

ustanovok s ispolzovaniem vozobnovlyaemykh vidov energii. – Moskva: KolosS, 2003. – 532 s.

14. Pat. No. 189495 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A01G 25/09, SPK A01G 25/09, Y02P 60/122. Avtonomnaya elektrifitsirovannaya sektsiya dozhdevalnoy mashiny krugovogo deystviya / S.M. Bakirov, G.P. Eroshenko,

V.A. Trushkin, D.A. Solovev, S.S. Eliseev; zayavitel i patentoobladatel FGBOU VO Saratovskiy GAU imeni N.I. Vavilova (RU). – No. 2019103591; zayavl. 08.02.2019; opubl. 24.05.2019. Byul. No.15. – 6 s.: il.



УДК 629.083

Е.М. Таусенев
Ye.M. Tausenev

ОБ УСТАНОВКЕ ОХЛАДИТЕЛЯ ТОПЛИВА НА ТРАКТОР К-744P2 С ДИЗЕЛЕМ 8481.10 ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РЕМОНТНО-ОБСЛУЖИВАЮЩИХ РАБОТ

THE FUEL COOLER INSTALLATION ON THE TRACTOR K-744P2 WITH DIESEL 8481.10 DURING MAINTENANCE WORKS

Ключевые слова: трактор сельскохозяйственный, надёжность, мощность, дизельный двигатель, топливная система, охлаждение топлива, ремонтно-обслуживающие работы.

Обосновывается установка охладителя топлива с целью увеличения мощности и надёжности дизеля 8481.10 для трактора К-744P2. Выполнены расчёты на режимах номинальной мощности и максимального крутящего момента. Температура топлива в распылителе форсунки изменялась от +380 К до +303 К. Эффективная мощность N_e и часовой расход G_T с уменьшением температуры топлива постоянно возрастают. Максимальный прирост N_e составил 18%, максимальный крутящий момент M_{max} стал равным 1777 Н·м и превысил M_{max} дизеля OM460LA E3A/5 (1750 Н·м). Появляется возможность повышения тягового класса до 6-го в комплектации с дизелем 8481.10, также как с дизелем OM460LA E3A/5. Расход топлива g_e снижается на величину не более 2 г/(кВт·ч). Дымность по шкале Хартриджа имеет минимальное значение при температуре топлива +353 К. Выбросы диоксида углерода изменяются незначительно (до 1%), выбросы оксида азота при охлаждении топлива постепенно увеличиваются на 8%. Все эти изменения характерны для тракторов в зимних условиях эксплуатации. Установка охладителя топлива на К-744P2 является обоснованной и может выполняться при ремонтно-обслуживающих работах. Возможная температура топлива будет

ограничиваться маркой применяемого топлива и мощностью охладителя. Рекомендуется температура топлива в распылителе не более +343 К (с учётом смазывающих свойств дизельного топлива, уменьшения закоксовывания распылителя и полученных результатов).

Keywords: agricultural tractor, reliability, power, diesel engine, fuel system, fuel cooling, maintenance works.

The installation of fuel cooler to increase the power output and reliability of the diesel engine 8481.10 for the tractor K-744P2 is substantiated. The calculations at rated power and maximum torque modes were made. The fuel temperature in the nozzle varied from +380 K to +303 K. The effective power N_e and the hourly flow rate G_T as the fuel temperature decreased were constantly increasing. The maximum growth of N_e made up 18%; the maximum torque M_{max} became equal to 1777 N·m and exceeded M_{max} of the diesel OM460LA E3A/5 (1750 N·m). There is an opportunity to increase the traction class to the 6th class in the configuration with the diesel 8481.10, as well as with the diesel OM460LA E3A/5. The fuel consumption g_e is reduced by not more than 2 g per (kW·h). The Hartridge scale smoking has a minimum value at a fuel temperature of 353 K. Carbon dioxide emissions are changing slightly (up to 1%), and nitrogen oxide emissions from fuel cooling are gradually increasing by 8%. All these changes are typical for tractors un-

der winter operating conditions. The installation of the fuel cooler on the tractor K-744P2 is reasonable and may be carried out during maintenance works. The possible fuel temperature will be limited by the grade of the used fuel and the power output of the cooler. The fuel

temperature in the nozzle is recommended to be not more than +343 K (taking into account the lubricating properties of diesel fuel, reduction of nozzle coking and obtained results).

