{\text{внутр}}$ – внутренний радиус обоймы, мм; $r_{\text{наружн}}$ – наружный радиус обоймы, мм.

Результаты расчета прочности обоймы представлены в таблице 1.

Из полученных данных следует, что для данных давлений прессования $\sigma_{\text{эквивал}}$ меньше допустимой прочности графита. Следовательно, для всех видов оснастки выполняется условие прочности матрицы. Давление прессования выбирается исходя из прочности матрицы и составляет 10–11 МПа. На рис. 2 представлен эскиз пресс-формы в сборе для получения колец экспериментальных образцов пар трения.

Изучение процессов консолидации экспериментальных образцов при ПИС показало, что введение Al_2O_3 не влияет на общий характер спекания (рис. 3). При сравнении консолидации образцов без добавки и содержащих 10 % Al_2O_3 видно, что усадка протекает в одинаковых температурных интервалах. На начальной стадии (до 570 °C) спекания происходит усадка образца, обусловленная испарением остаточной влаги и началом образования шеек между частицами. На второй стадии (570–775 °C)

усадка образца практически не наблюдается, т.к. происходит диффузионный обмен и массоперенос между частицами. Третья стадия (775–1100 °C) отличается значительной усадкой образца, связанной с релаксацией напряжений, полиморфным превращением в титане и, возможно, образованием новых фаз. И наконец, при температурах более 1100 °C происходит фазовые превращения, приводящие к формированию карбида титана. В конечном продукте композиционный материал состоит из карбида титана, карбида кремния и в небольшом количестве карбосилицида титана. Добавка Al_2O_3 , как видно из рис. 3, препятствует усадочным процессам. Это хорошо видно также при анализе усадки в процессе окончательного плазменно-искрового спекания (рис. 4).

В зависимости от состава и времени выдержки усадка заканчивается при различных температурах (рис. 4). При 5 минутах выдержки при температуре выше 1350 °C усадка образца A10 незначительна, а при 10 минутах (при такой же температуре) наблюдается не-

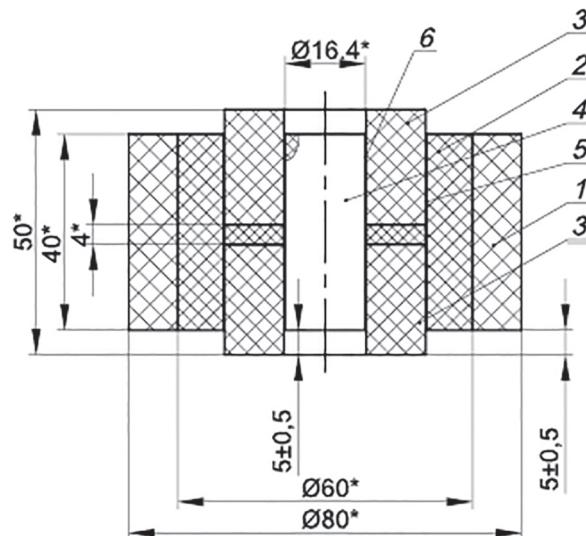


Рис. 2. Эскиз пресс-формы в сборе для получения кольца 41,8x16,8x4:
1 – обойма; 2 – матрица; 3 – пuhanсон;
4 – центральный стержень; 5, 6 – обечайка;
* – размеры для справок

Таблица

Результаты расчета прочности обоймы

Деталь	Площадь поперечного сечения, см^2	Боковое давление, МПа	Внутренний радиус обоймы, $r_{\text{внутр}}$, мм	Наружный радиус обоймы, $r_{\text{наружн}}$, мм	$\sigma_{\text{эквивал}}$, МПа
Кольцо 35x24x5,8 мм	16,3	10	27,5	45	$31,9 < [\sigma_{\text{растяж.}}]$
Кольцо 41,8x16,8x4 мм	11,5	11	25	45	$31,8 < [\sigma_{\text{растяж.}}]$

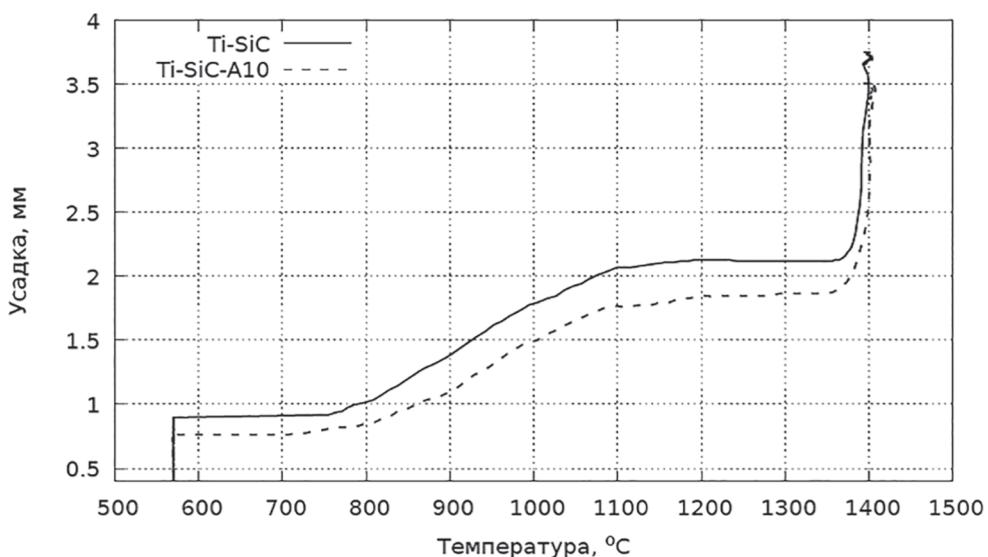
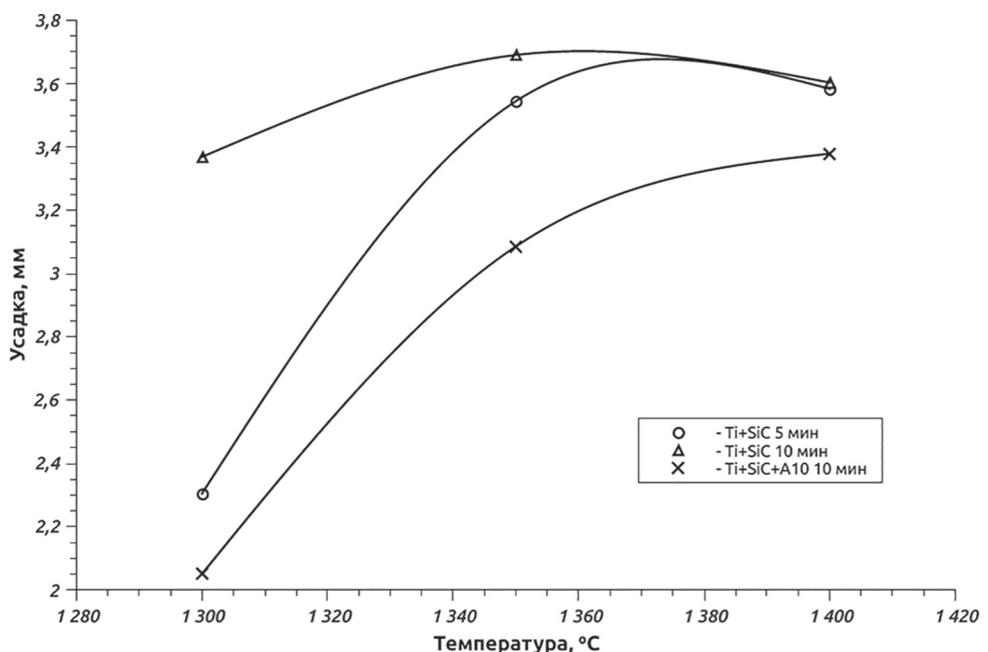
Рис. 3. Зависимость усадки от температуры при ПИС для материалов с 10 % Al_2O_3 и без добавки

Рис. 4. Зависимость усадки КМ при различных температурах окончательного плазменно-искрового спекания

большое расширение образцов. Образец А10 демонстрирует усадку вплоть до 1400 °С. Следовательно, для образцов, содержащих Al_2O_3 , необходима более высокая температура ПИС для получения минимальной пористости.

Исходя из анализа процессов консолидации материала, далее при изготовлении натурных образцов температура ПИС была не ниже 1350 °С. На рис. 5 представлены полученные экспериментальные образцы пар трения «Кольцо 41,8x16,8x4» – «Кольцо 35x24x5,8».

Материал, который использован для изготовления колец, обладает следующими механическими характеристиками:

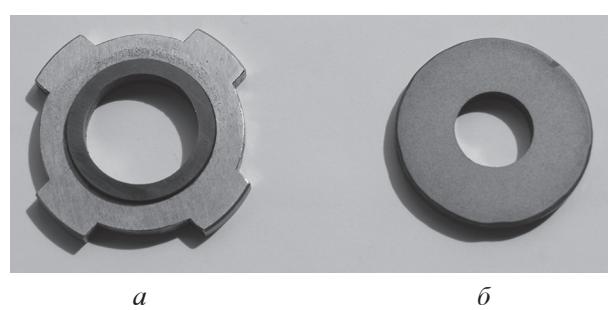


Рис. 5. Экспериментальные образцы деталей пар трения:

а – «Кольцо 35x24x5,8»; *б* – «Кольцо 41,8x16,8x4»

- твердость по Виккерсу 14 ГПа;
- интенсивность износа при сухом трении $4,49 \cdot 10^{-9}$ мм износа/мм пути трения.

Анализ поверхности детали «Кольцо 35x24x5,8» после испытаний на износ показал, что шероховатость поверхности уменьшается в процессе работы пары трения за счет приработки поверхностей (рис. 6).

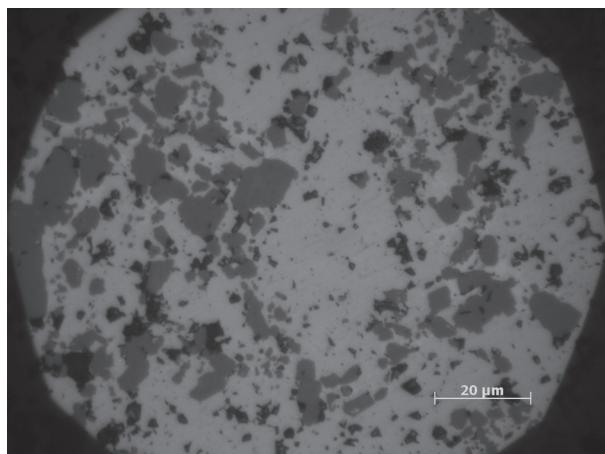


Рис. 6. Микроизображение поверхности детали «Кольцо 35x24x5,8» после испытаний на износ

На микроскопических снимках детали после испытаний наблюдается гладкая, практически зеркальная поверхность, где отчетливо видна матрица карбида титана с зернами карбида кремния. Наиболее темные области представляют собой поры размером до 5 мкм.

Заключение

Предложен материал системы TiC-SiC для пар трения, полученный методами механоактивации и плазменно-искрового спекания. Исследованы закономерности его консолидации и влияния добавки оксида алюминия на плотность конечного продукта.

Установлено, что введение оксида алюминия препятствует усадке материала. Из зависимости усадки от температуры спекания следует, что оптимальной температурой спекания материала TiC-SiC является 1350 °С. Полученный материал обладает твердостью HV 14 ГПа.

На основе разработанных чертежей деталей центробежного насоса системы охлаждения дизеля Д-160 трактора Т10 изготовлены прессоснастка и экспериментальные образцы деталей пары трения. Испытания деталей на машине трения показали, что интенсивность износа при сухом трении составляет

$4,49 \cdot 10^{-9}$ мм износа/мм пути трения. При работе в паре трения наблюдается приработка деталей, что приведет к снижению коэффициента трения и уменьшению износа, к повышению герметичности торцевого уплотнения.

Литература

1. Годжаев З.А., Зайцев С.Д., Суминов И.В., Сомов О.В. Долговечность торцевого уплотнения центробежного насоса с нанокерамическими композиционными покрытиями по технологии МДО // Тракторы и сельхозмашины: 2013, № 8. С. 44–47.
2. Анциферов В.Н., Дудкин Ю.П., Сметкин А.А. Износостойкое тугоплавкое покрытие для пар трения топливорегулирующего агрегата // Вопросы материаловедения. 2013. № 1 (73). С. 81–87.
3. Cai Y., Yin H., Pan L., Chen P., Sun G. Microstructures and mechanical properties of Ti₃SiC₂/TiC-Al₂O₃ composites synthesized by reactive hot pressing // Materials Science and Engineering: A.V. 571. № 1. 2013, pp. 137–143. Doi: org/10.1016/j.msea.2013.02.017
4. V.N. Antsiferov, M.N. Kachenyuk, A.A. Smetkin. Features of compaction and phase formation in the Ti–Si–C system during plasma-arc sintering // Refractories and Industrial Ceramics Vol. 56, No. 2, July, 2015, pp. 168–171. DOI:10.1007/s11148-015-9806-4.
5. M.N. Kachenyuk, O.V. Somov, N.B. Astashina, K.E. Andrakovskaya, N.V. Morozova A study of the wear resistance of a TiC–SiC composite ceramic material prepared by spark plasma sintering // Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2017, Vol. 53, No. 5, pp. 401–406. DOI: 10.3103/S1068375517050064.
6. Jung-Hye Eom, Yu-Kwang Seo and Young-Wook Kim Mechanical and Thermal Properties of Pressureless Sintered Silicon Carbide Ceramics with Alumina–Yttria–Calcia // J. Am. Ceram. Soc., Volume 99, Issue 5, May 2016, Pages 1735–1741. DOI: 10.1111/jace.14114.
7. Yupeng Xie, Laifei Cheng, Hui Mei and Litong Zhang Effect of SiC Particles on Mechanical Properties of Laminated (SiC_w+SiC_p)/SiC Ceramic Composites // International Journal of Applied Ceramic Technology, Volume 12, Issue 3, May/June 2015, Pages 535–541. DOI: 10.1111/ijac.12255.
8. Xinpo Lu and Yanchun Zhou Pressureless Sintering and Properties of Ti₃AlC₂// International Journal of Applied Ceramic Technology, Volume 7, Issue 6, November/December 2010, Pages 744–751. DOI: 10.1111/j.1744-7402.2009.02403.

