

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ И РЕСУРС МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ФИЛЬТРА ГРУБОЙ ОЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

## EFFICIENCY OF CLEANING AND THE LIFE CYCLE OF THE MODERNIZED FILTER FOR ROUGH CLEANING OF DIESEL FUEL

**Д.В. ХАЛТУРИН**, К.Т.Н.  
**А.В. ЛЫСУНЕЦ**, К.Т.Н.

Томский государственный архитектурно-строительный  
университет, Томск, Россия

**D.V. HALTURIN**, PhD in Engineering  
**A.V. LYSUNEC**, PhD in Engineering

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk,  
Russia, dmitriihalturin@mail.ru

В работе рассматривается проблема безотказности топливной аппаратуры тракторных дизельных двигателей в условиях пониженных температур. Основная проблема эксплуатации таких двигателей заключается в ухудшении прокачиваемости топлива через топливопроводы, парафинизация и забивка фильтров тонкой очистки. Авторы предлагают новую конструкцию фильтра грубой очистки (ФГО), где в качестве фильтрующего элемента выступает фильтровальная лента из нетканого иглопробивного материала с переменным обжатием, обладающего повышенной эффективностью фильтрации с возможностью одновременного подогрева топлива. Достоинством предлагаемых изменений является использование штатного корпуса фильтра грубой очистки. Представлены эксплуатационные испытания. По результатам эксплуатационных испытаний модернизированного фильтра грубой очистки было установлено, что в отличие от штатного элемента массовая концентрация загрязнений снижается примерно в два раза, а вероятность отсева частиц размером больше 30 мкм равна 90 %. Построены кривые распределения частиц загрязнений по размерам после штатного и модернизированного фильтра и ресурсная характеристика. Приведены результаты сравнительных эксплуатационных испытаний фильтров на загрязнение. Оценен перепад давления на фильтре при наступлении технического обслуживания, предложено увеличение регламентной замены фильтра. Определена степень обжатия фильтрующего материала, исключающая появление после ФГО частиц размером больше 35 мкм.

*Ключевые слова:* дизельное топливо, эффективность очистки, фильтрация, подогрев, повышение ресурса.

The paper considers the problem of the reliability of the fuel equipment of tractor diesel engines at low temperatures. The main problem of the operation of such engines is the deterioration of fuel pumpability through the fuel lines, waxing and clogging of fine filters. The authors propose a new design of the coarse filter (CF), where the filter element is a filter tape made of nonwoven needle-punched material with variable compression, which has increased filtration efficiency with the possibility of simultaneous heating of the fuel. The advantage of the proposed changes is the use of a standard coarse filter housing. Performance tests are presented. According to the results of operational tests of the upgraded coarse filter, it was found that, unlike the standard element, the mass concentration of contaminants is reduced by about half, and the probability of dropping out particles larger than 30 microns is 90 %. The particle size distribution curves of contaminants after a standard and upgraded filter and a resource characteristic are built. The results of comparative operational tests of filters for pollution are presented. The pressure drop across the filter at the onset of maintenance is estimated, and an increase in scheduled filter replacement is suggested. The degree of compression of the filtering material was determined to exclude the appearance of particles larger than 35  $\mu\text{m}$  after the CF.

*Keywords:* diesel fuel, cleaning efficiency, filtration, heating, increased life cycle.

## Введение

Топливные системы серийно выпускаемых тракторных дизелей практически не защищены от воздействия переменного климата. В процессе работы тракторов под действием многих факторов, в том числе и природно-климатических, параметры технического состояния топливной аппаратуры не остаются постоянными, и в эксплуатации наблюдаются значительные отклонения их от номинальных значений [1, 2, 3]. Выход того или иного параметра за пределы установленных допусков приводит к снижению надежности в виде отказов топливных систем и тракторов в целом.