Таусенев Евгений Михайлович, к.т.н., доцент, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: tausenev_e_m@bk.ru.

Tausenev Yevgeniy Mikhaylovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University. E-mail: tausenev_e_m@bk.ru.

Введение

Надёжность топливной системы дизеля (ТС) определяется конструктивными параметрами топливного насоса высокого давления (ТНВД) [1], форсунок, а также условиями эксплуатации. Тракторы эксплуатируются в России с колебаниями температур окружающего воздуха в одной и той же местности до 60°C. Трактор стандартного исполнения не может работать одинаково эффективно при любой возможной температуре окружающего воздуха из-за того, что конструкция ТС не адаптирована к изменениям указанного параметра. Температура топлива в агрегатах ТС трактора зависит от температуры окружающего воздуха, направления и скорости ветра, режима работы дизеля, конструктивных особенностей и др. и относительно стабилизируется через 1,0-1,5 ч работы трактора [2].

В результате исследования одной из предыдущих моделей трактора «Кировец» (К-700А) было установлено, что максимальная температура топлива на входе в ТНВД изменяется от +10 до +88°C, при соответствующем изменении температуры окружающего воздуха от -30 до +40°C. Годовой фонд рабочего времени К-700А в зависимости от температуры топлива на входе в ТНВД распределяется следующим образом: +10...+40°C – 18,5%; +40...+75°C – 76%, +75...+90°C – 5,5%. То есть, основную долю времени температуры топлива на входе в ТНВД у К-700А составляет +40...+75°C, что

соответствует температуре окружающего воздуха на уровне -3...+28°C [2].

При этом можно ожидать, что топливо нагреется до +100°C и даже выше, двигаясь к соплам распылителя форсунки, и мощность дизеля может снизиться на величину до 19%, выбросы вредных веществ с отработавшими газами (ОГ) могут существенно не изменяться [3]. Для предотвращения закоксовывания распылителя температура его носка не должна превышать +460...+490 К [2]. Это условие не всегда обеспечивается, например, в работе [4] температура носка равна +550 К, при этом топливо нагрелось в распылителе на 25 К.

При превышении температуры дизельного топлива выше +343 К его смазывающие свойства сильно снижаются, что ускоряет износ топливных насосов и форсунок, увеличивается вероятность зависания иглы распылителя; возрастает неравномерность подачи топлива по цилиндрам и может превысить допустимое значение на режиме максимального крутящего момента.

В статье рассматривается проблема установки охладителя дизельного топлива с целью увеличения мощности и надёжности дизеля 8481.10 трактора К-744P2.

Задачи исследования: изучить влияние температуры топлива на: производительность ТС; мощность, экономичность, выбросы вредных веществ с ОГ дизеля 8481.10; сделать вывод о целесообразности установки охладителя; определить рекомендуемый

уровень температуры топлива с учётом надёжности ТС.

Объект и методы исследования

В качестве объекта исследования выступает дизель модели 8481.10 (ПАО «ТМЗ»), работающий в составе сельскохозяйственного трактора общего назначения модели К-744Р2 (АО «ПТЗ»). На дизель установлена топливная система (ТС) непосредственного действия разделённого типа с рядным топливным насосом высокого давления (ТНВД) производства ОАО «ЯЗТА» серии «Компакт 40» модели 171-10 с механическим регулятором и гидромеханическими форсунками [3].

По техническим условиям трактор К-744Р2 относится к тяговому классу 5. В результате испытаний этого трактора с двигателем OM460LA E3A/5 марки Mercedes были достигнуты показатели в диапазоне тягового класса 6 [5]. Данная модель двига-

теля устанавливается на К-744Р2 в комплектации «Премиум» и имеет максимальный крутящий момент, равный 1750 Н·м [6]. В комплектации «Стандарт» на К-744Р2 устанавливается дизель модели 8481.10 с максимальным крутящим моментом 1570 Н·м (табл. 1) [7].

