

References

1. Zubkov V.E. Sovershenstvovanie protsessa separatsii korneklubneplodov: dis. ... dokt. tekhn. nauk. – Lugansk, 2010.
2. Shpirun Yu.D., Matyushev V.V., Chaplygin I.A. Ustroystvo dlya sukhoy ochistki korneklubneplodov. Patent na poleznuyu model №161769 A01D 33/08.2015 g.
3. Matyushev V.V., Shpirun Yu.D. Povyshenie effektivnosti sukhoy ochistki korneklubneplodov putem obosnovaniya parametrov rabochikh organov mashiny. Prilozh. k Vestniku KrasGAU: Sb. nauch. st. Vypusk № 10. Krasnoyarskiy gos. agrar. univer. – Krasnoyarsk, 2015. – S. 46-50.
4. Kamaletdinov R.R. Barabannyi otdelitel klubney kartofelya ot pochvennykh komkov s vnutrenney separiruyushchey poverkhnostyu // Dostizheniya nauki — agropromyshlennomu proizvodstvu: mater. LI mezhdunarodnoy nauch.-tekhnich. konf. / pod red. dokt. tekhn. nauk, prof. N.S. Sergeeva. – Chelyabinsk: ChGAA, 2012. – Ch. IV. – S. 102-106.
5. Sabirzyanov I.R., Kamaletdinov R.R. Razrabotka konstruktсии i optimizatsiya parametrov ustroystva dlya separatsii korneklubneplodov // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – Vyp. № 6 (50). – S. 72-74.
6. Frolov V.Yu., Bychkov A.V. Sovershenstvovanie protsessa sukhoy ochistki korneplodov shnekovym separatorom // Nauchnyy zhurnal KubGAU. – 2014. – № 101 (07). <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/142.pdf>.
7. Grimme AirSep the new separator for potato harvesters. youtube.com 10 noyabrya 2013 g.



УДК 621.43.031

Р.М. Баширов, Ф.Р. Сафин, Р.Ж. Магафуров
R.M. Bashirov, F.R. Safin, R.Zh. Magafurov

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА РЕГУЛИРОВАНИЯ
 ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЕЙ**

IMPROVEMENT OF DIESEL ENGINE FUEL EQUIPMENT ADJUSTMENT TECHNIQUE

Ключевые слова: двигатель дизельный, аппаратура топливная, форсунка, стенд регулировочный, неравномерность, подача цикловая, впрыск топлива, устройство противодействия, аккумулятор гидравлический, способ регулирования.

Как показывает практика, в настоящее время тракторные дизели работают с большим перерасходом топлива, обусловленным высокой неравномерностью топливоподачи. Из литературных данных следует, что эффективным способом повышения равномерности топливоподачи является совершенствование регулировочных стенов топливной аппаратуры введением устройств, обеспечивающих противодействие впрыску, меняющемуся аналогично давлению газов в цилиндре дви-

гателя. Наиболее простая конструкция устройств достигается при использовании гидравлических аккумуляторов, при которых противодействие впрыску создается самим впрыскиваемым топливом. Закономерность нарастания давления в камере впрыска устройства, соответствующая к таковому в камере сгорания двигателя, может обеспечиваться проектированием их по предложенной методике, апробированной на примере дизеля Д-245.12. Суть методики – определение объема гидравлического аккумулятора на основе величины цикловой подачи и сжимаемости топлива. Для топливной аппаратуры конкретного регулируемого дизеля объем аккумулятора уточняется специально предусмотренным штоком-вытеснителем. Для наиболее распространенных тракторных дизелей этот объем должен состав-

лять 12-55 см³. Исследования опытного устройства показали, что при регулировках топливной аппаратуры на предложенном регулировочном стенде на 11% снижается неравномерность топливоподачи, и благодаря этому на номинальном режиме работы двигателя повышается его мощность на 2 кВт и снижается удельный расход топлива на 6,5 г/кВт·ч. Результаты испытаний позволили установить, что топливную аппаратуру на таких стендах следует регулировать с учетом противодействия впрыску на уменьшенные на 6% давление начала впрыска топлива и на 4% величину цикловой подачи.

