



ТРАКТОРЫ И СЕЛЬХОЗМАШИНЫ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Каминский В.Н.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

Лепёшкин А.В.

Издается с февраля 1930 г.

5•2018

Выходит 6 раз в год

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Годжаев З.А.

Горбачёв И.В.

Городецкий К.И.

Ерохин М.Н.

Жалнин Э.В.

Измайлов А.Ю.

Ковалёв М.М.

Котиев Г.О.

Ксенович Т.И.

Кузьков Г.М.

Лачуга Ю.Ф.

Ляшенко М.В.

Предигер В.

Фомин В.М.

Щельцын Н.А.

Учредитель

- Редакция

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

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

Издатель

Московский Политех

Адрес редакции:

115280, Москва, Автозаводская, 16

Тел. (495) 276-33-67

E-mail: izdat.mospolytech@yandex.ru

Сайт: www.mospolytech.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ	ENVIRONMENTALLY CLEAN TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT	
Кулик К.Н., Бартенев И.М. Инновационная технология реконструкции и восстановления полевых лесных полос	Kulik K.N., Bartenev I.M. Innovative technology of reconstruction and remediation of forest shelter belts	3
Бурьянов А.И., Бурьянов М.А., Червяков И.В. Способы и устройства обработки стеблестоя зерновых колосовых культур, убранных по технологии комбайнового чеса	Bur'yanov A.I., Bur'yanov M.A., Chervyakov I.V. Methods and devices for processing the stemstock of cereal crops harvested using combine stripper harvester technology	9
Лиханов В.А., Лопатин О.П. Исследование скоростных режимов работы тракторного дизеля на спирто-топливных эмульсиях	Lihanov V.A., Lopatin O.P. Research of high-speed operation modes of a tractor diesel on alcohol-fuel emulsions	15
Самсонов В.А., Лачуга Ю.Ф. Расчет показателей корректорного участка скоростной характеристики тракторного двигателя	Samsonov V.A., Lachuga Yu.F. Calculation of the parameters of the corrector section of the speed characteristics tractor engine	20
НОВЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ	NEW MACHINES AND EQUIPMENT	
Божко И.В., Пархоменко Г.Г., Камбулов С.И. Совершенствование конструкции рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы	Bozhko I.V., Parhomenko G.G., Kambulov S.I. Improving the design of the working body for layer-by-layer tillage	26
Сыромятников Ю.Н., Храмов Н.С., Войнаш С.А. Гибкий элемент в составе рабочих органов роторной почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины	Syromyatnikov YU.N., Hramov N.S., Vojnash S.A. Flexible element in the composition of the working bodies of the rotary soil-cultivating ripping-separating machine	32
Ожерельев В.Н., Никитин В.В. К определению оптимального угла наклона отверстий решетчатого днища наклонной камеры	Ozhereliev V.N., Nikitin V.V. To determine the optimal tilt angle of the lattice holes of the bottom of the inclined chamber	40
ТЕОРИЯ, КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ	THEORY, DESIGN, TESTING	
Каминский Р.В., Ковальцов И.В., Костюков Е.А., Сибирияков С.В., Филиппов А.С. Виброметрирование турбокомпрессора дизеля сельскохозяйственного назначения	Kaminsky R.V., Kovaltsov I.V., Kostyukov E.A., Sibiryakov S.V., Filippov A.S. Vibration analysis of diesel turbocharger for agricultural use	47
Мерзликин В.Г., Макаров А.Р., Смирнов С.В., Костюков А.В., Гутьеррес Маркос Охеда Малозатратный экологичный дизель с теплоизолированной камерой сгорания	Merzlikin V.G., Makarov A.R., Smirnov S.V., Kostukov A.V., Gutierrez Marcos Ojeda Low-cost, eco-friendly diesel with a thermally insulated combustion chamber	56
Путинцев С.В., Бикташев А.Ф., Пилацкая С.С. Некоторые результаты экспериментального моделирования условий маслоснабжения ЦПГ малоразмерного четырехтактного дизеля	S.V. Putintsev, A.F. Biktashev, S.S. Pilatskaya Some results of experimental modeling cylinder and piston group oil supply conditions of the low-sized four-cycle diesel engine	69
КАЧЕСТВО, НАДЕЖНОСТЬ	QUALITY, RELIABILITY	
Годжаев З.А., Погожина А.М. Перспективы развития ходовых систем современных мобильных энергосредств сельскохозяйственного назначения	Godzhaev Z.A., Pogozhina A.M. Prospects for the development of undercarriage systems of modern mobile energy devices for agricultural purposes	76
ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА	ECONOMICS, ORGANIZATION AND TECHNOLOGY OF MANUFACTURING	
Бойков В.М., Старцев С.В., Павлов А.В., Нестеров Е.С., Лаврентьев А.В. Методика определения рационального состава пахотного агрегата	Bojkov V.M., Starcev S.V., Pavlov A.V., Nesterov E.S., Lavrent'ev A.V. Method of	

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС

INNOVATIVE TECHNOLOGY OF RECONSTRUCTION AND REMEDIATION OF FOREST SHELTER BELTS

К.Н. КУЛИК¹, д.с.-х.н.
И.М. БАРТЕНЕВ², д.т.н.

¹ Федеральный научный центр агроэкологии РАН,
vnialmi_recephn@rambler.ru

² Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия,
kafedramehaniza@mail.ru

K.N. KULIK¹, DSc in Agriculture
I.M. BARTENEV², DSc in Engineering

¹ Federal Scientific Center for Agroecology RAS,
vnialmi_recephn@rambler.ru

² Voronezh State Academy of Forestry Engineering n.a. Georgiy
Morozov, Voronezh, Russia, kafedramehaniza@mail.ru

Полезашитные лесные полосы в настоящее время в значительной своей части расстроены и нуждаются в реконструкции и восстановлении, то есть необходимы полное удаление расстроенных рядов, затем подготовка почвы и все последующие лесокультурные работы, выполнение которых с применением заимствованных из лесного хозяйства технологий и машин не дадут существенных положительных результатов. Предлагается технология, основанная на современных достижениях в области механизации которая, включает: превращение надземной части древесно-кустарниковой массы в щепу и перемешивание ее с верхним слоем почвы с помощью мобильных мульчеров роторного типа, движущихся со скоростью до 5 км/ч; удаление остающихся в почве пней корчевателем непрерывного действия КНД-1.1; сбор и вывоз выкорчеванных пней подборщиком-трелевщиком универсальным ПТУ-2.1. Корчеватель КНД-1.1 вырезает пни, отряхивает их от почвы и оставляет на поверхности при непрерывном поступательном движении со скоростью 3...5 км/ч; его производительность, по сравнению с применяемым корчевателем КСП-20, в 30 раз выше. КНД-1.1 и ПТУ-2.1 – это парк технических средств, увязанных между собой по производительности. Положительным элементом является то, что КНД-1.1 не только удаляет пни, но и одновременно готовит почву под посадку полосой шириной 1,1 м и глубиной 0,4...0,5 м, исключая применение плуга, культиватора или дисковой бороны, сокращая тем самым металлоемкость и энергоемкость корчевки пней и подготовки почвы в 9 и 6 раз, соответственно.

Ключевые слова: технология, корчеватель непрерывного действия, подборщик-трелевщик, мульчер, пень, почва, лесная полоса, производительность, энергоемкость.

Field protecting forest belts are nowadays destroyed and require reconstruction and remediation, which means that it is necessary to completely remove the disturbed rows, then prepare the soil and all subsequent silvicultural works, the performance of which with the use of technologies and machinery borrowed from forestry will not yield significant positive results. The technology based on modern achievements in the field of mechanization, including the transformation of the aerial part of the tree-shrub mass into chips and mixing it with the upper soil layer using mobile rotary type mulchers moving at speeds up to 5 km/h; removal of stumps remaining in the soil with a KND-1.1 continuous lifter; collection and removal of uprooted stumps by the picker skidder universal PTU-2.1 is proposed. The KND-1.1 uplifter cuts stumps, shakes them off the soil and leaves them at a speed of 3...5 km/h on the surface with a continuous movement at a speed of 3...5 km/h, 30 times higher than used at KSP-20 uprooter. KND-1.1 and PTU-2.1 is a fleet of technical equipment linked to each other in terms of performance. A positive element is that KND-1.1 not only removes stumps, but at the same time prepares the soil for planting in a strip 1,1 m wide and 0,4...0,5 m deep, excluding the use of a plow, a cultivator or a harrow, thereby reducing metal intensity and energy intensity of stumping and soil preparation by 9 and 6 times, respectively.

Keywords: technology, continuous lifter, skidder, mulcher, stump, soil, forest belt, productivity, energy intensity.

Введение

Полезащитные лесные полосы (ПЗЛП) в настоящее время в значительной своей части расстроены и практически не выполняют свои агролесомелиоративные и защитные задачи. Особенно в степной и сухостепной зонах они находятся в неудовлетворительном состоянии, требующем реконструкции и восстановления. Объективной оценки объема работ по лесохозяйственному обслуживанию ПЗЛП не существует в связи с тем, что в стране более 40 лет не проводилась их единовременная инвентаризация. Вместе с тем по расчетам, выполненным на основе данных выборочных исследований, есть необходимость в проведении работ только по реконструкции, возобновлению и закладке насаждений на месте погибших на общей площади 1,4 млн га. В соответствии со «Стратегией развития защитного лесоразведения в РФ до 2020 года» [1], разработанной ВНИАЛМИ, планируется выполнить работы по рубкам формирования насаждений (уходам) на площади 1340 тыс. га, санитарным рубкам – 654, возобновительным рубкам – 277, реконструкции и восстановления насаждений – 73 тыс. га. При реконструкции необходимы такие мероприятия, как удаление отдельных рядов деревьев и кустарников с целью расширения междурядий или посадки на их местах сеянцев и саженцев засухоустойчивых древесно-кустарниковых пород. При восстановлении полос производится полное удаление расстроенных рядов насаждений, затем подготовка почвы, посадка растений, агротехнический уход и другие технологические операции, связанные с выращиванием высокоэффективных лесных полос на месте погибших.

Весь комплекс работ выполняется по заимствованным технологиям с применением машин из лесного хозяйства, разработанных для условий лесных вырубок и хаотичного, т.е. естественного, расположения деревьев (пней). В линейных условиях, какими являются полезашитные, овражно-балочные и придорожные лесные полосы, перенесение в чистом неизменном виде лесохозяйственных технологий и машин не дает положительных результатов. Поэтому необходимы специальные исследования как по совершенствованию действующих, так и по разработке инновационных механизированных технологий и средств механизации реконструкции и восстановления, в первую очередь, полезашитных лесных полос.

Цель исследований

Повышение качества выполнения работ, снижение энергоемкости, металлоемкости, материальных затрат и вредного воздействия на почву и растения путем разработки инновационной технологии и технических средств, позволяющих проводить реконструкцию и восстановление полезашитных лесных насаждений.

Материалы и методы

Удаление рядов деревьев и кустарников целесообразно производить отдельно надземной стволовой и корневой частей. Это позволит выполнять расчистку полос от фитомассы древесно-кустарниковой растительности с высокой технологической культурой. Однако встает вопрос, что же делать с той фитомассой, которая должна быть убрана за пределы лесной полосы.

Сбор и вывоз к месту складирования – способ малопродуктивный и экономически неоправданный. К тому же огромные кучи древесно-кустарниковой растительности становятся «жилищем» и рассадником болезней и вредителей не только леса, но и культур растениеводства, усиливается опасность пожара. Собранная масса не представляет практического интереса для деревообрабатывающего производства и в качестве топлива для населения.

Выход из создавшегося положения, исходя из экономического и экологического эффекта, лежит на пути срезания и измельчения деревьев и кустарника в процессе непрерывного поступательного движения, превращая их в щепу, с применением для этого мульчеров. После работы мульчера остается только щепа, которая перемешивается с верхним слоем почвы, что является естественным перегноем и служит средством для формирования почвы. Технология уборки древесно-кустарниковой растительности с применением мульчера имеет один из самых высоких коэффициентов противопожарной безопасности и занимает второе место после технологии, предусматривающей сплошной сбор и вывоз из лесного массива порубочных остатков.

Большой популярностью за рубежом и в нашей стране пользуются мульчеры роторного типа, движущиеся со скоростью до 5 км/ч и измельчающие кусты, ветви и деревья диаметром до 35 см. Известны мульчеры Miniforst-150, Orsi W-Forest 1400, Big Forest DT и другие, агрегируемые с широко распространенными

ми тракторами МТЗ-80/82, Т-150К. Сегодня мульчеры являются основным рабочим инструментом при проведении самого широкого спектра работ в лесопромышленном комплексе, в уничтожении старых садов и в сельском хозяйстве.

Удаление остающихся в почве пней является энерго- и трудоемкой операцией, выполняется корчевателями КМ-1А и МРП-2А, агрегируемыми с лесными тракторами ЛХТ-55А, корчевателями-собирающими КСП-20, Д-513, Д-496 и др. В основном используется КСП-20, поскольку он агрегируется с широко распространенным в сельском и лесном хозяйствах трактором Агромаш 90ТГ (ДТ-75М) [2].

Корчеватели и корчеватели-собирающие сконструированы и подобраны по параметрам для удаления пней путем подвода корчевальных зубьев под пень и их поворота с помощью выносных гидроцилиндров с одновременным толкающим усилием трактора или без него (в зависимости от сопротивления пня). В результате происходит обрыв корней и выталкивание пня на поверхность земли. На месте пня остается подпневная яма, что является негативным фактором. Выкорчеванные пни вместе с находящейся на них почвой, масса которой превышает массу пня в 1,5...2 раза, сдвигаются в сторону тем же корчевателем [3].

Для обивки пней от почвы нет промышленных производимых технических средств. Очистка происходит естественным путем, оставляя пни на зиму. Под влиянием замораживания и оттаивания при изменении температуры окружающего воздуха земля разрыхляется и осыпается. Однако осыпавшаяся земля не возвращается обратно для заполнения подпневных ям. Поэтому заравнивание подпневных ям производится путем сдвига зубьями корчевателя верхнего плодородного слоя почвы с прилегающей территории лесной полосы.

Удаление пней кустарниковых пород производится корчевателем толкающим усилием заглубленных в почву зубьев при поступательном движении агрегата на первой передаче. Но вследствие забивания и сгуживания перед отвалом корчевателя прерывается поступательное движение агрегата и производится маневрирование с целью сдвига образовавшейся массы пней вместе с землей в сторону. Все это приводит к обеднению почвы гумусом и образованию куч пней и земли, требующих дополнительных затрат, средств и времени на их удаление.

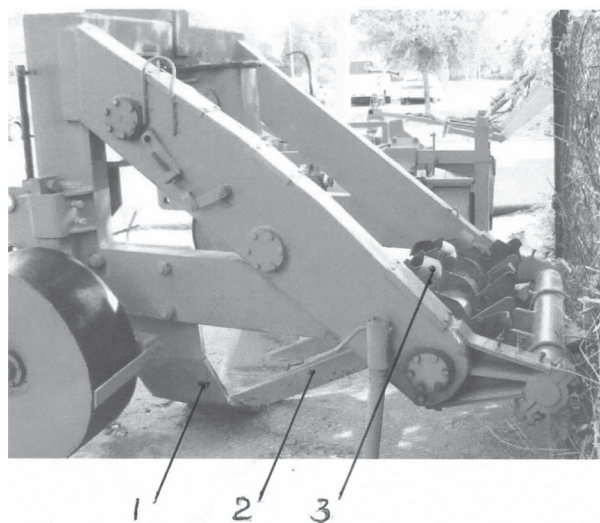
Производительность корчевателей и корчевателей-собирающих крайне низкая и составляет 0,15...0,22 га/смену. Это характерно для удаления пней как деревьев, так и кустарников. Кроме этого требуются затраты на приведение территории полосы в состояние, пригодное для подготовки почвы под посадку сеянцев и саженцев новых древесно-кустарниковых пород. Следовательно, необходимо отказаться от традиционной технологии удаления подземной биомассы деревьев и кустарников и переходить на технологию, щадящую почву, более производительную, менее энерго- и материально затратную.

Результаты и обсуждения

Решение этой задачи облегчается тем, что во-первых, лесные полосы – это линейные насаждения в виде параллельных рядов с заданной шириной междурядий, во-вторых, корневая система большинства древесно-кустарниковых пород, будучи хотя и мощной, основной своей частью размещается на глубине до 45...50 см, и диаметр пней в плоскости среза находится в пределах 25...35 см.

Исходя из реальных сложившихся условий, во ВНИАЛМИ были проведены исследования и разработаны технология и комплекс машин, в основу которых положены непрерывный процесс корчевания пней с их очисткой от налипшей земли и подготовки почвы за один проход агрегата. Комплекс машин включает корчеватель непрерывного действия КНД-1.1 и подборщик-трелевщик универсальный ПТУ-2.1.

Корчеватель КНД-1.1 (рис. 1) состоит из рамы, механизма навески, опорных колес с



механизмами регулирования глубины подрезания корневой системы пней и обработки почвы, группы рабочих органов (подрезающей скобы 1, подъемников 2 и очистительно-ударного ротора 3), привода ротора от ВОМ трактора (карданного вала, редуктора, цепной передачи, находящейся в полой боковине рамы, и предохранительной муфты).

Подрезающая скоба выполнена в виде U-образной формы (может быть и прямоугольной), состоит из стоек и ножа, передняя кромка которых заострена. К ножу присоединено три подъемника под углом к горизонту 35° .

Очистительно-ударный ротор предназначен для разрушения почвенного пласта, поступающего от ножа через подъемники, очистки пней от почвы за счет ударного воздействия зубьев и выброса их на поверхность раскорчеванной полосы. Частота вращения ротора составляет 300 об/м, окружная скорость концов зубьев – около 8 м/с.

Корчеватель КНД-1.1 агрегируется с тракторами К-744, ХТЗ-150К. Технологический процесс (рис. 2) осуществляется при непрерывном поступательном движении агрегата со скоростью от 3 до 6 км/ч методом седлания ряда пней и кустарника, очистки их от почвы, выброса и придания им ускорения с последующим движением в воздухе и падением на раскорчеванную полосу.

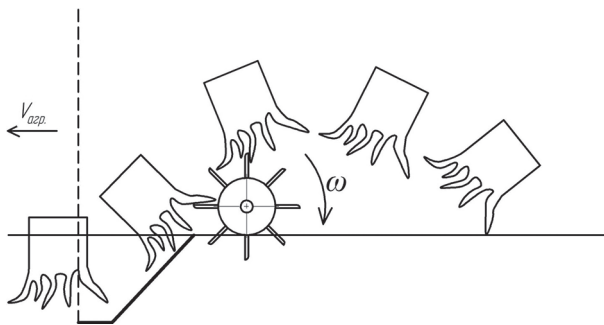


Рис. 2. Технологический процесс КНД-1.1

Проведенные исследования и испытания [4] на участке гослесополосы г. Волжский – р.п. Быково Волгоградской области показали, что подрезающие и извлекающие рабочие органы корчевателя КНД-1 в агрегате с трактором К-701 обеспечивают стабильную корчевку пней и кустарника. Диаметр корчующих пней сосны обыкновенной колебался в пределах 18...20 см; акации белой – 20...25 см, вяза перистоветистого – 16...27 см, тополя – 30...35 см. Диаметр центральных корней достигал 12...16 см.

Глубина корчевки пней деревьев различных пород составляет 40...50 см, кустарника – 25...45 см. Рабочая скорость и, следовательно, производительность корчевального агрегата – 3...5 км/ч сменного времени при корчевке пней и 4...6 км/ч при удалении кустарника. В процессе хозяйственных испытаний в сравнении с корчевателем КСП-20 установлено, что производительность его равна в среднем 30 пней в час сменного времени, а корчевателя КНД-1.1 – около 650 пней, т.е. больше почти в 30 раз.

Кроме этого следует учитывать и тот фактор, что при применении КНД-1.1 не образуются подпневные ямы и за один проход агрегата выполняется не только удаление пней, но и подготовка почвы на глубину до $a = 0,5$ м полосой шириной 1,1 м, очищенной от пней и разрыхленной до степени, не требующей дополнительных затрат с целью доведения до состояния, обеспечивающего высокое качество посадки семян и саженцев. Вспушенность почвы составляет $a_1 = 8...13$ см.

Сбор и вывоз выкорчеванных пней и кустарника, а также ветвей, отдельных деревьев и их пачек производится подборщиком-трелевщиком ПТУ-2.1 (рис. 3), состоящим из следующих узлов: рама 1, механизм навески 2, подбирающие зубья 3, боковые зубья 4 для ограничения выхода собранного материала за габаритные размеры орудия по ширине, стрела 5, клешневой захват 6, опорные колеса 7. Агрегируется с тракторами класса 14 и 20 кН.

Загрузка подборщика-трелевщика производится при движении агрегата задним ходом, а вывозка – передним ходом. Производительность за час сменного времени в зависимости

от расстояния вывозки (50...150 м) составляет при уборке ветвей и пней 3,9...2,4 м³, при уборке деревьев 8,0...2,8 м³. Рабочая скорость движения при сборе пней – 6 км/ч.

Из приведенных данных (табл. 1 и 2) видно, что удельная металлоемкость и удельная энергоёмкость инновационной технологии меньше по сравнению с действующей технологией, со-

ответственно, в 8 и 6 раз вследствие снижения количества технологических операций в 2 раза и перехода на корчевание пней в процессе непрерывного поступательного движения агрегата на больших скоростях. Важным является совмещение корчевки пней, очистки их от налипшей земли и подготовки почвы за один проход агрегата.

Таблица 1

Энергоёмкость и материалоемкость действующей технологии восстановления лесных полос

№ п/п	Технологические операции	Состав агрегата	Общая масса, кг	Мощность двигателя, кВт	Производительность, га/см	Удельная металлоёмкость, кг/га	Удельная энергоёмкость, кВт/га
1	Удаление надземной части оставшейся древесно-кустарниковой растительности: а) срезание, б) сбор и вывоз на расстояние в среднем 150 м: – деревьев – кустарника	Бензопила «Хускварна»	4,8	5,6	0,08		
		МТЗ-82, ПТН-0,8 «Муравей»	4100	59	1,3	3130	45,4
		МТЗ-82; КУН-10	4150	59	1,5	2766	40,0
2	Корчевание пней	ДТ-75М; КСП-20	7650	66	0,24	31875	291,7
3	Подготовка почвы: а) вспашка, б) дискование	ДТ-75М; плуг ПЛН-4-35	6800	66	5,4	1259	12,2
		ДТ-75М, БДТН-2,2	8190	66	8,2	1000	8,1
	ИТОГО					40030	397,4

Таблица 2

Основные показатели инновационной технологии лесовосстановления лесных полос

№ п/п	Технологические операции	Состав агрегата	Общая масса, кг	Мощность двигателя, кВт	Производительность, га/см	Удельная металлоёмкость, кг/га	Удельная энергоёмкость, кВт/га
1	Измельчение рядов деревьев и кустарников лесных полос	Трактор ХТЗ-150К Мульчер	9000	121	4,8	1875	25,1
2	Корчевание пней с одновременной подготовкой почвы	Трактор К-744 Корчеватель КНД-1.1	14600	221	7,6	1921	27,1
3	Сбор и транспортировка пней на расстояние 150 м	МТЗ-82 ПТУ-2,1	4500	59	4,7	957,4	12,5
	ИТОГО					4753,4	64,7

Сочетание в конструкции корчевателя КНД-1.1 рабочих органов пассивного (скоба и подъемники) и активного (ротор) действия позволяет использовать ударный способ разрушения почвенного пласта по линиям наименьшего сопротивления и получать слой почвы с высокой степенью крошения, исключающей необходимость дополнительной обработки, которая производится в действующей технологии дисковой бороной БДНТ-2.2 или культиватором КРТ-3 в агрегате с трактором ДТ-75М.