References

1. Godzhaev Z.A., Zajcev S.D., Suminov I.V., Somov O.V. Durability of the mechanical seal of a centrifugal pump with nanoceramic composite coatings according to PEO technology. Traktory i sel'hozmashiny. 2013. No 8, pp. 44–47 (in Russ.).
2. Anciferov V.N., Dudkin Y.U.P., Smetkin A.A. Wear resistant refractory coating for friction pairs of fuel control unit. Voprosy materialovedeniya. 2013. No 1 (73), pp. 81–87 (in Russ.).
3. Cai Y., Yin H., Pan L., Chen P., Sun G. Microstructures and mechanical properties of Ti₃SiC₂/TiC-Al₂O₃ composites synthesized by reactive hot pressing // Materials Science and Engineering: A. V. 571. No 1. 2013, pp. 137–143 DOI.org/10.1016/j.msea.2013.02.017
4. V.N. Antsiferov, M.N. Kachenyuk, A.A. Smetkin. Features of compaction and phase formation in the Ti–Si–C system during plasma-arc sintering // Refractories and Industrial Ceramics Vol. 56, No. 2, July, 2015, pp. 168–171. DOI:10.1007/s11148-015-9806-4.
5. M.N. Kachenyuk, O.V. Somov, N.B. Astashina, K.E. Andrakovskaya, N.V. Morozova A study of the wear resistance of a TiC–SiC composite ceramic material prepared by spark plasma sintering // Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2017, Vol. 53, No. 5, pp. 401–406. DOI: 10.3103/S1068375517050064.
6. Jung-Hye Eom, Yu-Kwang Seo and Young-Wook Kim Mechanical and Thermal Properties of Pressureless Sintered Silicon Carbide Ceramics with Alumina–Yttria–Calcia // J. Am. Ceram. Soc., Volume 99, Issue 5, May 2016, Pages 1735–1741. DOI: 10.1111/jace.14114
7. Yupeng Xie, Laifei Cheng, Hui Mei and Litong Zhang Effect of SiC Particles on Mechanical Properties of Laminated (SiCw+SiCp)/SiC Ceramic Composites // International Journal of Applied Ceramic Technology, Volume 12, Issue 3, May/June 2015, Pages 535–541. DOI: 10.1111/ijac.12255
8. Xinpo Lu and Yanchun Zhou Pressureless Sintering and Properties of Ti₃AlC₂ // International Journal of Applied Ceramic Technology, Volume 7, Issue 6, November/December 2010, Pages 744–751. DOI: 10.1111/j.1744-7402.2009.02403.

Исследования проводились при финансовой поддержке РФФИ, грант № 17-48-590547 р_а.

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ СЛУЖЕБНЫХ СВОЙСТВ ОСТОВА ПЛУЖНОГО ЛЕМЕХА ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АБРАЗИВОСТОЙКИХ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

METHOD OF IMPROVING THE SERVICE PROPERTIES OF THE PLOWSHARE FRAME USING ABRASION-RESISTANT SURFACING MATERIALS AND POLYMER COMPOSITES

А.М. МИХАЛЬЧЕНКОВ, д.т.н.

М.А. МИХАЛЬЧЕНКОВА

М.А. ПЕТРАКОВ, к.пед.н.

А.А. ГУЦАН

ФГОУ ВО Брянская ГАУ, Брянск, Россия,
mihalchenkov.alexandr@yandex.ru

А.М. MIHAL'CHENKOV, DSc in Engineering

М.А. MIHAL'CHENKOVA

М.А. PETRAKOV, PhD in Pedagogik

А.А. GUCAN

Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia,
mihalchenkov.alexandr@yandex.ru

Присутствие в современном земледелии интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур способствует повышенной интенсивности изнашивания плужных лемехов вследствие высоких скоростей пахоты. Применение известных методов упрочнения сводится к использованию твердых сплавов в качестве покрытий рабочих поверхностей, что в настоящее время не позволяет достичь существенного увеличения ресурса лемехов, особенно их оставов (если лемех составной). Причиной этого следует считать отсутствие противоабразивного покрытия по всему объему поверхности трения детали, лимитирующей работоспособное состояние, которая достигает до 50 и более миллиметров (подрезающе-лезвийная область). Столь значительная величина позволяет использовать различные технологические варианты повышения стойкости к абразивному изнашиванию, включая применение абразивостойких материалов различной природы. Поэтому была поставлена задача по разработке и проверке в реальных условиях технологии упрочнения, которая обеспечивает значительное повышение абразивной стойкости и ресурса при сохранении геометрических параметров, установленных техническими условиями при выполнении агротехнических требований в процессе обработки почвы. Предлагаемый технологический процесс упрочнения состоит в наплавке лезвия на тыльной стороне остава составного плужного лемеха твердым сплавом; на рабочей поверхности формируются два валика повышенной твердости по границам лезвийной и подрезающей областей, а промежуток между ними заполняется kleеполимерным абразивостойким композитом. При этом вся площадь рабочей поверхности (поверхности трения) подрезающе-лезвийной части охватывается упрочняющими покрытиями (наплавленным металлом и композитом). Апробация разработанной технологии упрочнения с применением сплавов повышенной твердости и абразивостойкого полимерного композита на эпоксидной основе с гравийным наполнителем показала увеличение ресурса деталей в 1,6 раза в сравнении с изделиями заводского исполнения.

Ключевые слова: служебные свойства, остав лемеха, износстойкость, ресурс, абразивостойкие материалы, наплавка, полимерные композиты.

The presence of intensive cultivation of agricultural crops in modern agriculture contributes to the increased wear rate of plowshares due to high plowing speeds. The use of well-known hardening methods is reduced to the use of hard alloys as coatings for working surfaces, which currently does not allow that currently does not allow to achieve a significant increase in the resource of the ploughshares, especially their frame (if the ploughshare is composite). The reason for this is the absence of an anti-abrasive coating over the entire volume of the friction surface of the part, which limits the working condition, which reaches 50 or more millimeters (undercutting-blade area). Such a significant value allows the use of various technological options to improve the resistance to abrasive wear, including the use of abrasion-resistant materials of different nature. Therefore, the task was to develop and test in real conditions the hardening technology, which provides a significant increase in abrasive resistance and durability, while maintaining the geometric parameters established by the technical conditions when performing agrotechnical requirements for tillage. The proposed technological process of hardening consists in surfacing the blade on the back side of the frame of the composite plowshare with a hard alloy. On the working surface, two rollers of increased hardness are formed along the edges of the blade and undercut areas, and the gap between them is filled with a glue-resin abrasive resistant composite. In this case, the entire area of the working surface (friction surface) of the undercutting-blade part is covered by reinforcing coatings (weld metal and composite). As a result of testing the developed hardening technology with the use of high-hardness alloys and an abrasion-resistant epoxy-based polymer composite with gravel filler, the durability of parts was increased by a factor of 1,6 compared with factory-made components.

Keywords: service properties, plowshare frame, wear resistance, durability, abrasion-resistant materials, surfacing, polymer composites.

Введение

Использование интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур привело к увеличению скорости обработки почвы, что существенно повысило интенсивность изнашивания составных лемехов плужных корпусов при пахоте [1]. Поэтому был предложен ряд методов, направленных на обеспечение увеличенной стойкости к абразивному изнашиванию этих деталей [2, 3]. Как правило, противоизносные технологические мероприятия сводятся к нанесению покрытий повышенной твердости на участках рабочей поверхности, где наиболее вероятно появление износа [4, 5]. В этом случае величина ресурса составных лемехов лимитируется предельным состоянием остова, определяемым допустимым износом по ширине подрезающей-лезвийной области. В свою очередь, размер по ширине этой области составляет не менее 50 мм, что позволяет проводить упрочняющие мероприятия, связанные с нанесением абразивостойких защитных покрытий в широком диапазоне технологических вариантов и геометрических схем, не оказывая заметного влияния на конфигурацию детали, установленную агротехническими требованиями. Способы упрочнения подобного плана известны, но им присущ ряд недостатков, не позволяющих в полной мере реализовать потенциальные возможности детали по повышению ресурса и со противляемости абразивному изнашиванию. Например, нанесение на лезвийную область с тыльной стороны износостойкого материала (сормайта) [6] или проведение упрочняющей наплавки этой же области сплавом, обеспечивающим твердость нанесенного материала 58–62 HRC с присутствием в его структуре карбидов и карбоборидов по всей длине и на всю ширину лезвия [7], не позволяет упрочнить весь объем подрезающе-лезвийной части остова, не используя имеющийся потенциал по повышению абразивной износостойкости изделия в целом и, следовательно, его ресурса.

Цель исследования

Целью предлагаемых изысканий является разработка технологии упрочнения и внесение изменений в конструкцию плужного лемеха, обеспечивающих существенное повышение абразивной стойкости и ресурса, при сохранении нормированных геометрических парамет-

ров и выполнении агротехнических требований при обработке почвы, а также проведение натурных сравнительных испытаний на предмет определения наработки до предельного состояния и сравнительной эффективности предлагаемых мероприятий.

Материалы. Опытные образцы. Технология. Методика исследований

Материалами для проведения экспериментов служили: электроды отечественного производства Т-590, обеспечивающие наличие в структуре наплавленного металла карбидных и карбоборидных включений с твердостью поверхности не менее 62 HRC – для проведения наплавки упрочняющих валиков; эпоксидно-гравийный композит, состоящий из клеевой компоненты (эпоксидная смола ЭД-20-100 мас. ч., отвердитель, полиэтилен-полиамин – 10 мас. ч.) и гравийной крошки с дисперсностью частиц 1–2 мм и твердостью не менее 7 единиц по шкале Мооса (соотношение компонентов в композите составляет 50 % эпоксидной матрицы и 50 % гравийного наполнителя) – для нанесения покрытия между сформированными на рабочей поверхности подрезающе-лезвийной части остова лемеха валиками.

В качестве опытных образцов выступали восстановленные по методу «термоупрочненных компенсирующих элементов» остовы составных лемехов компании «Фогель и Ноот» [8] (рис. 1). В данном случае вместо предельно изношенной подрезающе-лезвийной части вваривалась вставка из термоупрочненной на твердость 45–48 HRC рессорно-пружинной стали. (Не исключается использование в качестве экспериментальных деталей остовов заводского исполнения, а также изделий других компаний.)



Рис. 1. Остов составного лемеха, восстановленный по методу «термоупрочненных компенсирующих элементов»

Технологический процесс упрочнения заключается в следующем (см. рис. 2). Тыльная сторона 2 восстановленного остава составного плужного лемеха (выделена утолщенными линиями) наплавляется абразивостойким сплавом 3 на величину заточки; на рабочей (наружной) поверхности, тем же абразивостойким сплавом наносятся два валика; первый (4) наплавляется со стороны лезвийной области, и его нижней границей служит верхнее сечение лезвия 5; второй валик (6) формируется в верхней части подрезающей области 7 и его верхней границей является сечение 8, ограничивающее эту область; в промежутке между сформированными валиками наносится клееполимерный абразивостойкий композит 9. При этом вся площадь рабочей поверхности (поверхности трения) подрезающе-лезвийной части должна быть охвачена упрочняющими покрытиями (наплавленным металлом и композитом), т.е. покрытия располагаются по всей длине детали.

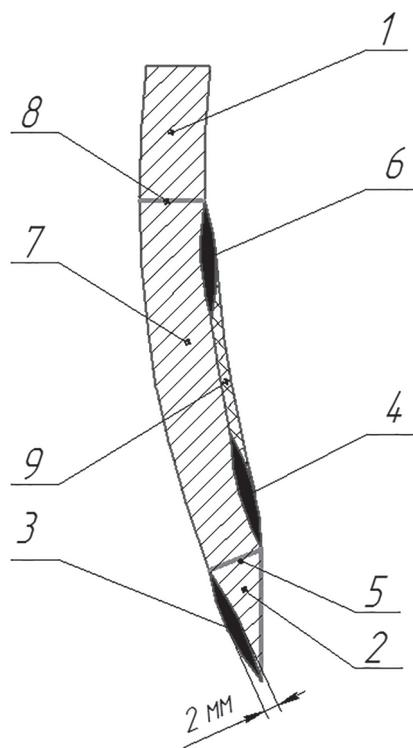


Рис. 2. Поперечное сечение упрочненного остава составного лемеха

Наплавка противоабразивного покрытия проводится как на тыльную, так и на рабочую поверхность с повышенной глубиной проплавления, которое позволит снизить влияние фактора «скалывания» металла валика, сформированного на задней части лезвия от воздействия

ударных нагрузок со стороны почвы, которые непосредственно воздействуют на наплавленный материал из-за присутствия эффекта «самозатачивания». Другой функцией тыльной наплавки лезвия является обеспечение снижения уровня остаточных напряжений, наведенных последующей наплавкой валиков на рабочую поверхность, и, как следствие, уменьшение вероятности нарушения конфигурации остава, оговоренной техническими условиями на изготовление. Высота нанесенного металла в этом случае не должна превышать 2 мм относительно поверхности детали.