Keywords: diesel engine, fuel equipment, injector, adjusting stand, unevenness, cyclic feed, fuel injection, back pressure device, hydraulic accumulator, adjustment technique.

As practice shows, at present tractor diesel engines operate with a large fuel overrun due to high fuel unevenness. From the literature data it follows that an effective way to increase the uniformity of fuel supply is to improve the adjustment stands of fuel equipment by introducing devices that provide backpressure to the injection which changes in a manner similar to the pressure of gases in the engine

cylinder. The simplest design of devices is achieved by using hydraulic accumulators where the injection back pressure is created by the injected fuel itself. The regularity of the buildup of pressure in the injection chamber of the device corresponding to that in the combustion engine, can be provided by designing them according to the proposed procedure, tested using the example of the D-245.12 diesel. The essence of the technique is the determination of the volume of the hydraulic accumulator based on the value of the cyclic feed and the compressibility of the fuel. For fuel equipment of a particular regulated diesel engine, the volume of the battery is specified by a specially provided propellant rod. For the most common tractor diesels this volume should be 12 ... 55 cm³. Research of the experimental device showed that when adjusting the fuel equipment at the proposed adjustment stand, the fuel unevenness is reduced by 11%, and due to this, in the nominal operating mode of the engine, its power is increased by 2 kW and the specific fuel consumption is reduced by 6.5 g / kWh. The test results made it possible to reveal that the fuel equipment at such stands should be adjusted taking into account the backpressure to injection at a pressure reduced by 6% of the injection of fuel and by 4% the value of the cyclic feed.

Баширов Радик Минниханович, д.т.н., проф. каф. «Автомобили и машинно-тракторные комплексы», Башкирский государственный аграрный университет. Тел.: (347) 228-52-00. E-mail: fils02@mail.ru.

Сафин Филюс Раисович, к.т.н., ст. преп. каф. «Автомобили и машинно-тракторные комплексы», Башкирский государственный аграрный университет. E-mail: fils02@mail.ru.

Магафуров Руслан Жамилевич, ассист. каф. «Автомобили и машинно-тракторные комплексы», Башкирский государственный аграрный университет. E-mail: bison-m79@mail.ru.

Bashirov Radik Minnikhanovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Automobiles and Machinery-Tractor Complexes, Bashkir State Agricultural University. Ph.: (347) 228-52-00. E-mail: fils02@mail.ru.

Safin Filyus Raisovich, Cand. Tech. Sci., Asst. Prof., Chair of Automobiles and Machinery-Tractor Complexes, Bashkir State Agricultural University. E-mail: fils02@mail.ru.

Magafurov Ruslan Zhamilevich, Asst., Chair of Automobiles and Machinery-Tractor Complexes, Bashkir State Agricultural University. E-mail: bison-m79@mail.ru.

Введение

Равномерность подачи топлива во многом определяет технико-экономические показатели работы дизелей. Регламентируется она ГОСТ 10578-95; при регулировках должна составлять 3%, а при проверках – 6% [1].

Как показывает практика, тракторные дизели работают с высокой неравномерностью подачи и, как следствие, с большим перерасходом топлива [2]. Объясняется это тем, что на ныне применяемых регулировочных стендах впрыск топлива производится в среду с атмосферным давлением или близким к нему, тогда как на двигателе – в цилиндр с высоким, причем, возрастающим по мере впрыска давлением газов. Из-за этого несоответствия при работе топливной аппаратуры (ТА) на двигателе цикловая подача топлива оказывается уменьшенной, причем степень уменьшения оказывается не одинаковой по цилиндрам

двигателя из-за гидравлической неидентичности секций ТА, и, в результате, существенно возрастает неравномерность топливоподачи.

Цель исследования – повышение равномерности топливоподачи в тракторных дизелях.