При исследовании объекта использован расчётный метод.

Экспериментальная часть

Известны три способа борьбы с повышением температуры топлива в ТС: выбор схемы циркуляции топлива, термокомпенсация, термостабилизация.

Известны результаты стендовых испытаний дизеля Д-240 трактора МТЗ-80 на номинальном режиме работы в зависимости температуры топлива на входе в ТНВД НД-21/4 с использованием термокомпенсации и без неё (рис. 1-3) [2].

Таблица 1

Технические характеристики двигателей К-744Р2 [5-8]

Модель трактора	К-744Р2 «Стандарт»	К-744Р2 «Премиум»
Модель двигателя	8481.10	OM460LA E3A/5
Мощность номинальная N_e , кВт	257	260
Тип двигателя	V-образ., 8-цил., с турбонаддувом и охладит. наддувочного воздуха (ОНВ)	рядный, 6-цил., с турбонаддувом и ОНВ
Рабочий объем, л	17,24	12,82
Номинальная частота вращения n_n , мин. ⁻¹	1900	1800
Максимальный крутящий момент M_{max} , Н·м	1570	1750
Частота вращения при макс. крутящем моменте, мин. ⁻¹	1300-1500	1300
Удельный расход топлива g_e , г/кВт·ч	213	205
Топливная аппаратура	рядный ТНВД с механическим регулятором и гидромеханическими форсунками	индивидуальные ТНВД с электронным управлением, гидромеханические форсунки, теплообменник топливной системы

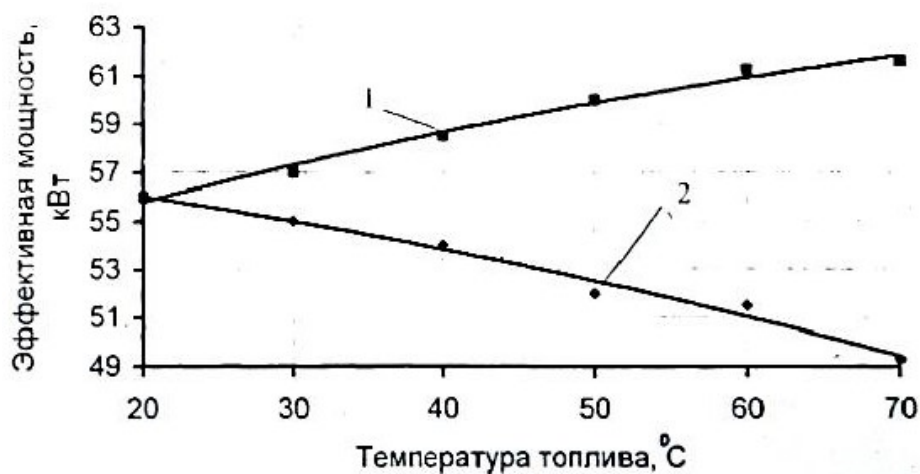


Рис. 1. Изменение эффективной мощности дизеля Д-240 от температуры топлива на входе в ТНВД: 1 – $g_c = \text{const}$; 2 – $g_c \neq \text{const}$ [2]

