

References

1. Morozov V.V. Tekhnologiya i kompleks mashin dlya posloynoy razrabotki saptopelya na udobreniya (dlya usloviy Severo-Zapadnoy zony RF): dis. ... dokt. tekhn. nauk. – V. Luki, 1995. – 347 s.
2. Karasev Yu.A. Povyslenie effektivnosti obezvozhvaniya saptopelya estestvennoy vlazhnosti putem sovershenstvovaniya konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov shnekovogo pressa: dis. ... kand. tekhn. nauk. – V. Luki, 1999. – 140 s.
3. Ignatenkov V.G. Povyslenie effektivnosti proizvodstva vitaminno-kormovoy dobavki na osnove saptopelya putem obosnovaniya konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov smesitelya-izmelchitelya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. – Velikie Luki, 2005. – 180 s.
4. Bychenkov D.M., Ignatenkov V.G., Lappo E.L., Morozov V.V. Sposob obezvozhvaniya saptopelya s ispolzovaniem pulposgustiteley // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – No. 4. – S. 148-152.
5. Morozov V.V., Ignatenkov V.G. Tekhnologiya polucheniya i ispolzovaniya vitaminno-kormovoy dobavki na osnove saptopelya // XXIII Rossiyskaya shkola po problemam nauki i tekhnologii. – Ekaterinburg: UrO RAN, 2003. – 4 s.
6. Morozov V.V., Milokhin V.K. Mekhanicheskoe obezvozhvanie saptopelya // Inform. listok TsNTI. – No. 214-93. – Pskov, 1993. – 2 s.
7. Antipov S.O. Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh protsessov ispolzovaniya saptopelya na kormovye dobavki putem obosnovaniya posloynoy razrabotki zalezhi i konstruktivnykh parametrov smesitelya: dis. ... kand. tekhn. nauk. – V. Luki, 1999. – 176 s.
8. Shtin S.M. Ozernye saptopeli i ikh kompleksnoe osvoenie / pod red. I.M. Yaltantsa. – M.: Izd-vo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, 2005. – 373 s.: il.



УДК 621.43.031

С.З. Инсафуддинов, Ф.Р. Сафин, Р.Р. Юльбердин, А.А. Якупова
S.Z. Insafuddinov, F.R. Safin, R.R. Yulberdin, A.A. Yakupova

**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЕЙ
 В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ МЕТОДИКОЙ БАШКИРСКОГО ГАУ**

**DIAGNOSTICS AND REGULATION OF FUEL EQUIPMENT OF DIESEL ENGINES IN FIELD CONDITIONS
 BY THE TECHNIQUE OF THE BASHKIR STATE AGRICULTURAL UNIVERSITY**

Ключевые слова: *аппаратура топливная, стенд регулировочный, подача цикловая, противодействие впрыску, устройство пропуска, устройство противодействия.*

Показатели работы дизелей в большей степени определяются техническим состоянием их топливной аппаратуры. Диагностирование и регулирование её производится в лабораторных условиях на регулировочных стендах с демонтажем с дизеля. Наиболее трудоемким

процессом является демонтаж и обратный монтаж топливной аппаратуры на дизель, а также затраты на транспортировку её в специализированные центры. В связи с этим большой интерес представляют методики диагностирования и регулирования топливной аппаратуры в полевых условиях. Для реализации возможности диагностирования и регулирования топливной аппаратуры в полевых условиях проводились соответствующие испытания на дизеле 4С11/13. При этом рейка топливного насоса высокого давления устанавливалась на макси-

мальную подачу с отключением части цилиндров и пропуском впрысков топлива в один из работающих цилиндров дизеля. Для реализации пропуска впрысков топлива было разработано соответствующее устройство. За основу этого устройства был взят серийный электрогидроуправляемый клапан SPILL VALVE фирмы DENSO. Проведенными испытаниями доказана возможность определения и регулирования величины цикловой подачи на работающем дизеле. На основе этих исследований рекомендована методика диагностирования и регулирования топливной аппаратуры в полевых условиях.