Материалы и методы исследования

Для создания при регулировке ТА таких же условий работы, что и при работе её в двигателе, разработаны специальные устройства [3]. Наиболее простыми по конструкции оказались те, в которых противодействие впрыску создается самим впрыскиваемым топливом. Основным элементом этих устройств является аккумулятор впрыскиваемого топлива, представляющий из себя заполненный топливом замкнутый объем, спроектированный так, что давление в нём в процессе впрыска меняется так же, как и в цилиндре двигателя.

Результаты исследований

Аккумулятор устройств противодействия впрыску (УПВ) топлива может выполняться как в виде «чисто» гидравлического, так и комбинированного гидромеханического [4].

В реальных условиях работы двигателя (рис. 1) первая порция топлива поступает в период задержки самовоспламенения I (до точки 1), а вторая – в периоде интенсивного горения топлива II (от точки 1 до точки 2). С целью упрощения расчетов можно предполагать, что топливо впрыскивается с постоянной скоростью, а индикаторную диаграмму можно представлять в виде линеаризованных участков 0-1 и 1-2, соответствующих процессам сжатия и сгорания топлива [5].

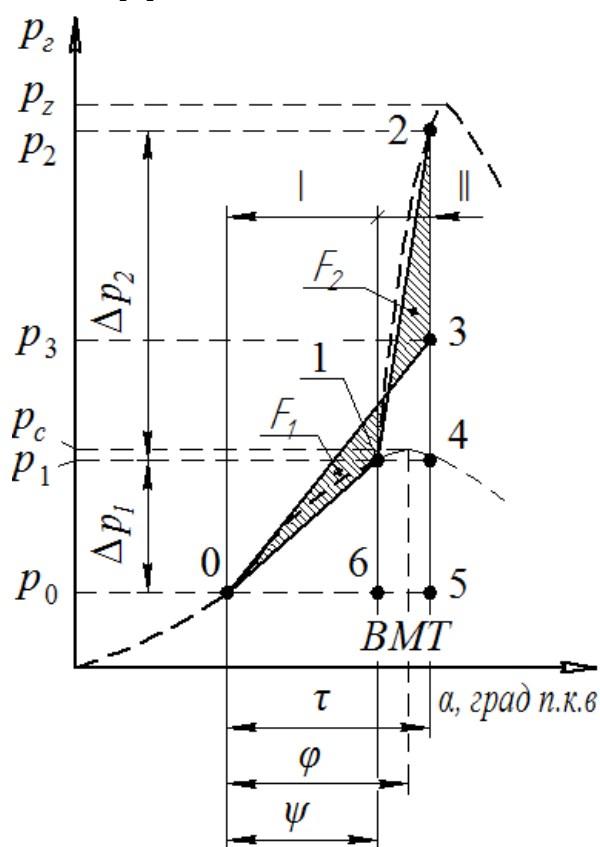


Рис. 1. Индикаторная диаграмма двигателя (штриховые линии) и её линеаризованные участки (сплошные): p_c и p_z – давления газов в цилиндре в конце их сжатия и максимальное; p_0 и p_2 – давления в камере впрыска в моменты начала и конца впрыска топлива; p_1 – давление начала ощутимого возрастания давления в цилиндре после самовоспламенения топлива; Δp_1 и Δp_2 – нарастания давления газов, соответствующие первому и второму периодам процесса сгорания; φ и τ и ψ – опережение и продолжительность впрыска и период задержки самовоспламенения топлива; ВМТ – верхняя мертвая точка поршня двигателя; 0-3 – упрощённая усреднённая рабочая характеристика (по давлению); F_1 и F_2 – условные площади

Давление в цилиндре в процессе сгорания возрастает более интенсивно, чем в процессе сжатия. Отсюда следует, что аккумуляторы должны выполняться соответствующими этим участкам жесткостями, т.е. комбинированными, например, гидромеханическими. Однако при этом конструкция УПВ существенно усложняется.