Ширина упрочняющих валиков, сформированных на поверхности трения подрезающей лезвийной области, составляет от 15 до 20 мм, а их высота – не более 2 мм. Такие их геометрические параметры позволяют избежать существенного приращения тягового сопротивления, а большая глубина проплавления – выкрашивания твердого слоя при контактировании с включениями значительной величины и твердости.

Пространство между валиками 4 и 6 (рис. 2) заполняется полимерным самотвердеющим композитом на клеевой основе с дисперсным наполнителем 9, в котором наполнитель выполняет функцию противоабразивной составляющей. Применение такого рода покрытия позволяет избежать негативного влияния на форму лемеха остаточных напряжений в силу их отсутствия и обеспечить защиту всей площади контактирующей с почвой поверхности от абразивного воздействия. Формирование композиционного материала на поверхности происходит в жидком состоянии, что позволяет скопировать (воспроизвести) ее геометрию. Толщина покрытия не должна превышать 2 мм, по примеру валиков. В свою очередь, валики будут выполнять функцию упоров для данного покрытия, обеспечивая тем самым повышение его сопротивляемости напряжениям сдвига, возникающим в результате силового воздействия почвы.

Упрочненный подобным образом восстановленный остав представлен на рис. 3.

Полевые испытания проводились в период зяблевой вспашки на полях с преимущественно супесчаной почвой в юго-западном регионе Российской Федерации. Паработный агрегат состоял из трактора К-744РЗ и 16-корпусного оборотного плуга компании «Фогель и Ноот». Одновременно испытывалось 12 опытных лемехов и 4 изделия в состоянии поставки, что

позволило получить достоверные сравнительные данные.

Износы по ширине остова испытуемых образцов контролировались в динамике (периодически) до изтираания компенсирующего элемента в размере около 45 мм в сечении последнего крепежного отверстия.

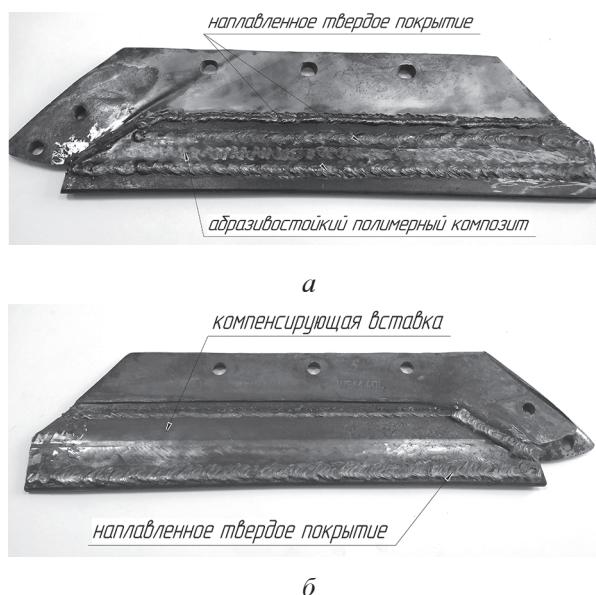


Рис. 3. Восстановленный и упрочненный остов составного лемеха компании «Фогель и Ноот»:
а – лицевая сторона; б – тыльная сторона

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

Наличие твердых наплавленных валиков с HRC не менее 62 единиц и противоабразивного композита на рабочей поверхности остова с

хватом всего объема подрезающе-лезвийной области обеспечивает значительный прирост ресурса. Как показывают полученные результаты, наработка на отказ остова в заводском исполнении составляет около 27 га (рис. 4, линия 1). В свою очередь, этот показатель для восстановленных и упрочненных (модernизированных) деталей доходит до 43 га (рис. 4, линия 2).

Применение предлагаемой технологии восстановления с одновременным упрочнением и связанного с ней изменение конструктивного исполнения остова составного лемеха плуга позволяет существенно увеличить ресурс и абразивную износостойкость (рис. 4), которая в 1,6 раза превышает износостойкость остова в состоянии поставки.

При этом заметного воздействия технологических операций на геометрию детали и отклонений от агротехнических требований при пахоте не наблюдалось. Нужно отметить, что разработанный и апробированный метод можно использовать и при упрочнении других деталей почвообрабатывающих орудий.

Выводы

- Предлагаемый метод упрочнения остовов составных плужных лемехов заключается в использовании наплавки сплавов повышенной твердости и нанесении абразивостойкого клееполимерного композита на область детали, лимитирующей ее предельное состояние.

- Апробация технологии показала ее высокую положительную эффективность, вы-

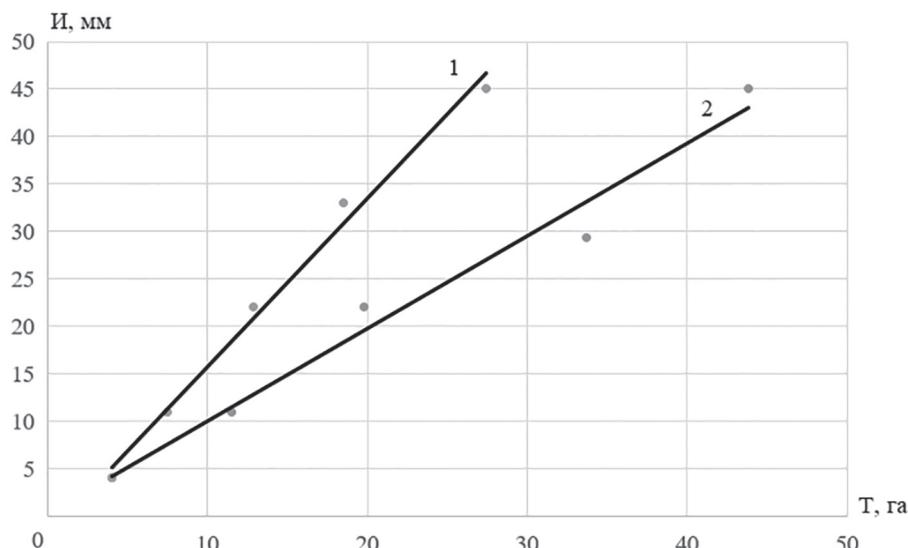


Рис. 4. Зависимость износа от наработки:
1 – остов в состоянии поставки; 2 – восстановленный и упрочненный остов

раждающуюся в значительном увеличении ресурса упрочненных деталей в сравнении с заводскими.

Литература

1. Титов Н.В., Коломейченко А.В., Виноградов В.В. Анализ перспективных способов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин // Техника и оборудование для села. 2013. № 10. С. 33–36.
2. Серов Н.В., Серов А.В., Бурак П.И. Технология упрочнения лемехов плуга электроконтактной приваркой // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 121. С. 287–290.
3. Булычев В.В., Пономарев А.И., Голубина С.А. Совершенствование технологий упрочняющей наплавки деталей плугов на основе применения вибродуговых процессов // Тракторы и сельхозмашин. 2010. № 4. С. 54–56.
4. Михальченков А.М., Лялякин В.П., Кожухова Н.Ю., Горбачев Р.В. Возобновление ресурса лемехов // Сельский механизатор. 2013. № 2. С. 34–35.
5. Сидоров С.А., Миронов Д.А. Обоснование повышения эксплуатационно-ресурсных характеристик лемехов плугов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. № 6. С. 14–17.
6. Ткачев В.Н. Индукционная наплавка рабочих органов почвообрабатывающих машин // Повышение износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин. Ростов-на-Дону: ЦБТИ, 1962 С. 16–20.
7. Михальченков М.А., Якушенко Н.А. Способ упрочняющего восстановления плужного лемеха: патент России № 2544214. Российская Федерация; 2015. Бюл. № 7.
8. Козарез И.В., Ториков В.Е., Михальченкова М.А. Анализ и особенности износов плужных лемехов различных конструкций и динамика их изнашивания // Труды инженерно-технологиче ского факультета Брянского государственного аграрного университета. 2015. № 1. С. 126–154.

References

1. Titov N.V., Kolomejchenko A.V., Vinogradov V.V. Analysis of promising ways to strengthen the working bodies of tillage machines. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2013. No 10, pp. 33–36 (in Russ.).
2. Serov N.V., Serov A.V., Burak P.I. Technology hardening plowshares by electrocontact welding. Trudy GOSNITI. 2015. Vol. 121, pp. 287–290 (in Russ.).
3. Bulychov V.V., Ponomaryov A.I., Golubina S.A. Improving the technology of hardening welding of plow parts based on the use of vibro-arc processes. Traktory i sel'hozmashiny. 2010. No 4, pp. 54–56 (in Russ.).
4. Mihal'chenkov A.M., Lyalyakin V.P., Kozhuhova N.YU., Gorbachev R.V. Renewal of plowshares durability. Sel'skij mekhanizator. 2013. No 2, pp. 34–35 (in Russ.).
5. Sidorov S.A., Mironov D.A. The rationale for improving the operational and resource characteristics of plowshares. Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2013. No 6, pp. 14–17 (in Russ.).
6. Tkachev V. N. Induction surfacing of working bodies of tillage machines. Povyshenie iznosostojkosti rabochih organov pochvoobrabatyvayushchih mashin. Rostov-na-Donu: CBTI, 1962, pp. 16–20 (in Russ.).
7. Mihal'chenkov M.A., YAKUSHENKO N.A. Sposob uprochnyayushchego vosstanovleniya pluzhno-go lemekha [The method of hardening recovery of plowshare]. Patent Rossii No 2544214. 2015. Byul. No 7.
8. Kozarez I.V., Torikov V.E., Mihal'chenkova M.A. Analysis and features of the wear of plowshares of various designs and the dynamics of their wear. Trudy inzhenerno-tehnologicheskogo fakul'teta Bryanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. No 1, pp. 126–154 (in Russ.).

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА НЕПРЕРЫВНОГО ВВОДА ПРИСАДОК В СМАЗОЧНУЮ СИСТЕМУ ДВИГАТЕЛЯ РАБОТАЮЩЕГО НА ГАЗООБРАЗНОМ ТОПЛИВЕ

THE RESULTS OF THE ANALYSIS OF THE CONTINUOUS INPUT OF ADDITIVES IN THE LUBRICATING SYSTEM OF THE ENGINE OPERATING ON GASEOUS FUEL

С.А. УТАЕВ

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Республика Узбекистан, utaev.s@list.ru

S.A. UTAEV

Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Uzbekistan, utaev.s@list.ru

Вопрос обеспечения надежности двигателей внутреннего сгорания является актуальной комплексной задачей, решаемой по разным направлениям, среди которых важными являются условия эксплуатации, вид применяемого топлива, контроль состояния моторных масел, а также обоснование сроков службы последних. При совершенствовании конструкции тракторов необходимо учесть вопрос повышения их надежности и долговечности в процессе эксплуатации. Исследованиями установлено, что от 40 до 45 % всех отказов сельскохозяйственной техники приходится на долю двигателя. Рациональным является решение проблемы повышения надежности двигателя, определение состояния агрегатов и деталей машин по содержанию продуктов износа в работающем масле при эксплуатации двигателей и принятие обоснованных решений по улучшению состояния масла. В целях улучшения эксплуатационных свойств к маслам добавляется присадки. Целью исследования является анализ влияние срабатываемости присадок на эксплуатационные свойства моторного масла и разработка мероприятий по непрерывному вводу присадок в масло. С целью определения влияния непрерывного ввода присадок в смазочное масло и определения их рациональных значений была разработана лабораторная установка. Исследования показали, что щелочное число при непрерывном вводе присадки увеличивалось в 1,5 раза по сравнению с пробами масел, отработанных без устройства непрерывного ввода присадок. Был испытано устройство для ввода присадки с фильтровальным элементом. По результатам исследований был установлен следующий режим работы $T = 85^{\circ}\text{C}$, $v = 2 \text{ м/с}$ и концентрация механических примесей составила 0,25 %. Эксплуатационные испытания устройства проводились в течение времени пока щелочное число не опустилось ниже 2 мгKOH/g. В результате испытаний установлено, что использование предлагаемого устройства увеличивает ресурс масла в среднем на 15–20 %.

Ключевые слова: двигатель, концентрация, масло, присадка, срабатываемость присадки, надежность двигателей.