Известно, что эксплуатация тракторов в условиях низких температур значительно сложнее, чем летом, и это обуславливается суровыми климатическими условиями: наличием снежного покрова с высотой до 40...80 см, длительностью морозного периода который длится (от 3 до 9 месяцев), при средних январских температурах  $-25...-35$  °С, а минимальные температуры достигают  $-50...-60$  °С. Также увеличивается количество отказов топливных систем за счет проявления эффектов инеобразования в топливных баках, кристаллизации свободной воды в топливе, парафинизации топлива, приводящих к забивке фильтров тонкой очистки [3, 4]. Повышается вязкость топлива и ухудшается его прокачиваемость на линиях топливоподачи и в форсунках, что может привести к полному прекращению подачи топлива.

Наибольшему воздействию низких температур и ветра подвергается топливоподающая система трактора. Особенно это ощущается при понижении температуры окружающего воздуха ниже  $-25...-30$  °С и жесткости погоды 55...65 баллов [5].

Основной проблемой пуска дизелей в условиях низких температур является равенство температур окружающей среды и топливной системы трактора, при которых наблюдается кристаллизация воды и парафина, обуславливающая ухудшение прокачиваемости топлива. Эта проблема решается одним из известных способов: применением топлива с высокими низкотемпературными свойствами в момент пуска и прогрева тракторов; изменением конструкции узлов трактора, обеспечивающих пуск; внешним утеплением трактора; применением подогревающих устройств [6, 7].

Однако практически все эти способы не изучены с точки зрения их эффективности,

а главное, отсутствуют рекомендации по целенаправленному оснащению топливных систем подогревателями, в том числе по использованию фильтров с функцией подогрева топлива.

Технические решения, связанные с модернизацией топливных систем при эксплуатации в условиях низких температур, сводятся к установке дополнительных нагревателей топлива в различных участках топливной системы без анализа процесса подогрева топлива и процессов очистки топлива от загрязнения [5, 6, 7].

## Цель исследований

Анализ предлагаемой модернизации топливных систем для тракторов, направленный на повышение ее надежности (безотказности) при эксплуатации в условиях пониженных температур.

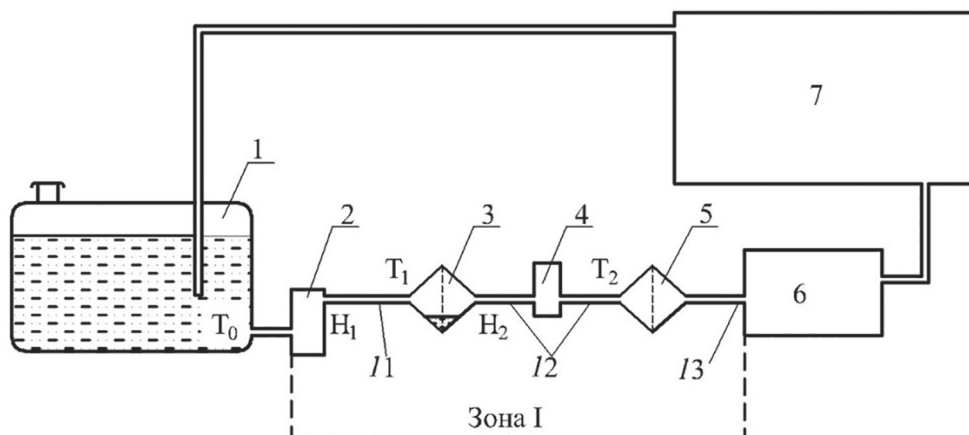
## Материалы и методы

Предлагается схема топливной системы, в которую дополнительно к традиционной вводятся два элемента: предварительный подогреватель топлива и фильтр грубой очистки (ФГО) топлива новой конструкции, конструктивно повышающий качество очистки топлива от эксплуатационных загрязнений, продлевающий ресурс фильтра тонкой очистки топлива, а также обеспечивающий подогрев топлива без дополнительных электрических средств (рис. 1).

Предварительные эксперименты [8, 9] по подогреву элементов подачи и фильтрации топлива показали, что для топливной системы (рис. 1) достаточным является включение двух нагревательных элементов:  $H_1$  – в предварительном подогревателе и  $H_2$  – в ФГО новой конструкции (рис. 2) при использовании в качестве ФГО фильтроэлементов, отвечающих стандартным требованиям по качеству топлива.

