

УДК 623.3.063.6-047.38

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

**МЕТОД УСКОРЕННОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ФОРСУНОК НА КОКСОВАНИЕ**

Карташов Александр Александрович  
кандидат технических наук  
SPIN-код: 9484-9243  
E-mail: ak\_29@mail.ru

Лахно Александр Викторович  
кандидат технических наук  
SPIN-код: 9011-4727  
E-mail: lakhnopenza@mail.ru  
*ФГБОУ ВО ПГУАС, Пенза, Россия*

Успенский Иван Алексеевич  
д.т.н., заведующий кафедрой технической эксплуатации транспорта  
SPIN-код: 1831-7116  
E-mail: ivan.uspensckij@ya.ru

Юхин Иван Александрович  
д.т.н., заведующий кафедрой автотракторной техники и теплоэнергетики  
SPIN-код: 9075-1341  
E-mail: yuival@rambler.ru

Голиков Алексей Анатольевич  
кандидат технических наук  
SPIN-код: 8540-7098  
E-mail: golikov.rgatu@yandex.ru  
*ФГБОУ ВО РГАТУ им П.А. Костычева, Рязань, Россия*

Техническое диагностирование обеспечивает значительную экономию средств на содержание автомобилей за счет сокращения их расхода во время обслуживания и ремонта, выполнения действительно необходимых регулировочных и ремонтных операций, сокращения потребления запасных частей и топлива. Это достигается путем своевременного обнаружения и устранения незначительных неисправностей в системах питания, зажигания, а также в агрегатах автомобиля. Комплексный метод ускоренного диагностирования форсунок на коксование является дальнейшим развитием метода ускоренных испытаний форсунок. Для реализации данного метода осуществляется ряд циклов ускоренного закоксовывания и раскоксовывания распылителей форсунок. Этот метод позволяет более достоверно оценить надежность распылителей по коксованию, так как условия его проведения наиболее близки к эксплуатационным.

UDC 623.3.063.6-047.38

05.20.01 - Technologies and means of mechanization of agriculture (technical sciences)

**THE METHOD OF ACCELERATED DIAGNOSIS OF NOZZLES FOR COKING**

Kartashov Alexandr Alexandrovich  
Candidate of Technical Sciences  
RSCI SPIN-code: 9484-9243  
E-mail: ak\_29@mail.ru

Lakhno Alexandr Viktorovich  
Candidate of Technical Sciences  
RSCI SPIN-code: 9011-4727  
E-mail: lakhnopenza@mail.ru  
*Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia*

Uspensky Ivan Alekseevich  
Dr.Sci.Tech., head of the department of technical operation of transport  
RSCI SPIN-code 1831-7116  
E-mail: ivan.uspensckij@ya.ru

Yukhin Ivan Alexandrovich  
Dr.Sci.Tech., head of the department of auto tractor equipment and heat power engineering  
RSCI SPIN-code 9075-1341  
E-mail: [yuival@rambler.ru](mailto:yuival@rambler.ru)

Golikov Alexey Anatolyevich  
Candidate of Technical Sciences  
RSCI SPIN-code: 8540-7098  
E-mail: golikov.rgatu@yandex.ru  
*Kostychev State Agrotechnological University, Ryazan, Russia*

Technical diagnostics provides significant savings on the maintenance of cars by reducing their consumption during maintenance and repair, performing really necessary adjustment and repair operations, reducing the consumption of spare parts and fuel. This is achieved by timely detection and elimination of minor malfunctions in the power supply systems, ignition, as well as in the vehicle units. The complex method of accelerated diagnostics of injectors for coking is a further development of the method of accelerated testing of injectors. To implement this method, a number of cycles of accelerated coking and de-coking of spray nozzles are carried out. This method makes it possible to more reliably assess the reliability of coking sprayers, since the conditions for its implementation are closest to operational ones. Accelerated coking of sprayers is carried out by tightening the temperature conditions of the tested sprayer by creating a special working cycle in the engine cylinder. Fuel is supplied by an additional high-

Ускоренное закоксовывание распылителей осуществляется ужесточением температурных режимов работы испытываемого распылителя путем создания специального рабочего цикла в цилиндре двигателя. Подача топлива осуществляется дополнительным насосом высокого давления. Регулирование теплового режима распылителей производится изменением угла начала подачи топлива и цикловой подачи топлива дополнительного насоса. Эффективное использование технических средств диагностирования на автосервисных предприятиях возможно лишь в результате правильного их применения и эксплуатации. Поэтому исследованию методов прогнозирования остаточного ресурса автомобиля в последнее время уделяется пристальное внимание