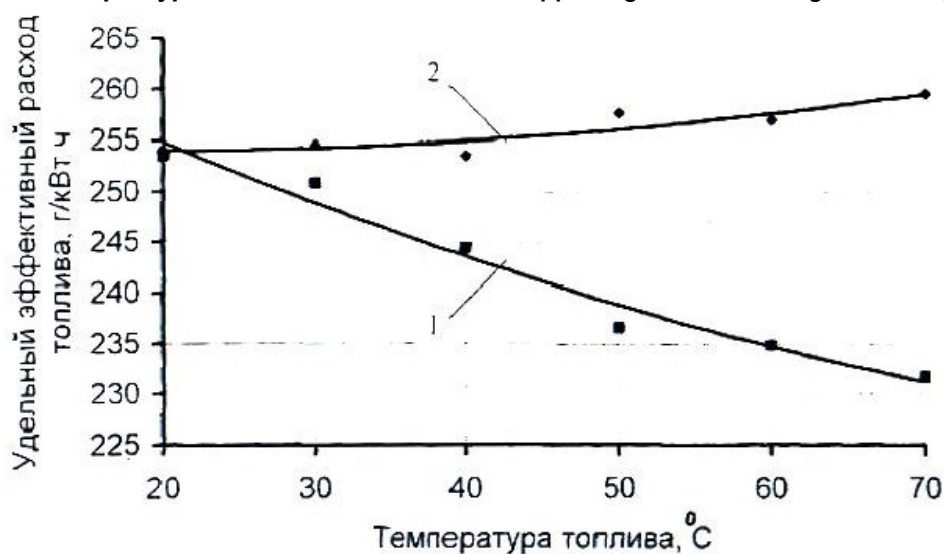


Рис. 2. Зависимость удельного эффективного расхода топлива дизеля Д-240 от температуры топлива на входе в ТНВД: 1 – $g_c = \text{const}$; 2 – $g_c \neq \text{const}$ [2]

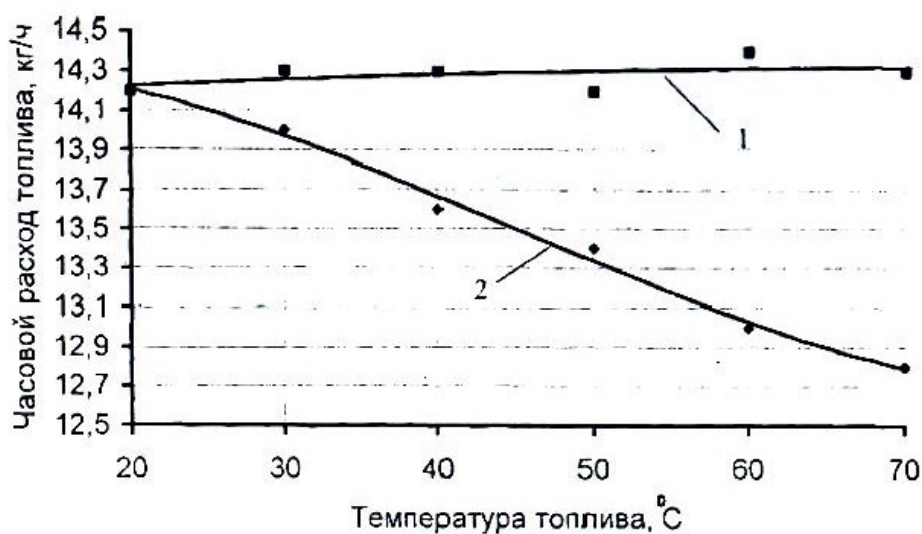


Рис. 3. Зависимость часового расхода топлива дизеля Д-240 от температуры топлива на входе в ТНВД: 1 – $g_c = \text{const}$; 2 – $g_c \neq \text{const}$ [2]

Линия 1 получена в результате испытаний дизеля Д-240 с доработкой штатного ТНВД, реализующего метод термокомпенсации цикловой g_c подачи топлива [2] (рис. 1-3). Видно, что в случае отсутствия термокомпенсации цикловой подачи эффективность дизеля возрастает по мере снижения температуры топлива, и наоборот. Метод термокомпенсации требует вмешательства в конструкцию штатного ТНВД, изменения его регулировок и сервисной документации.

Предлагается использовать метод термостабилизации топлива (с использованием охладителя), как более удобный для реализации на предприятиях технического сервиса. Метод будет способствовать увеличению надёжности ТС дизеля 8481.10 и росту его эксплуатационной мощности без изменения регулировок ТС. Она будет работать при температурах, схожих с зимними, но в летний период эксплуатации.