Наиболее простая конструкция УПВ получается в случае выполнения аккумулятора «чисто» гидравлическим, работающим с постоянной жесткостью (рис. 2). Камера впрыска 2, заполненная топливом и выделенная затемнением, и представляет здесь гидравлический аккумулятор. Впрыскиваемое в него топливо аккумулируется за счет сжимаемости топлива, находящегося в аккумуляторе.

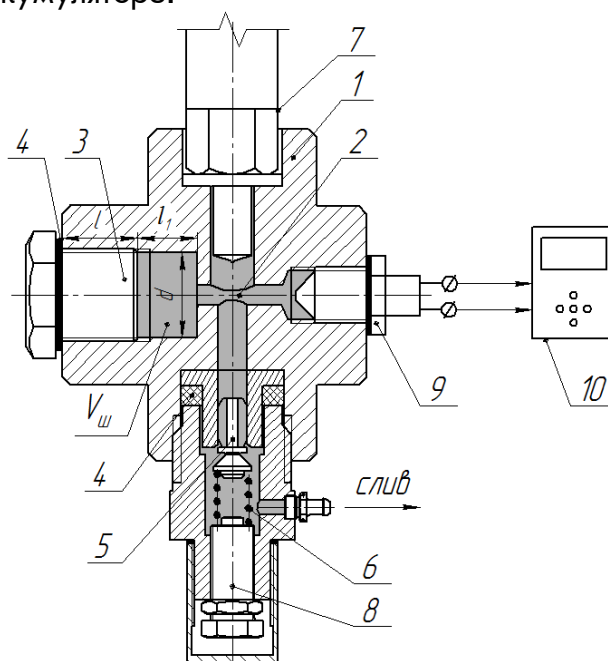


Рис. 2. УПВ с гидравлическим аккумулятором: 1 – корпус; 2 – камера впрыска; 3 – шток-вытеснитель; 4 – уплотнительные шайбы; 5 и 6 – перепускной клапан и его пружина; 7 – форсунка; 8 – регулировочный винт; 9 – датчик давления; 10 – электронный блок; l и l_1 – длина штока и объема $V_{ш}$, регулируемого за счет смены штока

К моменту начала очередного впрыска топлива давление топлива в аккумуляторе устройства должно соответствовать давлению в цилиндре двигателя p_0 (рис. 1), определяемого затягом пружины 6 перепускного клапана 5.

Закономерность нарастания давления в камере впрыска 2, соответствующая таковой в камере сгорания двигателя, обеспечивается с учетом цикловой подачи топлива корректировкой объема аккумулятора сменой штока-вытеснителя 3 (объема $V_{ш}$).

Давление в камере впрыска 2 фиксируется датчиком 9, в качестве которого могут использоваться датчики, например, пьезо- или тензометрические и др. Сигналы датчика усиливаются и преобразовываются блоком 10 [6]. По ним определяются регулировочные параметры ТА.

Объем аккумулятора $V_{ак}$ можно определить, ориентируясь на упрощенную усредненную линию 0-3 расчетной (или экспериментальной) индикаторной диаграммы, проведенную так, чтобы обеспечивалось равенство площадей $F_1=F_2$. Если учесть, что в I периоде подается около 70% топлива, то использование упрощенной усредненной линии 0-3 можно считать вполне обоснованным.

Величину этого объема можно найти по величине цикловой подачи g_u ТА с учетом сжимаемости топлива по выражению

$$V_{ак} = \frac{g_u}{\beta \cdot (p_3 - p_0)}, \quad (1)$$

где β – коэффициент сжимаемости топлива, $Па^{-1}$;

p_0 и p_3 – смотри на рисунке 1.

При обеспечении постоянства температуры топлива в процессе регулировки ТА (например, $20^\circ C$) сжимаемость топлива можно определить по выражению

$$\beta = (90 - 0,5 \cdot p_i) \cdot 10^{-5}, \quad (2)$$

где p_i – текущее значение давления.