The issue of ensuring the reliability of internal combustion engines is an urgent complex task, solved in different directions. Important among which are the operating conditions, the type of fuel used, monitoring the condition of engine oils, as well as the rationale for the service life of oils. When improving the design of tractors, it is necessary to take into account the issue of increasing their reliability and durability during operation. The studies show that 40–45 % of failures of agricultural machinery are caused by engine breakage. It is rational to solve the problem of improving the reliability of the engine, determining the state of the aggregates and machine parts on the content of wear products in the oil during engine operation, and making informed decisions to improve the condition of the oil. In order to improve the performance properties the additives are used. In order to determine the effect of the continuous use of additives to the oil, a cylinder was designed, comprising a housing, a cylindrical element for the additive, a cap, an inlet nozzle and an outlet nozzle. The element located inside the housing is filled with an additive. Engine oil lubrication system is supplied from the outside, i.e. in the annular gap between the housing and the element for the additive. In the housing, due to the temperature difference, the process of oil diffusion and additives take place. The purpose of the development of the laboratory setup was to study the influence of external factors on the process of continuous input of additives and the determination of their rational values. Studies have shown that the base number with continuous input of additives increased 1,5 times higher compared to samples of oils, used without a device for continuous input of additives. A device for introducing the additive with a filter element was tested. The operating mode of the installation was set according to the results of studies $T = 85^{\circ}\text{C}$, $v = 2 \text{ m/s}$ and the concentration of mechanical impurities was 0,25 %. Operational tests of the device were carried out over a period of time until the base number dropped below 2 mgKOH/g. It follows that the oil life cycle increases on average by 15–20 %.

Keywords: engine, concentration, oil, additive, additive response, engine reliability.

Введение

Вопрос обеспечения надежности двигателей внутреннего сгорания является актуальной комплексной задачей, решаемой по разным направлениям, среди которых важными являются условия эксплуатации, вид применяемого топлива, контроль состояния моторных масел, а также обоснование сроков службы последних. При совершенствовании конструкции тракторов необходимо учесть вопрос повышения их надежности и долговечности в процессе эксплуатации.

Исследованиями установлено, что от 40 до 45 % всех отказов сельскохозяйственной техники приходится на долю двигателя.

Рациональным является решение проблемы повышения надежности двигателя, определение состояния агрегатов и деталей машин по содержанию продуктов износа в работающем масле при эксплуатации двигателей и принятие обоснованных решений по улучшению состояния масла.

В целях улучшения эксплуатационных свойств к маслам добавляется присадки. Только совместное влияние физических свойств базового масла и присадок, составляющих композицию, определяет эксплуатационные свойства масла. В настоящее время доля присадок составляет 20 % по отношению к базовому маслу. Намечается тенденция к дальнейшему увеличению концентрации присадок в маслах.

Одной из важнейших составных частей процесса старения моторных масел, которая во многом определяет работоспособность последних, является срабатываемость присадок содержащихся в масле.

В настоящий время есть работы, посвященные срабатыванию присадок, в которых теоретически и экспериментально обосновывается дозированный ввод присадок в масла с целью повышения ресурса масел и машин. В этих работах указывается на необходимость поддержания концентрации присадок в заданном диапазоне путем периодической и непрерывной компенсации их убыли. В работах М.Я. Альтшулер и других ученых рассматривается закономерность срабатывания присадок [1].

Срабатывание некоторых присадок в начальный период работы масел объясняется их адсорбцией на деталях двигателей и на поверхности масляных фильтров [2].

Однако наиболее важной причиной срабатывания присадок в процессе работы двигате-

телей являются их физико-химические взаимодействия с продуктами старения масла и сгорания топлива [3].

Цель исследования

Состоит в оценке влияния срабатываемости присадок моторных масел группы Г2 дизелей, работающих на газообразном топливе, на эксплуатационные свойства масла, а также возможности улучшения их эксплуатационных свойств при непрерывном вводе присадок.

Материалы и методы

Для определения влияния непрерывного ввода присадок в масло была разработана лабораторная установка, выполненная в виде цилиндра. Целью разработки данной установки было исследование влияния внешних факторов на процесс непрерывного ввода присадок и определение рациональных их значений.

Основными внешними факторами, влияющими на процесс непрерывного ввода присадок, являются проницаемость элемента для присадки устройства непрерывного ввода, гидродинамический режим в системе и температура масла.

Для достижения поставленной цели в конструкции экспериментальной установки были предусмотрены контрольно-измерительные приборы для фиксации параметров, необходимых для характеристики рабочих режимов работы.

Лабораторная установка состоит из емкости для залива масла, шестеренного насоса типа НШ-10, электродвигателя, счетчика расходомера, подогревателя, манометров, термометров, установки для непрерывного ввода присадки. Конструкция включает цилиндрический корпус с расположенным внутри него цилиндрическим баком, заполненным присадкой, крышку, входной и выходной штуцеры. Моторное масло системы смазки подается снаружи, т.е. в кольцевой зазор между корпусом и баком для присадки. В корпусе за счет разности температуры происходит процесс диффузии масла и присадки.

Был принят следующий режим испытания: количество заливаемого масла 2 кг, температура во время прокачки 100 °C и время испытания 20 ч. Испытуемое масло из емкости с помощью насоса подавалось под давлением 1,5 кГ/см² в подогреватель для нагрева и после нагрева до 100 °C струйно поступало в бачок. Необходимая температура в системе поддер-

живалась при помощи контактного термометра ТПК (ГОСТ 9871–2000) и терморегулятора типа ПТР-3.

Масло в исходном баке нагревается с 20 до 100 °C, одновременно циркулируя по замкнутому контуру с помощью шестеренного насоса НШ-10, и подается в корпус устройства непрерывного ввода присадки. При циркуляции горячего масла вдоль элемента для присадки устройства непрерывного ввода присадки происходит интенсивный непрерывный ввод путем протекания присадки через поры элемента присадки, то есть процесс диффузии. Далее масло с повышенной концентрацией присадки возвращается в исходный бак.

В качестве показателя для оценки эффективности метода введения присадки были приняты: пропускная способность элемента для присадки, температура масла, скорость масла через линию циркуляции в системе смазки и значение щелочности испытуемого масла, определяющееся концентрацией присадки, которые нейтрализуют кислые коррозионно-активные продукты, образующиеся при окислении масла.

На экспериментальной установке имеется возможность определения следующих параметров:

- гидравлические характеристики материала элемента для присадки устройства непрерывного ввода в зависимости от концентрации присадок (щелочное число) масла от температуры: $C = f(T)$;
- исследование изменения концентрации присадки (щелочности) при ее непрерывном вводе;
- влияние внешних факторов на характеристику непрерывного ввода;
- пропускная способность фильтровального элемента.

Результаты и обсуждение

Исследование изменения концентрации присадки (щелочности) при непрерывном вводе проводились в течение 1–3 ч, т.е. до наступления установленного режима работы элемента для присадки со снятием их характеристик в виде зависимости $C = f(t)$ при различных режимах работы.

Гидравлические характеристики устройства непрерывного ввода снимались на предварительно очищенном масле, определялись значения концентрации (щелочности) при раз-

личных температурах и строились кривые в виде: $C = f(T)$ (рис. 1).

Исследования влияния внешних факторов на характеристику непрерывного ввода проводились при следующем режиме работы лабораторной установки: скорость масла через линию циркуляции 1–5 м/с, температура масла 20–100 °C и концентрация загрязнений 0,05–1 % (пример на рис. 2).

По результатам исследований при непрерывном вводе определялись предельные значения факторов, влияющих на характеристику процесса непрерывного ввода: скорость потока масла, температура и концентрация механических примесей.

Для проведения эксплуатационных испытаний применялись масла отобранные из системы смазки трактора, работающего на газообразном топливе с естественными загрязнениями.

Главной задачей испытаний являлось определение ресурсной характеристики устройства непрерывного ввода присадки в условиях эксплуатации.

Испытания проводились при естественной скорости потока масла системы смазки через устройства непрерывного ввода присадки при естественной температуре и естественной концентрации загрязнения масла двигателя в условиях эксплуатации.

Для оценки эффективности масел дизелей тракторов, работающих на газообразном и дизельном топливе, а также действия вводимых в масло присадок проведены сравнительные испытания масел двигателей Д-243 тракторов, эксплуатируемых в отрасли сельского хозяйства, которые выполняют транспортно-уборочные работы.

Перед началом испытаний проводили краткий анализ работоспособности тракторов.

Анализ свойств работающих моторных масел, в соответствии с методикой испытаний, проводили по таким показателям как плотность, кинематическая вязкость, число омыления, температура застывания, содержание механических примесей, температура вспышки, содержание воды, коксуюемость; щелочное число, кислотность, зольность, количество продуктов износа.

Полученные значения изменения свойств работающих моторных масел сравнивали с известными данными и закономерностями изменения характеристик масел, работающих на

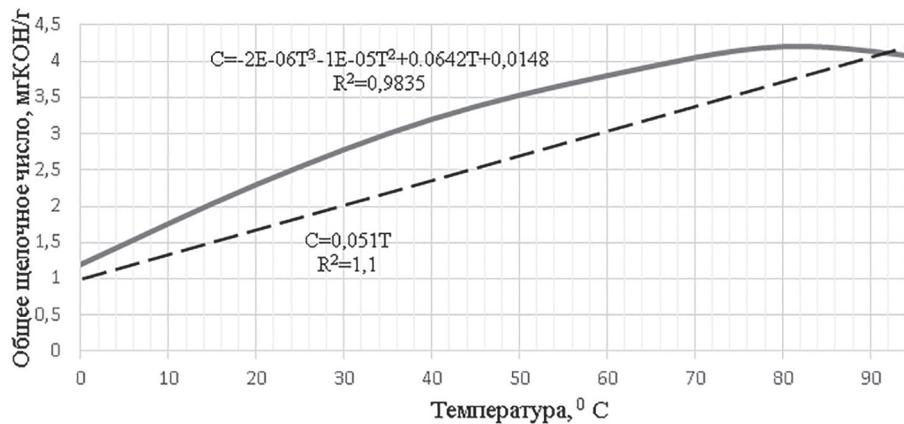


Рис. 1. Зависимость щелочного числа моторного масла двигателя, работающего на газообразном топливе от температуры T :
— теоретическая; — экспериментальная

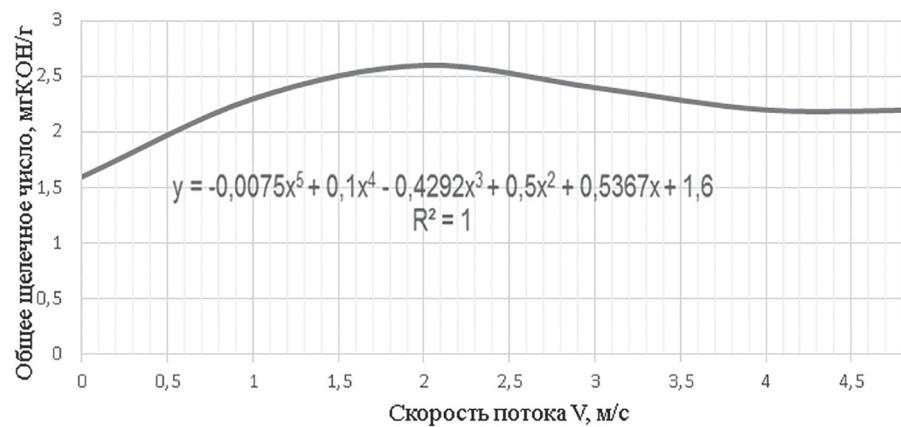


Рис. 2. Изменение щелочного числа моторного масла двигателя, работающего на газообразном топливе от скорости потока масла

дизельном и газообразных топливах. Особенность рассматриваемой технологии состоит в том, что в течение всего срока службы масла периодически, через заданную наработку, проверяют на состояние работающего масла по загрязненности и щелочному числу. После проверки в работающее масло вводят присадки, обеспечивающие удаление продуктов окисления (старения) и улучшения смазывающих свойств масла.

Процесс проведения исследований основных характеристик моторных масел двигателя Д-243 состоял из двух этапов. На первом этапе исследования получены пробы масел содержанием их 100 мл при работе тракторов на дизельном и газообразном топливе.

Исследования показали, что щелочное число при непрерывном вводе присадки увеличивалось в 1,5 раза по сравнению с пробами масел, отработавших без устройства непрерывного ввода присадок.

Было испытано устройство для ввода присадки с фильтровальным элементом. Режим работы установки по результатам исследований был установлен следующий: $T = 85^\circ\text{C}$, $v = 2 \text{ м/с}$ и концентрация механических примесей 0,25 %.

Эксплуатационные испытания устройства проводились в течение времени, пока щелочное число не снизилось ниже уровня 2 мгКОН/г. В результате получено, что ресурс масла увеличивается в среднем на 15–20 %.

Щелочность масла резко снижается в первые часы работы в течение 10–12 часов, а потом наступает установившийся режим и оставшееся время она практически мало изменяется.

На втором этапе исследований получены пробы масла с дизеля Д-243, работающего на газообразном топливе с введением присадок.

Пробы получили аналогичные первому этапу при работе тракторов на газообразном

Таблица

Физико-химические показатели работавших моторных масел марки М-10Г₂,

Показатели	Показатели предельного состояния масел	Работавшие масла до ввода стабилизаторов	Работавшие масла после ввода стабилизаторов
Плотность при 20 °С, кг/см ³ , не более	0,890	0,891	0,892
Кинематическая вязкость при 100 °С, сСт	9,0±0,5	9,7	9,8
Содержание механических примесей не более, %	0,01	0,038	0,027
Содержание воды, %	Следы	Следы	Следы
Щелочное число, мг КОН/г	2	2,24	2,8

топливе по существующей методике. Результаты анализа масел приведены в таблице.