Заключение

Разработанные инновационная технология и технологический комплекс машин могут быть применены не только в защитном лесоразведении, но и в других линейных насаждениях, какими являются сады и лесные культуры, погибшие в результате техногенных воздействий (вредители, болезни, пожары) или вследствие процесса старения плодовых насаждений. Применение в конструкции корчевателя КНД-1.1 комбинированных рабочих органов пассивного и активного действия позволяет эффективно использовать современные энергонасыщенные тракторы, направляя мощность двигателя на создание силы тяги через движители и крутящего момента – через ВОМ или гидропривод трактора. Выполнение одновременно корчевания пней и подготовки почвы сокращает металлоемкость в 9 раз и энергоемкость в 6 раз увеличивает производительность и уменьшает срок проведения работ. Использование мульчеров также более чем в 3 раза эффективнее по сравнению с многооперационной технологией удаления надземной части древесно-кустарниковой растительности. Возможно использование мульчера для измельчения пней, но он уступает по эффективности корчевателю КНД-1.1, поскольку, во-первых, не исключает использование дополнительных операций,

имеющих место в существующей технологии, во-вторых, его производительность ниже не менее чем в 10 раз.

Литература

1. Кулик К.Н., Иванов А.Л. и др. Стратегия развития защитного лесоразведения в РФ на период до 2020 года. Волгоград, 2008. 36 с.
2. Жданов Ю.М., Бартенев И.М. Технологии и средства механизации агролесомелиоративных работ. Монография. Волгоград. ВНИАЛМИ. 2011. 192 с.
3. Бартенев И.М., Поздняков Е.В. Эффективные способы и технические средства удаления пней. Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 9. С. 15–18.
4. Бартенев И.М., Салдаев А.М. Создать орудие для корчевки пней при реконструктивных и лесовосстановительных рубках. Научный отчет по теме 15, раздел 6. Волгоград. ВНИАЛМИ. 1981 г.

References

1. Kulik K.N., Ivanov A.L. Strategiya razvitiya zashchitnogo lesorazvedeniya v RF na period do 2020 goda [Strategy for the development of protective afforestation in the Russian Federation for the period up to 2020]. Volgograd, 2008. 36 p.
2. Zhdanov YU.M., Bartenev I.M. Tekhnologii i sredstva mekhanizatsii agrolesomeliorativnykh rabot [Technologies and means of mechanization of agroforestry works]. Monografiya. Volgograd. VNIALMI Publ. 2011. 192 p.
3. Bartenev I.M., Pozdnyakov E.V. Effective methods and technical means of stump removal. Traktory i sel'hoz mashiny. 2013. No 9, pp. 15–18 (in Russ.).
4. Bartenev I.M., Saldaev A.M. Sozdat' orudie dlya korchevki pnej pri rekonstruktivnykh i lesovoss-tanovitel'nykh rubkakh. Nauchnyy otchet po teme 15, razdel 6 [To develop a tool for uprooting stumps during reconstructive and reforestation felling. Scientific report on topic 15, section 6]. Volgograd. VNIALMI Publ. 1981.

СПОСОБЫ И УСТРОЙСТВА ОБРАБОТКИ СТЕБЛЕСТОЯ ЗЕРНОВЫХ КОЛОСОВЫХ КУЛЬТУР, УБРАННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ КОМБАЙНОВОГО ОЧЕСА

METHODS AND DEVICES FOR PROCESSING THE STEMSTOCK OF CEREAL CROPS HARVESTED USING COMBINE STRIPPER HARVESTER TECHNOLOGY

А.И. БУРЬЯНОВ, д.т.н.
М.А. БУРЬЯНОВ, к.т.н.
И.В. ЧЕРВЯКОВ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Аграрный научный центр «Донской» структурное подразделение СКНИИМЭСХ, Зерноград, Россия, burjanov2015@yandex.ru

A.I. BUR'YANOV, DSc in Engineering
M.A. BUR'YANOV, PhD
I.V. CHERVYAKOV

State Scientific Establishment «Agricultural research center «Donskoy» (SSE «ARC «Donskoy») division North Caucasian Scientific Research Institute of Agriculture Engineering and Electrification, Zernograd, Russia, burjanov2015@yandex.ru

Цель исследований – разработка способов и устройств для обработки стеблестоя при уборке зерновых культур комбайновым очесом. Предложены способы утилизации очесанного стеблестоя: измельчение роторными измельчителями после обмолота; разрезание утилизируемых стеблей на фрагменты во время обмолота очесом; срезание очесанных стеблей уборочным очесывающим агрегатом с одновременной укладкой их в валок. Разработка способов выполнена с учетом требований к обработке почвы, осуществляемой после уборки зерновых колосовых культур на полях, которые должны быть подготовлены для возделывания последующих культур по традиционной, минимальной и нулевой технологиям. Для измельчения очесанных стеблей растений зерновых колосовых культур разработано навешиваемое на жатку и наклонную камеру комбайна устройство, разрезающее стебли на части 140–170 мм и укладывающее их в расстил. На базе навесной на комбайн и прицепной валковых жаток, оборудуемых интегрирующим транспортером, роторным питателем и измельчителем, разработаны схемы прицепного жатвенного агрегата, обеспечивающего измельчение и распределение материала по ширине захвата жатки. Предусмотрена возможность сбора и погрузки измельченного материала в транспортное средство. Для заготовки соломы на различные нужды из очесанного стеблестоя предложен агрегат для уборки зерновых культур очесом с одновременным срезанием и сбором стеблей в валок. Сзади на очесывающую жатку навешен режущий аппарат, а слева и справа к жатке и комбайну присоединены боковые грабли, которые подают срезанную массу в межколейное пространство комбайна. Срезанные стебли в зонах колес левого и правого передних колес комбайна отводятся в стороны специальными направляющими. Предложенные технические решения защищены патентами РФ на изобретения.

Ключевые слова: уборка зерновых, комбайновый очес, измельчение очесанного стеблестоя, жатвенные агрегаты навесные, прицепные.

The purpose of research is the development of methods and devices for the treatment of dense crop when harvesting grain crops with combines. Methods for utilization of dense crop are chopping with rotary shredders after threshing, cutting of recycled stalks into fragments during thrashing with tow, cutting of stripped stalks by a cleaning unit with its simultaneous laying in a roll. The development of methods was carried out taking into account the requirements for tillage carried out after the harvest of cereal crops on the fields, which should be prepared for the cultivation of subsequent crops according to the traditional, minimal and zero technology. For shredding the combed stems of cereal crops, a device has been developed that is mounted on the header and the inclined chamber of the combine, cutting the stems into parts of 140–170 mm and putting them into spreading. On the basis of mounted on the combine and trailed roller headers, equipped with an integrating conveyor, rotary feeder and chopper, schemes of a trailed harvesting unit are developed. These schemes provide the grinding and distribution of the material across the header's width. The possibility of collecting and loading the crushed material into the vehicle is considered. For harvesting straw for various needs from dense crop, a unit was proposed for harvesting grain crops with a nozzle with simultaneous cutting and gathering of the stems in a swath. Behind the cutting header, the cutting apparatus is hung, and on the left and right, side rakes are attached to the header and combine harvester, which feed the cut mass into the inter-track space of the combine. Cut stalks in the left and right front wheel tracks of the combine are retracted to the sides by special guiding devices. The proposed technical solutions are protected by patents of the Russian Federation for inventions.

Keywords: grain harvesting, combine fodder, chopping of dense crop, mounted and trailed harvesters.

Введение

В последние годы все большее число сельскохозяйственных предприятий переходит на применение минимальных и нулевой технологии, в которые хорошо вписывается уборка зерновых культур комбайновым очесом. Увеличение производительности комбайнов, снабженных очесывающими жатками, в 1,5–2 раза, снижение расхода топлива на 35–45 % делают эту технологию весьма эффективной и привлекательной. Несколько завышенные потери зерна за очесывающими жатками, достигающие 0,64–0,8 %, превышающие допустимые для жаток сплошного среза на 0,15–0,3 %, хотя и являются предметом дальнейшего совершенствования их конструкций, но, как показали результаты технико-экономической оценки и практического применения технологий уборки очесом, не являются решающими по формированию максимальной рентабельности производства зерна. Так, затраты на приобретение и эксплуатацию комбайнового парка, необходимого для уборки по традиционной технологии в агротехнические сроки, как и его нехватка, приводящая к потерям зерна осыпанием и снижению его качества при уборке за пределом агросрока, приводят к росту совокупных затрат и, как следствие, снижению рентабельности [1]. Одним из аргументов нецелесообразности применения уборки комбайновым очесом называют проблему оставшегося после очеса стеблестоя. Из опыта применения этой технологии известны два основных способа: обработка очесанного стеблестоя дисковыми лушпильниками за один или два прохода, в зависимости от его высоты и густоты и погодных условий, и оставление необработанного стеблестоя для снегозадержания. Оставшийся в зиму стеблестой сохраняет почву от перегрева в послеуборочный период, способствует накоплению влаги не только путем сохранения снега на поле, но и путем сбора влаги, конденсируемой на стеблях наклоненных растений из воздуха за счет изменения температуры в течение суток. До наступления следующего полевого сезона стерня практически полностью гумифицируется за счет азота воздуха. Весной на таких полях севообращения осуществляют стерневыми сеялками.

Цель исследований

Разработка способов и устройств для обработки стеблестоя при уборке зерновых культур комбайновым очесом.

Материалы и методы

Учитывая, что описанные выше применяемые технологии обработки очесанных стеблей приемлемы не для всех вариантов подготовки почвы под последующую культуру, а также необходимость использования очесанного стеблестоя на другие цели, были проанализированы различные способы утилизации очесанного стеблестоя. Наиболее полно соответствует требованиям к качеству измельчения очесанного стеблестоя способ утилизации незерновой части урожая, применяемый при традиционной комбайновой уборке со скашиванием и обмолотом всей выращенной массы, ее разделением на зерно и солоmistую фракцию, измельчение и распределение последней по полю установленным на комбайне измельчителем. Однако соблюдение требований к качеству измельчения, которое влияет на степень гумификации заделанных в почву растительных остатков, не всегда оправдано, так как этот процесс зависит от количества вносимого в почву азота и содержания влаги в почве. При условии нормальной влагообеспеченности в ряде регионов могут быть использованы и другие способы измельчения и заделки в почву очесанного стеблестоя. Выделено три способа: измельчение роторными измельчителями после обмолота, разрезание утилизируемых стеблей на фрагменты во время обмолота очесом; срезание очесанных стеблей уборочным очесывающим агрегатом с одновременной укладкой их в валок. Для реализации выбранных способов были проведены патентные исследования и на основе теории ТРИЗа предложены новые технические решения.

Результаты и обсуждение

Нами установлено, что после очеса озимой пшеницы высота остающегося на поле стеблестоя для низкорослых и среднерослых сортов составляет 400–500 мм, а для высокорослых – 600–700 мм. Если стебли измельчать на части, допустимая величина которых не должна превышать 200 мм, то для измельчения растений первых двух типов потребуется два режущих аппарата, расположенных друг над другом с регулируемым по высоте интервалом 140–170 мм, а для высокорослых – три. Для двух- и трехуровневого среза растений предложено использовать пальцево-режущие аппараты, применяемые на серийно выпускаемых жатках сплошного среза. Их устанавливают на специ-

альной раме (рис. 1), изменение положения по высоте которой осуществляют гидроцилиндрами 7 и 5. Для копирования поверхности поля измельчающая установка снабжена копирующими башмаками 6. Привод режущих аппаратов от наклонной камеры комбайна. Так как мощность двигателя комбайна при уборке очесом используется на 50–60 %, то на производительность комбайна отбор мощности на измельчение не окажет влияния. Недостаток предложенного жатвенного агрегата – большая часть фрагментов стеблей не расплющены и сохраняют трубчатую форму.

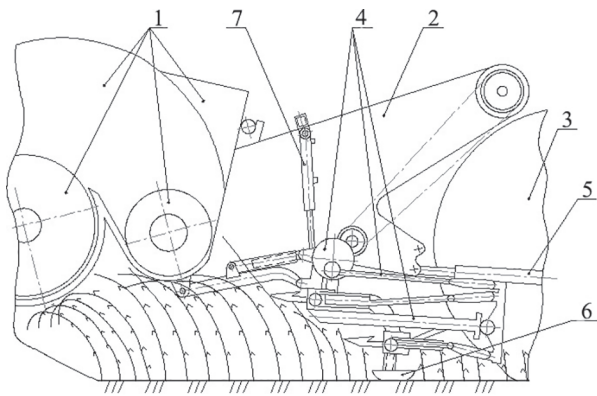


Рис. 1. Схема навесного жатвенного агрегата для уборки зерновых культур очесом и измельчения незерновой части хлебостоя:

- 1 – очесывающая жатка; 2 – наклонная камера;
- 3 – комбайн; 4 – измельчающая установка;
- 5 – гидроцилиндр комбайна для подъема жатки;
- 6 – копирующий башмак; 7 – гидроцилиндр подъема и опускания измельчающей установки

С учетом сформулированных требований была предложена конструктивно-технологическая схема измельчающей установки [2], навешиваемой с помощью рычажного механизма на очесывающую жатку и наклонную камеру комбайна.

При реализации предложенных способа и конструктивно-технологической схемы машины измельчение стеблестоя осуществляется одновременно с уборкой, слой измельченной соломистой фракции надежно укрывает почву от солнечных лучей, сохраняя ее от перегрева и потери влаги. Этот прием позволяет начать обработку почвы со смещением сроков и тем самым снизить остроту потребности в технике и механизаторах.

Альтернативный вариант решения проблемы оставшегося после очеса стеблестоя – его измельчение специальным жатвенным агре-

гатом. [3]. Жатвенный агрегат изготавливают по схеме прицепной валковой жатки, на которую монтируют интегрирующий транспортер, питатель и измельчитель. На рис. 2 приведен вариант комплектования жатвенного агрегата, включающего специально разработанный прицепной адаптер, на который навешивают навесную на комбайн валковую жатку и выбросным окном, расположенным слева по ходу агрегата. В выбросном окне жатки установлен интегрирующий транспортер, который подает срезанную массу к ротору-питателю. Для измельчения срезанной массы может быть применен измельчитель, устанавливаемый на зерноуборочных комбайнах. Для передачи привода на дополнительное оборудование допрабатывают привод жатки. Конструкция прицепного адаптера была разработана для навешивания на него навесной на комбайн СК-5 «Нива» валковой жатки шириной захвата 6 м [4, 5]. При навешивании на прицепной адап-

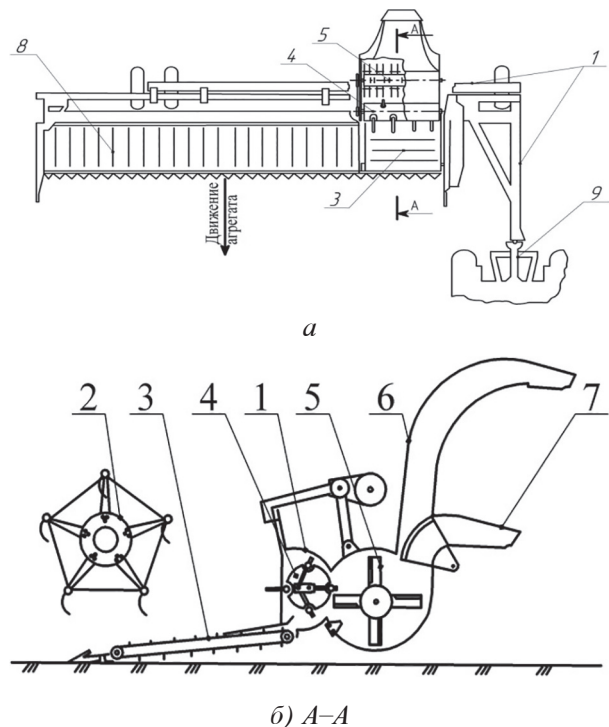


Рис. 2. Прицепной жатвенный агрегат на базе прицепного адаптера для измельчения очесанного стеблестоя, его разбрасывания по полю или погрузки в транспортное средство:

- 1 – прицепной адаптер; 2 – мотовило;
- 3 – интегрирующий транспортер; 4 – роторный питатель; 5 – измельчитель; 6 – сменный дефлектор для загрузки измельченного материала в транспортное средство; 7 – кожух дефлектор для распределения измельченной соломы по полю;
- 8 – транспортер; 9 – сница

тер навесной на комбайн валковой жатки, она трансформируется в прицепную жатку. Такой вариант эффективен, если при раздельной уборке комбайн используют на свале для обко-сов полей и разбивки их на загоны. После выполнения этих операций комбайны оборудуют подборщиками, а жатки используют в прицепном варианте. Прицепной адаптер может использоваться для навешивания на него навесных на комбайны очесывающих жаток [6] при составлении прицепных очесывающих машин, осуществляющих уборку зерновых культур со сбором зернополовистого вороха с разделением его на стационаре [7].

На рис. 3 представлен прицепной жатвенный агрегат, разработанный по той же схеме, что и описанный выше. Отличие заключается в том, что он собран на базе серийно выпускаемой прицепной валковой жатки, выбросное окно у которой выполнено посередине [8].

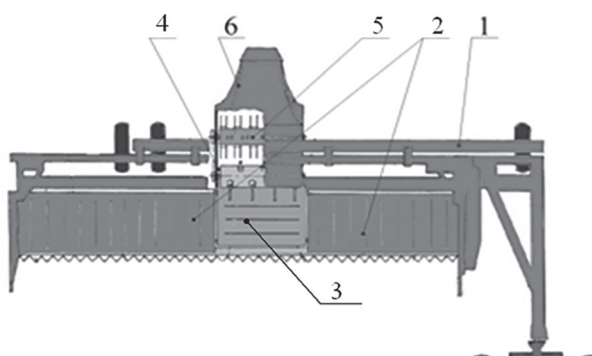


Рис. 3. Прицепной жатвенный агрегат на базе прицепной валковой жатки для измельчения очесанного стеблестоя, его разбрасывания по полю, или погрузки в транспортное средство:

1 – рама жатки; 2 – жатвенная часть;
3 – интегрирующий транспортер; 4 – роторный питатель; 5 – измельчитель; 6 – кожух-дефлектор

Применение прицепных жатвенных агрегатов для измельчения очесанного стеблестоя позволяет достичь степени его измельчения до уровня, обеспечиваемого навесными на комбайны измельчителями. Так как прицепные жатвенные агрегаты работают с тракторами классов 14–20 кН, а трактористы-машинисты, за которыми закреплены эти тракторы, как правило, работают на зерноуборочных комбайнах, то обработку очесанного стеблестоя осуществляют после очеса и обмолота хлебов, что следует учитывать при их внедрении в зонах с ярко выраженным засушливым климатом, например в восточных районах Ставропольско-

го края и Ростовской области. К недостаткам жатвенных агрегатов этого типа относится необходимость выделения операции измельчения стеблестоя в самостоятельный вид работ со всеми вытекающими последствиями, такими как дополнительное привлечение энергетических средств, рабочей силы, увеличение расхода топлива.

При уборке всех имеющихся в хозяйстве площадей зерновых колосовых культур очесом может возникнуть потребность в заготовке солоистой фракции на различные нужды: для изготовления полет, заготовки соломы на подстилку животным и др. Решение этой задачи может быть выполнено при использовании жатвенного агрегата, в основу которого положена схема, представленная на рис. 1. Отличие заключается в том, что для срезания стеблей используется нижний режущий аппарат, а для укладки срезанного стеблестоя в валок – рабочие блоки, боковые грабли, используемые в конструкции граблей, которые формируют валок, направленный по ходу агрегата [9] (рис. 4).

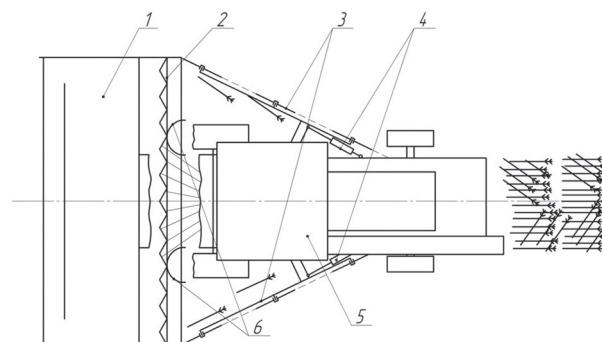


Рис. 4. Жатвенный агрегат для уборки зерновых культур очесом с одновременным сбором очесанного стеблестоя в валок для различных нужд:

1 – навесная на комбайн очесывающая жатка;
2 – режущий аппарат; 3 – секции боковых граблей;
4 – гидроцилиндры подъема и опускания секций;
5 – комбайн; 6 – направлятели срезанной массы с колесных колес

Как видно из рисунка очесанный жаткой стеблестой срезается и укладывается в растил. Срезанные в зонах колеи левого и правого передних колес комбайна растения отводятся в стороны и потом вместе со всей массой боковыми граблями направляются в междолевое

Из всех рассмотренных выше вариантов, наименее затратный – оставление стеблестоя с последующим посевом по такому фону стерневыми сеялками. Этот вариант наиболее близок к применению при возделывании с.-х. культур по нулевой технологии, площади пашни под которой в первом десятилетии 21 века по данным ООН составляли свыше 100 млн. га. При заделке растительных остатков в почву дисковыми лушпильниками эксплуатационные затраты практически одинаковы с величиной затрат при заделке растительных остатков, оставляемых после уборки зерновых культур по традиционной технологии. Так как цена навешиваемого на жатку и комбайн оборудования для разрезания очесанных стеблей на отдельные отрезки, а также для срезания стеблей и укладки их в валок будет составлять 100–150 тыс. рублей, то при сроке службы такого оборудования 6 лет, отчисления по нему будут составлять 10–12 руб. на тонну убранного зерна. Более затратными являются варианты, реализуемые на базе прицепных жатвенных агрегатов, но при этом они применимы практически во всех случаях, когда необходимо обеспечить качество измельчения очесанного стеблестоя. Для выбора способа обработки очесанного стеблестоя в конкретном хозяйстве необходимо учитывать, структуру посевных площадей, наборы возделываемых культур, зональные условия и другие факторы. Такие расчеты могут быть выполнены при использовании пакета программ АСПТОР «Система автоматизированного проектирования механизированных технологий и технического оснащения растениеводства».

Заключение

Предложены способы: измельчения роторными измельчителями после обмолота, разрезание утилизируемых стеблей на фрагменты во время обмолота очесом и срезание очесанных стеблей уборочным очесывающим агрегатом с одновременной укладкой их в валок. В основу реализации предложенных технических решений заложен блочно-модульный принцип, когда базовыми машинами, на которых создается устройство и необходимое для их комплектации оборудование, являются серийно выпускаемыми техническими средствами. Такой подход позволяет в короткие сроки и с минимальными затратами организовать производство новой техники. Предложенные

способы и устройства позволят значительно расширить возможности применения технологии уборки зерновых культур комбайновым очесом.

Литература

1. Бурьянов А.И., Горячев Ю.О., Бурьянов М.А. Эффективность технологии уборки зерновых культур очесом // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 9. С. 34–39.
2. Пат. RU № 2421975. С2 МПК Ф01Д 41/08. Жатвенный агрегат для уборки зерновых культур очесыванием и измельчением незерновой части растений / Бурьянов А.И., Бурьянов М.А., Дмитриенко А.И., Пахомов В.И., Колесников Г.Е.. Заявитель и патентообладатель ВНИПТИМЭСХ Россельхозакадемии (RU); опубл. 27.06.2011. Бюл. № 18.
3. Пат. RU № 2521710. С2 МПК А01Д 43/10 Прицепной жатвенный агрегат / Бурьянов А.И., Дмитриенко А.И., Бурьянов М.А., Колесников Г.Е., Александров Е.А., Мкртчян С.Р., Игнатов В.Д. Заявители и патентообладатели ГНУ СКНИИ-МЭСХ Россельхозакадемии (RU); ОАО «Пензмаш» (RU); опубл. 10.07.2014. Бюл. № 19.
4. Пат RU № 2255456 С2 МПК А01Д 34/03; А01Д 34/07. Прицепная жатка / Бурьянов А.И., Дмитриенко А.И., Пасечный Н.И., Колесников Г.Е., Светличный В.Ф., Любимов В.Я. Заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИПТИМЭСХ

Игнатов В.Д. Заявители и патентообладатели ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии (RU); ОАО «Пензмаш» (RU); опубл. 27.02.2013. Бюл. № 6.