Keywords: *fuel equipment, control stand, cyclic feed, injection backpressure, pass device, backpressure device.*

The performance of diesel engines to a greater extent is determined by the technical condition of their fuel equipment. It is diagnosed and regulated in laboratory conditions on adjustment stands with disassembly from a diesel engine.

The most labor-intensive process is the dismantling and refitting of fuel equipment on a diesel engine as well as the cost of transporting it to specialized centers. In this regard, the methods of diagnostic and regulating fuel equipment in field conditions are of great interest. To realize the possibility of diagnosing and regulating fuel equipment in the field, the corresponding tests were carried out on a 4Ch11/13 diesel engine. The rack of the high-pressure fuel pump was installed to the maximum flow rate with part of the cylinders disengaged, and fuel was injected into one of the operating diesel cylinders. For the implementation of the pass of fuel injections, an appropriate device was developed. This device is based on a serial electro-operated valve SPILL VALVE of DENSO Company. The conducted tests proved the possibility of determining and regulating the magnitude of the cycle feed on a running diesel engine. Based on these studies, a method of diagnostic and regulation of fuel equipment in the field is advised.

Инсафуддинов Самат Зайтуннович, к.т.н., доцент каф. теплоэнергетики и физики, Башкирский государственный аграрный университет. E-mail: insamat@mail.ru.

Сафин Филюс Раисович, к.т.н., доцент каф. автомобилей и машинно-тракторных комплексов, Башкирский государственный аграрный университет. E-mail: fils02@mail.ru.

Юльбердин Руслан Раянович, аспирант каф. теплоэнергетики и физики, Башкирский государственный аграрный университет. E-mail: yulberdiruslan@mail.ru.

Якупова Алия Аликовна, магистрант каф. автомобилей и машинно-тракторных комплексов, Башкирский государственный аграрный университет. E-mail: aliya.a102@mail.ru.

Insafuddinov Samat Zaytunnovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Heat and Power Engineering and Physics, Bashkir State Agricultural University. E-mail: insamat@mail.ru.

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

Yulberdin Ruslan Rayanovich, post-graduate student, Chair of Heat Power Engineering and Physics, Bashkir State Agricultural University. E-mail: yulberdiruslan@mail.ru.

Yakupova Aliya Alikovna, master's degree student, Chair of Automobiles and Machinery and Tractor Complexes, Bashkir State Agricultural University. E-mail: aliya.a102@mail.ru.

Введение

Себестоимость продукции сельскохозяйственного производства во многом определяется затратами на топливо, расходуемое силовыми агрегатами (в основном дизельных) сельскохозяйственных машин [1].

Показатели работы дизельных силовых агрегатов (далее дизелей) в большей степени устанавливаются техническим состоянием их топливной аппаратуры (ТА). В настоящее время широкое применение имеют ТА непосредственного действия разделенного типа с механическим приводом.

Диагностирование и регулирование ТА (далее регулирование) производятся в лабораторных условиях на регулировочных стендах с её демонстрацией с дизеля по ГОСТ 18509-88 [2]. Основными регулировочными параметрами при этом являются цикловая подача, опережение впрыска и давление начала впрыска топлива форсунками.

Наиболее трудоемким процессом являются демонтаж и обратный монтаж ТА на дизель, а также затраты на транспортировку её в специализированные центры по регулировке ТА. Это особенно ощутимо в напряженные периоды работы, например, посевные и уборочные. В связи с вышеизложенным большой интерес представляют методики диагностирования и регулирования ТА в полевых условиях.

Цель исследования – разработка методики диагностирования и регулирования ТА в полевых условиях.

Материалы и методы исследования

Испытания проводились на четырехцилиндровом четырехтактном дизеле 4Ч11/13 мощностью $N_e = 45,6 \text{ кВт}$ (при номинальной частоте вращения $n_n = 1750 \text{ мин.}^{-1}$). Дизель оборудован топливным насосом высокого давления (ТНВД) марки 4УТНМ и форсунками ФД-22 с закрытыми игольчатыми распылителями.

Регулирование ТА производилось на стендах КИ-921 и КИ-22210, моторные испытания дизеля – на обкаточном электротормозном стенде КИ-1363 по общепринятым методикам [3, 4].