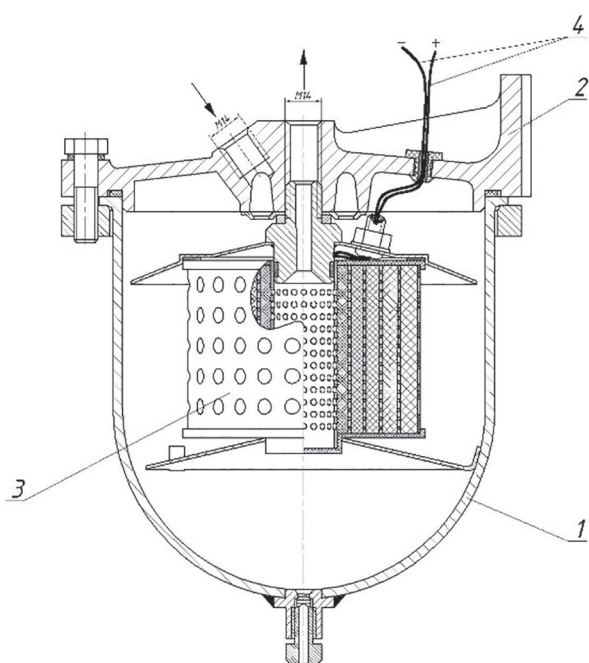
Многочисленными исследованиями и отраслевыми стандартами установлено, что надежная защита прецизионных пар топливного насоса высокого давления и форсунок дизельного двигателя может быть достигнута установкой ФГО, обеспечивающего полноту отсева массы частиц загрязнений  $\varphi = 95...98$  %, при номинальной 95%-й тонкости фильтрации (очистки)  $d_{0,95} = 5...8$  мкм.

Указанные требования в настоящее время выполняются широким применением в топливных системах ФГО на основе специальных видов фильтровальных бумаг, синтетики,



**Рис. 1. Схема модернизированной топливной системы:**

1 – топливный бак; 2 – предварительный подогреватель; 3 – модернизированный фильтр грубой очистки (МФГО); 4 – топливopодкачивающий насос; 5 – штатный фильтр тонкой очистки (ФТО); 6 – топливный насос высокого давления; 7 – двигатель;  $I_1, I_2, I_3$  – соединительные трубопроводы;  $H_1, H_2$  – нагреватели



**Рис. 2. Общий вид модернизированного фильтра грубой очистки с нагревателем:**

1 – корпус фильтра; 2 – крышка корпуса; 3 – фильтроэлемент с подогревом [10]; 4 – провода подключения к бортовой сети

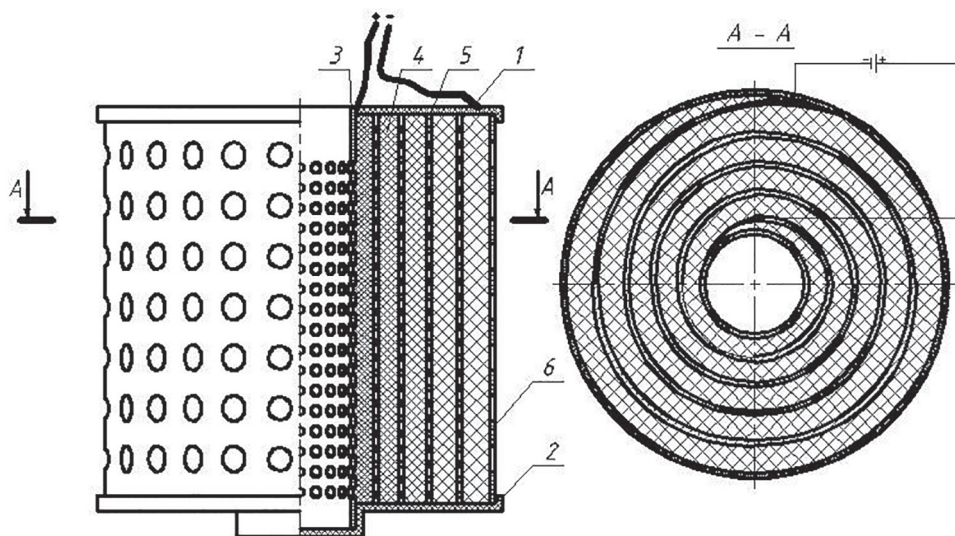
пряжи, картонов и т.д. [4, 11], поэтому выбор сделан в пользу штатного ФТО.