9. Заявка на изобретение от 01.03.2013 № 2013109352/13 РФ. 03.09.2014 получено решение о выдаче патента на изобретение по заявке № 2013109352/13 РФ, С2 МПК А01Д 43/10. Способ комбайновой уборки зерновых культур очесом с одновременным сбором очесанного хлебостоя в валок для разных нужд и устройство для его осуществления / Бурьянов А.И., Дмитренко А.И., Бурьянов М.А., Колесников Г.Е. Заявитель ГНУ СКНИИМЭСХ; шпубл. 10.09.2014. Бюл. № 25.

References

1. Bur'yanov A.I., Goryachev Yu.O., Bur'yanov M.A. Efficiency of the technology of harvesting grain crops Traktory i selkhoz mashiny, 2016, no 9, pp. 34–39. (in Russ.)
2. Bur'yanov A.I., Bur'yanov M.A., Dmitrienko A.I., Pakhomov V.I., Kolesnikov G.E. Zhatvennyy agregat dlya uborki zernovykh kul'tur ochesyvaniem i izmel'cheniem nezernovoy chasti rasteniy. [Harvesting machine to harvest grain crops by combing and to grind non-grain portion of plants] Patent RF, no. 2421975, publ. 2011
3. Bur'yanov A.I., Dmitrienko A.I., Bur'yanov M.A., Kolesnikov G.E., Aleksandrov E.A. Mkrtchyan S.R., Ignatov V.D. Pritsepnaya zhatvennyy agregat [Trailing reaping unit] Patent RF, no. 2521710 publ. 2014
4. Bur'yanov A.I., Dmitrenko A.I., Pasechnyy N.I., Kolesnikov G.E., Svetlichnyy V.F., Lyubimov V.Ya. Pritsepnaya zhatka [Mounted reaper] Patent RF, no. 2255456 publ. 2005
5. Bur'yanov A.I., Dmitrenko A.I., Pasechnyy N.I., Kolesnikov G.E., Aleksandrov E.A., Svetlichnyy V.F., Lyubimov V.Ya. Pritsepnaya zhatka [Mounted reaper] Patent RF, no. 2258349. publ. 2005
6. Bur'yanov A.I., Aleksandrov E.A., Kolesnikov G.E., Bur'yanov M.A., Bondar' V.V. Pritsepnaya uborochnaya mashina [Tractor-hitched harvesting machine] Patent RF, no. 2299550. publ. 2007
7. Bur'yanov A I, Bur'yanov M.A., Aleksandrov E.A., Kolesnikov G.E. Sposob uborki zernovykh kul'tur, ochistki neveyanogo vorokha i sredstva dlya ego osushchestvleniya [Method for grains harvesting, cleaning of non-fanned heap and facilities for its realisation] Patent RF, no.. 2378820 publ. 2010
8. Bur'yanov A.I., Dmitrienko A.I., Bur'yanov M.A., Kolesnikov G.E., Aleksandrov E.A. Mkrtchyan S.R. Ignatov V.D. Pritsepnaya zhatvennyy agregat [Owed reaping unit] Patent RF, no.. 2476057 publ. 2013
9. Bur'yanov A.I., Dmitrenko A.I., Bur'yanov M.A., Kolesnikov G.E. Sposob kombaynovoy uborki zernovykh kul'tur ochesom s odnovremennym sborom ochesannogo khlebstoya v valok dlya raznykh nuzhd i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya [Method of the combine cleaning of grain crops by the same with the simultaneous collection of the related bread into the shaft for different needs and the device for its implementation] application, nn. 2013109352/13 RF, 2014.

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ НА СПИРТО-ТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЯХ

RESEARCH OF HIGH-SPEED OPERATION MODES OF A TRACTOR DIESEL ON ALCOHOL-FUEL EMULSIONS

В.А. ЛИХАНОВ, д.т.н.
О.П. ЛОПАТИН, к.т.н.

Вятская государственная сельскохозяйственная академия, Киров, Россия, nirs_vsaa@mail.ru

V.A. LIHANOV, DSc in Engineering
O.P. LOPATIN, PhD

Vyatka State Agricultural Academy, Kirov, Russia, nirs_vsaa@mail.ru

В работе обоснована необходимость использования спирто-топливных эмульсий как экологических энергоносителей для тракторных дизелей. При этом исследованы такие возобновляемые экологические источники энергии, как метиловый и этиловый спирты. С целью разработки, определения и оптимизации состава спирто-топливных эмульсий для тракторного дизеля 4Ч 11,0/12,5 проведены его испытания при работе на дизельном топливе, метаноле- и этаноле-топливных эмульсиях.

Экспериментальными исследованиями установлено, что для применения в тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 экологических энергоносителей на основе смеси со спиртами были использованы эмульсии следующего состава: спирт (метанол CH_3OH или этанол $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) – 25 %, моюще-диспергирующая присадка сукцинимид С-5А – 0,5 %, вода – 7 %, дизельное топливо – 67,5 %. Представлены результаты экспериментальных исследований мощностных и экономических параметров, показателей токсичности и дымности отработавших газов дизеля, работающего на экологической смеси вышеуказанного состава. Перевод исследованного дизеля с нефтяного дизельного топлива на экологические энергоносители позволил при сохранении мощностных показателей снизить содержание в отработавших газах при работе на метаноле-топливной эмульсии – сажи в 6,9 раза, оксидов азота – на 41,3 %, диоксида углерода – на 6,7 %, оксида углерода – на 45,0 %; при работе на этаноле-топливной эмульсии: сажи – в 5,2 раза, оксидов азота – на 50,2 %, диоксида углерода – на 23,8 %, оксида углерода на 25,0 %. Сделан вывод о перспективности использования в тракторных дизелях таких экологических энергоносителей, как этиловый и метиловый спирты.

Ключевые слова: дизель, этанол, метанол, эмульсия, токсичность, отработавшие газы.

The necessity of using alcohol-fuel emulsions as ecological energy carriers for tractor diesel engines is proved in the work. At the same time, such renewable environmental energy sources as methyl and ethyl alcohols were investigated. With the aim of developing, determining and optimizing the composition of the alcohol-fuel emulsion for tractor diesel engine 4F 11,0/12,5 conducted its tests when working on diesel fuel, methanol - and ethanol-fuel emulsions. Experimental studies have established that for use in a 4F 11,0/12,5 tractor diesel engine environmental energy based on mixtures with alcohols were used emulsions of the following composition: alcohol (methanol CH_3OH or ethanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) is 25 %, detergent-dispersant additive succinimide C-5A – 0,5 %, water – 7 %, diesel fuel – 67,5 %. The results of experimental studies of power and economic parameters, indicators of toxicity and smoke content of the exhaust gases of the diesel operating on the ecological mixture of the above composition are presented. The transformation of the investigated diesel from petroleum diesel fuel to environmental energy allowed while maintaining the power factors to reduce the content in the exhaust gases when working on methanol-fuel emulsion - carbon black by 6,9 times, nitrogen oxides by 41,3 %, carbon dioxide by 6,7 %, carbon monoxide by 45,0 %; when operating on ethanol-fuel emulsion – carbon black by 5,2 times, nitrogen oxides by 50,2 %, carbon dioxide by 23,8 %, carbon monoxide by 25,0 %. The conclusion is made about the prospects of using such ecological energy carriers as ethyl and methyl alcohols in tractor diesel engines.

Keywords: diesel, ethanol, methanol, emulsion, toxicity, exhaust gases.

Введение

Глобальные проблемы современной цивилизации – энергетические и экологические – непосредственно связаны с развитием поршневых двигателей внутреннего сгорания как основных потребителей топлив нефтяного происхождения и источников загрязнения окружающей среды. Поскольку дизели нашли широчайшее распространение в качестве силового агрегата автотракторной техники, то естественно, они должны характеризоваться не только высокой топливной экономичностью, но и необходимой экологической безопасностью в соответствии с действующими нормами и правилами. Очевидно, что улучшение экологических параметров – одна из главных задач современного дизелестроения. Жесткие законодательные требования, введенные в настоящее время практически во всех развитых странах мира, предусматривают ограничения концентраций в продуктах сгорания тракторных дизелей таких вредных компонентов, как оксиды азота (NO_x), твердые частицы, оксида углерода (CO) и углеводородные соединения (CH_x). Из них первые два представляют наибольшую опасность для человека, флоры и фауны. В общем количестве твердых частиц преобладают частицы органического происхождения: углерод (чистая сажа) – примерно 70 % и полициклические ароматические углеводороды – около 25 %. Частицы неорганического происхождения (зола от присадок моторного масла, частицы солей и ржавчины, металлические частицы и керамическое волокно) составляют остальную часть (~5 %). Размеры частиц сажи, образованных в камерах сгорания дизелей, изменяются в пределах 0,01–10,0 мкм; при этом максимум распределения по размерам приходится приблизительно на 0,1 мкм. Кроме того, они являются основными генераторами излучения и играют заметную роль в радиационно-конвективном теплообмене в камере сгорания дизеля [1].

Экологическая безопасность тракторного дизеля во многом зависит от вида используемого в нем энергоносителя, поэтому наряду с традиционными нефтяными энергоносителями все чаще находят применение альтернативные виды топлива. Альтернативные энергоносители условно можно разделить на три категории. К первой категории можно отнести смесевые горючие, содержащие нефтяные топлива с добавками спиртов, растительных

масел, эфиров и других топлив нефтяного происхождения. Вторая категория включает синтетические жидкие топлива, получаемые при переработке твердого, жидкого или газообразного углеводородного сырья (природного газа и газовых конденсатов, угля, горючих сланцев и т.д.). Третью категорию составляют энергоносители нефтяного происхождения (спирты, растительные масла, эфиры, газообразные топлива и др.). Следует отметить, что альтернативные энергоносители третьей категории обычно имеют физико-химические свойства отличные от свойств штатного нефтяного дизельного топлива, которое является основным видом топлива для тракторных дизелей. Поэтому для их применения необходима адаптация к использованию в дизелях, а также к транспортировке, хранению и заправке на существующих автозаправочных станциях [2].

Необходимо отметить перспективность использования альтернативных смесевых энергоносителей в дизелях, не требующих внесения серьезных конструктивных изменений для их подачи в камеру сгорания топливоподающей аппаратуры. Привлекательность же топлив на основе спирта заключается в том, что их можно получить из любого углеводородного сырья – как минерального (природный газ, уголь, горючие сланцы), так и органического (картофель, свекла, другие сельскохозяйственные культуры, растительные отходы, водоросли и др.). Среди преимуществ спиртовых топлив необходимо также отметить наличие в их молекулах атомов кислорода, что позволяет заметно улучшить показатели токсичности отработавших газов (ОГ) дизеля [3].

Простейший из спиртов – метанол (CH_3OH) легко смешивается с водой в любых соотношениях, смешивается со спиртами, бензолом, ацетоном и другими органическими растворителями. Обладает высоким октановым числом 112 (по исследовательскому методу, табл.

показатели, характеризующие этанол и метанол как топливо для дизеля, представлены в таблице 1.

В Вятской государственной сельскохозяйственной академии проведены исследования тракторного дизеля на спирто-топливных эмульсиях (СТЭ, спирт (метанол или этанол) – 25 %, моюще-диспергирующая присадка сукцинимид С-5А – 0,5 %, вода – 7 %, дизельное топливо – 67,5 %) [4].

Характеристики мощностных и экономических параметров работы дизеля изображены на рис. 1. Сравнивая эффективные показатели дизеля при работе по дизельному процессу (ДП) и на СТЭ, можно отметить, что в диапазоне изменения частот вращения от 1400 до

2400 мин⁻¹ применение СТЭ приводит к увеличению часового G_T и удельного эффективного g_e расходов топлива, снижению коэффициента избытка воздуха α , часового расхода воздуха G_v , эффективного коэффициента полезного действия η_e и приведенного к дизельному топливу часового $G_{ДТприв}$ и удельного эффективного $g_{сДТприв}$ расходов топлива.

Так, на номинальном режиме работы применение СТЭ приводит к соответствующим значениям мощностных и экономических показателей работы дизеля, указанным в таблице 2.

Содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля представлено на рис. 2. При анализе графики токсичности и дымности ОГ дизеля при работе на СТЭ видно, что происходит сни-

Таблица 1

Основные показатели этанола и метанола

Топливо	Показатели				
	Эффективная мощность N_e , кВт	Расход топлива			
		удельный эффективный g_e , г/(кВт·ч)	удельный эффективный, приведенный к дизельному топливу $g_{сДТприв}$, г/(кВт·ч)	часовой G_T , кг/ч	часовой, приведенный к дизельному топливу $G_{ДТприв}$, кг/ч
Дизельное	55,2	243	–	13,4	–
МТЭ	55,4 (увеличение на 0,4 %)	316 (увеличение на 30,0 %)	213 (снижение на 12,3 %)	17,5 (увеличение на 30,6 %)	11,8 (снижение на 11,9 %)
ЭТЭ	55,0 (снижение на 0,4 %)	297 (увеличение на 22,2 %)	200 (снижение на 17,7 %)	16,3 (увеличение на 21,6 %)	11,0 (снижение на 17,9 %)

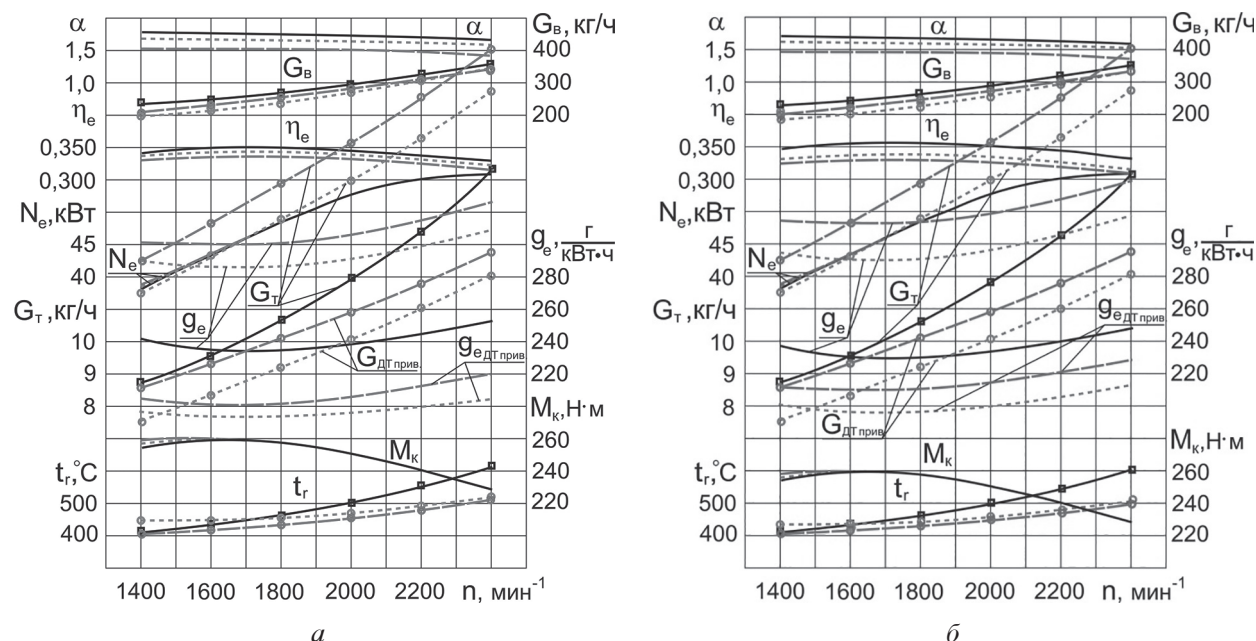


Таблица 2

Результаты исследований мощностных и экономических показателей работы дизеля 4Ч 11,0/12,5 при $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ и номинальном режиме ($n = 2200 \text{ мин}^{-1}$, $p_c = 0,64 \text{ МПа}$)

Топливо	Показатели				
	Эффективная мощность N_e , кВт	Расход топлива			
		удельный эффективный g_e , г/(кВт·ч)	удельный эффективный, приведенный к дизельному топливу $g_{e \text{ дт прив}}$, г/(кВт·ч)	часовой G_r , кг/ч	часовой, приведенный к дизельному топливу $G_{\text{дт прив}}$, кг/ч
Дизельное	55,2	243	—	13,4	—
МТЭ	55,4 (увеличение на 0,4 %)	316 (увеличение на 30,0 %)	213 (снижение на 12,3 %)	17,5 (увеличение на 30,6 %)	11,8 (снижение на 11,9 %)
ЭТЭ	55,0 (снижение на 0,4 %)	297 (увеличение на 22,2 %)	200 (снижение на 17,7 %)	16,3 (увеличение на 21,6 %)	11,0 (снижение на 17,9 %)

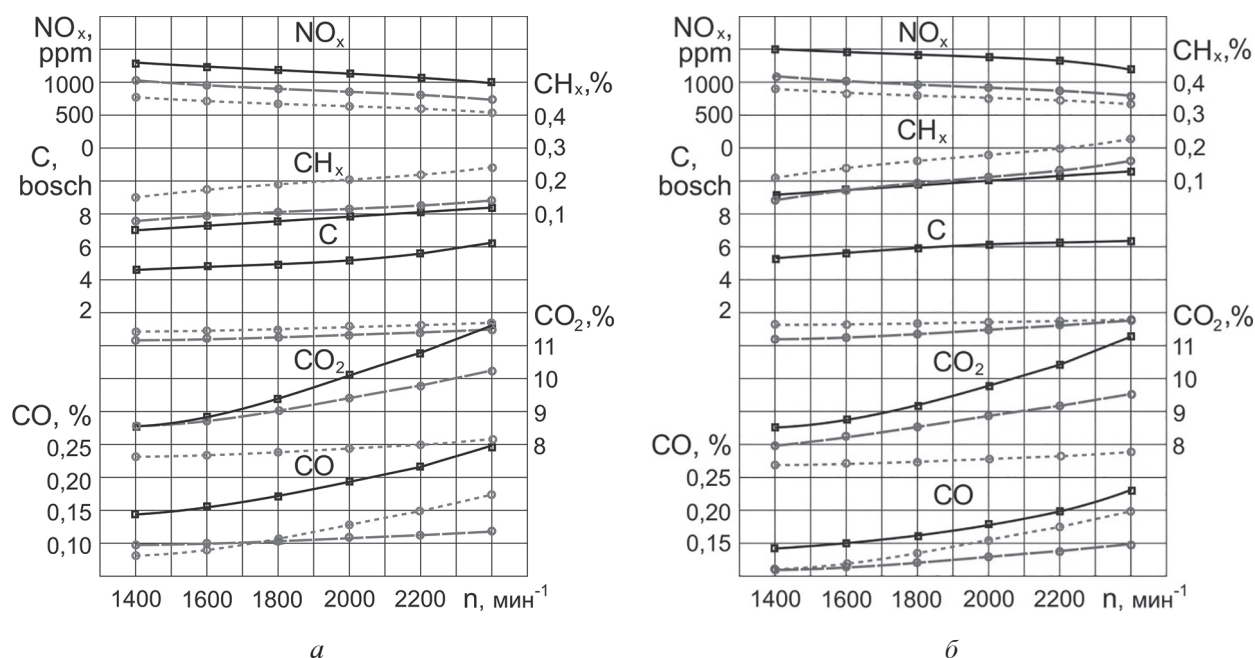


Рис. 2. Изменение содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от частоты вращения:

$a - \Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$; $b - \Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$; $\blacksquare - \text{ДП}$; $\circ - \text{ЭТ}$; $\bullet - \text{МТ}$

жение содержания во всем диапазоне исследования частот вращения оксидов азота NO_x , сажи C , диоксида углерода CO_2 и оксида углерода CO , при этом отмечен рост суммарных углеводородов CH_x [6].

Так, на номинальном режиме работы применение СТЭ приводит к соответствующим значениям показателей токсичности и дымности ОГ дизеля, представленным в таблице 3.

Выводы

При работе дизеля 4Ч 11,0/12,5 на СТЭ следующего состава: спирт (метанол или этанол) –

25 %, моюще-

Таблица 3

Результаты исследований показателей токсичности и дымности ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5 при оптимальных значениях $\Theta_{\text{впр}}$ и номинальном режиме ($n = 2200 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,64 \text{ МПа}$)

Топливо	Показатели			
	Оксиды азота NO_x , ppm	Сажа С, ед. по шкале Bosch	CO_2 , %	CO , %
Дизельное	1320	6,2	10,5	0,20
МТЭ	775 (снижение на 41,3 %)	0,9 (снижение в 6,9 раза)	9,8 (снижение на 6,7 %)	0,11 (снижение на 45,0 %)
ЭТЭ	657 (снижение на 50,2 %)	1,2 (снижение в 5,2 раза)	8,0 (снижение на 23,8 %)	0,15 (снижение на 25,0 %)

да – на 6,7 %, оксида углерода на 45,0 %; при работе на ЭТЭ: оксидов азота – на 50,2 %, сажи – в 5,2 раза, диоксида углерода – на 23,8 %, оксида углерода – на 25,0 %.

Литература

1. Experimental Study on Evaporation Characteristics of Ethanol-Diesel blend Fuel Droplet / K. Han, B. Yang, C. Zhao [et al.] // Experimental Thermal and Fluid Science. 2016. V. 70. P. 381–388.
2. An Overview: Energy Saving and Pollution Reduction by Using Green Fuel Blends in Diesel Engines / J.K. Mwangi, W.J. Lee, Y.C. Chang [et al.] // Applied Energy. 2015. V. 159. P. 214–236.
3. Alcohol-Diesel Fuel Combustion in the Compression Ignition Engine / W. Titak, S. Szwaja, K. Lukacs [et al.] // Fuel. 2015. V. 154. P. 196–206.
4. Likhanov V.A., Lopatin O.P. Use of Natural Gas, Methanol, and Ethanol Fuel Emulsions as Environmentally Friendly Energy Carriers for Mobile Heat Power Plants // Thermal Engineering. 2017. V. 64. № 12. P. 935–944.
5. Likhanov V.A., Lopatin O.P. The Study of the Process of Combustion of the Alcohol-Fuel Emulsions and Natural Gas in a Diesel Engine // International Journal of Applied Engineering Research. 2018. V. 13. № 3. P. 1703–1709.
6. Likhanov V.A., Lopatin O.P. Study of Loading Regimes of Diesel Engines Operating on Natural Gas // International Journal of Applied Engineering Research. 2018. V. 13. № 5. P. 2936–2939.

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОРРЕКТОРНОГО УЧАСТКА СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

CALCULATION OF THE PARAMETERS OF THE CORRECTOR SECTION OF THE SPEED CHARACTERISTICS TRACTOR ENGINE

В.А. САМСОНОВ¹, д.т.н.