Результаты исследований

Цикловая подача ТНВД при работе на дизеле снижается из-за действия противодействия впрыску топлива (давления среды, куда впрыскивается топливо). Влияние противодействия можно выявить, анализируя следующее выражение

$$g_u = \mu_p f_p \cdot t \sqrt{\frac{2 p_\phi - p_n}{\rho}}, \quad (1)$$

где ρ – плотность топлива;

p_ϕ – давление начала впрыска топлива форсункой;

p_n – противодействие впрыску;

t – продолжительность впрыска;

$\mu_p f_p$ – эффективное проходное сечение отверстий распылителя форсунки.

Входящее в это выражение противодействие впрыску p_n при регулировке по современной ме-

тодике близко или равно атмосферному давлению, при работе же на дизеле оно определяется давлением газов в цилиндре в процессе впрыска (рис. 1) и оказывается выше атмосферного. Это и вызывает снижение цикловой подачи.

С учетом этого обстоятельства регулировку ТА на пониженную цикловую подачу с впрыском топлива в среду с противодействием производили, используя разработанное Башкирским ГАУ устройство противодействия впрыску (УП), представленное на рисунке 2 [5, 6].

Работа УП заключается в следующем. К моменту начала очередного впрыска топлива величина давления в камере 2 (рис. 2) соответствует давлению p_n по рисунку 1. Необходимая его величина устанавливается затягом пружины 4 клапана 3 винтом 5. В существующих тракторных дизелях отечественного производства давление p_n составляет приблизительно 2 МПа, что дает возможность однократного регулирования затяга пружины 4 при регулировании ТА различных марок дизелей.

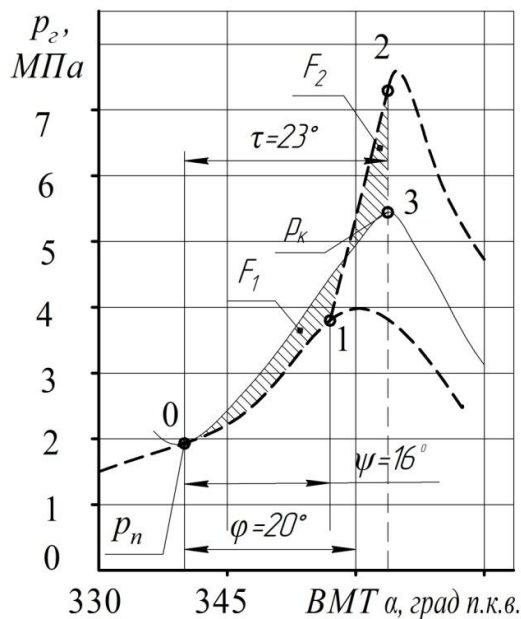


Рис. 1. Расчетная индикаторная диаграмма дизеля 4Ч11/13 (пунктирные линии) и экспериментальная кривая давления в камере УП (сплошная):

φ – опережение впрыска; ψ – период задержки самовоспламенения; τ – продолжительность впрыска;
0, 1 и 2 – точки начала впрыска, начала самовоспламенения топлива и конца впрыска;
0-3 – кривая нарастания давления в камере УП за период τ ; F_1 и F_2 – условные площади

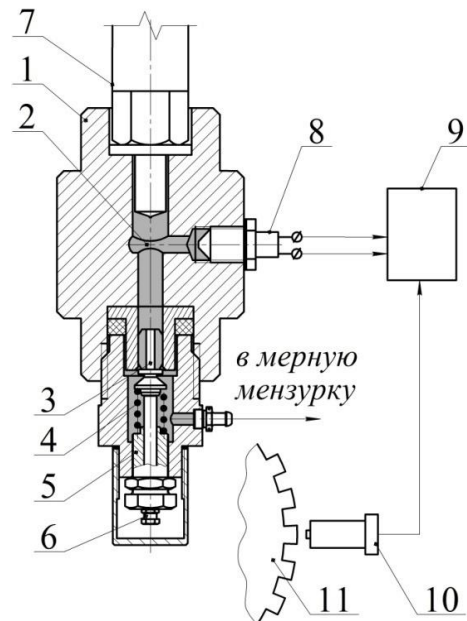


Рис. 2. Схема УП:

1 – корпус; 2 – камера впрыска;
3 и 4 – перепускной клапан и его пружина;
5 и 6 – регулировочные винты затяжки пружины 4 и хода клапана 3; 7 – форсунка;
8 – датчик давления; 9 – электронный блок; 10 – датчик угловой метки;
11 – угловая метка электродвигателя

Камера 2, заполненная топливом, представляет собой гидравлический аккумулятор (объем выделен затемнением). По мере поступления топлива давление в камере впрыска возрастает (почти линейно) и к концу впрыска составляет

$$p_k = p_n + \Delta p, \quad (2)$$

где Δp – величина нарастания давления в камере 2 в процессе впрыска топлива.

Приближение закономерности изменения давления в камере 2 к давлению внутри цилиндра дизеля осуществляется по упрощенной усредненной линии 0-3 с учетом обеспечения равенства площадей F_1 и F_2 (рис. 1). Регулирование величины нарастания давления в камере 2 производится с помощью хода клапана 3 винтом 6.

Разгрузка камеры 2 осуществляется постоянным дросселируемым сливом топлива. При снижении давления до необходимого значения к очередному впрыску клапан 3 закрывается. Давление в камере 2 определяется датчиком давления 8 и отображается электронным блоком 9.

Величина цикловой подачи определялась путем сбора топлива, проходящего через УП, мерными мензурками (на рисунке не показаны).

При проведении экспериментальных исследований форсунки регулировались на давление начала впрыска 17,5 МПа и ТА дизеля по двум методикам. Данные по регулировке приведены в таблице 1. Указанная частота вращения в качестве номинальной ($n_k=870 \text{ мин.}^{-1}$) отличалась от $n_{нк}=875 \text{ мин.}^{-1}$ в связи с тем, что шаг регулирования частоты вращения на стенде КИ-22210 кратен 10 мин.^{-1} .

Из данных таблицы 1 следует, что с уменьшением частоты вращения кулачкового вала ТНВД средняя цикловая подача $g_{ц.ср}$ возрастала (из-за действия корректора центробежного регулятора), а также существенно увеличилась межсекционная неравномерность топливоподачи, которая достигла $\delta=10,74\%$ к 620 мин.^{-1} (при регулировании по

действующей методике), а при использовании УП на уменьшенную цикловую подачу ($68 \text{ мм}^3/\text{цикл}$) оказалось намного ниже $\delta=3,92\%$.

На следующем этапе были сняты скоростные характеристики дизеля при регулировании ТА по действующей методике и с использованием УП. Данные эксперимента приведены на рисунке 3. При этом номинальная мощность составила $N_e=45,6 \text{ кВт}$, т.е. не отличалась от паспортной.

Как видно из рисунка 3 при регулировании ТА с использованием УП экономичность работы дизеля повысилась (g_e снизился с 251,5 до 249,5 $\text{г/кВт}\cdot\text{ч}$).

Для реализации возможности регулирования ТА в полевых условиях проводились соответствующие испытания. При них рейка ТНВД устанавливалась на максимальную подачу с отключением трех цилиндров (I, III, IV). При работе на одном (II) цилиндре на холостом ходу дизель не развивал номинальную частоту вращения (она составила 1510 мин.^{-1}). При подключении I цилиндра в работу дизель разогнался до 1820 мин.^{-1} , что выше номинальной частоты. Для ее снижения было принято пропускать часть впрысков топлива в один из работающих цилиндров дизеля.

Для реализации этого было разработано устройство пропуска впрысков топлива (УПВ), представленное на рисунке 4. За основу был взят серийный электрогидроуправляемый клапан SPILL VALVE фирмы DENSO, используемый в японских дизелях 2L-TE и 1KZ-TE для регулирования величины цикловой подачи топлива [7, 8].

УПВ работает следующим образом. Клапан 4 (рис. 4) находится в постоянно открытом положении, при этом топливо, подаваемое ТНВД, сливается обратно в топливный бак. При подаче напряжения клапан 4 закрывается, и нагнетаемое топливо впрыскивается в цилиндр дизеля. Корректировка частоты вращения коленчатого вала дизеля производилась путем изменения числа пропускаемых впрысков топлива.