Давление в аккумуляторе, соответствующее точке 3 индикаторной диаграммы (рис. 1) в первом приближении, можно определить и аналитическим способом, анализируя диаграмму на основе равенства площадей первой фигуры – 0-1-6, 1-4-5-6, 1-2-4 и второй – 0-3-5:

$$p_3 = \frac{p_1 \cdot \tau + p_2 \cdot \tau - p_2 \cdot \psi}{\tau}. \quad (3)$$

С учетом приведенных данных были рассчитаны конструктивные параметры УПВ с гидравлическим аккумулятором применительно к дизелю Д-245.12 (4С11/12,5), оборудованному ТНВД 4УТНИ-Т-111105. У этого дизеля расчетная цикловая подача $g_u = 81 \text{ мм}^3$, продолжительность впрыска – 22° п.к.в. , а I периода – 15° п.к.в. (фактор динамичности цикла топливоподачи 0,68). Тепловым расчетом дизеля и с использованием этих параметров были определены: $p_0 = 2,98 \text{ МПа}$; $p_1 = 4,91 \text{ МПа}$; $p_2 = 8,60 \text{ МПа}$; $p_3 = 7,64 \text{ МПа}$; $p_c = 5,07 \text{ МПа}$; $p_z = 9,12 \text{ МПа}$. Ориентируясь на эти значения давлений по выражениям (1) и (2), был определен объем аккумулятора $V_{ак} = 27,4 \text{ см}^3$.

Исследования предложенного УПВ проводились с регулировкой ТА на возможно низкую неравномерность топливоподачи. Межсекционная неравномерность вычислялась по обычной методике [7].

На первом этапе ТА с форсунками регулировалась по действующей методике: с впрыском топлива в среду с атмосферным давлением. После такой регулировки ТА устанавливалась на регулировочный стенд, модернизированный введением противодействия, и вновь снималась скоростная характеристика.

На номинальном режиме работы $n=1200 \text{ мин.}^{-1}$ (рис. 3) при впрыске в среду с противодействием, меняющимся по линии 0-3 индикаторной диаграммы, средняя номинальная цикловая подача ($g_u=87 \text{ мм}^3$) снизилась на $\delta=4\%$ (составила $g_u=84 \text{ мм}^3$), а неравномерность подачи возросла до $\delta=8\%$. Давление начала впрыска снизилось на 6% (составила 16,7 МПа). С уменьшением частоты вращения коленчатого вала номинальная цикловая подача и неравномерность подачи увеличивались и к режиму максимального крутящего момента (800 мин.^{-1}) достигли $g_u=89 \text{ мм}^3$ и $\delta=16\%$.

При этом было установлено, что при принятой разгрузке постоянным сливом топлива из аккумулятора давление в нем в конце впрыска оказалось ниже требуемого. Поднять его до необходимого удалось уменьшением объема аккумулятора до $23,9 \text{ см}^3$ (на $3,5 \text{ см}^3$ по сравнению с расчетным). Слив влиял и на остаточное давление в аккумуляторе, его величина тоже была отрегулирована изменением затяга пружины перепускного клапана (поднятием до 3,0 МПа).

С учетом приведенных данных для дальнейших испытаний ТА регулировалась на стенде с противодействием впрыску на уменьшенные (до 84 мм^3) цикловую подачу и давление (16,7 МПа) начала впрыска топлива. При регулировании отдельно форсунок и в целом ТА введением противодействия впрыску на режиме $n=800 \text{ мин.}^{-1}$ достигалась минимальная неравномерность топливоподачи (5%). Общее снижение неравномерности составило на режимах номинальной и максимального крутящего момента, соответственно, 8 и 11%.

Для оценки повышения экономичности работы дизелей были проведены моторные испытания рассматриваемого двигателя. В начале снималась скоростная характеристика при работе с ТА, настроенной по действующей методике, и затем после регулировки ее на стенде с использованием УПВ.