Ю.Ф. ЛАЧУГА², д.т.н., академик РАН

¹ Редакция журнала «Механизация и электрификация сельского хозяйства», Москва, Россия

² Отделение сельскохозяйственных наук РАН, Москва, Россия, mehelagro@mail.ru

V.A. SAMSONOV¹, DSc in Engineering

YU.F. LACHUGA², Academician of the Russian Academy of Sciences

¹ Autonomous non-commercial organization «Editorial Board of the journal «Mechanization and electrification of agriculture», Moscow, Russia

² Russian Academy of Sciences (RAS), Moscow, Russia, mehelagro@mail.ru

Одним из основных показателей корректорного участка скоростной характеристики тракторного двигателя служит его коэффициент приспособляемости по крутящему моменту. В статье изложен метод общего решения задачи по расчету этого коэффициента. Метод заключается в минимизации разности двух функций (критерия оптимальности): первая – зависимость знаменателя геометрического ряда передач от коэффициента приспособляемости, вторая – зависимость знаменателя от силового диапазона трактора, то есть от отношения касательной силы тяги на последней передаче к такой же силе на первой передаче. С учетом найденного коэффициента приспособляемости по моменту определены частота вращения вала двигателя при максимальном моменте, коэффициент приспособляемости двигателя по частоте вращения вала, тяговый и скоростной диапазоны, теоретическая скорость на последней передаче. Частота вращения вала при максимальном моменте определена из условия, что коэффициент загрузки двигателя по мощности при максимальном моменте равен 0,85. Силовой диапазон определен по результатам минимизации критерия оптимальности, скоростной диапазон равен силовому. Скорость трактора на последней передаче определена с учетом заданной скорости на первой передаче и найденного скоростного диапазона. Общепринятый диапазон минимальных значений коэффициента приспособляемости, исходя из временного увеличения тягового сопротивления, составляет 1,15...1,20. В некоторых современных тракторных двигателях этот коэффициент больше 1,2. Целью статьи является оптимизация интервала значений коэффициента приспособляемости больше 1,2. Объект исследования – двигатель колесного трактора тягового класса 3. Исходный материал: номинальное тяговое усилие и масса трактора, его тяговый диапазон, интервал теоретической скорости на первой передаче. Методы исследования нелинейное программирование с использованием минимизации выпуклой функции; аппроксимация линейной функцией зависимости крутящего момента от текущей частоты вращения вала. Основной вывод: с учетом принятых критерия оптимальности, ограничений и коэффициента вариации момента сопротивления оптимальный коэффициент приспособляемости по крутящему моменту тракторных двигателей находится в интервале 1,27...1,45.

Ключевые слова: двигатель колесного трактора, корректорный участок скоростной характеристики тракторного двигателя, коэффициент приспособляемости по крутящему моменту.

One of the main indicators of the corrector section of the high-speed characteristics of the tractor engine is its torque adaptability factor. The article describes the method of General solution of the problem of calculation of this coefficient. The method is to minimize the difference between the two functions (optimality criterion): the first – the dependence of the denominator of the geometric series of gears on the coefficient of adaptability, the second – the dependence of the denominator on the tractor power range, that is, the ratio of the tangential thrust force in the last gear to the

Введение

К основным показателям корректорного участка скоростной характеристики тракторного двигателя отнесем следующие: k_m – коэффициент приспособляемости двигателя по крутящему моменту; k_n – коэффициент приспособляемости двигателя по частоте вращения вала; n_m – частота, мин^{-1} , вращения вала при максимальном крутящем моменте M_{max} , Н·м; ε_m – коэффициент загрузки двигателя по крутящему моменту; ε_N – коэффициент загрузки двигателя по мощности.

Коэффициенты [1, 2]

$$k_m = M_{\text{max}} / M_n; k_n = n_n / n_m,$$

где M_n и n_n – номинальные крутящий момент, Н·м, и частота вращения вала двигателя, мин^{-1} .

Общепринятым считается интервал минимальных значений $k_m = 1,15 \dots 1,20$ [1], который определяется уровнем колебания тягового сопротивления рабочей машины. Некоторые современные тракторные двигатели имеют $k_m > 1,2$. Чем выше k_m , тем устойчивее работа двигателя. Высокий k_m позволяет преодолевать временное увеличение тягового сопротивления без переключения на пониженную передачу.

Таким образом, расчет оптимального интервала $1,2 < k_m \leq k_{\text{mmax}}$ (k_{mmax} – максимальное значение) значений коэффициента приспособляемости по крутящему моменту и перечисленных показателей корректорного участка скоростной характеристики двигателя – актуальная задача теории трактора. Авторы предлагают один из способов ее общего решения.

Цель исследования

С использованием имеющихся в теории трактора зависимостей определить критерий оптимальности и обосновать интервал $1,2 < k_m \leq k_{\text{mmax}}$, рассчитать указанные основные показатели корректорного участка скоростной характеристики двигателя и соответствующие им показатели трактора.

Объекты и методы исследования

Двигатель колесного трактора 4К4 тягового класса 3.

Исходный материал: номинальное тяговое усилие и масса трактора, его тяговый диапазон, интервал теоретической скорости на первой передаче.

Для исследования применяются методы: нелинейное программирование с использова-

нием минимизации выпуклой безразмерной функции; аппроксимация линейной функцией зависимости крутящего момента от текущей частоты вращения вала.

Результаты и обсуждение

Исходные данные для расчета: $P_{\text{кр1}} = 36\,000$ Н – номинальное тяговое усилие; $\varphi_{\text{кр}} = 0,45$ – коэффициент использования силы тяжести трактора на создание тягового усилия [1]; $m = P_{\text{кр1}} / g \varphi_{\text{кр}} = 8155$ кг – эксплуатационная масса трактора, кг; $f = 0,12$ – коэффициент сопротивления качению трактора на стерне [1, 2].

Расчет k_m (общее решение задачи)

Для определения границ интервала значений k_m используем равенство (5), в котором левую часть обозначим q_1 , правую – q_2 . В идеальном случае $q_1 = q_2$.

Из этого равенства получим критерий оптимальности для расчета k_m – выпуклую безразмерную функцию, минимум которой стремится к нулю [3]:

$$F = |q_1 / q_2 - 1| \rightarrow \min.$$

Минимум F – это уровень несогласованности работы двигателя и трансмиссии по силовому и скоростному диапазонам.

Из (2) и (4) получим

$$k_m \geq \frac{1}{n-1\sqrt{\delta_p}}. \quad (8)$$

Из неравенства (8) следует: чем меньше n , тем больше должен быть k_m . С учетом того, что $n > 1$, принимаем допущение: коэффициент k_m определяется номером условной передачи из интервала $n = (2 - x_1) \dots (3 + x_2)$, где x_1 и x_2 – числа, определяемые при минимизации F . Номер $n = (3 + x_2)$ определяет нижнее значение k_m в интервале, а номер $n = (2 - x_1)$ – верхнее значение.

В формуле (4) сила $P_{км}$ зависит от тягового диапазона трактора δ_t :

$$P_{км} = P_{крм} + mgf = P_{кр1} / \delta_t + mgf,$$

где $P_{крм}$ – минимальное тяговое усилие (на последней передаче).

Функцию F минимизируем методом дихотомии по переменной k_m , варьируемой в интервале 1,2...1,5 для каждого изменяемого в цикле значения n .

Алгоритм расчета (в программе задаем k_m , $P_{кр1}$, m , f , δ_t , n): $q_1 = 1 / k_m$; $P_{к1} = P_{кр1} + mgf$; $P_{крм} = P_{кр1} / \delta_t$; $P_{км} = P_{крм} + mgf$; $\delta_p = P_{км} / P_{к1}$; $q_2 = \delta_p^{1/(n-1)}$; $v_{тл} = v_{т1} / \delta_p$; F .

При расчете учтем ограничения по теоретической скорости, км/ч [1]:

– на первой передаче –

$$8 \leq v_{т1} \leq 10; \quad (9)$$

– на последней передаче –

$$15 \leq v_{тл} \leq 17. \quad (10)$$

Максимальный интервал изменения скоростного диапазона составляет

$$8/17 \leq \delta_v \leq 10/15, \text{ или } 0,470 \leq \delta_v \leq 0,666. \quad (11)$$

Таблица 2

Функции $n(\delta_t)$, $k_m(\delta_t)$, $\delta_p(\delta_t)$, $v_{тп}(\delta_t)$, $P_{крм}(\delta_t)$

δ_t	Нижняя граница, k_m	Верхняя граница, k_m	$\delta_p = \delta_v$	$v_{тп}$, км/ч	$P_{крм}$, кН
$v_{тп} = 10$ км/ч					
1,80	1,202 ($n = 3,35$)	1,481 ($n = 2,15$)	0,636	15,71	20,00
1,70	1,201 ($n = 3,15$)	1,482 ($n = 2,00$)	0,663	15,08	21,17
1,6	1,203 ($n = 2,90$)	1,477 ($n = 1,90$)	0,693	14,42	22,50
$v_{тп} = 9$ км/ч					
1,80	1,202 ($n = 3,35$)	1,481 ($n = 2,15$)	0,636	14,14	20,00
1,70	1,201 ($n = 3,15$)	1,482 ($n = 2,00$)	0,663	13,57	21,17
1,6	1,203 ($n = 2,90$)	1,477 ($n = 1,90$)	0,693	12,98	22,50
$v_{тп} = 8$ км/ч					
1,80	1,202 ($n = 3,35$)	1,481 ($n = 2,15$)	0,636	12,57	20,00
1,70	1,201 ($n = 3,15$)	1,482 ($n = 2,00$)	0,663	12,06	21,17
1,6	1,203 ($n = 2,90$)	1,477 ($n = 1,90$)	0,693	11,54	22,50

тор. Во всех вариантах трактор может работать с тяговым усилием $P_{крм} = 20,0...22,5$ кН в тяговом классе 2.

Расчет k_m в зависимости от коэффициента вариации момента сопротивления на валу двигателя

При значительном количестве колебаний нагрузки момент сопротивления на валу двигателя подчиняется закону нормального распределения с коэффициентом вариации λ_m [7]. В этом случае максимальный момент можно записать как

$$M_m = M_n(1 + 3\lambda_m),$$

или

$$k_m = (1 + 3\lambda_m). \quad (14)$$

$M_c(n_c)$ аппроксимируем линейной функцией:

$$M_c = M_n + (M_{\max} - M_n)(n_n - n_c) / (n_n - n_m); \quad (22)$$

$$N_c = \pi M_c n_c / 30. \quad (23)$$

Функции (20)–(23), (16) и (17) рассчитываем в цикле по переменной n_c , изменяемой от n_n до n_m . Пример расчета для граничных значений k_m представлен в табл. 3.

В работе Г.М. Кутькова [1] обосновано, что двигатель в режиме перегрузки работает с коэффициентом загрузки по мощности

$$\varepsilon_N < 1, \quad (24)$$

но может работать на небольшом участке характеристики и в номинальном режиме, то есть при

$$\varepsilon_N = 1 \text{ или при } \varepsilon_N = 1 + \varepsilon, \quad (25)$$

где ε – малое число.

Из табл. 3 следует, что ограничения (24) и (25) выполняются при $\varepsilon_{Nm} = 0,85$.

Влияние k_m на эффективность работы трактора

Сравним загрузку двигателя по мощности при $k_m = 1,27$; 1,35 и 1,45. Из (22) после преобразования получим:

$$\varepsilon_m = 1 + (k_m - 1)(n_n - n_c) / (n_n - n_m),$$

откуда

$$n_c = n_n - (n_n - n_m)(\varepsilon_m - 1) / (k_m - 1). \quad (26)$$

По формуле (19) найдем n_m : при $k_m = 1,35$ – $n_m = 0,85 \cdot 2100 / 1,35 = 1322 \text{ мин}^{-1}$; при $k_m = 1,45$ – $n_m = 0,85 \cdot 2100 / 1,45 = 1231 \text{ мин}^{-1}$.

Загрузку двигателя по мощности найдем при одинаковом для всех k_m моменте сопротивления на валу двигателя, соответствующем $\varepsilon_m = 1,27$. По формуле (26) получим соответствующие этому коэффициенту текущие значения частоты вращения вала: $n_c = 1500 \text{ мин}^{-1}$ при $k_m = 1,35$; $n_c = 1578 \text{ мин}^{-1}$ при $k_m = 1,45$. С учетом этих значений по формуле (18) найдем ε_N .

Получили: $\varepsilon_N = 0,85$ при $k_m = 1,27$; $\varepsilon_N = 0,907$ при $k_m = 1,35$; $\varepsilon_N = 0,954$ при $k_m = 1,45$. Таким образом, с увеличением k_m повышается загрузка двигателя по мощности, следовательно повышается эффективность трактора, режим работы которого ближе к номинальному.

Выводы

1. Предложен метод общего решения задачи

3. Коэффициент приспособляемости двигателя по частоте вращения вала определен из условия: при максимальном моменте коэффициент загрузки двигателя по мощности равен 0,85.

4. С увеличением коэффициента приспособляемости двигателя по крутящему моменту повышается коэффициент загрузки двигателя по мощности, следовательно, повышается эффективность работы трактора.

Литература

1. Кутков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. М.: КолосС, 2004. 504 с.
2. Скотников В.А., Мащенко А.А., Солонский А.С. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. М.: Агропромиздат, 1986. 384 с.
3. Лачуга Ю.Ф., Самсонов В.А., Дидманидзе О.Н. Прикладная математика. Нелинейное программирование в инженерных задачах. М.: Колос, 2001. 288 с.
4. Каталог двигателей Минского моторного завода. URL: <https://www.po-mmz.minsk.ru>.
5. Каталог двигателей Ярославского моторного завода // www.yamzopt.ru.
6. Дизельные двигатели ОАО «Алтайдизель». URL: <https://www.suet-motor.ru>.

7. Иофинов С.А., Лышко Г.П. Эксплуатация машинно-тракторного парка. М.: Колос, 1984. 352 с.

References

1. Kutkov G.M. Traktory i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskiye svoystva [Tractors and automobiles. Theory and technological properties]. Moscow: KolosS Publ., 2004. 504 p.
2. Skotnikov V.A., Mashchenskiy A.A., Solonskiy A.S. Osnovy teorii i rascheta traktora i avtomobilya [Fundamentals of the theory and calculation of the tractor and automobile]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1986. 384 p.
3. Lachuga Yu.F., Samsonov V.A., Didmanidze O.N. Prikladnaya matematika. Nelineynoye programirovaniye v inzhenernykh zadachakh [Applied Mathematics. Nonlinear programming in engineering problems]. Moscow: Kolos Publ., 2001. 288 p.
4. Katalog dvigateley Minskogo motornogo zavoda [Catalog of engines of the Minsk Motor Plant] // www.mmzopt.ru.
5. Katalog dvigateley Yaroslavskogo motornogo zavoda [Catalog of engines of the Yaroslavl Motor Plant] // www.yamzopt.ru.
6. Dizelnyye dvigateli OAO «Altaydizel» [Diesel engines of Altaydizel OJSC]. // www.suet-motor.ru.
7. Iofinov S.A., Lyshko G.P. Ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka [Machine and tractor fleet operation]. Moscow: Kolos Publ., 1984. 352 p.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ ПОСЛОЙНОЙ БЕЗОТВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

IMPROVING THE DESIGN OF THE WORKING BODY FOR LAYER-BY-LAYER TILLAGE

И.В. БОЖКО, к.т.н.
Г.Г. ПАРХОМЕНКО, к.т.н.
С.И. КАМБУЛОВ, д.т.н.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Аграрный научный центр «Донской»,
 Зерноград, Россия, i.v.bozhko@mail.ru

I.V. BOZHKO, PhD in Engineering
G.G. PARHOMENKO, PhD in Engineering
S.I. KAMBULOV, DSc in Engineering

Federal State Budgetary Institution «Agrarian Scientific Center
 «Donskoy», Zernograd, Russia, i.v.bozhko@mail.ru

Обработкой почвы принято считать приемы механического воздействия на почву, способствующие повышению ее плодородия и созданию лучших условий для роста и развития растений. Послойная безотвальная обработка занимает одну из наиболее значимых операций, проводимых при подготовке почвы. Это подтверждается тем, что послойная обработка способствует накоплению влаги внутри пласта почвы, разделению пласта по слоям, снижению эрозии почв. Целью исследований является совершенствование конструктивных особенностей основных элементов рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы. Основываясь на методах анализа и синтеза проведенных исследований, а также моделирования, была предложена усовершенствованная конструкция рабочего органа. Она предусматривает возможность замены по мере износа практически всех основных элементов, что в свою очередь указывает на высокий уровень износостойкости разработанной конструкции и на существенное снижение трудозатрат при ее обслуживании. Помимо применения в конструкции рабочего органа металлических основных элементов различной формы (плоскорез, криволинейный рыхлитель) также предусмотрено использование сверхвысокомолекулярных полиэтиленовых вставок частично или полностью замещающих основные элементы конструкции рабочего органа. Экспериментальными исследованиями было установлено, что тяговое сопротивление рабочего органа с использованием в конструкции плоскорезного рыхлителя составляет 9,30 кН, с криволинейным рыхлителем – 8,04 кН, что на 13,56 % ниже по сравнению с плоскорезом. С использованием сверхвысокомолекулярных полиэтиленовых вставок отмечено снижение тягового сопротивления до 7,6 кН, что на 18,28 % ниже по сравнению с плоскорезным рыхлителем. Предлагаемая конструкция позволяет производить послойную безотвальную обработку почвы, осуществляя одновременно глубокую – 25–35 см – и мелкую – 12–16 см – обработку почвы, а также позволяет получить выровненный фон поля после прохода агрегата.

Ключевые слова: конструкция рабочего органа, ремонтпригодность, основные элементы, почвообработка, послойное рыхление.

Tillage is considered to be the methods of mechanical impact on the soil, contributing to the improvement of its fertility and the creation of better conditions for the growth and development of plants. Layerless processing without cover takes one of the most significant operations carried out during the preparation of the soil. This is confirmed by the fact that layer-by-layer processing promotes the accumulation of moisture inside the soil layer, the separation of the seam into layers, and the reduction of soil erosion. The aim of the research is to improve the design features of the main elements of the working body for layer-by-layer soilless tillage. Based on the methods of analysis and synthesis of research, as well as modeling, an improved design of the working body was proposed. It provides for the possibility of replacing almost all the main elements as they wear out, which in turn indicates a high level of wear resistance of the developed structure and a significant reduction in labor costs during its maintenance. In addition to the use of metal basic elements of various shapes (flat-cutter, curvilinear ripper) in the design of the working body, the use of ultra-high-molecular polyethylene inserts partially or completely replacing the main structural elements of the working body is also provided. Experimental studies have found that the traction resistance of the working body using a flat-ripper in the construction is 9,30 kN, with a curvilinear ripper 8,04 kN, which is 13,56 % lower than the flat-cutter

Введение

Обработка почвы является основной операцией по подготовке к возделыванию сельскохозяйственных культур. Послойная безотвальная обработка занимает одну из наиболее значимых операций, проводимых при подготовке почвы. Это подтверждается тем, что послойная обработка способствует накоплению влаги внутри пласта почвы, разделению пласта по слоям, снижению эрозии почв. Но, несмотря на все преимущества этого технологического процесса, он имеет ряд недостатков. В частности, конструктивные особенности применяемых рабочих органов, а именно:

- отсутствие многооперационности – выполнение одной операции за один проход агрегата;
- несовершенство конструкции в области сочетания мелкого и глубокого рыхления;
- сниженная ремонтпригодность основных элементов рабочих органов.

Проведенные исследования в ФГБНУ «АНЦ «Донской» (ранее – СКНИИМЭСХ) позволили установить, что по перечисленным критериям рабочие органы машин для безотвальной обработки почвы нуждаются в доработке.

Цель исследований

Совершенствование конструкции основных элементов рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы.

Материалы и методы

В статье использованы методы анализа и синтеза существующих конструкций рабочих органов, а также моделирования, основанные на проведенных ранее исследованиях [1, 2, 3, 4, 5, 6].

По материалам исследований [7] И.В. Божко агротехнической и энергетической оценки было установлено, что рабочий орган для послойной безотвальной обработки почвы качественно выполняет технологический процесс. Но следует отметить, что конструкция рабочего органа несовершенна с точки зрения ремонтпригодности, так как при износе основных элементов для мелкого и глубокого рыхления потребуется замена полностью всего рабочего органа.

В ФГБНУ «АНЦ «Донской» (ранее – СКНИИМЭСХ) была разработана конструкция рабочего органа (рис. 1) [8].

Данная конструкция включает в себя стойку 1, на которой установлены левое ле-

мешное лезвие 2, выполненное в форме циклоиды, и правое лемешное лезвие 3. В нижней части стойки 1 установлено долото 4 на котором закреплен, с возможностью перемещения, комкодробитель 5. За долотом 4 установлена

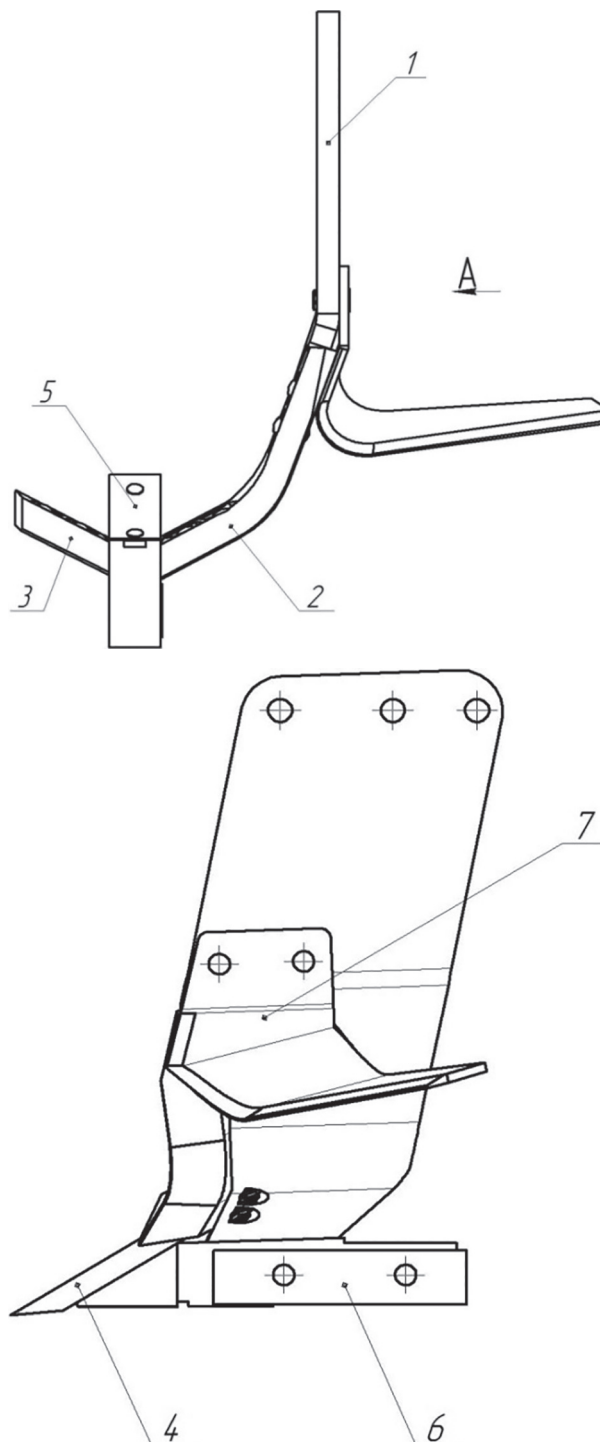


Рис. 1. Комбинированный рабочий орган для послойной безотвальной обработки почвы:

1 – стойка; 2 – левое лемешное лезвие; 3 – правое лемешное лезвие; 4 – долото; 5 – комкодробитель; 6 – упорная плита; 7 – элемент для мелкой обработки почвы (рыхлитель)

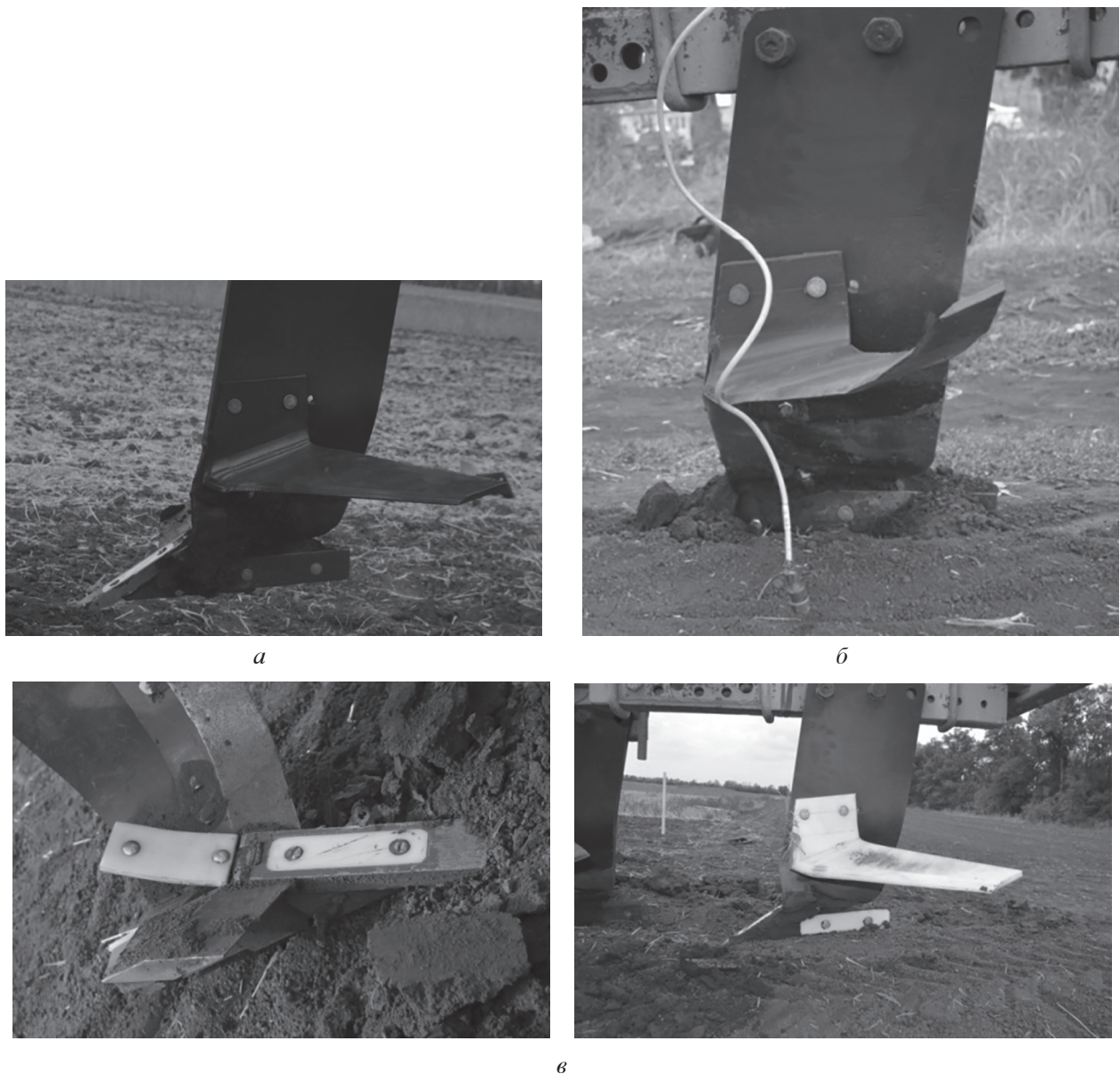


Рис. 2. Основные взаимозаменяемые элементы

для мелкой обработки почвы, с криволинейным рыхлителем и с использованием СВМП вставок.