Введение присадки в масло М-10Г2 при работе на газообразном топливе влияет на улучшение показателей как щелочного числа, так и кислотности, незначительно уменьшается содержание механических примесей и продукты износа.

Щелочное число в моторных маслах одна из важнейших показателей, указывающих на работоспособность масла, на потенциал его противоизносных и антиокислительных свойств. Щелочное число масла М-10Г2 по ГОСТу составляет не менее 6,0 мг КОН/г и, в основном, обеспечивается содержанием в масле сульфатных, алкилфенольных, алкилсалицилатных, зольных и антиокислительных присадок.

В нашем случае, при рассмотрении влияния присадки на изменение свойств масла М-10Г2, в исследуемых образцах, загрязнения масла уменьшается с 0,058 до 0,038 %.

Выводы

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- анализируя данные, представленные в таблице, отметим отсутствие влияния основной массы препаратов на щелочное число масла;
- отмечается увеличение уровня pH при введении в масла присадок;
- увеличение щелочного числа можно характеризовать как показатель увеличения срока службы работающего моторного масла;

– непрерывный ввод присадки в систему смазки двигателя улучшает эксплуатационные свойства масла, уменьшает износ деталей.

Литература

1. Альтушер М.Я. Срабатываемость присадок и их дозированный ввод в моторные масла. Москва: Химия, 1979. 178 с.
2. Григорьев Б.П. Новый режим смазки двигателей внутреннего сгорания. Мурманск. 1986. 230 с.
3. Морозов Г.А., Орциомов О.М. Очистка масел в дизелях. Л.: Машиностроение, 1971. 191 с.
4. Венцель С.В. Применение смазочных масел в автомобильных и тракторных двигателях. М.: Химия, 1985. 235 с.
5. Крейн С.Э. Химия и технология топлив и масел. № 3. С. 25.

References

1. Al'tusher M.YA. Srabatyvaemost' prisadok i ih dozirovannyj vvod v motornye masla [The performance of additives and their dosed entry into the engine oil]. Moscow: Himiya Publ., 1979. 178 p.
2. Grigor'ev B.P. Novyj rezhim smazki dvigatelej vnutrennego sgoraniya. Murmansk. 1986. 230 p.
3. Morozov G.A., Orciomov O.M. Ochistka masel v dizelyah [Purification of oils in diesel engines]. Leningrad: Mashinostroenie Publ. 1971. 191 p.
4. Vencel' S.V. Primenenie smazochnyh masel v avtomobil'nyh i traktornyh dvigatelyah [The use of lubricating oils in automobile and tractor engines]. Moscow: Himiya Publ., 1985. 235 p.
5. Krejn S.E. Himiya i tekhnologiya topliv i masel. No 3, pp. 25 (in Russ.).

УЛУЧШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА РАБОТЫ МАШИН ДЛЯ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА

IMPROVEMENT OF QUALITY INDICATORS OF MACHINES FOR POST-HARVEST GRAIN PROCESSING

Ц.В. ЦЭДАШИЕВ

Е.В. ЕЛТОШКИНА, к.т.н.

Иркутский государственный аграрный университет
им. А.А. Ежевского (ИрГАУ), Иркутск, Россия,
eev_baikal2005@mail.ru

TS.V. TSEDASHIEV

E.V. ELTOSHKINA, PhD in Engineering

Irkutsk State Agrarian University them. A.A. Ezhevsky (IrGaU),
Irkutsk, Russia, eev_baikal2005@mail.ru

Ключевое место в сельскохозяйственном производстве России уделяется производству зерна. Недопустимо высокий уровень потерь зерна на различных этапах его производства, начиная от возделывания и заканчивая послеуборочной обработкой, оказывает негативное влияние на объемы и экономику зернового хозяйства. Для создания охладительной установки зерна, отвечающей высоким требованиям, разработан и изготовлен опытный образец, на котором для подтверждения теоретических предпосылок были проведены экспериментальные исследования. Важным звеном в ряду решаемых задач являлось получение различных опытных зависимостей, в том числе критериальных. В результате для подтверждения аналитических выкладок получены зависимости, позволяющие получить качественные показатели процесса при функционировании экспериментальной установки. Полученные результаты существенно расширяют границы объема информации в области технических средств и технологий механизации послеуборочной обработки зерна, что способствует разработке и проектированию машин, работающих на инновационных принципах.

Ключевые слова: сельское хозяйство, качество работы, послеуборочная обработка зерна.

The key place in agricultural production of Russia is given to production of grain. Unacceptably high level of losses of grain at various stages of its production, beginning from cultivation and finishing with postharvest processing, has negative impact on volumes and economy of grain farm. For creation of cooling installation of grain, to the meeting high requirements the test piece is developed and made. For creation of cooling installation of grain, to the meeting high requirements the test piece is developed and made. To confirm theoretical prerequisites there was a need of carrying out the pilot studies. An important link in this number of tasks is obtaining various experienced dependences, including criteria. As a result of the conducted pilot studies for confirmation of analytical calculations the dependences allowing to receive quality indicators of process when functioning the pilot unit are received. This knowledge significantly expands information content borders in the field of technical means and technologies of mechanization of postharvest processing of grain. What promotes development and design of the cars working at the innovative principles.

Keywords: agriculture, quality of work, posleubrochny processing of grain.

Введение

Реализация программы научно-технического развития сельского хозяйства предполагает совершенствование существующих, а также создание инновационных технических средств и технологий, обеспечивающих механизацию, автоматизацию и электрификацию агропромышленного комплекса страны на современном уровне [1, 4–6, 8–11]. Ключевое место в сельскохозяйственном производстве России уделяется производству зерна. Недопустимо высокий уровень потерь зерна на различных этапах его производства, начиная от возделывания и заканчивая послеуборочной обработкой, оказывает негативное влияние на объемы и экономику зернового хозяйства. Необходимо существенно повысить эффективность использования материально-технической базы, в том числе на этапе послеуборочной обработки зерна [2, 3, 7], поскольку потери при обработке превышают в 2–3 раза потери при уборке. В общей структуре затрат доля на послеуборочную обработку составляет 30–60 %, а в структуре себестоимости – 40 %. Своевременная и качественная послеуборочная обработка зерна – один из путей сокращения его потерь и улучшения качества. Важной операцией послеуборочной обработки зерна является его охлаждение и сушка. Существующие охладительные устройства не отвечают современным требованиям. В этой связи остро стоит вопрос создания машин нового поколения.

Цель исследования

Создание охладительной установки зерна, отвечающей высоким требованиям, а также разработка и изготовление опытного образца установки, на которой для проверки и подтверждения теоретических предпосылок были проведены экспериментальные исследования.

Материалы и методы исследования

Для создания охладительной установки зернистых материалов, отвечающим самым высоким требованиям разработан и изготовлен опытный образец (рис. 1). Для того, чтобы подтвердить теоретические предпосылки, полученные в ходе аналитических изысканий, возникла необходимость проведения экспериментальных исследований. Важным звеном в этом ряду решаемых задач являлось получение различных опытных зависимостей, описы-

вающих процесс охлаждения зернистых материалов, в том числе критериальных.

Установка включает рабочую камеру 1, щелевой аппарат 2, выпускной патрубок 3, шлюзовой затвор 4, приемный бункер 5, вентилятор среднего давления 6, высоконапорный вентилятор 7, щит управления 8 и раму 9.

Опытная охладительная установка зернистых материалов функционирует следующим образом. Зерно, которое по своим температурным характеристикам превышает нормативные пределы, из приемного бункера установки подается в рабочую камеру вихревым воздушным потоком с помощью вентилятора среднего давления. В камере обрабатываемый материал активно обдувается закрученным потоком воздуха при высоких скоростях обтекания и активно охлаждается. Получение закрученного потока возникает в камере за счет подачи наружного воздуха высоконапорным вентилятором через щелевой аппарат. Постоянная транспортировка охлажденного зерна из установки происходит через шлюзовой затвор, а отработанный воздух через центральный выпускной патрубок направляется наружу.

С целью экспериментального исследования процессов, происходящих при работе опытной охладительной установки зернистых материалов, использовались методы физического моделирования. В соответствии с теорией подобия процесс теплообмена, происходящий при высоких скоростях обтекания между отдельно рассматриваемой зерновкой и закрученным воздушным потоком, можно представить как

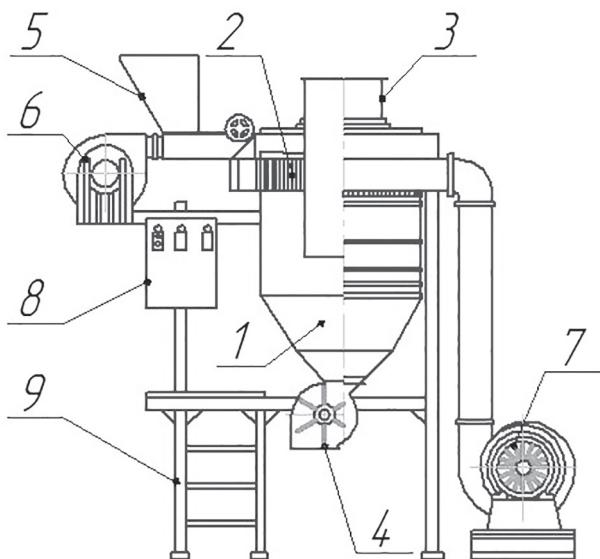


Рис. 1. Опытная охладительная установка зернистых материалов

процесс теплообмена, происходящий между неподвижной зерновкой и высокоскоростным воздушным потоком, обтекающим ее.

С целью проверки и подтверждения аналитических изысканий опытным путем был спроектирован и изготовлен стенд, который включает:

- аппарат для подачи наружного воздуха под давлением, состоящий из компрессора РГН-1300А и рессивера объемом 1,61 куба;
- устройство, позволяющее нагревать зерновку до необходимой температуры, и емкость для адсорбента;
- устройство, позволяющее охлаждать зерновки, состоящее из трубы и вентиля-регулятора.

Контрольно-измерительные приборы: автоматически пишущий потенциометр КСП-5,1 с термопарой из хромоникеля; манометр ММН и термометр, в качестве рабочего тела которого служит спирт.

Наружный воздух подавался газодувкой в трубу через вентиль с широким диапазоном регулирования, на выходе которой устанавливалась термопара с неподвижно установленной зерновкой. В процессе обдувания исследуемого материала нагнетаемым снаружи воздухом происходило его охлаждение, а варьирование температуры регистрировалось на автоматически записывающем устройстве потенциометра. Остывшую зерновку вновь нагревали в горячем адсорбенте, который, в свою очередь, нагревался с помощью электронагревательного приспособления. Доведя температуру объекта эксперимента до определенного значения, его снова охлаждали при других диапазонах скоростного режима воздушного потока.

Для проведения экспериментов в середине бороздки зерновок пшеницы были просверлены отверстия диаметром 0,8 мм. Поочередно образцы зерновок устанавливались на конец термопары, и опыты проводились при различных скоростях обтекания.

Результаты

Обработка данных, полученных опытным путем и их тщательный анализ позволили получить следующие эмпирические зависимости для вычисления коэффициента теплоотдачи в процессе охлаждения зерна:

$$\alpha_s = 0,244 \frac{\lambda \cdot V^{0.6}}{d_{np}^{0.4} \cdot v^{0.6}}, \quad (1)$$

где λ – параметр, характеризующий теплопроводность воздуха, Вт/м°С; v – кинематическая

вязкость воздуха, м²/с; V – скорость воздушного потока при обтекании зерна, м/с; d_{np} – приведенный диаметр образца зерновки, м.

Классическим уравнением, характеризующим процесс теплообмена различных тел, является критериальная зависимость вида $Nu = f(Re)$.

В результате проведения некоторых преобразований зависимости (1) получаем экспериментальное выражение формулы для нахождения критериальных данных:

$$\frac{\alpha_s d_{np}}{\lambda} = 0,244 \frac{d_{np}^{0.6} V^{0.6}}{v^{0.6}};$$

$$Nu_s = 0,244 Re^{0.6}. \quad (2)$$

Представленные выражения в комплексе с аналогичными формулами разных исследователей отражены на рис. 2.

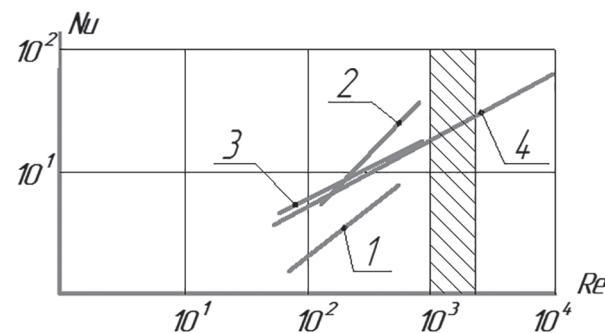


Рис. 2. Зависимости критерия Нуссельта от чисел Рейнольдса:

- 1 – В.М. Лурье – для плотного слоя;
- 2 – А.В. Авдеева – для виброожженного слоя;
- 3 – И.М. Федорова – для кипящего слоя;
- 4 – экспериментальная; Nu – критерий Нуссельта;
- Re – число Рейнольдса

Из рис. 2 видно, что при скоростях обдува, равных скорости витания зерна, или числах Рейнольдса (заштрихованная часть), число Нуссельта, характеризующее интенсивность теплообмена, составляет 20–30, что в 2–3 раза больше, чем при охлаждении зерна в кипящем слое и на порядок – в плотном слоях (2–3).