Получена формула для приближённого расчёта текущей производительности ТС в случае искусственного нагрева или охлаждения дизельного топлива в теплообменнике, установленном на входе в ТНВД. При этом принято допущение о линейной зависимости указанной величины от температуры, исходя из визуальной оценки рисунка 3. Производительность ТС может быть определена по следующей формуле:

$$G_T = G_H (1 \pm Y \cdot \Delta), \text{ кг/ч}, \quad (1)$$

где G_T – часовой расход топлива текущий, кг/ч;

G_H – часовой расход топлива начальный, кг/ч;

Y – удельная производительность ТС (со знаком «+» при охлаждении топлива и со знаком «-» при нагреве), 1/К;

Δ – разность между начальной и текущей температурами топлива на входе в

ТНВД в исследуемом диапазоне температуры, К.

Параметр Y может быть рассчитан так:

$$Y = X / (Z \cdot G_H), \text{ 1/К}, \quad (2)$$

где X – абсолютная разность между начальным и конечным часовыми расходами топлива на входе в ТНВД в исследуемом диапазоне температуры, кг/ч;

Z – абсолютная разность между начальной и конечной температурами топлива на входе в ТНВД в исследуемом диапазоне температур, К.

Автор данной статьи допускает применение формулы (1) для всех топливных систем непосредственного действия без термокомпенсации, поскольку принцип действия у них одинаковый.

Произведём расчёт текущей производительности ТС дизеля 8481.10 в случае искусственного охлаждения дизельного топлива в теплообменнике, установленном на входе в ТНВД, используя зависимости 1 и 2.

Рассчитаем удельную производительность ТС по формуле (2) на основании данных рисунка 1, линия 2:

$$\begin{aligned} Y &= X / (Z \cdot G_H) = \frac{(14,2 - 12,8)}{(70 - 20) \cdot 12,8} = \\ &= \frac{1,4}{50 \cdot 12,8} = 0,0021875 \text{ 1/К}. \end{aligned}$$

Для дальнейших расчётов G_T дизеля 8481.10 с охлаждением топлива на входе в ТНВД и рассчитанной выше удельной производительностью ТС зависимость (1) может быть записана следующим образом:

$$G_T = G_H (1 + 0,0021875 \cdot \Delta), \text{ кг/ч}, \quad (3)$$

где G_T – часовой расход топлива текущий, кг/ч;

G_H – часовой расход топлива начальный, кг/ч;

Δ – разность между начальной и текущей температурами топлива на входе в

ТНВД в исследуемом диапазоне температуры, К.

В дальнейших расчётах делается допущение о постоянстве удельной производительности ТС на исследуемых режимах работы дизеля.

Поскольку у автора данной статьи на сегодняшний день нет доступа к современной компьютерной программе гидродинамического расчёта топливоподачи, учитывающей тепловые эффекты, то такой расчёт не проводился. Характеристика впрыска топлива формировалась программой «РК-Дизель» (бесплатная версия).

При расчёте в «РК-Дизель» автором статьи делается допущение о том, что при изменении температуры топлива продолжительность впрыска и угол опережения подачи остаются условно постоянными. Форма характеристики впрыска также принимается условно неизменной. По данным работы [9], при изменении температуры топлива начало подачи смещается на $0,6^\circ$, а продолжительность впрыска увеличивается на $0,9^\circ$ поворота кулачкового вала.

Так как расчётный комплекс «РК-Дизель» позволяет задавать температуру T_T топлива в распылителе форсунки, а не на входе в ТНВД, то расчёт часового расхода топлива ведётся в зависимости от указанной величины (табл. 2). При этом предполагается равнозначное изменение температуры T_T топлива в распылителе форсунки при охлаждении топлива перед ТНВД. То есть, если температура T_T в распылителе форсунки изменилась со $+380$ К до $+373$ К (на 7 К), то этот факт является следствием охлаждения топлива перед ТНВД также на 7 К.

Результаты и их обсуждение

Результаты расчёта для дизеля 8481.10 часового расхода G_T топлива по форму-

ле (1), компьютерного моделирования в РК-Дизель: эффективная мощность N_e , удельный эффективный расход топлива g_e , крутящий момент M_{max} , выбросы вредных веществ с ОГ (K_x , CO_2 , NO), относительные изменения ΔG_T часового расхода топлива и ΔN_e эффективной мощности приведены в таблицах 2 и 3. Начальная температура $+380$ К для топлива в распылителе форсунки задаётся программой «РК-Дизель» по умолчанию.