Натурные тепловые испытания экспериментальной топливной системы трактора МТЗ-82 проводились в зимний и летний периоды (с февраля по декабрь 2010 г.) с целью подтверждения теоретического описания процессов разогрева элементов топливной системы в пусковом режиме машины.

По результатам сравнительных эксплуатационных испытаний, самая большая концентрация загрязнений и по массе, и по размерам частиц содержится в топливном баке независимо от сезона эксплуатации. И, тем не менее, зимой она на 7...12 % ниже, чем летом. В обычной рядовой эксплуатации, когда топливные баки не обслуживаются должным образом, в них присутствуют частицы размером более 50 мкм. В подконтрольной эксплуатации размер частиц в два раза мельче.

Штатный фильтр-отстойник (ФГО), выполняющий функции фильтра грубой очистки, обеспечивает концентрацию механических загрязнений на входе в топливную магистраль в рядовых условиях до 0,0076...0,018 %, в подконтрольных – до 0,0025...0,0040 %. Он задерживает частицы размером в основном свыше 40 мкм, но может пропустить и более крупные частицы (до 180 мкм). В зимнее время крупность частиц в прошедшем через штатный ФГО топливе составляет менее 50 мкм по математическому ожиданию при предельной их крупности до 96 мкм.

В отличие от штатного ФГО предлагаемый вариант нового ФГО, снабженный фильтром из пористого материала и нагревательным элементом (рис. 3), обеспечивает массовую концентрацию загрязнений даже в рядовой эксплуатации в пределах 0,0035 % (масс.), тогда как в подконтрольной – 0,0025...0,0022 % (масс.). При необходимости можно снизить концентрацию загрязнений на выходе из фильтра за счет повышения степени обжаривания. По дисперсному составу он также эффектив-



**Рис. 3. Фильтроэлемент с нагревателем:**

1, 2 – крышки; 3 – внутренняя перфорированная трубка; 4 – фильтровальная лента из нетканого иглопробивного материала; 5 – перфорированная подложка из гибкого электропроводного несжимаемого материала; 6 – наружная перфорированная обечайка

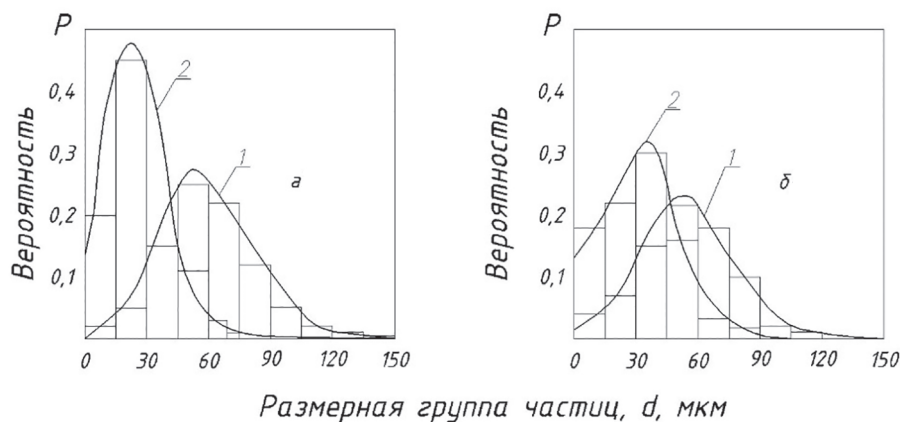
нее штатного отстойника, поскольку с 90%-й вероятностью способен пропускать через себя частицы не крупнее 25...30 мкм.

### Результаты и обсуждение

В результате испытаний было также установлено, что концентрация загрязнений в баке зависит и от режима работы трактора, и от температуры окружающей среды. В статическом режиме, когда машина не работает, массовое содержание примесей в топливе составляет 0,0055...0,0062 % летом и 0,006...0,007 % зимой, что соответствует количеству частиц размером до 50 мкм в пределах 25000...27000 шт./мл и 19000...22000 шт./мл, соответственно.