Таблица 1

Параметры топливоподачи ТА от частоты вращения кулачкового вала ТНВД (по существующей методике с использованием УП)

Частота вращения кулачкового вала ТНВД $n_k, \text{ мин.}^{-1}$	Цикловая подача $g_{ц}$ по цилиндрам, мм^3				Средняя цикловая подача $g_{ц.ср}, \text{ мм}^3$	Межсекционная неравномерность топливоподачи $\delta, \%$
	I	II	III	IV		
870 (номинальная)	73/68	73/68	73/68	73/68	73/68	0,00
800	78/71	75/71	75/72	76/72	76/71,5	3,95/1,39
700	83/76	79/74	78/75	80/76	80/75,25	6,25/2,60
620 (максимального крутящего момента)	89/78	82/75	80/77	84/77	83,75/76,75	10,74/3,92

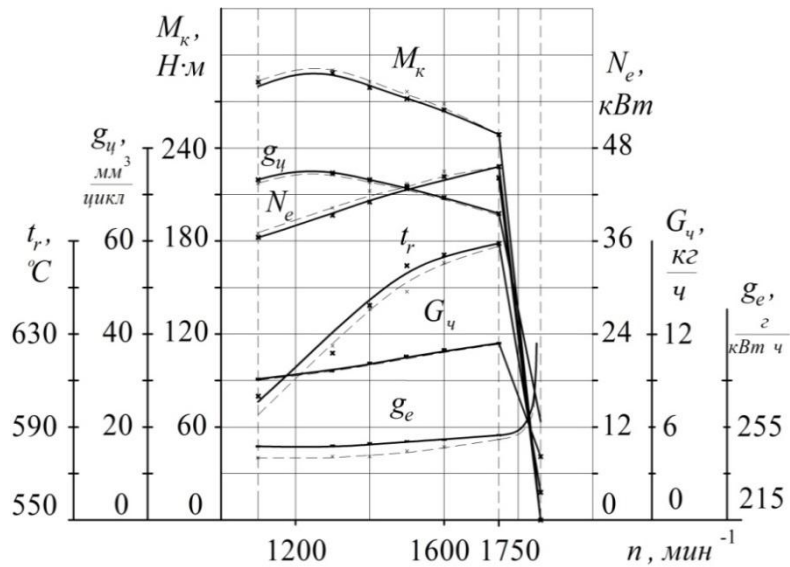


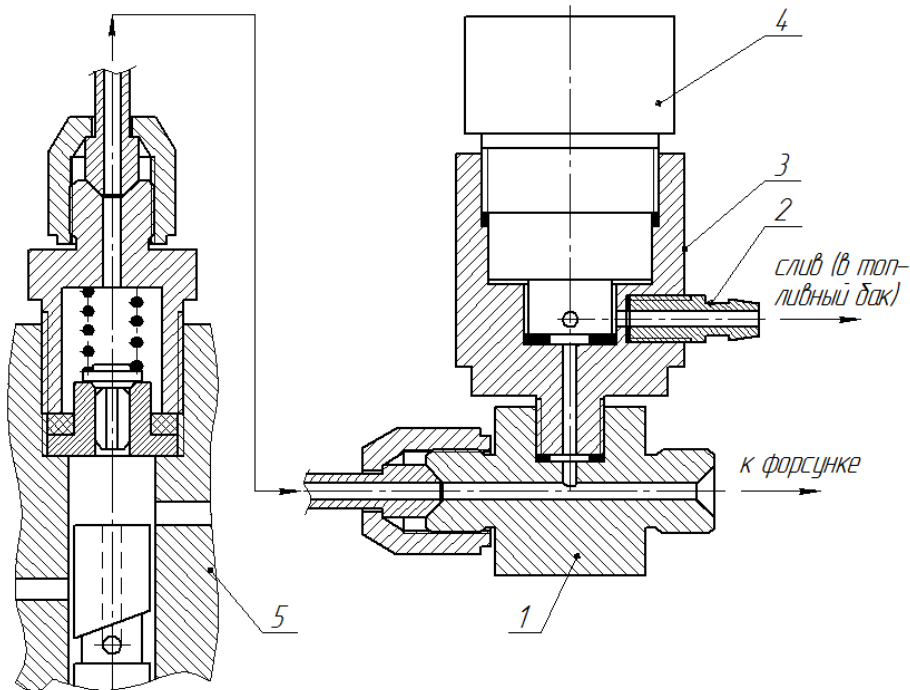
Рис. 3. Скоростная характеристика дизеля 4С11/13 при регулировании ТА по действующей методике (сплошные линии) и с использованием УП (пунктирные): M_k – крутящий момент; N_e – эффективная мощность; $G_{\text{ч}}$ и g_e – часовой и удельный расходы топлива; t_r – температура отработавших газов