В качестве МЭС использовался трактор Т-150К. Исследования проводились при движении агрегата «туда» и «обратно», то есть в двух повторностях. Допустимая скорость

исследований – 7–11 км/ч, из указанного диапазона выбирали три скорости. На опытном участке забивали вешки через 100 м, с учетом длины участка для разгона трактора 10 м.

Блок-схема измерительного комплекса и тензометрическое звено для снятия показаний тягового сопротивления представлены на рис. 3.

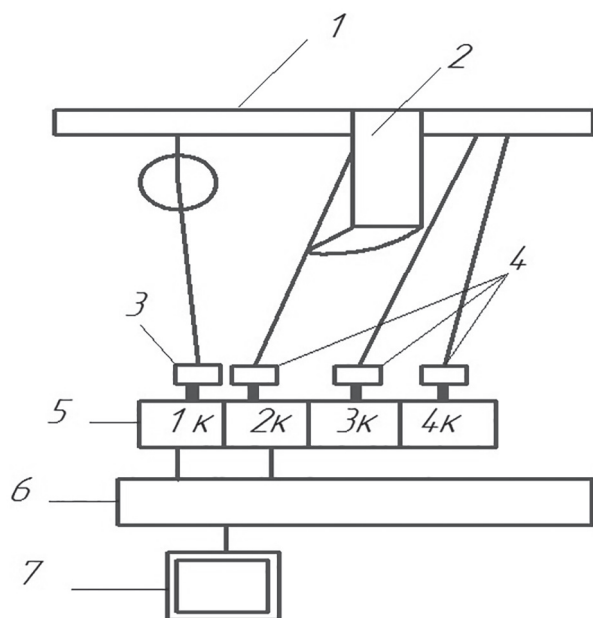


Рис. 3. Блок-схема измерительного комплекса и тензометрическое звено:

1 – экспериментальная установка для испытаний рабочих органов; 2 – рабочий орган; 3 – тензометрическое звено; 4 – датчики ускорений; 5 – усилитель ТДА; 6 – плата сопряжения; 7 – ПК



Результаты и обсуждение

Данные результатов однофакторных экспериментов по определению наименьшего тягового сопротивления при функционировании рабочего органа с одинаковыми параметрами и условиями представлены на рис. 4–6.

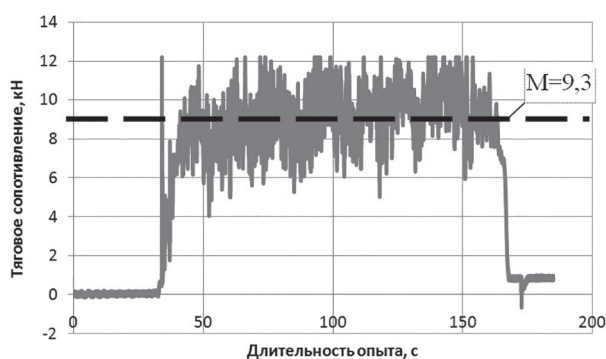


Рис. 4. Фрагмент реализации процесса изменения тягового сопротивления (рабочий орган с плоскорежущим рыхлителем)

Математическое ожидание массивов тягового сопротивления опытов (M) для рабочего органа с плоскорежущим рыхлителем составило 9,3 кН (рис. 4), для рабочего органа с криволинейным рыхлителем – 8,04 кН (рис. 5), для рабочего органа с СВМП-вставками – 7,6 кН (рис. 6).

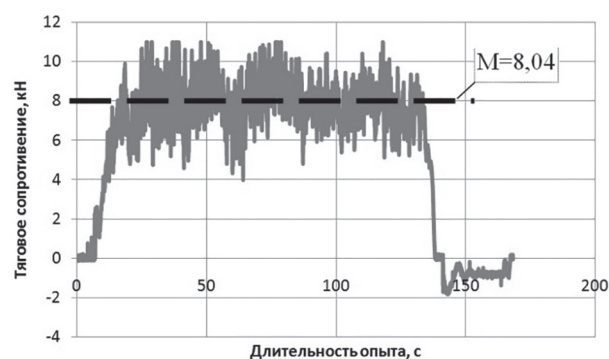


Рис. 5. Фрагмент реализации процесса изменения тягового сопротивления (рабочий орган с криволинейным рыхлителем)

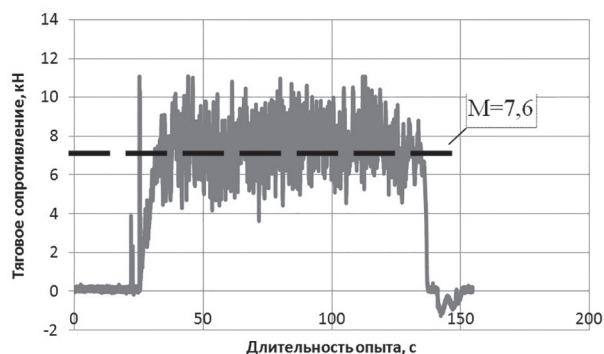


Рис. 6. Фрагмент реализации процесса изменения тягового сопротивления (рабочий орган с СВМП-вставками)

Экспериментальные исследования показателей тягового сопротивления в различных вариантах комбинации основных элементов показали, что в равных условиях наименьшее тяговое сопротивление отмечается при функционировании рабочего органа с использованием СВМП-вставок (рис. 7).

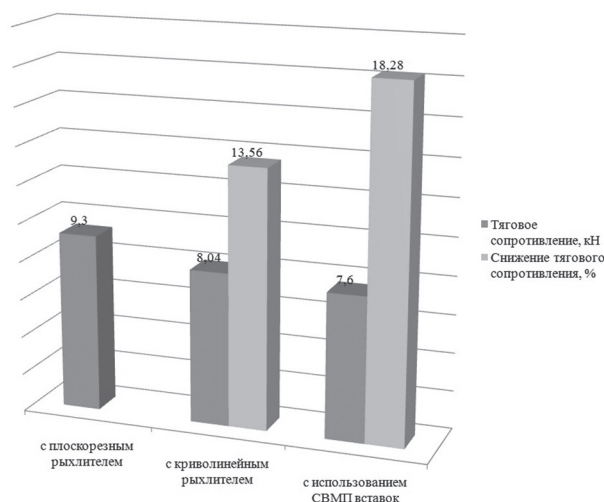


Рис. 7. Сравнение тягового сопротивления вариантов рабочего органа при одинаковых режимах и в равных условиях функционирования

Выводы

В результате проведенных исследований было установлено, что тяговое сопротивление рабочего органа с использованием в конструкции плоскорезного рыхлителя составляет 9,30 кН, с криволинейным рыхлителем — 8,04 кН, что на 13,56 % ниже по сравнению с плоскорезом. С использованием СВМП-вставок отмечено снижение тягового сопротивления до 7,6 кН, что на 18,28 % ниже по сравнению с плоскорезным рыхлителем.

Предлагаемая конструкция позволяет производить послойную безотвальную обработку почвы, осуществляя одновременно глубокую 25–35 см — и мелкую 12–16 см — обработку почвы, а также позволяет получить выровненный фон поля после прохода агрегата.

Литература

1. Telichenko V. The rate of the pile settlement in clay soil with regard to its viscoelastic and elastic-plastic properties / V. Telichenko, A. Ter-Martirosyan, V. Sidorov // *Procedia Engineering*. 2016. 165. P. 1359–1366.
2. Пархоменко Г.Г., Божко И.В., Семенихина Ю.А., Пантюхов И.В., Дроздов С.В., Громаков А.В., Камбулов С.И., Белоусов С.В. Совершенствование рабочих органов для обработки почвы / Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: материалы 9-й международной научно-практической конференции 2–4 марта 2016 г., г. Ростов-на-Дону. В рамках 19-й международной агропромышленной выставки «Интерагромаш-2016» (г. Ростов-на-Дону, ВЦ «Вертолэкспо» 2–4 марта 2016 г.). Ростов-на-Дону: Донской ГТУ, 2016. С. 27–30.
3. Qin A. Semi-analytical solution to one-dimensional consolidation

рабочий орган для послойной безотвальной обработки почвы: патент на полезную модель № 156896, Российская Федерация; опубл. 20.11.2015. Бюл. № 32.

References

1. V. Telichenko, A. Ter-Martirosyan, V. Sidorov. The rate of the pile settlement in clay soil with regard to its viscoelastic and elastic-plastic properties. *Procedia Engineering*. 2016. 165. P. 1359–1366.
2. G.G. Parhomenko, I.V. Bozhko, YU.A. Semenihi-na, I.V. Pantyuhov, S.V. Drozdov, A.V. Gromakov, S.I. Kambulov, S.V. Belousov Improvement of working bodies for tillage. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skohozyajstvennogo mashinostroeniya: materialy 9-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii 2–4 marta 2016g., g. Rostov – na – Donu. V ramkah 19-j mezhdunarodnoj agropromyshlennoj vystavki «Interagromash-2016» (g. Rostov – na – Donu, VC «Vertolehkspo» 2–4 marta 2016 g.)* [The state and prospects of development of agricultural engineering: materials of the 9th International Scientific and Practical Conference March 2–4, 2016, Rostov – on – Don. As part of the 19th international agro-industrial exhibition «Interagromash-2016» (Rostov-on-Don, Vertolehkspo Exhibition Center March 2–4, 2016)]. Rostov-na-Donu: Donskoj GTU Publ., 2016, pp. 27–30 (in Russ.).
3. Qin A. Semi-analytical solution to one-dimensional consolidation for viscoelastic unsaturated soils / A. Qin, D. Sun, J. Zhang // *Computers and Geotechnics*. 2014. 62. P. 110–117.
4. Bozhko I.V., G.G. Parhomenko, A.V. Gromakov, S.I. Kambulov, V.B. Rykov Development of a combined working body for layer-by-layer soil-free tillage. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2016. No 8, pp. 3–6 (in Russ.).
5. Parhomenko G.G., Bozhko I.V., Gromakov A.V., Kambulov S.I., Rykov V.B. *Rabochij organ dlya poslojnoj bezotval'noj obrabotki pochvy* [Working body for layer-by-layer soilless tillage]: *patnet na poleznuyu model'* No 139415, Rossijskaya Federaciya. Opublikovano 20.04.2014. Byul. No 11.
6. Pahomov V.I., Rykov V.B., Kambulov S.I., SHEvchenko N.V., Revyakin E.L. *Opyt vozdevlyaniya ozimoj pshenicy v usloviyah nedostatochnogo uvlazhneniya* [Experience in the cultivation of winter wheat in conditions of insufficient moisture]. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh» Publ., 2015. 160 p.
7. Bozhko I.V. *Obosnovanie parametrov ehllipticheskogo ryhlitelya rabocheho organa dlya poslojnoj bezotval'noj obrabotki pochvy: avtoref. diss...kand. tekhn. nauk* [Justification of the parameters of the elliptical cultivator of the working body for layered soilless tillage: abstract for Dissertation for Degree of Candidate of Technical Sciences]: 05.20.01. Krasnodar, 2015. 23 p.
8. Bozhko I.V., Parhomenko G.G., Pahomov V.I., Pantyuhov I.V., Kambulov S.I., Rykov V.B., Ridnyj S.D., Gromakov A.V. *Kombinirovannyj rabochij organ dlya poslojnoj bezotval'noj obrabotki pochvy* [Combined working body for layer-by-layer soilless tillage]: *patent na poleznuyu model'* No 156896, Rossijskaya Federaciya. Opublikovano 20.11.2015. Byul. No 32.

ГИБКИЙ ЭЛЕМЕНТ В СОСТАВЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ РОТОРНОЙ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ РЫХЛИТЕЛЬНО-СЕПАРИРУЮЩЕЙ МАШИНЫ

FLEXIBLE ELEMENT IN THE COMPOSITION OF THE WORKING BODIES OF THE ROTARY SOIL-CULTIVATING RIPPING-SEPARATING MACHINE

Ю.Н. СЫРОМЯТНИКОВ¹

Н.С. ХРАМОВ²

С.А. ВОЙНАШ³

¹ Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, г. Харьков, Украина

² Институт овощеводства и бахчеводства НААН, г. Николаев, Украина

³ Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Рубцовск, Россия, gara176@meta.ua, khramov88@ukr.net, sergey_voi@mail.ru

YU.N. SYROMYATNIKOV¹

N.S. HRAMOV²

S.A. VOJNASH³

¹ Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Kharkiv, Ukraine

² Institute of Vegetable and Melon Production of Ukraine Academy of Sciences, Nikolaev, Ukraine

³ Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University, Rubtsovsk, Russia, gara176@meta.ua, khramov88@ukr.net, sergey_voi@mail.ru

Поверхностная обработка почвы для выращивания сельскохозяйственных культур проводится с целью крошения пласта ее верхнего слоя, измельчения пожнивных остатков, уничтожения сорных растений и выравнивания поверхности поля. Цель исследований - определить качественные показатели экспериментальной почвообрабатывающей роторной рыхлительно-сепарирующей установки с применением гибкого рабочего органа в виде троса. Изучены в полевых условиях физико-механические свойства почвы после осенней вспашки, раннего весеннего боронования и культивации стрельчатыми лапами на глубину 0,12 м. Проанализирован получаемый после прохода установки структурно-агрегатный состав почвы в зависимости от частоты вращения ротора и наличия гибкого элемента в виде троса. Проведены исследования экспериментальной почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей установки на слое почвы, который после обработки расслаивается на два подслоя: верхний надсеменной и нижний слой в зоне заделки семян. В нижнем слое почвы наблюдается значительное преимущество рабочих органов с гибким элементом в виде троса. Увеличение частоты вращения ротора от 1,1 до 2,3 с⁻¹ способствует увеличению коэффициента структурности почвы в нижнем слое примерно на 10 %, в верхнем – не более чем на 2,3 %. С применением гибкого рабочего органа в виде троса в составе рабочих органов экспериментальной почвообрабатывающей роторной рыхлительно-сепарирующей установки коэффициент структурности примерно в 1,5 раза выше по сравнению с рабочим органом без него, что обеспечивает более благоприятные условия для заделки в почву семян. Выявлено, что обработка почвы с использованием экспериментальной почвообрабатывающей роторной рыхлительно-сепарирующей установки в составе рабочих органов, в которой применен гибкий элемент в виде т

Введение

Поверхностная обработка почвы для выращивания сельскохозяйственных культур проводится с целью крошения пласта ее верхнего слоя, измельчения пожнивных остатков, уничтожения сорных растений и выравнивания поверхности поля [1, 2, 3, 4].

В 20-е годы прошлого столетия в условиях засухи проявлялся особый интерес к вопросам так называемого сухого земледелия, обеспечивающего накопление и сбережение почвенной влаги. При наблюдении за работой различных орудий на пару было замечено, что при своевременной обработке почвы даже рабочие органы с тупым лезвием хорошо уничтожали нежные всходы сорных растений. В связи с этим в то время и появилась идея замены рабочих органов с тупым лезвием проволокой, имеющей минимальную поверхность трения [5]. Орудия, в которых использовалась проволока, называли в то время пароочистителями. Для этого на раме конного культиватора или плуга устанавливались три ножевидные стойки – одна впереди и две сзади. Между ними под углом 60° натягивалась металлическая проволока диаметром 3 мм. Глубина обработки почвы проволокой равнялась примерно 10 см. Пароочиститель проходил испытание на Полтавской опытной станции на протяжении всего сезона в засушливых 1924 и 1925 гг. К положительным сторонам орудия были отнесены низкая металлоемкость, простота конструкции, доступность для всех, даже мелких, крестьянских хозяйств, хорошая работа по срезанию сорных растений с глубоко сидящей корневой системой (березка, осот, лебеда и др.) и низкая энергоемкость в работе. К недостаткам орудия были отнесены сложность регулировки глубины хода проволоки, оставление несрезанными мелко растущих сорных растений, забивание стоков растительными остатками и возможность обрыва проволоки.

Однако, несмотря на положительные результаты двухлетних испытаний проволочного рабочего органа на Полтавской опытной станции, широкого применения в условиях производства он не получил. На наш взгляд, это связано с тем, что в те годы не были проведены исследования по изучению возможности повышения его надежности в работе, использования для разноглубинной обработки почвы и в сочетании с другими типами рабочих органов почвообрабатывающих орудий.

Существенное влияние на динамику изменения влажности почвы, эффективность применения гербицидов и равномерность заделки семян оказывают определенная выровненность поверхности поля, наличие определенных микронеровностей [6].

Хороший эффект для сохранения влаги, увеличения (стабилизации) температуры почвы в зимний и в летний периоды, препятствия образования почвенной корки, снижения разрушения почвы под воздействием дождевых капель, воздушной и водной эрозий служит мульчирование поверхности поля растительными остатками [6].

К физико-механическим свойствам мульчи относятся размерные показатели: плотность, влажность, форма и кривизна, однородность, распределение по крупности. К технологическим – сыпучесть, рассеиваемость, слеживаем

1,0...1,3 г/см³, в надсеменном слое необходима уплотненная прослойка 1,1...1,2 г/см³, чтобы сохранить непроизводительный восходящий поток влаги [13].

Качество обработки почвы может быть улучшено за счет оборудования известных рабочих органов (рис. 1) [15, 16, 17, 18, 19] устройством для дополнительного крошения пласта и улучшения процесса сепарации ее структурных частиц.

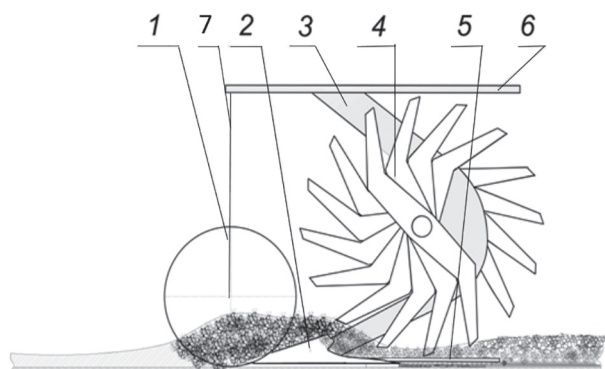


Рис. 1. Принципиальная схема машины:

- 1 – направляющий плоский диск; 2 – лемех;
- 3 – стойка; 4 – роторный рабочий орган;
- 5 – сепарирующая решетка; 6 – рама;
- 7 – кронштейн

Последнее необходимо для извлечения из почвы корневищ корнеотпрысковых сорняков, что является одним из наиболее эффективных приемов борьбы с ними.

Для регулирования агрофизических свойств поверхностного слоя почвы (до 4 см) нами были проведены поисковые исследования по изучению возможности и целесообразности использования проволоки или троса диаметром 2...4 мм, который в дальнейшем будем называть гибким элементом [20].

Визуальные наблюдения за процессом работы гибкого элемента показали, что под его воздействием в почве образуется валок, при движении которого на поверхности поля обеспечивается засыпка микронеровностей почвы. Причем, высота валка существенно превышает размеры поперечного сечения гибкого элемента. Исследования показали, что наилучшее качество выравнивания поверхности поля было получено при движении гибкого элемента вдоль гребней. При этом разница в качестве выравнивания поверхности поля при движении гибкого элемента вдоль и под различными углами к гребням настолько велика, что легко

определяется даже визуальным способом. Это, по-видимому, объясняется более устойчивым движением гибкого элемента вдоль гребней в связи с большей стабильностью по величине силы сопротивления движению его в почве. Последнее создает хорошие предпосылки для использования его в одном агрегате с другими типами почвообрабатывающих рабочих органов.

Кроме того, из анализа схемы воздействия на почву гибкого элемента с круглой формой поперечного сечения видно, что он с рыхлением поверхностного слоя почвы одновременно обеспечивает уплотнение ее нижних слоев.

Она представляет собой жесткую раму с навесным устройством. По обе стороны рамы расположены опорные колеса с механизмами регулировки глубины обработки почвы. В задней части рамы находится ротор. Опорами ротора служат подшипники на краях рамы.

Привод ротора осуществляется от вала отбора мощности трактора, который настраивается на частоту вращения 540 об/мин.

По слоям пробы почвы брались в одном месте одна за другой: снимался верхний слой и, после проведения с ним операций просева и взвешивания – нижний слой. Для определения влияния наличия гибкого элемента в виде троса на качественные показатели обработки пробы почвы брались по ходу движения экспериментальной полевой установки в зоне наличия или отсутствия гибкого элемента в виде троса.

Условиями проведения эксперимента по определению влияния изменения скорости движения агре

Таблица 1

**Зависимость коэффициента структурности почвы от частоты вращения ротора
и наличия гибкого элемента в виде троса**

Частота вращения ротора, с ⁻¹	Номер повторности	Коэффициенты структурности				В % к работе установки без гибкого элемента в виде троса	
		Рабочие органы без гибкого элемента в виде троса		Рабочие органы с гибким элементом в виде троса		Верхний слой	Нижний слой
		Верхний слой	Нижний слой	Верхний слой	Нижний слой		
1,58	1	0,50	0,60	0,80	1,10		
	2	0,50	0,90	0,70	1,20		
	3	0,60	0,80	0,80	1,23		
	Сред.	0,53	0,76	0,77	1,18	155,8	163,6
2,07	1	0,50	0,60	0,70	1,40		
	2	0,50	0,60	0,70	1,40		
	3	0,50	0,60	0,70	1,40		
	Сред.	0,50	0,60	0,70	1,40	162	185
2,53	1	0,60	0,97	0,90	1,20		
	2	0,70	0,90	0,70	1,36		
	3	0,60	0,90	0,90	1,20		
	Сред.	0,63	0,92	0,83	1,25	137	133
3,00	1	0,80	0,90	1,00	1,27		
	2	0,70	0,90	0,90	1,60		
	3	0,83	0,90	0,80	1,27		
	Сред.	0,78	0,90	0,90	1,38	117,6	160

1,5 раза выше по сравнению с рабочим органом без него, что обеспечивает более благоприятные условия для заделки в почву семян.