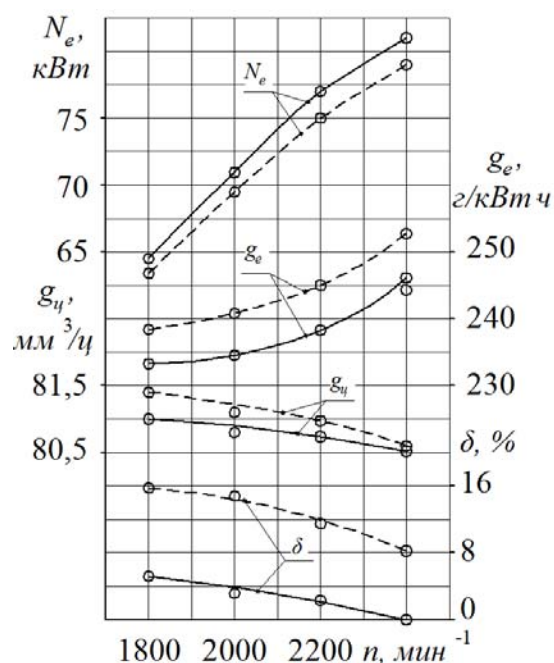


Рис. 3. Скоростная характеристика дизеля Д-245.12 с ТА, отрегулированной по действующей методике (штриховые линии) и с использованием УПВ (сплошные):
n — частота вращения;
N_e — эффективная мощность двигателя;
g_e — удельный эффективный расход топлива;
g_ц — расчетная цикловая подача;
δ — неравномерность топливоподачи

Как видно из рисунка 3 при регулировании отдельно форсунок и в целом ТА введением противодействия впрыску на режиме $n=1800 \text{ мин.}^{-1}$ достигалась минимальная неравномерность топливоподачи (5%). Общее снижение неравномерности составило на режимах номинальной и максимального крутящего момента, соответственно, 8 и 11%.

Из них следует, что при регулировке ТА с применением УПВ на номинальном режиме ($n=2400 \text{ мин.}^{-1}$) выше на 2,4% оказалась мощность двигателя N_e (на 2 кВт), а удельный расход g_e был ниже на 6,5 г/кВт·ч (2,6%).

Для ТА другой марки дизелей следует корректировать $V_{ш}$ с учетом его цикловой подачи. Расчеты показывают, что для тракторных дизелей этот объем должен составлять 12-55 см³.

Результаты испытаний позволяют рекомендовать производству следующий способ регулировки ТА на стендах с противодействием впрыску:

- отрегулировать форсунки на стенде с противодействием впрыску на уменьшенное на 6% давление начала впрыска топлива, прокачивая топливо рычагом прибора с частотой 60-80 качений (впрысков) в 1 мин. и проверяя давление начала впрыска и

начальное противодействие в камере УПВ по показаниям электронного блока;

- установить в целом ТА на стенд с противодействием впрыску;

- по действующей методике проверить и отрегулировать ТА на герметичность и давление открытия нагнетательных клапанов, угол геометрического начала подачи топлива, ход рейки и начало действия регулятора;

- установить номинальную частоту вращения ТНВД и проверить давление топлива в линии низкого давления;

- проверить начальное противодействие впрыску в камере УПВ и при необходимости отрегулировать изменением затяга пружины перепускного клапана;

- отрегулировать цикловую подачу на уменьшенную величину (до 4%) и допустимую неравномерность по секциям, контролируя их с использованием электронного блока, работающего по предложенному алгоритму работы.

На разработанную методику получен патент на изобретение № 2562349 «Способ испытания и регулировки дизельной топливной аппаратуры и стенд для его осуществления».

Выводы

Одним из способов повышения топливной экономичности дизелей может стать модернизация существующих регулировочных стендов введением противодействия впрыску топлива, меняющемуся аналогично давлению в цилиндре двигателя. Наиболее перспективными являются устройства с использованием гидравлического аккумулятора с регулируемым объемом применением специального регулировочного штока. При этом величина давления в камере впрыска устройства принимается, ориентируясь на упрощенную усредненную линию индикаторной диаграммы двигателя.