Таким образом, при этих значениях скоростей обтекания процесс теплообмена происходит значительно активнее.

Зависимости, полученные вышеупомянутыми авторами, действительны только для чисел Рейнольдса Re до 10^3 . Математические выражения, которые нам удалось получить, позволяют описывать процессы, происходящие при охлаждении зерна в интервале чисел от 10^3 до 10^4 .

Выводы

Полученные экспериментальным путем зависимости позволяют уточнить и подтвердить известные ранее аналитические выкладки, определяют новые знания, необходимые для разработки и проектирования технических средств и технологий для механизации производственных процессов возделывания злаковых культур, а именно послеборочной обработки зерна.

Литература

1. Бутенко А.Ф. Экспериментальное определение параметров активного питателя ленточного метателя зерна / А.Ф. Бутенко, А.В. Асатуриян, С.М. Чепцов // Вестник АПК Ставрополья. 2015. № 1. С. 17–21.
2. Шуханов С.Н. Планирование и методика проведения экспериментальных исследований зернометателей барабанного типа / С.Н. Шуханов // Известия Оренбургского ГАУ. 2015. № 5. С. 71–73.
3. Шуханов С.Н. Элементы взаимодействия частиц зернового вороха с воздухом при работе ленточного метателя / С.Н. Шуханов // Аграрный научный журнал. 2015. № 12. С. 58–59.
4. Шуханов С.Н. Повышение эффективности машин для сухой очистки корнеплодов / С.Н. Шуханов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2016. № 2. С. 13–14.
5. Шуханов С.Н. Элементы взаимодействия зерна с лопatkой барабана метателя / С.Н. Шуханов // Известия Оренбургского ГАУ. 2016. № 2, с. 63–65.
6. Шуханов С.Н. Оптимизация технологических процессов при почвообработке и посеве зерновых культур / С.Н. Шуханов // Аграрный научный журнал. 2016. № 11. С. 59–62.
7. Шуханов С.Н. Разделение зернового вороха на фракции с помощью лопастного метателя зерна / С.Н. Шуханов // Пермский аграрный вестник. 2016. № 4. С. 76–80.
8. Шуханов С.Н. Автоматическое регулирование работы молотильных аппаратов при уборке зерновых культур / С.Н. Шуханов // Вестник АПК Верхневолжья. 2016. № 4. С. 75–78.
9. Шуханов С.Н. Усовершенствованный способ возделывания корнеплодов в сухостепной зоне / С.Н. Шуханов // Известия Оренбургского ГАУ. 2018. № 1 (69). С. 112–113.
10. Шуханов С.Н. Зависимость сепарации зерна от его упругости / С.Н. Шуханов // Аграрная наука. 2018. № 1. С. 25–26.
11. Шуханов С.Н. Аналитическое исследование процесса дозирования торфа бункером-дозатором / С.Н. Шуханов // Аграрный научный журнал. 2018. № 3. С. 56–57.

References

1. Butenko A.F. Experimental determination of the parameters of the active feeder of the ribbon grain thrower / A.F. Butenko, A.V. Asaturyan, S.M. Cheptsov // Bulletin of the Agroindustrial Complex of Stavropol. 2015. № 1, p. 17–21.
2. Shukhanov S.N. Planning and methods for carrying out experimental studies of grain-type barrels / S.N. Shukhanov // Proceedings of the Orenburg State Technical University. 2015. № 5, p. 71–73.
3. Shukhanov S.N. Elements of the interaction of particles of grain heap with air during the operation of a belt thrower / S.N. Shukhanov // Agrarian Scientific Journal. 2015. № 12, p. 58–59.
4. Shukhanov S.N. Increase in the efficiency of machines for dry root crops cleaning / S.N. Shukhanov // Mechanization and electrification of agriculture. 2016. № 2, p. 13–14.
5. Shukhanov S.N. Elements of the interaction of grain with a shovel of the thrower drum / S.N. Shukhanov // Proceedings of Orenburg State Technical University. 2016. № 2, p. 63–65.
6. Shukhanov S.N. Optimization of technological processes in soil cultivation and sowing of cereal crops / S.N. Shukhanov // Agrarian Scientific Journal. 2016. No. 11, p. 59–62.
7. Shukhanov S.N. Separation of grain heaps into fractions using a paddle thrower / S.N. Shukhanov // Perm agrarian bulletin. 2016. № 4, p. 76–80.
8. Shukhanov S.N. Automatic regulation of the threshing apparatus operation during harvesting of cereals / S.N. Shukhanov // Bulletin of the Agroindustrial Complex of the Upper Volga Region. 2016. No. 4, p. 75–78.
9. Shukhanov S.N. Improved method of cultivating root crops in the dry steppe zone. Shukhanov // Proceedings of the Orenburg State Technical University. 2018. No. 1 (69), p. 112–113.
10. Shukhanov S.N. Dependence of grain separation on its elasticity / S.N. Shukhanov // Agrarian Science. 2018. No. 1, pp. 25–26.
11. Shukhanov S.N. Analytical study of the process of dosing of peat by a hopper-doser / S.N. Shukhanov // Agrarian Scientific Journal. 2018. № 3, p. 56–57.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА ТК-3-180 ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ЕГО В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

EVALUATION OF THE TECHNICAL LEVEL OF THE AGRICULTURAL TRACTOR TK-3-180 WHEN IT IS INCLUDED IN THE ROBOTIC COMPLEX

А.В. ЛАВРОВ¹, к.т.н.

В.А. ЗУБИНА¹

В.Г. ШЕВЦОВ¹, к.т.н.

Т.З. ГОДЖАЕВ¹

М.В. ВЯЗНИКОВ², к.т.н.

¹ ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия

² ООО «МИКОНТ», Чебоксары, Россия, vlshev@mail.ru,
fic51@mail.ru

A.V. LAVROV¹, PhD in Engineering

V.A. ZUBINA¹

V.G. SHEVCOV¹, PhD in Engineering

T.Z. GODZHAEV¹

M.V. VYAZNIKOV², PhD in Engineering

¹ Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow,
Russia

² Limited Liability Company «MIKONT», Cheboksary, Russia,
vlshev@mail.ru, fic51@mail.ru

В статье приведена сравнительная оценка значений производительности в час сменного времени машинно-тракторных агрегатов на базе с колесным трактором АГРОМАШ ТК-3-180, полученных при полевых испытаниях, и машинно-тракторных агрегатов с робототехническим комплексом на его базе – путем теоретических расчетов. Приведена принципиальная схема роботизации колесного трактора тягового класса 3. Показано, что система точного земледелия «Агропилот» позволяет обеспечить точность вождения не хуже $\pm 0,05$ м, модульная унифицированная система технического зрения «Эдельвейс» позволяет управлять автономной платформой, автоматизированная система управления переключением передач и диапазонов может работать в одном из трех режимов: полный автомат, полуавтомат и ручной режим, бортовая информационно-управляющая система верхнего уровня обеспечивает автоматическое управление машинно-тракторным агрегатом в беспилотном режиме на протяжении всей сменной работы. Рассмотрено влияние технического уровня трактора на его производительность, рабочую скорость и коэффициент сменности. В результате исследований влияния технического уровня элементов трактора на сменную производительность выявлено, что конструкция трактора может дать прирост к производительности до 37,2 %.

Ключевые слова: колесный трактор, часовая сменная производительность, технический уровень, коэффициент сменности, рабочая скорость агрегата.

The article presents a comparative assessment of the per hour shift working performance of wheeled tractor, which were obtained by theoretical calculations during field trials and machine-tractor units based on a Agromash TK-3-180 wheeled tractor with a robotic complex. A schematic diagram of the robotization of a wheeled tractor of traction class 3 is given. It is shown that «Agropilot» precision agriculture system ensures driving accuracy no worse than $\pm 0,05$ m, the «Edelweiss» modular unified technical vision system allows to control an autonomous platform. The automated control system for shifting gears and ranges can operate in one of three modes: full automatic, semi-automatic and manual. The upper-level onboard information and control system provides automatic control of the machine-tractor unit in unmanned mode throughout the shift work. The influence of the technical level of the tractor on its performance, working speed and shift factor is considered. As a result of studies of the influence of the technical level of the tractor elements on the shift performance, it has been revealed that the design of the tractor can give an increase in productivity to 37,2 %.

Keywords: wheel tractor, hourly shift performance, technical level, shift factor, unit operating speed.

Введение

Технический уровень сельскохозяйственных тракторов является одним из основных факторов, определяющих их конкурентоспособность и потребительские качества. Отечественные тракторы в основном соответствуют требованиям российских машинных технологий по функциональным возможностям, диапазону рабочих скоростей и тягово-сцепным качествам. В то же время технический уровень отечественных тракторов в целом значительно ниже лучших зарубежных моделей [1, 2].

Рассматривая конкурирующие модели, необходимо учитывать показатели технического уровня, влияющие на сменную производительность.

Показатели технического уровня сельскохозяйственных тракторов определяют производительность тракторов.

Цель исследования

Целью данного исследования является проведение теоретических расчетов часовой сменной производительности трактора ТК-3-180 с учетом показателей технического уровня и сравнение полученных результатов с экспериментальными данными, полученными в результате полевых испытаний [3, 4].

Материалы и методы

На основании проведенных исследований [5, 6, 7] сконструирован робототехнический комплекс на базе колесного сельскохозяйственного трактора общего назначения (ТК-3-180Д) (рис. 1), которым является совместной разработкой предприятий: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, ПАО «Промтрактор», ООО «МИКОНТ». Трактор на 80 % состоит из узлов и деталей отечественного производства. Машина оснащена различными системами автоматизации и интеллектуализации, которые повышают эффективность ее применения.

Принципиальная схема роботизации колесного трактора класса 3 представлена на рис. 1.

Трактор ТК-3-180Д

Колесный сельскохозяйственный трактор общего назначения тягового класса 3 классической компоновки ТК-3-180 с дизельным двигателем номинальной мощностью 184 л.с. предназначен для выполнения комплекса работ (см. рис. 1) в почвенно-климатических зонах с умеренным климатом по основной и предпосевной обработке почвы (пахота, безотвальное рыхление, боронование, сплошная культивация), сева зерновых, проведения уборочных и транспортных работ, лущевания стерни и дискования почвы, внесения удобрений, снего-задержания, закрытия влаги и других работ в агрегате с навесными, полунавесными и прицепными гидрофицированными машинами и орудиями. Кроме того, трактор может эксплуатироваться с оборотными плугами, комбинированными машинами, в том числе с активными рабочими органами полного набора машин и орудий к тракторам тягового класса 2 и 3, в почвенно-климатических зонах 1...10, 18 и 19, а также в агрегате с машинами и орудиями, предназначенными для легких дорожных, строительных и мелиоративных работ.

Технические характеристики трактора представлены в таблице 1.

Система точного земледелия

«Агропилот-1»

«Агропилот-1» – Бортовая информационно-управляющая система (БИУС) – автоматическая система точного вождения, использующая навигационную систему GPS/ГЛОНАС; предназначена для управлением движением трактора по полю по заданным траекториям («автоРуль»).

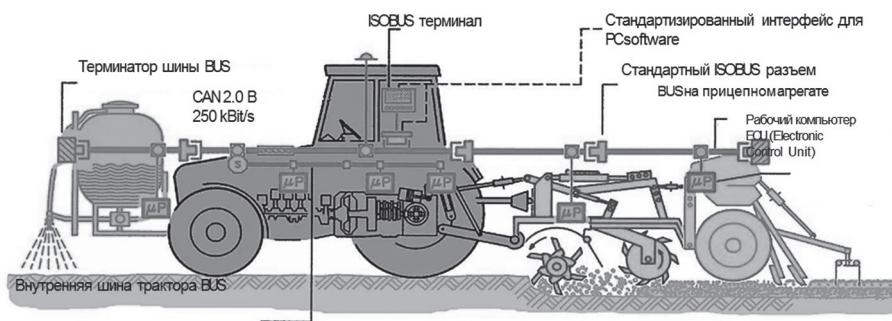


Рис. 1. Принципиальная схема роботизации колесного трактора класса 3

Таблица 1

Технические характеристики базового трактора 180 л.с.

Модель	ТК-3-180
Колесная формула	4x4
Номинальная сила тяги, кН (т)	от 27,0 до 36,0 (от 2,7 до 3,6)
Двигатель кВт(л.с.):	135 (184)
Масса трактора, кг, не более:	
– конструктивная;	6400±200
– эксплуатационная масса трактора (без дополнительных грузов при полной заправке);	6900±200
– эксплуатационная масса трактора (с дополнительными грузами при полной заправке);	9600±200
– максимально допустимая масса трактора, в агрегате с дополнительными грузами, навесными машинами и заполненными технологическими емкостями	10800±300
Основные размеры, мм:	
– длина	5165±150
– ширина	2450
– высота по крыше кабины	3070
Агротехнический просвет, мм, не менее	490
Радиус поворота минимальный, м	5,9

Система обеспечивает точность решения навигационной задачи путем приема платных поправок по каналу GSM/GPRS от стационарных базовых станций коррекции (режим RTK) не хуже 0,02 м±0,01 м/км. Без использования поправок алгоритм программной коррекции определения координат позволяет обеспечить точность не хуже (м) ±0,05 м в автономном режиме, за счет применения одной или нескольких контрольных точек.