Эксперимент показал, что наличие гибкого элемента в виде троса в составе рабочих органов экспериментальной установки положительно влияет на качественные показатели обработки почвы,

- сільського господарства імені Петра Василенка. 2016. № 173. С. 53–68.
5. Сошальский П.Н. Проволочный пароочиститель. Полтава, 1926. С. 15.
6. Пабат І.А. Грунтозахисна система землеробства, Київ: Урожай, 1992. 158 с.
7. L.A. Stepuk, A.A. Zheshka, W. Tanas Comparative Characteristicks of chosen mulching substances in horticultural and orcharding production. Journal of research and applications in agricultural engineering. 2007. Vol. 52 (2). P. 35.
8. Дружченко А.В. Влияние плотности посевного слоя почвы на ее физические свойства, рост растений и урожай полевых культур на мощном тяжелосуглинистом черноземе Харьковской области: автореф. канд. дисс. Харьков. 1968. – 21 с.
9. Бахтин П.У. Проблемы обработки почвы. М.: Знание 1969. 62 с.
10. Морозов И.В., Морозов В.И. Обоснование модели формирования почвенного посевного слоя для семян Наукові праці ПФ НУБіП України «КАТУ» серія технічні науки випуск 162, Сімферополь: 2014. С. 59–64.
11. Сыромятников Ю.Н. Показатели качества работы почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 3. С. 38–44.
12. Медведев В.В. Почвенно-экологические условия возделывания сельскохозяйственных культур. Киев: Урожай, 1991. 173 с.
13. Медведев В.В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция география, мониторинг, охрана). Х.: Изд. 13 типография. 2008. 406 с.
14. Сыромятников Ю.Н. Результаты полевых исследований роторной почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины с экспериментальными рабочими органами // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 5 (163). С. 184–193.
15. Сыромятников Ю.М. Вдосконалення робочих органів для підрізання та підйому ґрунту розривально-сепаруючою машиною // Інженерія природокористування. 2017. № 2 (8). С. 74–77.
16. Сыромятников Ю.Н. Обоснование профиля лемеха с направляющими дисками почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины // Сельское хозяйство. 2017. № 2. С. 18–29.
17. Сыромятников Ю.Н. Повышение эффективности технологического процесса движения почвы по лемеху почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины // Сельское хозяйство. 2017. № 1. С. 48–55.
18. Сыромятников Ю.Н. Обоснование формы на-ральника минимального тягового сопротивления // Сільськогосподарські машини. 2018. № 39. С. 117–132.
19. Сыромятников Ю.Н. Совершенств

- linistom chernozeme Har'kovskoj oblasti. Avtoreferat kandidatskoj dissertacii [The influence of the density of the sowing layer of soil on its physical properties, plant growth and crop yield of field crops on the powerful heavy argillaceous of the Kharkiv region. Abstract for Dissertatin for Degree of Candidate of Technical Sciences]. Har'kov. 1968. 21 p.
9. Bahtin P.U. Problemy obrabotki pochvy [Soil treatment problems]. Moscow: Znanie Publ., 1969. 62 p.
10. Morozov I.V., Morozov V.I. Obosnovanie modeli formirovaniya pochvennogo posevnogo sloya dlya semyan Naukovi praci PF NUBiP Ukraïni «KATU» seriya tekhnichni nauki vipusk 162, Simferopol': 2014, pp. 59–64.
11. Syromyatnikov YU.N. Indicators of the quality of work of the soil-cultivating loosening-separating machine. Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2018. Vol. 12. No 3, pp. 38–44 (in Russ.).
12. Medvedev V.V. Pochvenno-ekologicheskie usloviya vozdevlyvaniya sel'skohozyajstvennykh kul'tur [Soil and environmental conditions for the cultivation of crops]. Kiev: Urozhaj Publ., 1991. 173 p.
13. Medvedev V.V. Struktura pochvy (metody, genesis, klassifikaciya, ehvolyuciya geografiya, monitoring, ohrana) [Soil structure (methods, genesis, classification, evolution of geography, monitoring, protection)]. Har'kov: Izd. 13 tipografiya Publ.. 2008. 406 p.
14. Syromyatnikov YU.N. The results of field studies of rotary tillage loosening and separating machine with experimental working bodies. Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. No 5(163), pp. 184–193 (in Russ.).
15. Siromyatnikov YU. M. Improvement of working bodies for trimming and raising of soil by a spray-separating machine. Inzheneriya prirodokoristuvannya. 2017. No. 2(8), pp. 74–77 (in Russ.).
16. Syromyatnikov YU.N. Substantiation of a leech profile with guiding discs of a soil cultivating cutting-separating machine. Sel'skoe hozyajstvo. 2017. No 2, pp. 18–29 (in Russ.).
17. Syromyatnikov YU.N. Improving the efficiency of the technological process of movement of the soil on the plowshare of a soil-cultivating loosening and separating machine. Sel'skoe hozyajstvo. 2017. No 1, pp. 48–55 (in Russ.).
18. Syromyatnikov YU.N. Justification of the shape of the arm of the minimum traction resistance. Sil's'kogospodars'ki mashini. 2018. No 39, pp. 117–132 (in Russ.).
19. Syromyatnikov YU.N. Improvement of the working bodies of the rotor of the loosening and separating soil-cultivating machine ensuring the minimum energy consumption for its work. Inzheneriya prirodokoristuvannya. 2018. No 1(9), pp. 91–95 (in Russ.).
20. Pashchenko V.F., Syromyatnikov YU.N., Hramov N.S. The physical essence of the process of interaction with the soil of the working body with a flexible element. Sel'skoe hozyajstvo. 2017. No 3, pp. 33–42 (in Russ.).
21. Nanka A.V., Syromyatnikov YU.N. The effect of the rotor speed of the tillage machine on the quality indicators of its work. Agrotekhnika i ehnergoobespechenie. 2018. No 2 (19), pp. 101–116 (in Russ.).

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА НАКЛОНА ОТВЕРСТИЙ РЕШЕТЧАТОГО ДНИЩА НАКЛОННОЙ КАМЕРЫ

TO DETERMINE THE OPTIMAL TILT ANGLE OF THE LATTICE HOLES OF THE BOTTOM OF THE INCLINED CHAMBER

В.Н. ОЖЕРЕЛЬЕВ, д.с.-х.н.
В.В. НИКИТИН, к.т.н.

Брянский государственный аграрный университет,
Брянск, Россия, vicoz@bk.ru

V.N. OZHERELIEV, DSc in Agriculture
V.V. NIKITIN, PhD

Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia, vicoz@bk.ru

По результатам лабораторных экспериментов установлен оптимальный угол наклона отверстий решетчатого днища наклонной камеры зерноуборочного комбайна, обеспечивающий максимальную сепарацию свободного зерна из очесанного зернового вороха до его поступления в молотильную камеру. Это позволяет минимизировать поступление свободного зерна в молотильное устройство, надежно исключив вероятность его дробления рабочими органами молотилки. Исследования производились на пшенице сорта «Московская 56». Влажность зерна составляла порядка 12 %. Скорость движения транспортера – 3 м/с – и угол его наклона к горизонту – 45° соответствовали аналогичным параметрам работы для большинства современных зерноуборочных комбайнов. Угол наклона отверстия решетчатого днища имел семь уровней варьирования в пределах 0–90°. Подача очесанного зернового вороха составляла порядка 10 кг/с при содержании в нем 80 % свободного зерна. Длина съемного решетчатого днища равнялась 0,95 м, а ее прямоугольные отверстия имели размеры 160×8 мм. Для исключения влияния на выходной параметр площадь «живого сечения» отверстий решетчатого днища во всех сериях эксперимента была принята одинаковой. Так, по результатам научных исследований установлено, что по мере увеличения угла наклона количество свободного зерна, прошедшего сквозь отверстия решетчатого днища, уменьшается, а количество сошедшего с него зерна, наоборот, возрастает. При этом максимальная сепарация свободного зерна – 68,7 % – соответствует углу наклона отверстий, равному 0°. Для обеспечения полного выделения свободного зерна из очесанного зернового вороха длина сепарирующей поверхности должна быть не менее 1,18 м. Такое техническое решение может быть реализовано, например, в наклонной камере зерноуборочного комбайна КЗС-1218 «Полесье GS-12», имеющей длину порядка 1,3 м.

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, очес, наклонная камера, решетчатое днище, угол наклона отверстий, предварительная сепарация очесанного зернового вороха.

According to the results of laboratory experiments, the optimal angle of inclination of the holes of the lattice bottom of the inclined chamber of the combine harvester is established, which provides maximum separation of free grain from the combed grain heap before it enters the grind chamber. This allows you to minimize the intake of free grain to the threshing device, securely eliminating the probability of crushing the working bodies grind. Studies were carried out on wheat varieties «Moscow 56». The grain

Введение

Зерновое хозяйство является для России стратегически важной отраслью. По валовому производству этой важнейшей продовольственной группы страна занимает пятое место в мире (после Китая, США, Индии и Бразилии). При этом стоимость экспорта зерна превысила доходы от экспорта вооружений. Однако жесткая конкуренция на мировом рынке неизбежно отражается на рентабельности производства зерна. В ряде случаев оно становится мало доходным и даже убыточным. Решить проблему можно, в том числе, за счет уменьшения затрат на уборку урожая. Для этого, в первую очередь, следует оптимизировать соотношение «цена – качество» зерноуборочного комбайна.

В настоящее время в России большую часть рынка зерноуборочных комбайнов поделили между собой «Ростсельмаш», совместное предприятие «Гомсельмаш» и «Брянсксельмаш», а также сборочное предприятие фирмы Claas в Краснодарском крае. Доля других мировых производителей комбайнов на нашем рынке существенно меньше. Несмотря на рост в России объема сборки белорусских комбайнов их рыночная доля за три квартала 2016 года уменьшилась с 20,4 до 17 %. На российском рынке белорусскую продукцию потеснил «Ростсельмаш» (рост доли с 69,6 до 72,1 %) и «Claas», который запланировал увеличить объемы продаж в 3 раза. Этому способствует подписание инвестиционного соглашения с Правительством РФ, по которому продукция немецкой фирмы Claas считается российской и ее приобретение субсидируется из федерального бюджета.

Победить на рынке сложного сельскохозяйственного оборудования можно только благодаря инновациям. В результате, техника должна приобретать потребительские свойства, отсутствующие у конкурентов. В частности, это касается энергоемкости технологического процесса. В связи с этим одним из наиболее перспективных способов уборки зерновых культур, обеспечивающим минимальные затраты энергии, является очесывание растений на корню. При очесе поступление хлебной массы в комбайн уменьшается в 1,5–2 раза, что приводит к экономии до 70 % энергии, которая расходуется на деформацию соломы в молотилке и на ее протаскивание через зазоры в молотильной камере. В след-

ствие этого производительность комбайна повышается в 1,7–2 раза, расход топлива снижается на 20–25 %, а себестоимость зерна уменьшается на 25–30 % [1, 2].

Широкое внедрение указанной технологии сдерживается тем, что ее очевидные преимущества не могут быть в полной мере реализованы без изменения технологического процесса комбайна с целью его адаптации к работе с ворохом, содержащим до 80 % свободного зерна [3]. Поступление последнего в молотильную камеру затрудняет процесс обмолота имеющейся в ворохе колосовой части урожая и снижает, таким образом, пропускную способность молотилки. Кроме того, наблюдается чрезмерное дробление свободного зерна рабочими органами молотилки (порядка 14 %) и вынос его значительной части в соломотряс, что способствует росту потерь урожая [4]. Таким образом, актуальной научной задачей является изыскание возможности выделения из очесанного вороха свободного зерна и направления его на очистку, минуя молотильный аппарат.

дований свидетельствуют о том, что при перемещении очесанного вороха по наклонной поверхности решетчатого днища 1 скребком 2 транспортера 3 указанная теоретическая гипотеза не позволяет получить приемлемый результат, поскольку слишком велики различия между экспериментальными и теоретическими значениями объема зерна, проходящего за единицу времени через соответствующее отверстие 4 (рис. 1).

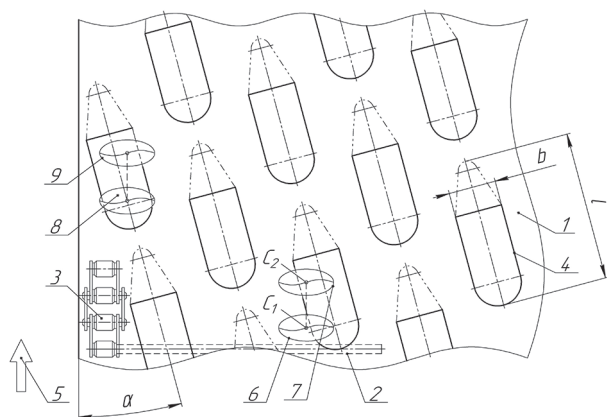


Рис. 1. Сепарация зерна через решетчатое днище наклонной камеры

Альтернативная гипотеза предполагала, что интенсификации процесса сепарации зерен должен способствовать наклон кромки продолговатого отверстия на угол α по отношению к направлению перемещения 5 скребка 1. Вследствие этого зерно 6, центр тяжести C_1 которого изначально располагается за пределами соответствующего отверстия, при перемещении вперед (поз. 7) должно терять устойчивость и опрокидываться вниз через его боковую кромку [7]. Для зерен 8, изначально оказавшихся над соответствующими отверстиями, была принята гипотеза их падения как свободных тел, брошенных под углом к горизонту. То есть были рассмотрены два варианта прохождения зерна сквозь отверстие, для которых были получены дифференциальные уравнения движения, в результате решения которых определена минимальная длина отверстия, обеспечивающая проход через него свободного зерна [8, 9].

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что принятые изначально теоретические гипотезы адекватно отражают характер процесса только в случае перемещения одиночных зерен. С учетом взаимодействия компонентов вороха и многослой-

ности его объема, перемещаемого скребком 1, оптимальная длина отверстия, определенная экспериментально, оказалась в два раза больше, чем теоретически предсказанный минимум. В связи с этим была сформулирована еще одна гипотеза, которая позволяет наиболее убедительно объяснить результаты эксперимента. Она предполагает, что происходит истечение в отверстие слоев зерна по плоскостям, наклон которых к горизонту близок к углу естественного откоса вороха. При этом каждый сползающий вниз слой зерна должен двигаться с ускорением. То есть путь l , преодолеваемый соответствующим слоем зерна, может быть определен как

$$l = \frac{gt^2}{2} \sin \varphi, \quad (1),$$

где φ – угол естественного откоса вороха.

Рассчитанные по формуле

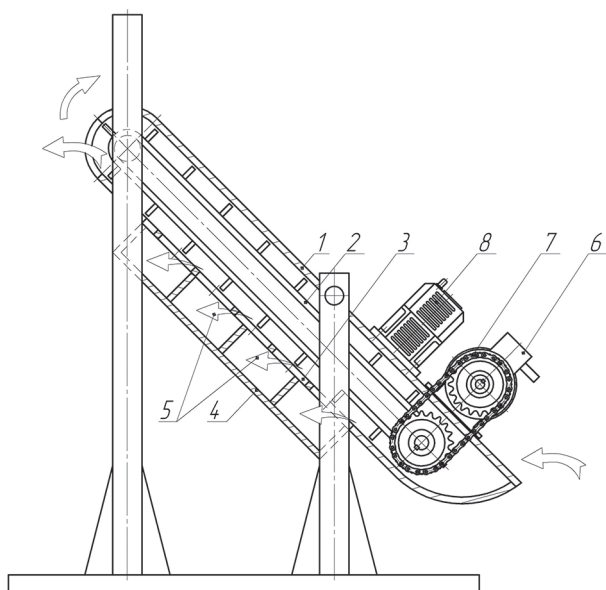


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

тера – 3 м/с – и угол его наклона к горизонту – 45° – соответствовали аналогичным параметрам работы для большинства современных зерноуборочных комбайнов [10, 11].

Угол наклона α отверстия решетчатого днища имел семь уровней варьирования в пределах $0-90^\circ$. Подача очесанного зернового вороха составляла порядка 10 кг/с при содержании в нем 80 % свободного зерна. Длина съемного решетчатого днища равнялась 0,95 м, а ее прямоугольные отверстия имели размеры 160×8 мм.

В качестве выходного параметра было принято количество свободного зерна, прошедшего сквозь отверстия решетчатого днища экспериментальной установки. Для исключения влияния на выходной параметр суммарная площадь «живого сечения» отверстий решетчатого днища во всех сериях эксперимента была принята одинаковой. Каждый вариант опыта проведен с десятикратной повторностью. Таким образом, всего было учтено и обработано 70 опытов.

Результаты исследований и их обсуждение

Данные эксперимента были обработаны при помощи программы Excel. По ним построен график (рис. 3), характеризующий зависимость количества свободного зерна, прошедшего сквозь решетчатое днище от угла наклона отверстий. Наиболее адекватной моделью (с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,994$) для него является полиномиальная кривая второго порядка. Уравнение регрессии имеет вид:

$$C = 0,0081 \cdot x^2 - 1,2328 \cdot x + 68,277, \quad (2)$$

где C – количество свободного зерна прошедшего сквозь отверстия решетчатого днища, %; x – угол наклона отверстий, град.

Полученная зависимость свидетельствует о том, что по мере увеличения угла наклона количество свободного зерна, прошедшего сквозь отверстия решетчатого днища имеет тенденцию к уменьшению, а количество сошедшего с него зерна, наоборот, – к возрастанию. При этом максимальная сепарация свободного зерна 68,7 % соответствует углу наклона отверстий,

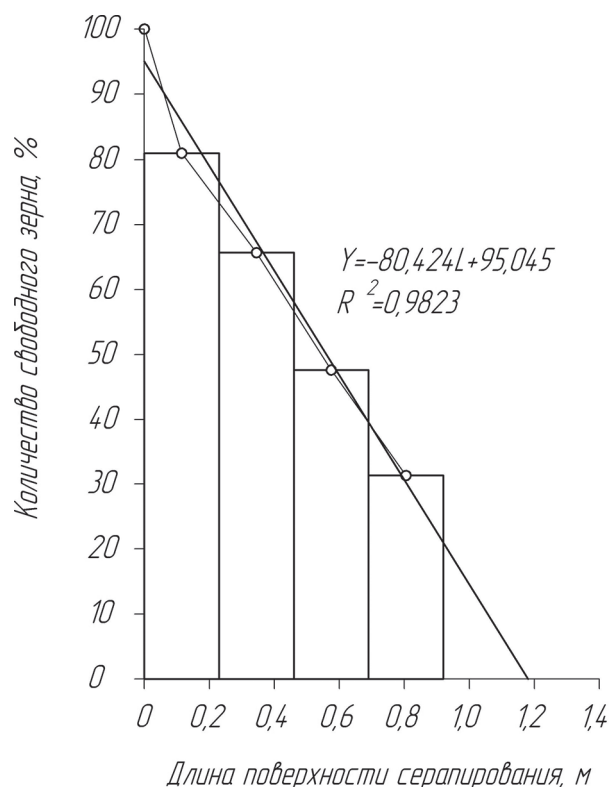


Рис. 4. Убывание свободного зерна из очесанного зернового вороха в зависимости от длины поверхности сепарирования

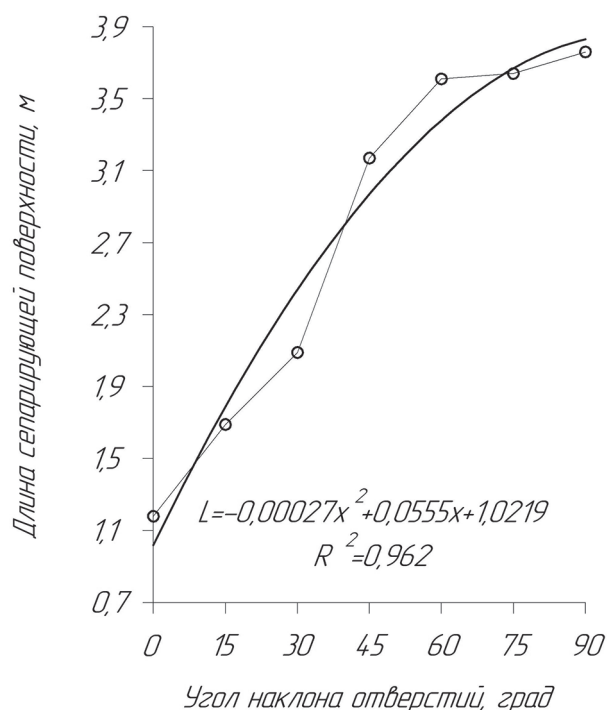


Рис. 5. Зависимость длины сепарирующей поверхности экспериментальной установки от угла наклона отверстий решетки днища

Аналогичным образом были получены и остальные значения (65,7; 47,64 и 31,3 %, соответственно).

Оценка убывания свободного зерна из очесанного зернового вороха по длине поверхности сепарирования (рис. 4) свидетельствует о наличии резерва для повышения степени сепарации. С высокой степенью вероятности ($R^2 = 0,9823$) линии тренда прямолинейна и имеет вид:

$$Y = -80,424 \cdot L + 95,045, \quad (3)$$

где Y – текущий остаток зерна в ворохе, в процентах от ее исходной массы, имевшейся в начале процесса сепарации; L – длина сепарирующей поверхности, м.

Экстраполяция графика функции показывает, что длина решетчатого днища, обеспечивающая полное выделение свободного зерна из очесанного зернового вороха, должна быть не менее 1,18 м.

По аналогичной методике были получены и остальные значения длины поверхности сепарирования, достаточной для прохождения всего зернового вороха, при различных углах наклона отверстий решетчатого днища (15, 30, 45, 60, 75 и 90 град.). По ним получена зависимость длины сепарирующей поверхности экспериментальной установки от угла наклона отверстий (рис. 5). Уравнение регрессии ($R^2 = 0,962$) имеет вид:

$$L = -0,00027 \cdot x^2 + 0,0555 \cdot x + 1,0219, \quad (4)$$

где L – длина сепарирующей поверхности, м; x – угол наклона

Заключение

Полученный результат свидетельствует о том, что гипотеза об ускоренном движении слоев зернового вороха (скольжении по плоскостям, угол наклона которых близок к углу естественного откоса зерна) сквозь продолговатые отверстия решетчатого днища наклонной камеры адекватно отражает характер процесса. Если бы действовала гипотеза об истечении зерна с постоянной (или уменьшающейся) скоростью, в связи с падением напора (по аналогии с жидкостью), то существенной разницы между интенсивностью сепарации при углах 0 и 90° быть не должно, поскольку суммарное живое сечение отверстий остается неизменным.

Согласно принятой гипотезе, разница объясняется следующим образом. Длину отверстия в 160 мм скребок преодолевает за время $t_1 = 0,053$ с. За этот промежуток времени все слои зерна должны переместиться по соответствующим наклонным плоскостям вниз на величину $l_1 = 8,49$ мм (1). Если же отверстия будут сориентированы под углом 90° к исходному варианту, то за тот же период времени (t_1) скребок пересекает десять отверстий шириной по 8 мм и десять перемычек между ними. Если принять, что при попадании сползающего слоя зерна на перемычку между отверстиями его скорость практически полностью гасится, то на очередном отверстии процесс ускорения наклонного движения начинается с нуля.