Величина цикловой подачи определялась по времени сбора фиксированного объема топлива подаваемого секциями ТНВД не задействованных в работе. По окончании замера величины цикловой подачи секции ТНВД менялись местами, и операция повторялась. Данные по величинам цикловых подач представлены в таблице 2.

Из данных таблицы 2 следует, что цикловые подачи, отрегулированные на регулировочном стенде КИ-22210 в лабораторных условиях и

определенные на работающем дизеле, отличались друг от друга с погрешностью менее 1%, что говорит о возможности такого способа определения.

Для проверки возможности регулирования ТА на работающем дизеле были сбиты величины цикловых подач с последующей их регулировкой. Данные по регулировке представлены в таблице 3.



**Рис. 4. Схема УПВ:
1 – корпус; 2 – сливной штуцер; 3 – гнездо для установки клапана;
4 – клапан SPILL VALVE; 5 – секция ТНВД**

Таблица 2

**Цикловые подачи секций ТНВД (по существующей методике с использованием УП)
при определении их на работающем дизеле**

Секция ТНВД	Частота вращения кулачкового вала n_k , мин. ⁻¹	Замеряемый объем топлива g_z , мм ³	Продолжительность замера t , с	Цикловая подача $g_{ц}$, мм ³	Погрешность определения величин цикловой подачи Δ , %
1	875	40	37,7/40,1	72,6/68,4	0,54/0,58
2	875	40	37,2/40,5	73,5/67,7	0,68/0,44
3	875	40	37,6/40,0	72,8/68,5	0,27/0,73
4	875	40	37,4/40,7	73,3/67,4	0,41/0,88

Таблица 3

**Величины цикловых подач секций ТНВД, отрегулированных на работающем дизеле
(по существующей методике с использованием УП)**

Секция ТНВД	Частота вращения кулачкового вала n_k , мин. ⁻¹	Замеряемый объем топлива g_z , мм ³	Продолжительность замера t , с	Цикловая подача $g_{ц}$, мм ³	Средняя цикловая подача, $g_{ц,ср}$, мм ³	Межсекционная неравномерность топливоподачи δ , %
1	875	40	37,6/40,4	72,8/67,7	73,15/68,12	0,8/0,9
2	875	40	37,3/40,0	73,4/68,3		
3	875	40	37,5/40,2	73,1/68,0		
4	875	40	37,4/40,1	73,3/68,2		

Согласно полученным данным можно сделать вывод, что использование УПВ позволяет производить регулирование ТА на рабочем дизеле.

Согласно результатам экспериментальных исследований можно рекомендовать следующую методику регулирования ТА в полевых условиях:

- отрегулировать форсунки на необходимое давление начала впрыска;
- установить на одну из секций ТНВД УПВ;
- подключить секции, не задействованные в работе дизеля, к УП (для четырехцилиндровых дизелей – это две секции);
- запустить дизель и с помощью корректировки количества пропусков впрысков топлива установить номинальную частоту вращения коленчатого вала дизеля;
- поверить начальное и конечное противодавление впрыску топлива в камере УП, при необходимости произвести регулировку;
- произвести регулировку секций ТНВД, не задействованных в работе дизеля, на необходимую величину цикловой подачи;
- по окончании регулировки заглушить дизель и поменять местами работавшие секции с неработавшими;
- произвести регулировку следующих секций в последовательности, описанной выше.

Выводы

1. Использование устройства противодавления впрыску топлива при регулировании ТА позволит снизить неравномерность топливоподачи и тем самым повысить технико-экономические показатели работы дизеля.