Эффективность нового фильтра грубой очистки с подогревом топлива характеризуется кривыми распределения на рис. 4.

Одним из важных служебных свойств фильтров является их задерживающая способность, характеризуемая коэффициентами полноты фильтрации и отфильтровывания, абсолютной и номинальной тонкостью фильтрации. Физическая сущность этих параметров и их расчет достаточно полно изложены во многих специальных исследованиях, в том числе и в работах [4, 12]. Отметим лишь, что для пористых материалов с неупорядоченной структурой типа пенополиуретана и нетканого иглопробивного материала отечественные стандарты предусма-



**Рис. 4. Кривые распределения частиц загрязнений по размерам:**

*a* – в зимний сезон эксплуатации; *б* – в летний; 1 – на выходе из штатного ФГО; 2 – на выходе из модернизированного ФГО



тривают номинальную тонкость фильтрации  $d_{0,95}$ , теоретически отражающую суть вопроса формулой (1):

$$d_{0,95} = 5,134 \sqrt{\frac{K_0}{n_b [1 - (1 - \Psi_0)n_b]}}, \quad (1)$$

где  $K_0$  и  $\Psi_0$  – коэффициент проницаемости и начальная пористость исходного материала фильтра.

С учетом значений коэффициента проницаемости  $K_0 = 96,8 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$  и начальной пористости  $\Psi_0 = 0,96$  исходного фильтровального материала формула (1) приобретает следующий вид [3]:

$$d_{0,95} = \frac{50,5 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{n_b - 0,04n_b^2}}. \quad (2)$$

Количество загрязнений, задерживаемых фильтрами топливной системы в серийном и модернизированном исполнениях, представлены в таблице.

Следует отметить, что эксплуатация машин в холодное время года заметного влияния на эффективность работы топливной системы с предлагаемым новым фильтром грубой очистки не оказывает. Так, средняя интенсивность загрязнения ФГО в летний период составляет 126 г/100 моточасов, в зимний – 123 г/100 моточасов.

Ресурс фильтроэлемента со средней степенью обжатия  $n = 4,5$  рассчитывался исходя из критического перепада давления на выходе. Эта величина по рекомендациям [4] принималась равной 50 кПа.

Математическая обработка экспериментальной выборки зависимости перепада давления  $\Delta P$  от наработки  $\tau$  подконтрольных тракторов позволила получить ресурсную кривую (рис. 5), адекватно описываемую экспоненциальной зависимостью вида:

$$\Delta P = \frac{\Delta P_0}{(1 - \lambda \tau)^2}, \text{ кПа}, \quad (3)$$

где  $\Delta P_0$  – перепад давления на фильтроэлементе без обжатия;  $\tau$  – наработка в моточасах;  $\lambda$  – эмпирический коэффициент.

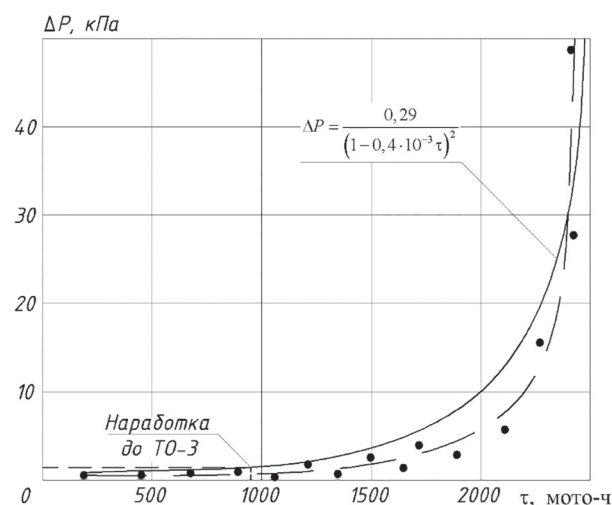


Рис. 5. Ресурсная характеристика модернизированного фильтроэлемента грубой очистки:

— — — экспериментальная; ————— расчетная

Таблица

Результаты сравнительных эксплуатационных испытаний фильтров на загрязнение

Порядковый номер машины	Количество загрязнений на фильтрах топливной системы, гр								Результативность, раз		
	Штатная топливная система				Модернизированная топливная система				ФГО	ФГО	Всего
	Среднегодовая наработка τ, моточасов	ФГО	ФГО	Всего	Среднегодовая наработка τ, моточасов	ФГО	ФГО	Всего			
3	920	244	974	1218	890	1120	480	1600	4,60	2,03	1,31
4	816	389	1107	1496	875	803	414	1218	2,06	2,67	1,23
8	880	206	875	1081	910	964	451	1415	4,68	1,94	1,31
10	749	287	928	1215	816	1063	367	1430	3,70	2,52	1,47
Всего	3365	1126	3884	5010	3491	3950	1272	5223	3,51	2,26	0,88
Уд. знач.	842	53,5	173,6	236,9	873	176,0	66,7	232,9	3,29	2,6	1,07

Согласно Положению о технических уходах за колесными машинами, техническое обслуживание их топливной системы с промывкой корпусов и заменой фильтрующих элементов выполняется с периодичностью в 960 моточасов, т.е. при ТО-3. При такой наработке перепад давления на новом ФГО составляет не более 2,0 кПа, что практически не влияет на его пропускную способность.

Из рис. 5 также следует, что резкий перепад давления на фильтре наступает при наработке тракторов выше 2000 моточасов. Однако и в этом случае наработка топливной системы до обслуживания при допустимом перепаде давления может быть значительно выше нормативной, но не более 2500 моточасов.

### Выводы

Установлено, что модернизированный фильтр грубой очистки с подогревом топлива снижает количественное содержание механических примесей в топливе по концентрации в 2,0 раза в летний период и в 1,7 раза в зимний, по количеству частиц – в 1,3 и 2,1 раза, соответственно.

Показано, что при степени обжигания фильтрующего материала в 4,0...4,5 раза частицы загрязнения размерной группы выше 35 мкм в топливе после его выхода из ФГО с подогревом отсутствуют независимо от температурных условий. По массовой концентрации содержание загрязнений в топливе в этом случае сокращается в 3,0 раза.

Экспериментально установлено, что модернизированная топливная система снижает частоту отказов деталей в 1,5...6,2 раза по сравнению с серийной, что свидетельствует о повышении ее надежности за счет снижения загрязнений, обеспечиваемого модернизированным фильтром грубой очистки с подогревом.

Ресурсная характеристика фильтроэлемента из нетканого иглопробивного материала, полученная обработкой экспериментальных данных, представляет собой экспоненциальную зависимость (3), свидетельствующую о том, что при наработке машины с периодичностью между ТО-3 в 960 моточасов перепад давления на модернизированном фильтре грубой очистки составляет 2,0 кПа, что не влияет на его пропускную способность.

Полученные результаты свидетельствуют о явном повышении надежности топливной системы машины с новым фильтром грубой

очистки за счет повышения эффективности очистки дизельного топлива от механических примесей и воды.

### Литература

1. Зыков С.В. Повышение чистоты топлива в системах топливоподачи дизельных двигателей сельскохозяйственных машин: дис. ... канд. техн. наук. М.: МГАУ, 2003. 186 с.
2. Лысунец А.В. Совершенствование топливных систем и средств их технического обслуживания с целью повышения надежности дорожных и строительных машин: дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2006. 137 с.
3. Халтурин Д.В. Подогрев и очистка топлива в условиях низких температур с целью повышения работоспособности сельскохозяйственных дизельных тракторов: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2015. 161 с.
4. Удлер Э.И. Фильтрация нефтепродуктов. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1988. 215 с.
5. Сырбаков А.П. Обеспечение работоспособности топливоподающей системы дизельных тракторов в условиях отрицательных температур: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2004. 167 с.
6. Гринберг Л.С. Запуск дизеля при низких температурах // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1990. № 2. С. 6.
7. Киселев Г.М. Использование тракторов в зимний период // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1991. № 2. С. 30–31.
8. Удлер Э.И., Халтурин Д.В. Предварительная очистка топлива с подогревом в топливных системах машин // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 7. С. 47–49.
9. Удлер Э.И., Халтурин Д.В., Спиринов Е.Н. Модернизация топливной системы дизеля сельскохозяйственного трактора // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 11. С. 19–22.
10. Удлер Э.И., Халтурин Д.В., Готовцева Т.А., Пивнев Д.Е. Фильтроэлемент: патент на изобретение RUS 2186608, Российская Федерация; опубл. 10.08.02, Бюл. № 31.
11. Удлер Э.И., Зуев В.И. Фильтрующие топливно-масляные элементы из бумаги и картона. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1983. 140 с.
12. Удлер Э.И. Фильтрация углеводородных топлив. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1981. 152 с.