Таким образом, в альтернативном варианте за время t_1 слои зерна (при условии их полной остановки на каждой из перемычек) успевают переместиться вниз только на 0,2 мм. То есть теоретически сепарация, по сути, невозможна. В эксперименте (рис. 3), тем не менее, сквозь отверстия проходит 30...35 % зерна от максимума, достигнутого при угле $\alpha = 0^\circ$. Это можно объяснить тем, что отдельные зерна нижнего слоя оказываются сориентированы так, что происходит их зацепление за края отверстия и остановка с проходом над ними нижней кромки скребка. То есть, в связи с наличием зазоров между решетчатым днищем и скребком, процесс сепарации (частично) принимает качественно иной характер.

Тем не менее, можно сделать однозначный вывод о том, что для обеспечения наиболее интенсивной сепарации очесанного вороха на

решетчатом днище наклонной камеры боковые кромки его отверстий должны быть сориентированы по направлению перемещения скребка.

Литература

1. Жалнин Э.В. Технические инновации в сельскохозяйственном производстве и ресурсосберегающий эффект // АгроСнабФорум. 2017. № 3 (151). С. 14.
2. Кравченко Н.П. Обоснование приоритетных инноваций в растениеводстве и оценка их эффективности: автореф. дис. ... док.

References

1. Zhalnin E.V. Technical innovations in agricultural production and resource-saving effect. *AgroSnaB-Forum*. 2017. No. 3 (151), pp. 14 (in Russ.).
2. Kravchenko N.P. Obosnovanie prioritetnyh innovacij v rastenievodstve i ocenka ih jeffektivnosti: avtoref. diss. ... dok. jekon. nauk [Justification of the priority of innovation in crop and estimation of their efficiency: abstract. diss. ... dock. ekon. sciences]. Maikop, 2011. 46 p.
3. Ozhereliev V.N., Nikitin V.V., Alakin V.M., Stanovov S.N. Study of parameters oceanog grain heap. *Tehnika v sel'skom hozjajstve*. 2013. No. 1, pp. 7–9 (in Russ.).
4. Justification of the priority of innovation in crop and estimation of their efficiency
5. Shabanov N. P. Razrabotka i obosnovanie ustroystva dlya separatsii ochesannogo zernovogo vorokha v naklonnoy kamere zernouborochnogo kombayna: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk [Development and justification of the device for the separation of the combed grain heap in the inclined chamber of the combine harvester: author. diss. ... candidate. tekhn. sciences]. Simferopol, 1997. 26 p.
6. Ozhereliev V.N., Nikitin V.V. Naklonnaya kamera zernouborochnogo kombayna [Inclined camera combine harvester]: patent na izobretenie No 2577892, Rossiyskaya Fereratsiya. Opublikovano 20.03.2016. Byul. No 8.
7. Akhmatov, A. A., Orobinsky V. I. Shats'kyi, V. P., Solntsev V. N. Rationale of the expiration of the grain mixtures in the supply device. *Vestnik Voronezhskogo GAU*. 2016. No. 4 (51), pp. 114–120 (in Russ.).
8. Ozhereliev V.N., Nikitin V.V. Naklonnaya kamera zernouborochnogo kombayna [Inclined camera combine harvester]: patent na izobretenie No 2566015, Rossiyskaya Fereratsiya. Opublikovano 20.10.2015. Byul. No 29.
9. Nikitin V.V., Ozhereliev V.N. The effect of the size of lattice holes of the bottom of the inclined chamber at its separating ability // *Rol' agrarnoy nauki v razvitii APK RF: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 105-letiyu FGBOU VO Voronezhskiy GAU* [The role of agrarian science in the development of agriculture: materials of the international scientific-practical conference dedicated to the 105th anniversary of the Voronezh GAU]. P. I. Voronezh: FSBEI HE Voronezh state agricultural university, 2015. pp. 8–12 (in Russ.).
10. Ozhereliev V.N., Nikitin V.V., Komogortsev V.F. Inclined camera combine harvester. *Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2016. No 3, pp. 65–70 (in Russ.).
11. Khalanskiy V. M., Gorbachev I.V. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny* [Agricultural vehicles]. Moscow, KolosS Publ., 2003, 624 p.
12. Ozhereliev V.N., Nikitin V.V. Zernouborochnye kombajny [Combine harvester]. Bryansk: publishing house of Bryansk state agricultural university, 2016, 252 p.

ВИБРОМЕТРИРОВАНИЕ ТУРБОКОМПРЕССОРА ДИЗЕЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

VIBRATION ANALYSIS OF DIESEL TURBOCHARGER FOR AGRICULTURAL USE

Р.В. КАМИНСКИЙ, к.т.н.
И.В. КОВАЛЬЦОВ
Е.А. КОСТЮКОВ
С.В. СИБИРЯКОВ
А.С. ФИЛИПPOB

АО «НПО «Турботехника», Протвино, Московская обл.,
 Россия, asf_inbox.ru

R.V. KAMINSKY, PhD in Engineering
I.V. KOVALTSOV
E.A. KOSTYUKOV
S.V. SIBIRYAKOV
A.S. FILIPPOV

JSC Scientific-Production Association Turbotekhnika, Protvino,
 Moscow Region, Russia, asf_inbox.ru

Экологические, эффективные и экономические требования к дизельным двигателям непрерывно ужесточаются, что вызывает необходимость их модернизации. Повышение степени форсировки дизеля – один из вариантов достижения соответствия новым стандартам. Однако это приводит к увеличению нагрузки на различные узлы и компоненты дизеля. Турбокомпрессор как один из важнейших агрегатов двигателя подвергается высокой вибрационной нагрузке ввиду большой частоты вращения ротора. Из практики завода-изготовителя известно, что это становится одной из наиболее распространенных причин отказа в работе турбокомпрессоров. Поэтому оценка вибронегруженности подшипников скольжения в современных агрегатах турбонаддува требует тщательного исследования, что и стало целью данной работы. Для проведения измерений вибрационных явлений в турбокомпрессоре использовался трехосевой вибропреобразователь AP81, установленный на турбокомпрессор таким образом, чтобы оси датчика совпадали с осями турбокомпрессора. Это необходимо для определения не только величин вибраций, но и их направлений. По измеренным величинам виброускорений можно сделать вывод о технической исправности турбокомпрессора, спрогнозировать возможный отказ и, следовательно, принять решение о необходимом комплексе мероприятий или внесении изменений в конструкторскую документацию (КД) в случае обнаружения существенных отклонений.

Исследования проводились в два этапа: на специализированном балансировочном станке и на газодинамическом безмоторном стенде. В ходе проведения испытаний были выявлены гармонические и негармонические составляющие, резонансы, связанные с ростом числа оборотов ротора. Измерены величины виброускорения вдоль оси ротора турбокомпрессора, перпендикулярно оси ротора в горизонтальной плоскости, перпендикулярно оси ротора в вертикальной плоскости. По результатам экспериментальных данных сделаны выводы, позволяющие отметить следующее: для снижения вибрационных нагрузок на ходовую часть турбокомпрессора необходимо проектировать компрессорную ступень таким

Введение

Задача производителя турбокомпрессоров – обеспечить не только требуемые параметры наддува двигателя, но и долговечность агрегата, соизмеримую с ресурсом двигателя. Современные дизели имеют высокую степень форсировки, что требует от системы наддува соответствия жестким стандартам эффективности. Растет давление наддува, что неизбежно приводит к увеличению частоты вращения ротора.

Современные агрегаты наддува в силу своей конструкции подвержены высоким динамическим нагрузкам, что сильно влияет на срок службы подшипникового узла турбокомпрессора [1]. Поэтому крайне необходимо контролировать качество продукции с точки зрения виброметрирования.

АО «НПО «Турботехника» обладает обширным опытом проектирования и производства турбокомпрессоров для автотракторной промышленности, располагает необходимой производственной, метрологической и исследовательской базой [2]. Изучение накопленной предприятием статистических данных о причинах отказов турбокомпрессоров позволяет констатировать острую потребность в контроле виброактивности производимых турбокомпрессоров, поскольку это напрямую влияет на их долговечность.

В комплексе мероприятий по контролю уровня виброускорения вращающихся деталей входят: балансировка колеса компрессора и ротора по отдельности, испытания картриджа в сборе на специализированном балансировочном станке, контроль уровня виброускорения при безмоторных испытаниях на газодинамическом стенде.

Безмоторные испытания – неотъемлемая часть производства турбокомпрессоров. Они необходимы для получения характеристик, контроля и исследования процессов, сопровождающих работу ТКР. Сложная измерительная система, состоящая из современных высокоточных датчиков и приборов, позволяет наблюдать и фиксировать параметры виброускорения испытываемых турбокомпрессоров [3].

Перед установкой турбокомпрессора на стенд безмоторных испытаний каждый картридж (корпус подшипников в сборе) динамически балансируется на станке SCHENCK (Германия). Данный станок позволяет опреде-

лить амплитуду виброускорения с целью сравнения его с КД. Однако необходимо проводить виброанализ турбокомпрессора в сборе во время испытаний на безмоторном стенде.

Цели и задачи исследования

Работа проводится в целях оценки виброактивности тубокомпрессора при испытаниях на балансировочном станке и во время безмоторных испытаний, а также исследования направления (относительно системы координат XYZ) влияния вибрационных явлений (необходимо для оценки величины нагрузки, которую испытывает каждый из подшипников).

Для достижения этих целей необходимо решить следующие

Методика исследования

Для измерения вибраций ТКР использован трехосевой вибропреобразователь AP81 производства ООО «ГлобалТест», г. Саров, Российская Федерация. Основные технические характеристики представлены в табл. 1.

Установка вибропреобразователя на турбокомпрессоре представлена на рис

– проверки соответствия газодинамических характеристик в контрольной точке при «горячих» испытаниях на безмоторном стенде.

Турбокомпрессор соответствует требованиям КД и принят ОТК.

Измерения проведены в 2 этапа.

Этап № 1. Измерения на балансировочном станке SCHENCK

Картридж был установлен на рабочем столе станка, предварительно поверенного балансировочными грузами. Раскрутка ротора производилась струей сжатого воздуха, подаваемой на входные кромки рабочего колеса турбины ТКР через отверстие в специальном адаптере. Нагрузка на рабочее колесо компрессора отсутствует.

Задаваемые параметры режима работы ТКР представлены в табл. 2.

Параллельно с записью параметров вибраций вибропреобразователем AP81 фиксировались данные стендового измерителя.

Этап № 2. Измерения при «горячих» испытаниях на безмоторном стенде

Проводились измерения при частотах вращения ротора 106103...194523 об/мин, соответствующих окружным скоростям на колесе компрессора 300...550 м/с, с шагом 50 м/с. Причем окружная скорость 550 м/с задана как предельно допустимая по прочности рабочего колеса компрессора под центробежной нагрузкой. При одинаковой частоте вращения ротора измерения проводились вблизи границы помпажа («левая граница») и вблизи запорной границы («правая граница») характеристики компрессора (рис. 3). В этих точках отличаются значения расхода и степени повышения давления воздуха в компрессоре, а также, по расчетным данным, осевая нагрузка на ротор от газодинамических сил. При приближении к границе помпажа осевая нагрузка растет.

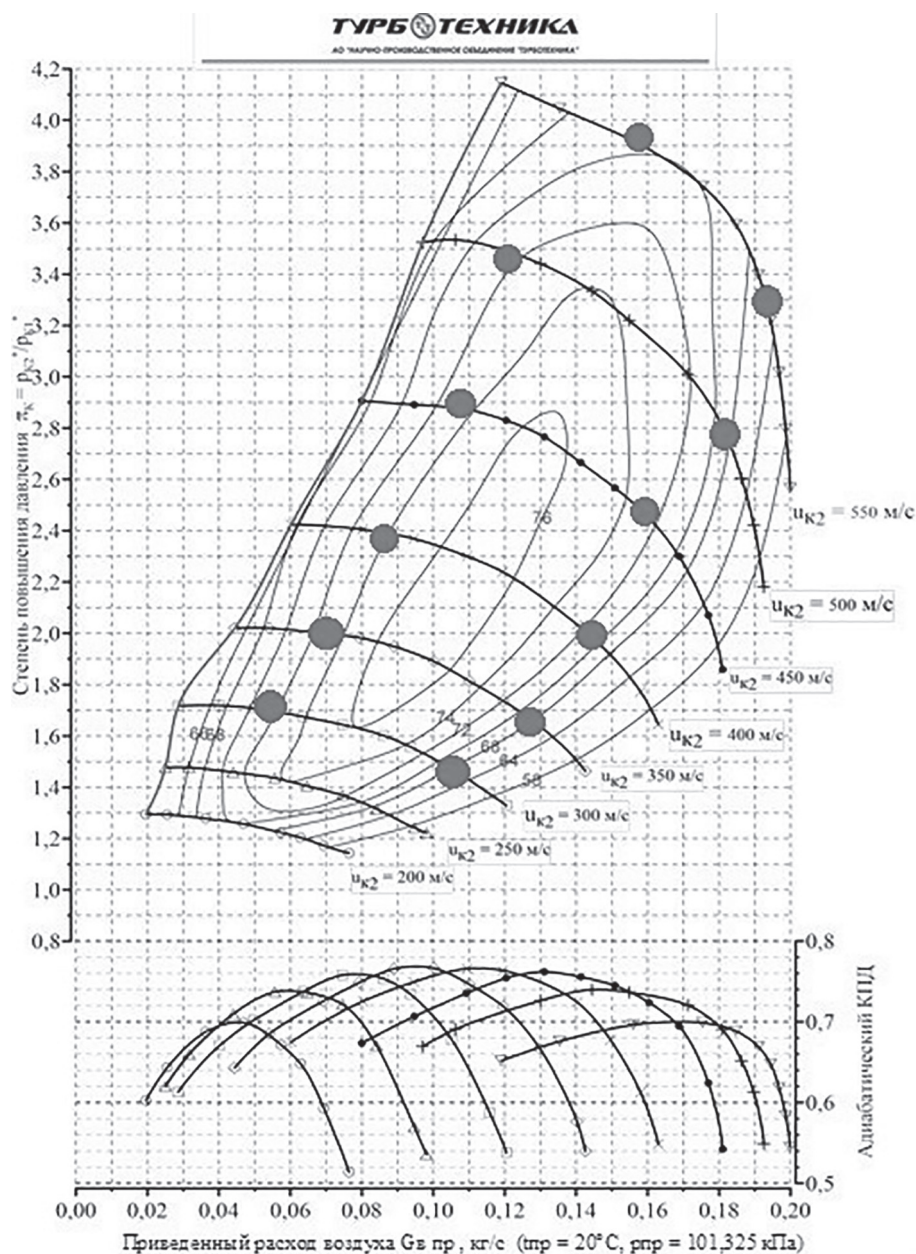
Фактические режимы работы турбокомпрессора в ходе измерений определяются точками на расходной характеристике компрессора ТКР (рис. 3).

Температура газа на входе в турбину 650 ± 100 °С.

Температура масла на входе в ТКР 75...860 °С.

Давление подачи масла 434...437 кПа.

На каждом режиме в базе данных стенда регистрировались газодинамические параметры компрессора и турбины, а также температура масла на выходе из ТКР и расход масла через ТКР.



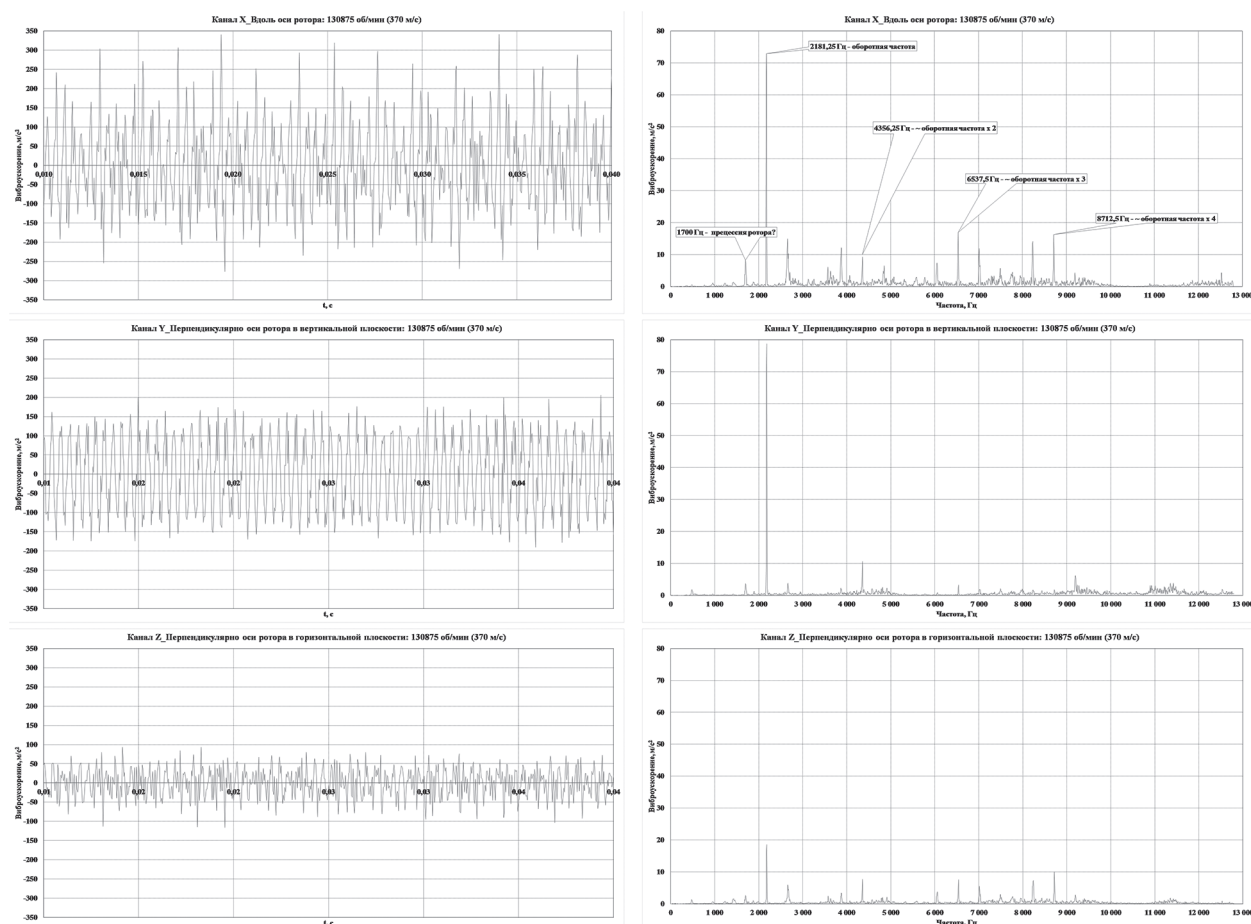


Рис. 4. Общие уровни и спектры виброускорений при испытаниях на SCHENCK $n_p = 130875$ об/мин ($u_{k2} = 370$ м/с)

скорости колеса компрессора 550 м/с, а также графики спектров виброускорений на этом же режиме. Испытания также проводились на окружных скоростях 300, 350, 400, 450, 500 м/с.

Интенсивность и амплитуда вибраций в осевом направлении выше, чем в радиальных, и быстро растет с увеличением окружных скоростей до 450 м/с. Причем вблизи границы помпажа («левой») интенсивность вибраций в осевом направлении выше, чем вблизи запорной («правой»).

Спектральная составляющая, соответствующая оборотной частоте, растет с повышением частоты вращения ротора. Также с ростом частоты вращения ротора в спектре появляются гармонические составляющие, кратные 1/2 и 1/3 оборотной частоты.

В диапазоне спектральных частот примерно 700...7000 Гц и 10000...13000 Гц в спектре осевых колебаний – негармонические составляющие, которые практически не меняются при изменении частоты вращения ротора. Аналогично для спектров радиальных колебаний в

диапазоне спектральных частот 4000...9500 Гц и 10000...13000 Гц. Эти колебания связаны не с турбокомпрессором, а с работой оборудования стенда. Амплитуда составляющих спектра вблизи границы помпажа выше, чем у запорной границы.

Средняя и среднеквадратичная амплитуда виброускорений при изменении частоты вращения для колебаний в осевом направлении имеют четкие минимумы на режимах 400 и 500 м/с. Для радиальных колеб

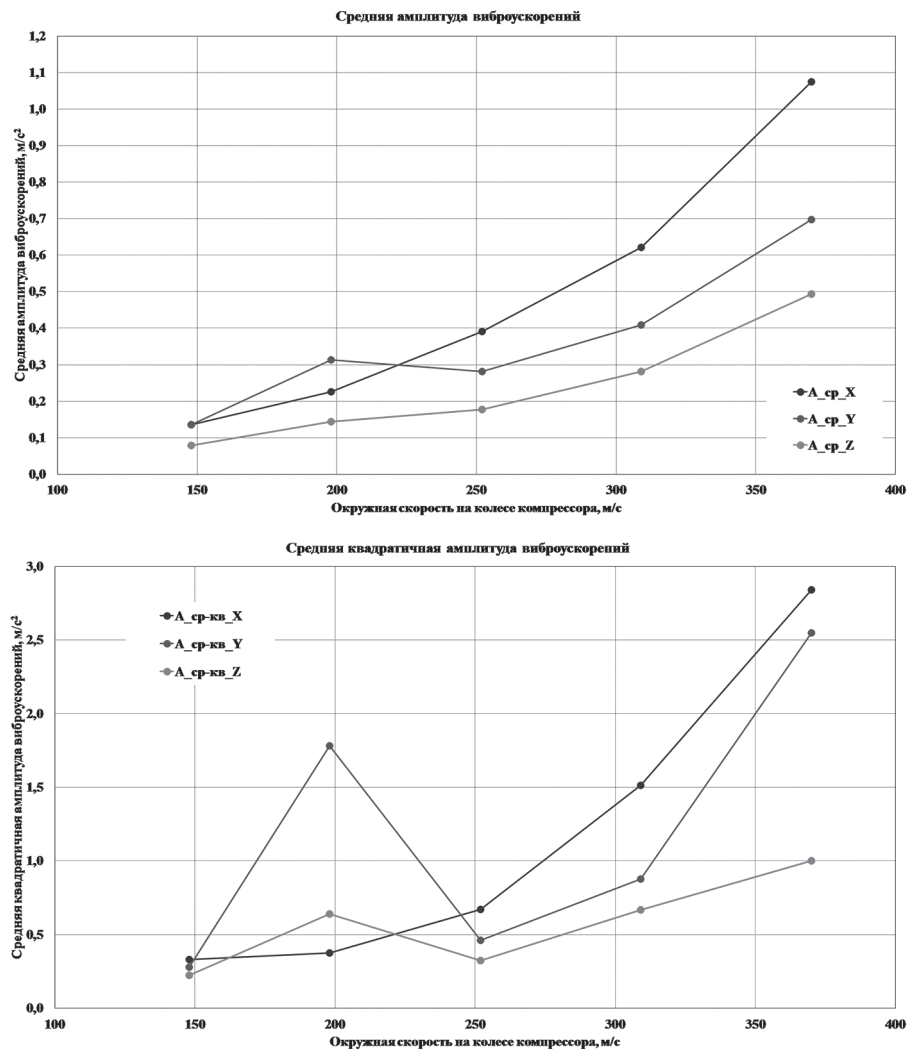


Рис. 5. Средние и среднеквадратичные амплитуды виброускорений при испытаниях на SCHENCK