2. Проведенные исследования подтвердили возможность диагностирования и регулирования ТА без демонтажа её с дизеля. Необходимая номинальная частота вращения при этом обеспечивается отключением ряда цилиндров и пропуском впрысков топлива в один из работающих цилиндров.

3. Преимуществом предложенной методики диагностирования и регулирования ТА без демонтажа с дизеля в полевых условиях является снижение трудоемкости демонтажных и монтажных работ.

Библиографический список

1. Баширов Р.М. Автотракторные двигатели: конструкция, основы теории и расчета. – М.: Лань, 2017. – 335 с.
2. ГОСТ 18509-88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 46 с.
3. ГОСТ 10448-2014. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Приемка. Методы испыта-

ний (с изменением № 1). – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 26 с.

4. ГОСТ Р 52517-2005. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Характеристики. Часть 1. Стандартные исходные условия, объявление мощности, расхода топлива и смазочного масла. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 33 с.

5. 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.

6. Способ диагностирования и регулирования дизельной топливной аппаратуры на двигателе / Баширов Р.М., Сафин Ф.Р., Магафуров Р.Ж., Юльбердин Р.Р., Туктаров М.Ф., патент на изобретение №2668589 от 30.01.2018 г.

7. www.denso-am.eu. Denso. Electronical Technical Service Information.

8. Patent №5801308, G01F 3/24. Measuring apparatus for measuring an injected quantity of liquid. – Denso Corporation, Kariya, Japan. – Filed. 04.09.1997. Pub. 1.09.1998.

2. GOST 18509-88. Dizeli traktornye i kombaynovye. Metody stendovoykh ispytaniy. – М.: Izd-vo standartov, 1988. – 46 s.

3. GOST 10448-2014. Dvigateli vnutrennego sgoraniya porshnevye. Priemka. Metody ispytaniy (s izmeneniem No. 1). – М.: Izd-vo standartov, 2016. – 26 s.

4. GOST R 52517-2005. Dvigateli vnutrennego sgoraniya porshnevye. Kharakteristiki. Chast 1. Standartnye iskhodnye usloviya, obyavlenie moshchnosti, raskhoda topliva i smazochnogo masla. Metody ispytaniy. – М.: Izd-vo standartov, 2005. – 33 s.

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

6. Sposob diagnostirovaniya i regulirovaniya dizelnoy toplivnoy apparatury na dvigatele // Bashirov R.M., Safin F.R., Magafurov R.Zh., Yulberdin R.R., Tuktarov M.F., patent na izobretenie No. 2668589 ot 30.01.2018 g.

7. www.denso-am.eu. Denso. Electronical Technical Service Information.

8. Patent No. 5801308, G01F 3/24. Measuring apparatus for measuring an injected quantity of liquid. – Denso Corporation, Kariya, Japan. – Filed 04.09.1997. Pub. 1.09.1998.

References

1. Bashirov R.M. Avtotraktornye dvigateli: konstruktsiya, osnovy teorii i rascheta. – М.: Lan, 2017. – 335 s.



УДК 621.311.001.57

Г.В. Майстренко, А.Л. Куликов, Б.В. Папков, М.Д. Обалин
G.V. Maystrenko, A.L. Kulikov, B.V. Papkov, M.D. Obalin

СПОСОБЫ АДАПТАЦИИ АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПО ПАРАМЕТРАМ АВАРИЙНОГО РЕЖИМА К ОТКЛОНЕНИЯМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

THE WAYS OF ADAPTATION OF EMERGENCY-STATE FAULT LOCATION OF POWER LINES BY ALGORITHM TO DEVIATIONS OF VOLTAGE CHARACTERISTICS

Ключевые слова: адаптация, алгоритм, имитационное моделирование, качество электрической энергии, линия электропередачи, несимметрия напряжения, одиночное быстрое изменение напряжения, определение места повреждения, отклонение частоты, параметры аварийного режима.

Keywords: adaptation, algorithm, simulation modeling, voltage characteristics, power line, supply voltage unbalance, single rapid voltage change, fault location, power frequency deviation, emergency-state parameters.