### References

1. Zykov S.V. Povyshenie chistoty topliva v sistemah toplivopodachi dizel'nyh dvigatelej sel'skokozyajstvennyh mashin: dis. ... kand. tekhn. nauk [Improv-

- ing the purity of fuel in the fuel supply systems of diesel engines of agricultural machines: Dissertation for Degree of Ph.D. (Engineering)]. Moscow: MGAU Publ., 2003. 186 p.
2. Lysunec A.V. Sovershenstvovanie toplivnyh sistem i sredstv ih tekhnicheskogo obsluzhivaniya s cel'yu povysheniya nadezhnosti dorozhnyh i stroitel'nyh mashin: dis. ... kand. tekhn. nauk [Improving fuel systems and their maintenance tools to improve the reliability of road and construction vehicles: Dissertation for Degree of Ph.D. (Engineering)]. Tomsk, 2006. 137 p.
  3. Halturin D.V. Podogrev i ochildka topliva v usloviyah nizkikh temperatur s cel'yu povysheniya rabotosposobnosti sel'skohozyajstvennyh dizel'nyh traktorov: dis. ... kand. ten. nauk [Heating and cleaning fuel at low temperatures in order to increase the efficiency of agricultural diesel tractors: Dissertation for Degree of Ph.D. (Engineering)]. No-vosibirsk, 2015. 161 p.
  4. Udler E.I. Fil'traciya nefteproduktov [Oil filtration]. Tomsk: Izd-vo Tomsk. un-ta Publ., 1988. 215 p.
  5. Syrbakov A.P. Obespechenie rabotosposobnosti toplivopodayushchej sistemy dizel'nyh traktorov v usloviyah otri-catel'nyh temperatur: dis. ... kand. tekhn. nauk [Ensuring the operability of the fuel supply system of diesel tractors at low temperatures: Dissertation for Degree of Ph.D. (Engineering)]. Novosibirsk, 2004. 167 p.
  6. Grinberg L.S. Low temperature diesel start. Me-khanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. 1990. No 2, pp. 6 (in Russ.).
  7. Kiselev G.M. Use of tractors in the winter. Me-khanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. 1991. No 2, pp. 30–31 (in Russ.).
  8. Udler E.I., Halturin D.V. Pre-treatment of heated fuel in the fuel systems of vehicle. Traktory i sel'hoz-mashiny. 2013. No 7, pp. 47–49 (in Russ.).
  9. Udler E.I., Halturin D.V., Spirin E.N. Modern-ization of the diesel fuel system of an agricultural tractor. Traktory i sel'hozmashiny. 2016. No 11, pp. 19–22 (in Russ.).
  10. Udler E.I., Halturin D.V., Gotovceva T.A., Pivnev D.E. Fil'troelement [Filter element]: patent na izo-bretenie RUS 2186608, Rossijskaya Federaciya. Opublikovano 10.08.02. Byul. No 31.
  11. Udler E.I., Zuev V.I. Fil'truyushchie toplivno-masly-anye elementy iz bumagi i kartona [Paper and cardboard filter-ing fuel and oil elements]. Tomsk: Izd-vo Tomsk. un-ta Publ., 1983. 140 p.
  12. Udler E.I. Fil'traciya uglevodorodnyh topliv [Hy-drocarbon filtration]. Tomsk.: Izd-vo Tomsk. un-ta Publ., 1981. 152 p.