*Модульная унифицированная система
технического зрения «Эдельвейс»*

Робототехнический комплекс (РТК) комплектуется модульной, унифицированной системой технического зрения «Эдельвейс», разработанной ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Основу алгоритмического обеспечения системы составляет программный каркас СТЗ реального времени. Открытая программно-аппаратная архитектура «Эдельвейса» позволяет оперативно наращивать как вычислительные, так и сенсорные средства RGB. В зависимости от круга решаемых задач информационного обеспечения подвижного средства СТЗ может дополняться различными регистрирующими блоками и бортовыми вычислительно-управляющими модулями, включаемыми в состав системы управления автономной многофункциональной роботизированной платформой.

*Автоматическая система управления
переключением передач и диапазонов*

Водитель может выбрать один из трех режимов работы «автомата»: полный автомат (переключение диапазонов и передач в автоматическом режиме); полуавтомат (автоматическое переключение 6 передач внутри выбранного диапазона); ручной режим. В режиме паузы система автоматически переключается на режим автоматического переключения передач внутри выбранного водителем диапазона.

*Бортовая информационно-управляющая
система верхнего уровня*

Система предназначена для автоматического управления комплексом трактор – сельскохозяйственное орудие в беспилотном режиме на всем протяжении сменной работы (машинный парк – транспорт – работа в поле – транспорт – машинный парк).

Система обеспечивает автоматизацию процессов при развороте в конце полосы (разворот в конце полосы с минимальным участием водителя):

- управление сельскохозяйственным орудием – плуг обратный 4-корпусный;
- управление задней рычажной системой трактора;
- управление переключением передач и скоростью двигателя;
- управление траекторией движения трактора.

На основании анализа конструкции робототехнического комплекса и рекомендаций по оценке влияния показателей технического уровня на сменную производительность [8, 9, 10] дана обобщенная оценка влияния показателей технического уровня РТК на его сменную производительность (табл. 2).

Результаты исследования и их обсуждение

Для оценки эффективности трактора ТК-3-180 в производственных условиях на МИС проводились полевые испытания, результаты которых представлены в протоколах [4]. При испытаниях трактора в комплектации с 4 корпусным оборотным плугом определялась часовая сменная производительность как основного, так и технологического времени.

Теоретические расчеты часовой сменной производительности с учетом показателей технического уровня проводились по методике, разработанной сотрудниками ФГБНУ ФНАЦ ВИМ [4].

Результаты экспериментальных и теоретических исследований приведены в таблице 3.

Анализ полученных данных показывает, что расчитанная часовая сменная производительность без учета и с учетом влияния показателей технического уровня имеет относительную погрешность с результатами испытаний на МИС – 35 и 7,1 %, соответственно, что подтверждает адекватность предложенной методики.

Используя разработанную методику, произведен расчет производительности в час сменного времени трактора АГРОМАШ ТК-3-180. Результаты сравнены с протоколом полевых испытаний рассматриваемого трактора на Кубанской государственной зональной МИС.

Выводы

1. В результате теоретических исследований установлено, что производительность колесного трактора ТК-3-180 без учета показателей технического уровня составляет 1,4 га/ч, а с учетом показателей технического уровня – 1,7 га/ч.

2. В результате анализа полученных данных выявлено, что производительность до 37,2 % можно достигнуть за счет изменения конструктивных особенностей трактора: тип

Таблица 2

Обобщенная оценка влияния показателей технического уровня РТК на сменную производительность МТА

Показатель	Базовые значения	Влияние в % при постоянных: мощности, массе и прочих показателях технического уровня		
		V_p	$\tau_{\text{см}}$	$W_{\text{час смены}}$
Коэффициент запаса крутящего момента	30 %	+9,0	+4,5	+14,0
Тип трансмиссии	АПНХ	+5,2	+8,3	+14,0
Отношение передаточных чисел	1,15	0	0	0
Автоматизация управления поворотом	Имеется	–	+4,0	+4,0
Расположение поста управления	По центру	–	+7,0	+7,0
Минимальный радиус поворота (max угол поворота)	(35°)	–	0	0

Таблица 3

Результаты экспериментальных и теоретических исследований

Показатель	Экспериментальные данные	Расчетные данные с учетом показателей технического уровня	Расчетные данные	Относительная погрешность с показателем технического уровня, %	Относительная погрешность без показателей технического уровня %
Рабочая скорость, км/ч	8,7	8,78	7,53	0,9	13,4
Производительность, га за 1 час основного времени	1,73	1,79	1,32	3,4	23,7
Производительность, га за 1 час сменного времени	1,4	1,52	0,93	7,1	35
Коэффициент сменности	0,8	0.85	0,65	6,1	18,7

трансмиссии, отношения передаточных чисел, автоматизации управления поворотом, расположения поста управления, минимального радиуса поворота, коэффициента запаса крутящего момента.

3. Для полной оценки трактора ТК-3-180 необходимо провести сравнительную оценку технологического уровня в сравнении с существующими моделями тракторов, энергостоймостной анализ и анализ, технико-экономической эффективности на примере модельного хозяйства.

4. Предлагаемый метод оценки технического уровня сельскохозяйственных тракторов позволит грамотно комплектовать машинно-тракторный парк сельскохозяйственных предприятий, а также более обоснованно выбирать направления развития конструкции трактора.

Литература

1. Концепция модернизации парка сельскохозяйственных тракторов России на период до 2020 года. М.: ВИМ, 2013.
2. Mbrquez L. Tractores Agricolos: Tecnologna Y Utilizaciyn. Madrid: B and H Grupo Editorial, 2012. pp.844.
3. Протокол № 03-48-12 (4010091) от 23 октября 2012 г. приемочных испытаний трактора сельскохозяйственного колесного «Агромаш-160ТК» (ТК-2-160). ФГБУ «Владимирская государственная зональная машиноиспытательная станция».
4. Протокол № 07-140-2013 (9070186) предварительных испытаний трактора колесного «Агромаш-180ТК» (ТК-3-180). ФГБУ «Кубанская государственная зональная машиноиспытательная станция».
5. Шевцов В.Г., Кряжков В.М., Гурылев Г.С. Тенденции развития производства сельскохозяйственных тракторов и состояние их рынка в России // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. научн.-техн. конф. НПЦ НАН. Минск, 2014. С. 244–250.
6. Кряжков В.М., Годжаев З.А., Шевцов В.Г., Гурылев Г.С., Лавров А.В. Исследование состояния парка сельскохозяйственных тракторов России и приоритетные направления его развития // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: сб. науч. докл. Междунар. научн.-техн. конф. М.: ФГБНУ ВИМ, 2014. С. 305–311.
7. Концептуальные предпосылки развития тракторного обеспечения растениеводства // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства: сб. науч. докл. Междунар. научн.-техн. конф. Ч. 2. М.: ФГБНУ ВИМ, 2015. С. 20–24.
8. Измайлов А.Ю., Шевцов В.Г. Годжаев З.А., Лавров А.В., Зубина В.А. Оценка технического уровня современных сельскохозяйственных тракторов, представленных на российском рынке. SAE Technical Paper 2018-01-0657, 2018. Doi: 10.4271/2018-01-0657.
9. Шевцов В.Г., Соловейчик А.А. Влияние технического уровня сельскохозяйственных тракторов на эксплуатационные показатели машинно-тракторных агрегатов // Сб. докл. XI Междунар. практ. конф. Часть 1. 2010. С. 194–205.
10. Шевцов В.Г., Лавров А.В., Колос В.А., Зубина В.А. Зависимость показателей технической оснащенности сельскохозяйственной организации от тракторного парка // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сб. науч. статей МНТК. Минск: БГАТУ, 2016. С. 520–523.

References

1. Konsepciya modernizacii parka sel'skohozyajstvennyh traktorov Rossii na period do 2020 goda [The concept of modernization of the fleet of agricultural tractors in Russia for the period up to 2020]. Moscow: VIM Publ., 2013.
2. Mbrquez L. Tractores Agricolos: Tecnologna Y Utilizaciyn. Madrid: B and H Grupo Editorial, 2012. pp.844.
3. Protokol No 03-48-12 (4010091) ot 23 oktyabrya 2012g. priemochnyh ispytanij traktora sel'skohozyajstvennogo kolesnogo «Agromash-160TK» (TK-2-160). FGBU «Vladimirskaya gosudarstvennaya zonal'naya mashinoispytatel'naya stanciya».
4. Protokol No 07-140-2013 (9070186) predvaritel'nyh ispytanij traktora kolesnogo «Agromash-180TK» (TK-3-180). FGBU «Kubanskaya gosudarstvennaya zonal'naya mashinoispytatel'naya stanciya».
5. SHevcov V.G., Kryazhkov V.M., Gurylev G.S. Trends in the development of agricultural tractor production and the state of their market in Russia. Nauchno-tehnicheskij progress v sel'skohozyajstvennom proizvodstve: Materialy Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf. NPC NAN [Scientific and technical progress in agricultural production: Materials of international scientific and practical conference]. Minsk, 2014, pp. 244–250 (in Russ.).
6. Kryazhkov V.M., Godzhaev Z.A., SHevcov V.G., Gurylev G.S., Lavrov A.V. Study the state of the park of agricultural tractors in Russia and the priority

- directions of its development. Innovacionnoe razvitiye APK Rossii na baze intellektual'nyh mashinnyh tekhnologij: Sb.nauch.dokl. Mezhdunar.nauch.-tekhn. konf. [Innovative development of the agro-industrial complex of Russia on the basis of intellectual machine technologies: Collection of scientific reports. Intern. Scientific and Technical Conf.]. Moscow: FGBNU VIM Publ., 2014, pp. 305–311 (in Russ.).
7. Conceptual prerequisites for the development of tractor support for crop production. Intellektual'nye mashinnye tekhnologii i tekhnika dlya realizacii Gosudarstvennoj programmy razvitiya sel'skogo hozyajstva: Sb.nauch.dokl. Mezhdunar. nauchn.-tekhn.konf. [Intelligent machine technologies and equipment for the implementation of the State program for the development of agriculture: Collection of scientific reports. International scientific-technical conference.]. Ch. 2. Moscow: FGBNU VIM, 2015, pp. 20–24 (in Russ.).
8. Izmajlov A.YU., SHevcov V.G. Godzhaev Z.A., Lavrov A.V., Zubina V.A. Ocenna tekhnicheskogo urovnya sov-remennyh sel'skohozyajstvennyh traktorov, predstavlennyh na rossijskom rynke, SAE Technical Paper 2018-01-0657, 2018, doi:10.4271/2018-01-0657.
9. SHevcov V.G., Solovejchik A.A. The impact of the technical level of agricultural tractors on the performance of machine-tractor units. Sb. dokl. XI Mezhdunar. prakt. konf. [Collection of reports of IX International practical conference]. CHast' 1. 2010, pp. 194–205 (in Russ.).
10. SHevcov V.G., Lavrov A.V., Kolos V.A., Zubina V.A. Dependence of indicators of technical equipment of the agricultural organization on the tractor fleet. Tekhnicheskoe obespechenie innovacionnyh tekhnologij v sel'skom hozyajstve: Sb. nauch. statej MNTK [Technical support of innovative technologies in agriculture: collection of pa-pers]. Minsk: BGATU, 2016, pp. 520–523 (in Russ.).

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

EVALUATION OF THE IMPACT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Н.Е. РУДЕНКО, д.с.-х.н.
Е.В. КУЛАЕВ, к.т.н.
В.Н. РУДЕНКО, к.т.н.
И.А. НОСОВ

Ставропольский государственный аграрный университет,
Ставрополь, Россия; Астраханский государственный
университет, Астрахань, Россия, kajwanov@yandex.ru

N.E. RUDENKO, DSc in Agriculture
E.V. KULAEV, PhD in Engineering
V.N. RUDENKO, PhD in Engineering
I.A. NOSOV

Stavropol state agrarian University, Stavropol,
Astrakhan state University, Astrakhan, kajwanov@yandex.ru

Проведенный анализ и результаты исследований показали, что каждый технологический процесс оценивается несколькими показателями: коэффициентом вариации глубины заделки семян, частотностью однозерновой посадки, степенью крошения почвы, степень выноса влажной почвы на дневную поверхность и т.д. Интегрального показателя оценки качества выполнения технологических процессов нет. Для решения этой проблемы предлагается аналитическая зависимость показателя резльтативности, в которой учитываются все определяющие факторы для каждого технологического процесса. Показатель резльтативности имеет цифровое значение, от 0,4 до 0,9, определяющее качество выполнения технологического процесса: неудовлетворительное, удовлетворительное, хорошее. Кроме того, можно четко обозначить факторы, требующие улучшения, повышающие показатель резльтативности.

Ключевые слова: процесс, технология, посев, обработка почвы, показатель.

The analysis and the results showed that the technological process depends on several factors: the coefficient of variation of depth of seeding, the frequency of single-seed feed, the degree of soil crumbling, the degree of removal of moist soil to the surface, etc. There is no integral indicator for assessing the quality of technological process performance. To solve this problem, an analytical dependence of the performance indicator is proposed. It takes into account all the determining factors for each process. The performance indicator has a digital value from 0,4 to 0,9, which determines the quality of the technological process: unsatisfactory, satisfactory, good. In addition, it is possible to clearly identify the factors, which increase the performance indicator, that need to be improved.