Результаты расчёта N_e , g_e , G_T согласуются с данными рисунков 1-3 (линия 2, см. в сторону уменьшения температуры).

Проведенное для дизеля 8481.10 исследование не выявило оптимума температуры топлива по мощности и экономичности; есть оптимум K_x (дымности ОГ по шкале Хартриджа).

Мощность N_e и часовой расход G_T с уменьшением температуры топлива постоянно возрастают. Максимальное увеличение N_e для номинального режима составило 18% при снижении температуры топлива на 77 К, максимальный крутящий момент M_{max} стал равным 1777 Н·м и превысил значение M_{max} для дизеля OM460LA E3A/5 (1750 Н·м). Появляется возможность повышения тягового класса до 6-го в комплектации с дизелем 8481.10, как с дизелем OM460LA E3A/5.

Расход топлива g_e на режиме максимального крутящего момента остаётся практически неизменным, на номинальном режиме g_e снижается на величину около 2 г/(кВт·ч). Дымность K_x на 2 исследованных режимах принимает минимальное значение при охлаждении топлива с $+380$ К до $+353$ К (на 27 К). Выбросы CO_2 изменяются незначительно (до 1%), выбросы NO при охлаждении постепенно увеличиваются с разницей до 8%.

Таблица 2

Параметры дизеля 8481.10 трактора К-744Р2 на номинальном режиме в зависимости от температуры топлива в распылителе форсунки

T_T, K	+380	+373	+363	+353	+343	+333	+323	+313	+303
$G_T, кг/ч$	56[10]	56,858	58,083	59,308	60,533	61,758	62,983	64,208	65,433
$g_c, г$	0,1228	0,1247	0,1274	0,1301	0,1327	0,1354	0,1381	0,1408	0,14350
$g_e, г/(кВт·ч)$	218,12	217,56	217,39	216,86	216,72	216,44	216,10	216,10	215,84
$N_e, кВт$	256,7	261,4	267,2	273,6	279,2	285,3	291,4	297,1	303,2
$M_{max}, Н·м$	1290,4	1313,7	1343,2	1375,1	1403,4	1433,8	1464,7	1493,3	1523,8
$K_x, \%$	3,0276	2,7498	2,9692	2,8261	3,1534	3,3051	3,4159	3,9372	4,1858
$CO_2, г/(кВт·ч)$	702,84	701,02	700,47	698,76	698,33	697,41	696,34	696,33	695,49
$NO, г/(кВт·ч)$	9,922	10,132	10,032	10,265	10,178	10,242	10,348	10,272	10,361
$\Delta N_e, \%$	0	1,81	4,10	6,56	8,76	11,12	13,51	15,73	18,09
$\Delta G_T, \%$	0	1,53	3,72	5,91	8,09	10,28	12,47	14,66	16,84
$n_n, мин^{-1}$	1900 [10]								

Таблица 3

Параметры дизеля 8481.10 трактора К-744Р2 на режиме максимального крутящего момента в зависимости от температуры топлива в распылителе форсунки

T_T, K	+380	+373	+363	+353	+343	+333	+323	+313	+303
$G_T, кг/ч$	48[10]	48,735	49,785	50,835	51,885	52,935	53,985	55,035	56,085
$g_c, г$	0,1379	0,14	0,1431	0,1461	0,1491	0,1521	0,1551	0,1581	0,1612
$g_e, г/(кВт·ч)$	207,89	207,80	207,75	207,53	207,52	207,67	207,80	207,88	207,93
$N_e, кВт$	230,84	234,45	239,71	244,99	250,03	254,88	259,74	264,66	269,80
$M_{max}, Н·м$	1520,4	1544,2	1578,8	1613,6	1646,7	1678,7	1710,7	1743,1	1776,9
$K_x, \%$	2,8661	2,7806	2,7594	2,4244	2,5283	2,8872	3,1212	3,4988	3,7282
$CO_2, г/(кВт·ч)$	669,86	669,59	669,41	668,70	668,69	669,16	669,58	669,84	669,98
$NO, г/(кВт·ч)$	9,7401	9,7560	9,7965	10,291	10,329	10,285	10,316	10,376	10,526
$\Delta N_e, \%$	0	1,56	3,84	6,13	8,31	10,41	12,52	14,65	16,88
$\Delta G_T, \%$	0	1,53	3,72	5,91	8,09	10,28	12,47	14,66	16,84
$n_n, мин^{-1}$	1450 [10]								