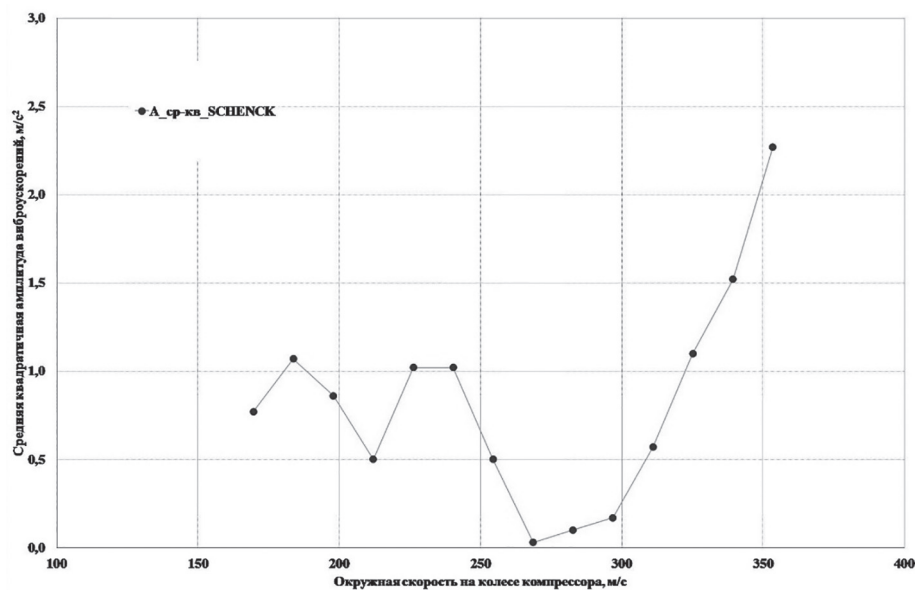


Рис. 6. Среднеквадратичные амплитуды виброускорений в вертикальной плоскости, замеренные акселерометром SCHENCK

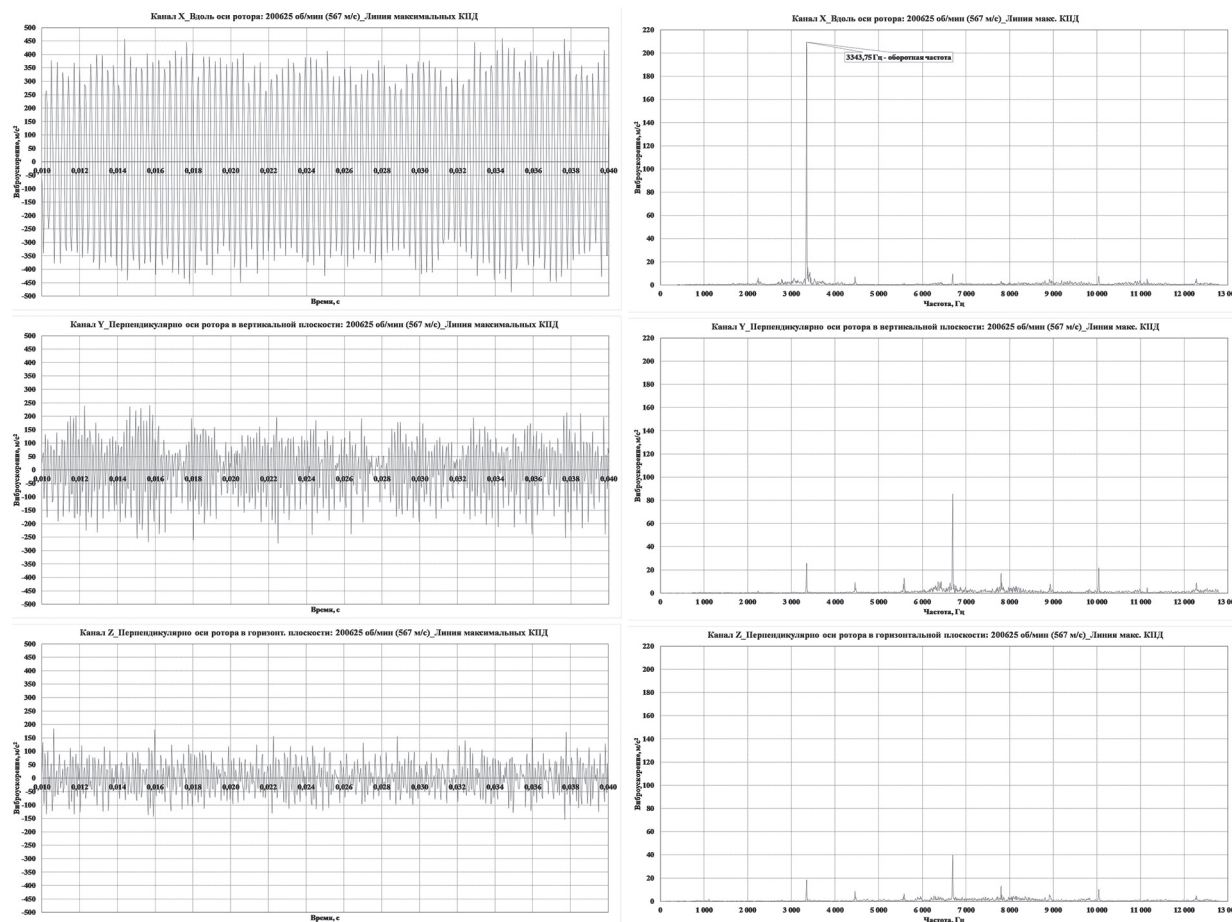


Рис. 7. Общие уровни и спектры виброускорений при «горячих» испытаниях вблизи ветки характеристики 550 м/с

По окончании измерений выполнена контрольная разборка турбокомпрессора. Состояние деталей ходовой части удовлетворительное, что подтверждает отсутствие нарушений работы подшипников во всем исследованном диапазоне частот вращения ротора.

Выводы

Проведенные исследования продемонстрировали следующее.

1. Интенсивность вибраций турбокомпрессора в общем растет с ростом частоты вращения ротора, а также с ростом степени повышения давления в компрессоре. Поэтому при приближении режима работы компрессора к границе помпажа интенсивность виброускорения выше, чем вблизи запорной границы. На графиках среднеквадратичных амплитуд виброускорений на режимах 400 и 500 м/с наблюдаются минимумы.

2. Интенсивность среднеквадратичных амплитуд виброускорений в осевом направлении выше, чем в радиальном. Это обусловлено га-

зодинамическими реакциями в турбине и воздействием газового потока на лопатки рабочего колеса при квазистационарном течении газа и воздуха в турбокомпрессоре во время безмоторных испытаний.

3. В спектрах присутствуют гармонические составляющие, кратные оборотной частоте и 1/2, 1/3 оборотной частоты. А также в диапазоне частот от 0,3...1 оборотной частоты присутствует гармоническая составляющая, не кратная оборотной частоте. Эти частоты соответствуют главным гармоническим составляющим изгибных и крутильных колебаний ротора, а также частоте прецессии ротора.

4. Зоны негармонических колебаний в спектрах не зависят от режима работы ТКР и обусловлены колебаниями агрегатов стенда.

5. На всех исследованных режимах работы турбо

Заключение

Ввиду высокой вибрационной активности турбокомпрессора вблизи границы помпажа имеет смысл проектировать компрессорную ступень таким образом, чтобы на всех режимах работы двигателя имелся существенный запас по границе помпажа. Это позволит снизить вибрационные нагрузки на ходовую часть турбокомпрессора.

Проведенные исследования показали, что радиальная нагрузка существенно выше осевой. В связи с этим радиальному подшипнику необходимо придать существенный запас прочности для обеспечения безотказной работы турбокомпрессора.

Литература

1. Каминский В.Н. НПО «Турботехника». 25 лет в двигателестроении // Научноград Наука Производство Общество. 2014. № 1 (1). С. 48–57.
2. Каминский В.Н., Каминский Р.В., Сибиряков С.В., Костюков Е.А., Григоров И.Н., Лазарев А.В. Разработка системы наддува для двигателя ММЗ-3LDT // Автомобильная промышленность. 2017. № 5. С. 9–13.
3. Леонтьев М.К. Виброметрирование авиационных ГТД. Учебное пособие. М.: МАИ, 1998. 20 с.
4. Каминский Р.В., Лазарев А.В., Григоров И.Н., Костюков Е.А., Корнеев С.А. Создание стендов для контрольно-исследовательских испы-

таний турбокомпрессоров // Известия МГТУ «МАМИ». 2012. № 2 (14). С. 143–148.

5. Барков А.В., Баркова Н.А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации. Учебное пособие. – СПб.: СПбГМТУ, 2004. 152 с.

References

1. Kaminsky V.N. Scientific-Production Association Turbotekhnika. 25 years in Engine Industry. Naukograd Nauka Proizvodstvo Obshchestvo. 2014. No 1 (1), pp. 48–57 (in Russ.).
2. Kaminsky V.N., Kaminsky R.V., Sibiriyakov S.V., Kostyukov E.A., Grigorov I.N., Lazarev A.V. Development of a supercharging system for the MMZ-3LDT engine. Automotive Industry. 2017. No. 5, pp. 9–13 (in Russ.).
3. Leontyev M.K. Vibrometrirovanie aviacionnyh GTD [Vibrometry of aviation GTE]. Moscow: MAI Publ., 1998. 20 p.
4. Kaminsky R.V., Lazarev A.V., Grigorov I.N., Kostyukov E.A., Korneev S.A. Creation of testing benches for control and research tests of turbochargers. Izvestiya MSTU MAMI. 2012. No 2 (14), pp. 143–148 (in Russ.).
5. Barkov A.V., Barkova N.A. Vibracionnaya diagnostika mashin i oborudovaniya [Vibration diagnosis of machinery and equipment. Analysis of vibration]. St. Petersburg: SPbGMTU Publ., 2004. 152 p.

МАЛОЗАТРАТНЫЙ ЭКОЛОГИЧНЫЙ ДИЗЕЛЬ С ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННОЙ КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ

LOW-COST, ECO-FRIENDLY DIESEL WITH A THERMALLY INSULATED COMBUSTION CHAMBER

В.Г. МЕРЗЛИКИН^{1,2}, К.Т.Н.

А.Р. МАКАРОВ³, К.Т.Н.

С.В. СМЕРНОВ³, К.Т.Н.

А.В. КОСТЮКОВ¹, К.Т.Н.

МАРКОС ОХЕДА ГУТИЕРРЕС⁴, К.Т.Н.

¹ Московский политехнический университет, Москва, Россия

² Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

³ Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

⁴ Tablet School Company, Latacunga, Ecuador, merzlikinv@mail.ru, a-r-makarov@ya.ru, smirnof61@mail.ru, marcosgutierrezojeda@yahoo.com

V.G. MERZLIKIN^{1,2}, PhD in Engineering

A.R. MAKAROV³, PhD in Engineering

S.V. SMIRNOV³, PhD in Engineering

A.V. KOSTUKOV¹, PhD in Engineering

MARCOS OJEDA GUTIERREZ⁴, PhD in Engineering

¹ Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

² Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

³ Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

⁴ Tablet School Company, General Maldonado y Belisario Quevedo, Latacunga, Ecuador, merzlikinv@mail.ru,

Введение

Исследование относится к фундаментальным разработкам нового поколения дизельных двигателей с камерой сгорания с низкими тепловыми потерями, обуславливающими рост ее эффективности и возможность снижения концентрации токсичных компонентов выпускных газов.

Одним из традиционных направлений инновационных разработок последних десятилетий является внедрение теплозащитных материалов и покрытий камеры сгорания, обеспечивающих снижение и управление внешним теплоотводом. Но существенным недостатком остается интенсивная генерация токсичных диоксидов азота с ростом температуры теплоизолированных стенок камеры сгорания. По мнению авторов работы, данная проблема не решалась в должной мере автоинженерами в России [1–4] и за рубежом [5–10] из-за игнорирования влияния лучистой компоненты теплового потока на тепловой режим теплоизолированных стенок камеры сгорания и ее газового объема.

Тогда исследуемые до сих пор керамические покрытия как непрозрачные теплоизолирующие HICs- (heat-insulating – российская терминология) или термобарьерные TBC- (thermalbarriercoatings – принятое за рубежом название) покрытия должны рассматриваться как полупрозрачные SHICs (semitransparent heatinsulatingcoatings) покрытия.

Цель и объект исследования

Снижение тепловых потерь, теплонапряженности дизеля с контролируемым загрязнением окружающей среды с использованием модельных полупрозрачных термобарьерных покрытий (на основе частично стабилизированного диоксида циркония PSZ-керамики $ZrO_2 + 8\% Y_2O_3$), формирующих управляемый приповерхностный градиент температуры внутренних стенок (головки поршня) камеры сгорания с улучшенными теплоэнергетическими и топливными характеристиками с апробацией при стендовых испытаниях одноцилиндрового дизеля ТМЗ-450Д с теплоизолированным днищем поршня.

Методы тенденции исследования дизелей с низкими тепловыми потерями

Современные тенденции развития двигателестроения, а именно форсирование дви-

гателей по частоте вращения и среднему эффективному давлению приводят к росту теплонапряженности основных их деталей и, в первую очередь, деталей цилиндропоршневой группы. Проблемы оптимизации теплового состояния деталей дизеля, обеспечения их безотказности и долговечности находятся в центре внимания ученых и инженеров. Одним из путей снижения тепловой нагруженности деталей является теплоизоляция их с помощью керамических покрытий.

Однако, как показали исследования многих авторов, теплоизоляция камеры сгорания дизеля не всегда приводит к росту его эффективности

зелей были начаты в середине прошлого века пионерскими работами советских и немецких ученых [24–26].

Подобная проблема стала актуальной для разработок камер сгорания турбин, в которых доля излучения достигает 30 % [22]. В камерах сгорания дизелей лучистая компонента оказывает еще большее влияние на сложный теплообмен, так как может достигать ~50 % от общего теплового потока [11, 25, 26].

Решение проблемы влияния лучистой компоненты теплового потока и ее управления может быть выполнено на основе применения полупрозрачных керамических покрытий с известными оптическими и терморadiационными свойствами [27], начиная с ранних работ в в последней трети прошлого столетия [28].

В связи с этим изучение полупрозрачных теплоизолирующих покрытий камер сгорания дизелей является насущной задачей.

Объемные эффекты рассеяния и поглощения лучистой энергии в полупрозрачных покрытиях позволяют снизить их поверхностную температуру, предотвратить перегрев камеры сгорания и уже на новом качественном уровне решать задачи адиабатизации рабочего процесса дизеля, повышения его коэффициента полезного действия, а также улучшения мощностных и экономических показателей [20–22].

В традиционных исследованиях сложного теплообмена и лучистого теплопереноса для элементов теплозащиты стенок камер сгорания дизелей [11–14] и турбин, лопаток авиационных турбин [17–19], корпусов аэрокосмических аппаратов [29–32], ловушек перегретого теплоносителя ядерного реактора [33] обычно требуется рассмотреть воздействие интегрального теплового потока с учетом вклада проникающей лучистой компоненты в коротковолновом диапазоне длин волн $\sim 1\text{--}2$ мкм в нагрев теплоизолирующих и теплозащитных покрытий. Применяемые керамические теплоизолирующие покрытия являются частично прозрачными для указанного лучистого воздействия. Но, как правило, этим эффектом пренебрегают [1–14], хотя применение таких покрытий становится актуальным, исходя уже из тенденций развития концепций аналогичной теплозащиты в других упомянутых выше областях науки и техники.

При разработках нового поколения быстроходных дизелей, например, на конференциях международного союза автоинженеров

SAE [22, 34] не раз формулировались фундаментальные направления достижения сверхстандартов при эксплуатации дизелей, направленные на

МГТУ «МАМИ» с 2004 г., основные направления разработок в которой были предложены в патентах РФ, начиная с 2004 [20], № 2323357 (2008), № 2410196 (2011), включающие как указание на требуемые характеристики покрытий, так и способы их формообразования. Была показана возможность регулирования температуры внутренних граничных стенок камеры сгорания ДВС с нанесенными полупрозрачными покрытиями, обоснованная также в публикациях ряда авторов [15, 16, 21, 22, 37].

Из-за отсутствия оптических моделей теплообмена или данных по оптическим и терморadiационным характеристикам в традиционных исследованиях при изучении радиационно-конвективного воздействия ограничивались эффективным теплообменом только на облучаемой поверхности без анализа прогрева устройства проникающим излучением [1–14]. Это не позволяло провести корректную оценку терморadiационных и, следовательно, температурных полей.

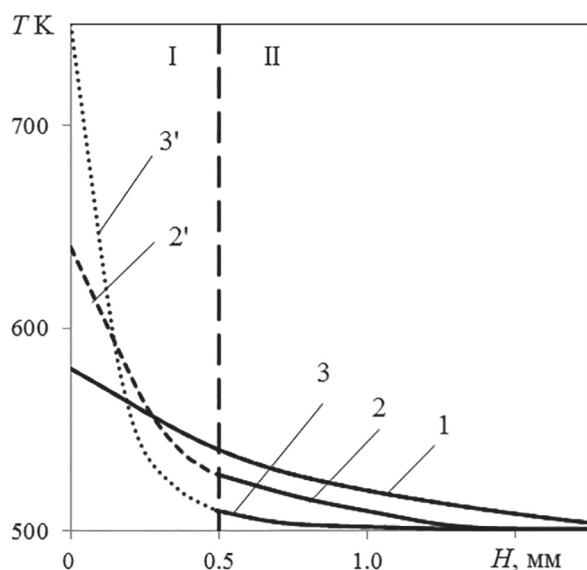
Авторы в своих предшествующих разработках использовали физико-математическую модель радиационно-кондуктивного нагрева полупрозрачных покрытий как оптически неоднородных материалов с комплексными методами диагностики их теплофизических и оптических характеристик на промышленной и лабораторной экспериментальной аппаратуре для оценки показателей поглощения и рассеяния, обуславливающих функцию теплового источника при решении нелинейных задач лучистого теплопереноса [15, 16, 34, 37].

Физико-математическая модель процессов лучистого теплообмена в камере сгорания быстроходных дизелей

Разработанные методы и способы оценки характеристик радиационных и температурных полей позволяют теоретически и экспериментально определить их характеристики в подповерхностной области облучаемых полупрозрачных материалов. Экспериментальные спектрофотометрические измерения коэффициентов отражения и пропускания плоских образцов полупрозрачных теплоизолирующих SHIC-покрытий позволяют определить значения показателей рассеяния, поглощения, индикатрисы рассеяния и коэффициента собственного излучения. Эти данные являются исходными для вычисления функции теплово-

го источника для расчета локального подповерхностного перегрева различного рода теплоизолированных технических объектов.

волновой области 2–5 мкм вызывает снижение температуры поверхности и обуславливает или уменьшение температурного градиента (показано на рис. 1 – кривая 2–2'). Для оптически неоднородных покрытий более значительной толщины от нескольких миллиметров в зависимости от теплофизики процессов сложного теплообмена для различных полупрозрачных сред может наблюдаться смещение максимума температуры с поверхности в глубину полупрозрачного покрытия с расширением подповерхностной зоны объемного лучистого нагрева [26–31].



Таким образом, тепловой режим полупрозрачного покрытия является более подходящим и может контролироваться изменением только оптических параметров за счет специфического структурирования (как интеллектуального материала), например выбора преобладающей ориентации рассеивающих частиц керамического слоя. В этом случае коэффициент теплопроводности практически не изменится. Предлагаемое физическое моделирование оптимальной структуры SHIC должно способствовать требуемому терморегулированию камеры сгорания, предотвращению ее перегрева и лучшему самовоспламенению топлива.

Подтверждением результатов положительного влияния теплоизоляции камеры сгорания на рабочий процесс дизеля и его индикаторные показатели является применение полупрозрачного покрытия из окиси алюминия толщиной 0,25 мм, полученные при испытании дизеля Ч13/14 [15] и в более поздней работе с имитатором дизеля [2].

Расчет удельных тепловых потоков на поверхности стенок камеры сгорания по формуле Ананда (рис. 2), проведенный по результатам его исследования, показывает уменьшение интегральных тепловых потерь от рабочего тела в процессах сгорания и расширения.

В то же время наблюдается интенсификация процесса сгорания вблизи ВМТ, уменьшение догорания на линии расширения, что, в конечном итоге, приводит к снижению удельных расходов топлива и увеличению индикаторного КПД. Видно, что при использовании полупрозрачной теплоизоляции максимальное значение теплового потока возникает за счет повышения температуры рабочего тела при

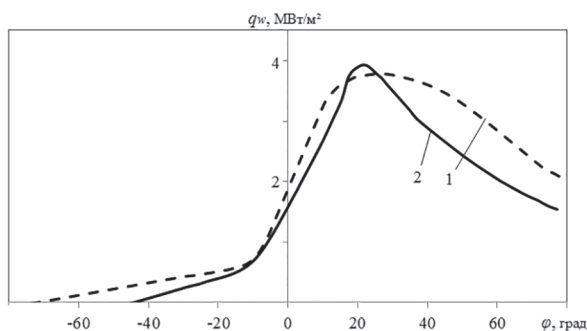


Рис. 2. Потери теплоты от рабочего тела дизеля Ч 24/36 через незащищенное днище поршня (кривая 1) и покрытого полупрозрачной теплоизоляцией на основе окиси алюминия (кривая 2)



Рис. 3. Поршень дизеля ТМЗ-450Д без теплоизоляции (а) и с керамическим покрытием на основе $ZrO_2 + 8\% Y_2O_3$ (б)

Выбор этого дизеля был обусловлен высокой чувствительностью быстроходных двигателей воздушного охлаждения к качеству применяемых теплоизолирующих материалов. Испытания проводились на моторном стенде, оснащённом специальным оборудованием и необходимыми приборами [39].

Как показано на рис. 4–7, наиболее лучший результат получается при высоких оборотах двигателя – от 2800 до 3400 1/мин.

Это объясняется тем, что сгорание топлива происходит практически полностью вблизи ВМТ, так как поверхностная температура теплоизолированных стенок, поршня камеры сгорания выше, чем для незащищённых элементов.

Это способствует благоприятным условиям самовоспламенения топлива и сокращению его время сгорания, что согласуется с экспериментальными наблюдениями в работах Р.З. Кавтардзе, указывающими на процесс газификации нагара сажи для высокооборотных дизелей [18].

Проведённые авторами экспериментальные исследования рабочего процесса дизеля ТМЗ-450Д и математическое моделирование его рабочего процесса с использованием поршня с теплоизолирующей PSZ-керамикой и без нее показали снижение суммарных тепловых потерь в камере сгорания на 16 % при приемлемом уровне поверхностной температуры днища поршня. Это привело к улучшению мощностных (рис. 6) и экономических (топливных) (рис. 7) показателей дизеля.

Заключение

В статье обсуждена актуальная для дизелестроения проблема, связанная с влиянием лучистой компоненты раскалённых частиц сажи в камере сгорания дизеля с низкими тепловыми потерями на температурный режим те-

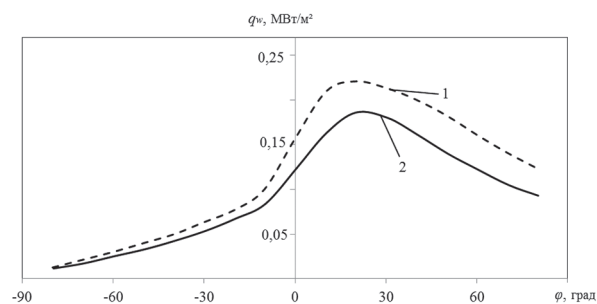


Рис. 4. Экспериментально измеренные тепловые потери через огневое днище незащищённого поршня (1) и покрытого полупрозрачной керамической теплоизоляцией (2)

плоизолирующего полупрозрачного покрытия поршня.

Использованная физико-математическая модель позволяет описать процессы рассеяния и поглощения теплового излучения в полупрозрачных покрытиях камер сгорания для прогнозирования и контроля температуры ее внутренних стенок в зависимости от оптимального соотношения оптических и теплофизических характеристик.

Эксплуатация экологичной и эффективной теплоизолированной камеры сгорания может осуществляться при контроле температуры ее поверхности с полупрозрачным керамическим покрытием SHC с толщиной слоя до $\sim 0,5$ мм с оптическими характеристиками: коэффициенте отражения полубес

разработки автоиндустрии, аэрокосмической отрасли, судостроения, при решении задач терморегулирования ловушек атомных реакторов, в биологии, медицине, а также могут быть использованы как модификации искусственного теплозащитного покрова для управления и контроля тепловым состоянием ряда природных, гляциальных и водных сред.

В автоиндустрии возможно повторить