Keywords: process, technology, sowing, tillage, indicator.

Цель исследования

Изыскать интегральный показатель, осуществляющий комплексную оценку качества выполнения технологического процесса.

Материалы и методы

Данные агротехнических требований к технологическим процессам, материалы статей, методы комплексного анализа.

Результаты и обсуждение

Рост и развитие растений, накопление продуктивности осуществляется при возделывании пропашных культур, вот почему нами проведены исследования и даются рекомендации по технологиям и техническим средствам для возделывания пропашных культур (рис. 1).

Оценка эффективности выполнения технологического процесса ведется по нескольким показателям. Необходимо определить интегральный оценочный показатель для всего процесса.

Такой показатель может быть представлен в виде следующей зависимости:

$$\Pi_p = K_{\text{пп}} \left(\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \frac{1}{x_3} + \frac{1}{x_4} + \frac{1}{x_5} \right),$$

где Π_p – показатель результативности технологического процесса; $x_1 \dots x_5$ – значения факторов, оценивающих технологический процесс, %; $K_{\text{пп}}$ – коэффициент пропорциональности.

Коэффициент пропорциональности $K_{\text{пп}}$ определяется суммой значений факторов: $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5$. Если сумма достигает значения $< 100 - K_{\text{пп}} = 0,5$; $100 \dots 140 - 2$; $140 \dots 180 - 3$; $180 \dots 220 - 4$; $> 220 - 5$.

Показатель результативности дает оценку качества выполнения технологического процесса в цифровом значении. При $\Pi_p < 0,5$ качество неудовлетворительное, от 0,5 до 0,7 – удовлетворительное, $> 0,7$ – хорошее.

Определим Π_p для основных технологических процессов.

Предпосевная обработка почвы

Для оценки качества предпосевной обработки почвы используются следующие факторы: C_k – степень крошения почвы, %; $C_{\text{вв}}$ – степень выноса влажной почвы на дневную поверхность, %; $C_{\text{вг}}$ – степень вариации глубины обработки почвы, %; $C_{\text{вп}}$ – степень выравненности поверхности почвы, %;

Тогда:

$$\Pi_{\text{пп}} = K_{\text{пп}} \left(\frac{1}{C_k} + \frac{1}{C_{\text{вв}}} + \frac{1}{C_{\text{вг}}} + \frac{1}{C_{\text{вп}}} \right),$$

где $\Pi_{\text{пп}}$ – показатель результативности технологического процесса; $K_{\text{пп}}$ – коэффициент пропорциональности для предпосевной обработки почвы.

По агротехническим требованиям:

$$C_k = 80\%; C_{\text{вв}} = 20\%; C_{\text{вг}} = 10\%; \\ C_{\text{вп}} = 90\%; K_{\text{пп}} = 4.$$

Тогда:

$$\Pi_{\text{пп}} = 4 \left(\frac{1}{80} + \frac{1}{20} + \frac{1}{10} + \frac{1}{90} \right) = 0,69.$$

При улучшении качественных показателей:

$$C_k = 85\%; C_{\text{вв}} = 15\%; C_{\text{вг}} = 8\%; \\ C_{\text{вп}} = 90\%; K_{\text{пп}} = 4.$$

$$\Pi_{\text{пп}} = 4 \left(\frac{1}{85} + \frac{1}{15} + \frac{1}{8} + \frac{1}{90} \right) = 0,86.$$

Происходит увеличение показателя результативности процесса предпосевной обработки почвы.

Посев

Оценка технологического процесса высева и заделки ведется по следующим факторам:

$Ч_{\text{пп}}$ – частотность пропусков, %;

$Ч_o$ – частотность однозерновой подачи, %;

K_r – коэффициент вариации глубины заделки семени, %;

$K_{\text{ш}}$ – коэффициент вариации шага посева, %;

Π_k – доля поверхности семени, соприкасающиеся с почвой (плотность контакта), %;

Π_{pb} – показатель результативности процесса высева;

$K_{\text{пп}}$ – коэффициент пропорциональности для высева.

Отсюда:

$$\Pi_{\text{pb}} = K_{\text{пп}} \left(\frac{1}{Ч_{\text{пп}}} + \frac{1}{Ч_o} + \frac{1}{K_r} + \frac{1}{\Pi_k} \right).$$

Вначале расчет ведется по данным агротехническим требованиям:

$Ч_{\text{пп}} = 2\%$; $Ч_o = 2\%$; $K_r = 10\%$;

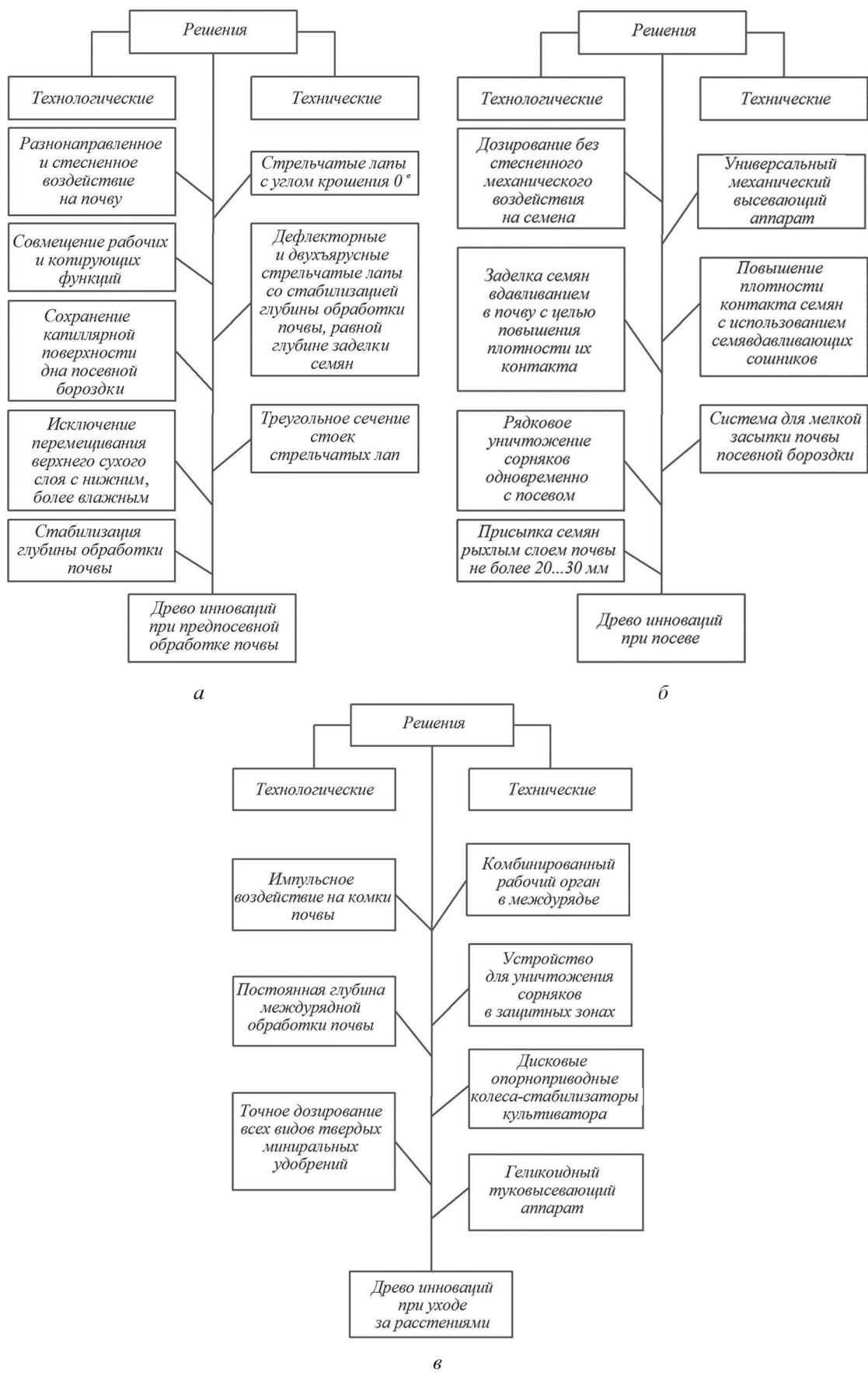
$K_{\text{пп}} = 20\%$; $\Pi_k = 60\%$; $K_{\text{пп}} = 0,5$.

$$\Pi_{\text{pb}} = 0,5 \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{60} \right) = 0,58.$$

При условии повышения качественных показателей:

$Ч_{\text{пп}} = 1,5\%$; $Ч_o = 1,5\%$; $K_r = 10\%$;

$K_{\text{пп}} = 20\%$; $\Pi_k = 70\%$.

**Рис. 1. Схема древа инноваций:***а – для предпосевной обработки почвы; б – для посева; в – для ухода за растениями*

$$\Pi_{\text{pb}} = 0,5 \left(\frac{1}{1,5} + \frac{1}{1,5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{70} \right) = 0,79.$$

Показатель результативности вырос.

Междурядная обработка почвы

Оценивается факторами:

C_k – степень крошения почвы, %;

$C_{\text{вн}}$ – степень выноса влажной почвы на дневную поверхность, %;

$C_{\text{пп}}$ – степень выравненности поверхности почвы, %;

$K_{\text{пп}}$ – коэффициент площади испарения почвы, определяется по величине защитной зоны %;

K_{hp} – количество неподрезанных растений, фактическое количество растений, %;

Π_{pm} – показатель результативности процесса междурядной обработки почвы;

$K_{\text{пп}}$ – коэффициент пропорциональности для междурядной обработки почвы.

Тогда:

$$\Pi_{\text{pm}} = K_{\text{пп}} \left(\frac{1}{C_k} + \frac{1}{C_{\text{вн}}} + \frac{1}{C_{\text{пп}}} + \frac{1}{K_{\text{пп}}} + \frac{1}{K_{\text{hp}}} \right).$$

В соответствии с агротехническими требованиями:

$C_k = 80 \%$; $C_{\text{вн}} = 20 \%$; $C_{\text{пп}} = 90 \%$;

$K_{\text{пп}} = 30 \%$; $K_{\text{hp}} = 97$; $K_{\text{пп}} = 5$.

Получим:

$$\Pi_{\text{pm}} = 5 \left(\frac{1}{80} + \frac{1}{20} + \frac{1}{90} + \frac{1}{28} + \frac{1}{97} \right) = 0,60.$$

При улучшении качественных показателей:

$C_k = 85 \%$; $C_{\text{вн}} = 15 \%$; $K_{\text{пп}} = 15 \%$; $K_{\text{hp}} = 98 \%$.

$$\Pi_{\text{pm}} = 5 \left(\frac{1}{80} + \frac{1}{15} + \frac{1}{90} + \frac{1}{15} + \frac{1}{98} \right) = 0,83.$$

Показатель результативности междурядной обработки существенно повышается.

Выводы

Предлагаемый показатель результативности дает возможность комплексно оценивать качество выполнения технологического процесса. Цифровое значение показателя позволяет использовать факторы, повышающие эффективность технологического процесса.

Литература

1. Руденко Н.Е., Кулаев Е.В., Руденко В.Н. Новые технологии и средства механизации в растениеводстве. Монография. Ставрополь: АГРУС 2018. 380 с.
2. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Колос, 1994. 751 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1973.
4. Рекомендации по машинному обеспечению технологии возделывания и уборки основных сельскохозяйственных культур. Новокубанск: КубНИИТиМ, 2015. С. 24–27.
5. Овощные сеялки и комбинированные агрегаты. Теория, конструкция, расчет. Кишинев: ШТИИНЦА, 1984.
6. Малиев В.Х., Данилов М.В., Пьянков В.С. Новый способ гладкой вспашки // Вестник АПК Ставрополья. 2011. № 1. С. 49–53.

References

1. Rudenko N.E. Kulaev E.V., Rudenko V.N. New technologies and means of mechanization in crop production [New technologies and means of plant mechanization]. Monograph. Stavropol: AGRUS Publ. 2018. 380 p.
2. Klenin N., Sakun V. Sel'skohozyajstvennye i meliorativnye mashiny [Agricultural and meliorative machines]. Moscow: Kolos Publ., 1994. 751 p.
3. Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike dlya nauchnyh rabotnikov i inzhenerov [Mathematics reference for scientists and engineers]. Moscow: Science, 1973.
4. Rekomendacii po mashinnomu obespecheniyu tekhnologii vozdelyvaniya i uborki osnovnyh sel'skohozyajstvennyh kul'tur [Recommendations on machine support of technology of cultivation and harvesting of the main crops]. Novokubansk: Koebnick, 2015. pp. 24–27 (in Russ.).
5. Ovoshchnye seyalki i kombinirovannye agregaty. Teoriya, konstrukciya, raschet [5. Vegetable planter and combination units. Theory, design, calculation]. Chisinau: SHTIINTSA, 1984.
6. Maliev V.H., Danilov M.V., Pyanov V.S. A new method of smooth plowing. Vestnik AIC Stavropol. 2011. No 1, pp. 49–53 (in Russ.).