Следует заметить, что все указанные изменения будут естественным образом характерны для всех машин в зимних условиях эксплуатации (с установленным охладителем или без него).

Заключение

В итоге, можно сказать, что установка охладителя топлива на рассматриваемой машине является обоснованным мероприятием. Минимальное значение температуры топлива летом будет в основном ограничи-

ваться маркой применяемого топлива и мощностью охладителя. Охладитель с управляющим устройством и теплоизоляцией топливопроводов [11] должны обеспечивать температуру топлива в распылителе форсунки не более +343 К (с учётом сохранения смазывающих свойств дизельного топлива, уменьшения закоксовывания распылителя форсунки и полученных результатов). Установка указанного оборудования на трактор может быть совмещена с выполнением ремонтно-обслуживающих работ.

Библиографический список

1. Tausenev E., Svistula A. The research into the disaxial cam mechanism for diesel fuel injection pump//TRANSPORT. Vilnius: Technika, 2005, Vol. XX, No. 6. P. 225-231. ISSN 1648-4142.
2. Черняков, А. А. Улучшение показателей работы тракторных дизелей методом термокомпенсации цикловой подачи топлива / А. А. Черняков; Пензенская гос. с.-х. академия, к. т. н., 05.20.03. – Пенза, 2001. – 178 с. – Текст: непосредственный.
3. Таусенев, Е. М. Экспресс-исследование температуры топливопроводов дизельной топливной системы разделенного типа / Е. М. Таусенев, К. В. Кох, А. Е. Свистула, Е. А. Герман. – Текст: непосредственный // Ползуновский вестник. – 2013. – № 4/3. – С. 95-99.
4. Byatt-Smith, J.; Day, R.; Harlen, O.; Lister, J.; Smith, S.L.; Please, C.P.; Stone, R.; Howison, S.D.; Fowler, A. Temperature of diesel fuel spray at injector nozzle hole exit: study Group Report//Mathematics in Industry: the International Study Groups Website. – 2011. – URL: <http://www.maths-in-industry.org/miis/327/> (дата обращения: 10.06.2020).
5. Тяговые классы сельскохозяйственных тракторов: сайт АО «Петербургский тракторный завод». – 2020. – URL: http://kirovets-ptz.com/rus/i_dc1/msg_i/219/p013_tyagowye_klassy_selyskohozyaystvennyh_traktorow.pdf (дата обращения: 10.06.2020). – Текст: электронный.
6. КИРОВЕЦ К-735 «ПРЕМИУМ» (К-744P2). – Текст: электронный // Каталог. Агротехника. Сельскохозяйственные тракторы: сайт АО «Петербургский тракторный завод». – 2020. – URL: <http://kirovets-ptz.com/catalog/kirovets-k-744r2-premium/#characteristic> (дата обращения: 10.06.2020).
7. КИРОВЕЦ К-735 «СТАНДАРТ» (К-744P2). – Текст: электронный // Каталог. Агротехника. Сельскохозяйственные тракторы: сайт АО «Петербургский тракторный завод». – 2020. – URL: <http://kirovets-ptz.com/catalog/kirovets-k-744r2-standart/#characteristic> (дата обращения: 10.06.2020).
8. Руководство по работам в условиях мастерских. – Текст: электронный // Руководство по двигателю OM460LA: сайт компании «Техно Консалтинг». – 2020. – URL: <http://www.tkgroup.su/pdf/65/km-om460-r-00.pdf> (дата обращения: 10.06.2020).
9. Грехов, Л. В. Тепловые эффекты в процессе впрыска топлива в дизелях / Л. В. Грехов. – Текст: непосредственный // Машиностроение: известия вуз. – 1999. – № 2. – С. 58-65.
10. Двигатели ТМЗ семейства 842, размерностью 140×140 мм: руководство по эксплуатации. 8431.3902150 РЭ / ОАО «Тутаевский моторный завод». – 2013. – 220 с. – Текст: непосредственный.
11. Таусенев, Е. М. Теплоизоляция топливопроводов дизеля при проведении ремонтных работ / Е. М. Таусенев. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского

государственного аграрного университета. – 2019. – № 10 (180). – С. 155-161.

References

1. Tausenev E., Svistula A. The research into the disaxial cam mechanism for diesel fuel injection pump // TRANSPORT. Vilnius: Technika, 2005, Vol. XX, No. 6. P. 225-231. ISSN 1648-4142.
2. Chernyakov A.A. Uluchshenie pokazateley raboty traktorov dizeley metodom termokompensatsii tsiklovoy podachi topliva. Penzenskaya gos. s.-kh. akademiya, k.t.n., 05.20.03. – Penza, 2001. – 178 s.
3. Tausenev E.M. Ekspress-issledovanie temperatury toplivoprovodov dizelnoy toplivnoy sistemy razdelennogo tipa / K.V. Kokh, A.E. Svistula, E.A. German // Polzunovskiy vestnik. – 2013. – No. 4/3. – S. 95-99.
4. Byatt-Smith, J.; Day, R.; Harlen, O.; Lister, J.; Smith, S.L.; Please, C.P.; Stone, R.; Howison, S.D.; Fowler, A. Temperature of diesel fuel spray at injector nozzle hole exit: study Group Report // Mathematics in Industry: the International Study Groups Website. – 2011. – URL. <http://www.maths-in-industry.org/miis/327/> (data obrashcheniya: 10.06.2020).
5. Tyagovye klassy selskokhozyaystvennykh traktorov // sayt AO «Peterburgskiy traktorny zavod». – 2020. – URL. http://kirovets-ptz.com/rus/i_dc1/msg_i/219/p013_tyagovye_klassy_selyskohozyaystvennykh_traktorov.pdf (data obrashcheniya: 10.06.2020).
6. KIROVETS K-735 «PREMIUM» (K-744R2) // Katalog. Agrotehnika. Selskokhozyaystvennye traktory: sayt AO «Peterburgskiy traktorny zavod». – 2020. – URL. <http://kirovets-ptz.com/catalog/kirovets-k-744r2-premium/#characteristic> (data obrashcheniya: 10.06.2020).
7. KIROVETS K-735 «STANDART» (K-744R2) // Katalog. Agrotehnika. Selskokhozyaystvennye traktory: sayt AO «Peterburgskiy traktorny zavod». – 2020. – URL. <http://kirovets-ptz.com/catalog/kirovets-k-744r2-standart/#characteristic> (data obrashcheniya: 10.06.2020).
8. Rukovodstvo po rabotam v usloviyakh masterskikh // Rukovodstvo po dvigatelyu OM460LA: sayt kompanii «Tekhno Konsalting». – 2020. – URL. <http://www.tkgroup.su/pdf/65/km-om460-r-00.pdf> (data obrashcheniya: 10.06.2020).
9. Grekhov L.V. Teplovye efekty v protsesse vpryska topliva v dizelyakh // Izvestiya VUZ. Mashinostroenie. – 1999. – No. 2. – S. 58-65.
10. Dvigateli TMZ semeystva 842, razmernostyu 140×140 mm. Rukovodstvo po ekspluatatsii. 8431.3902150 RE. – OAO «Tutavskiy motorny zavod», 2013. – 220 s.
11. Tausenev E.M. Teploizolyatsiya toplivoprovodov dizelya pri provedenii remontnykh rabot // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – No. 10 (180). – S. 155-161.