Регулировка топливной аппаратуры двигателя Д-245.12 на модернизированном регулировочном стенде позволила повысить равномерность топливоподачи на 11%, при этом на номинальном режиме работы двигателя повысилась его мощность (на 2 кВт) и снизился удельный расход топлива (на 6,5 г/кВт·ч).

Библиографический список

1. Габитов И.И., Грехов Л.В., Неговора А.В. Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных дизелей: учебное пособие. — М.: Легион-Автодата, 2008. — 248 с.

2. Баширов Р.М. Топливные системы автотракторных дизелей. – Уфа: Гилем, 2005. – 204 с.

3. Инсафуддинов С.З. Совершенствование методики оценки неравномерности подачи топливных систем тракторных дизелей: дис. ... канд. техн. наук. – Оренбург, 2005. – 152 с.

4. Баширов Р.М., Сафин Ф.Р., Инсафуддинов С.З. Совершенствование методики регулирования топливной аппаратуры тракторных дизелей // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2014. – Вып. № 3 (31). – С. 60-64.

5. Костенко Л.Н. Обоснование параметров и разработка устройства противодавления впрыску регулировочных стенов топливных систем дизелей: дис. ... канд. техн. наук. – Уфа, 2013. – 140 с.

6. Сафин Ф.Р., Инсафуддинов С.З. Электронный блок для стенов регулировки форсунок дизелей с учетом противодавления // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования: сб. науч. тр. по матер. Междунар. науч.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава «Научное обеспечение инновационного развития АПК». – СПб.; Пушкин: Санкт-Петербургский ГАУ, 2014. – Ч. I. – С. 419-422.

7. Неговора А.В. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: учебное пособие для инженеров и специалистов по техническому сервису топливной аппаратуры дизелей. – Уфа: Изд-во ООО «Башдизель», 2006. – 149 с.

References

1. Gabitov I.I., Grekhov L.V., Negovora A.V. Tekhnicheskoe obsluzhivanie i diag-

nostika toplivnoy apparatury avtotraktornykh dizeley: uchebnoe posobie. – M.: Legion-Avtodata, 2008. – 248 s.

2. Bashirov R.M. Toplivnye sistemy avtotraktornykh dizeley. – Ufa, Gilem, 2005. – 204 s.

3. Insafuddinov S.Z. Sovershenstvovanie metodiki otsenki neravnomernosti podachi toplivnykh sistem traktornykh dizeley: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Orenburg, 2005. – 152 s.

4. Bashirov R.M., Safin F.R., Insafuddinov S.Z. Sovershenstvovanie metodiki regulirovaniya toplivnoy apparatury traktornykh dizeley // Vestnik Bashkirskego gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – Vyp. № 3 (31). – S. 60-64.

5. Kostenko L.N. Obosnovanie parametrov i razrabotka ustroystva protivodavleniya vprysku regulirovochnykh stendov toplivnykh sistem dizeley: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Ufa, 2013. – 140 s.

6. Safin F.R., Insafuddinov S.Z. Elektronnyy blok dlya stenda regulirovki forsunok dizeley s uchetom protivodavleniya // Nauchnoe obespechenie razvitiya APK v usloviyakh reformirovaniya: sbornik nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii professorsko-prepodavatelskogo sostava «Nauchnoe obespechenie innovatsionnogo razvitiya APK». Ch. I. – SPb.-Pushkin: Sankt-Peterburgskiy GAU, 2014. – S. 419-422.

7. Negovora A.V. Toplivnaya apparatura avtotraktornykh dizeley: uchebnoe posobie dlya inzhenerov i spetsialistov po tekhnicheskomu servisu toplivnoy apparatury dizeley. – Ufa: Izdatelstvo ООО "Bashdizel", 2006. – 149 s.