Ключевые слова: ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, ДИАГНОСТИРОВАНИЕ, ТОПЛИВНАЯ ФОРСУНКА, КОКСООБРАЗОВАНИЕ

pressure pump. Regulation of the thermal mode of the sprayers is carried out by changing the angle of the beginning of the fuel supply and the cyclic fuel supply of the additional pump. Effective use of technical means of diagnostics at car service enterprises is possible only as a result of their correct application and operation. Therefore, the study of methods for predicting the residual life of the car has recently been given close attention

Keywords: TECHNICAL DIAGNOSTICS, DIAGNOSTICS, FUEL INJECTOR, COKE FORMATION

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-176-007>

За последние десятилетия эффективность работы автомобилей, выпускаемых промышленностью, их мощностные, экономические и экологические показатели, надежность и долговечность существенно выросли. Несмотря на это, опыт эксплуатации автомобильного парка показывает, что значительная доля автомобилей эксплуатируется с неисправностями, которые ведут к снижению показателей их работы [1,2,3,4,5,6].

Ускоренное закоксовывание распылителей осуществлялось путем ужесточения температурных режимов работы испытываемого распылителя и путем создания специального рабочего цикла в цилиндре двигателя. Исследования проведены на лабораторном двигателе Д-144 воздушного охлаждения. Специальный цикл организован в 1-ми 4-м цилиндрах, в которые установлены дополнительные испытываемые форсунки 6Т2. Подача топлива осуществлялась дополнительным насосом высокого давления. Регулирование теплового режима распылителей производилось изменением угла начала подачи топлива и цикловой подачи топлива

<http://ej.kubagro.ru/2022/02/pdf/07.pdf>

дополнительного насоса.

Расчетно-теоретический анализ, выполненный с применением метода термодинамической аппроксимации, позволил с достаточной степенью точности определить параметры специального цикла и подтвердил возможность его использования для ускоренного закоксовывания распылителей.

При этом предлагается обобщенное уравнение для расчета среднего коэффициента теплоотдачи, позволяющее использовать все известные формулы мгновенного коэффициента теплоотдачи. Все они могут быть обобщены выражением (1)

$$\alpha_r = c p^k T^m \quad (1)$$

где  $c$  – объединяет постоянные величины, характерные для формулы  $\alpha_r$  и соответствующей скорости поршня  $c_p$ ;

$p$  – давление газов в цилиндре, МПа;

$T$  – температура газов в цилиндре, °К;

В координатах  $\alpha_r - \phi$  (мгновенное значение коэффициента теплоотдачи — угол поворота коленчатого вала) с учетом кинематических соотношений получаем уравнения, интегрирование которых в конечных формах осуществить нельзя. Для получения интегрируемых уравнений воспользуемся переходом к координатам  $\alpha_r - V$  (мгновенное значение коэффициента теплоотдачи – объем).

Тогда для определения среднего за такт коэффициента теплоотдачи можно применять выражение (2)

$$\alpha_{r,CP} = \frac{1}{\pi} \int_1^2 \alpha_r d\phi = \frac{1}{V_h} \int_1^2 \alpha_r dV = \frac{c}{V_h} \int_1^2 p^k T^m d\phi \quad (2)$$

Здесь  $V_h$  – рабочий объем цилиндра, м<sup>3</sup>.

Рассмотрим интегрирование полученного выражения применительно к такту сжатия с использованием термодинамических связей:

$$p = \frac{p_1 V_1^{n_1}}{V^{n_1}} \quad u \quad T = \frac{pV}{GR} \quad (3)$$

где  $G$  – масса газа;

$R$  – газовая постоянная

Тогда получим (4)

$$\begin{aligned} \alpha_{Г.ср} &= \frac{c}{V_h} \int_2^1 \frac{p_1^k V_1^{n_1 k}}{V^{n_1 k}} p^m V^m \frac{dV}{(GR)^m} = \frac{c}{V_h} \int_2^1 \frac{p_1^k V_1^{n_1 k}}{V^{n_1 k}} \frac{p_1^m V_1^{n_1 m}}{V^{n_1 m}} \cdot \frac{V^m}{(GR)^m} = \\ &= \frac{c}{V_h} \frac{p_1^{k+m} \cdot V_1^{n_1 k - n_1 m}}{(GR)^m} \int_2^1 V^{m - n_1 k - n_1 m} dV = \frac{c}{V_h} \frac{p_1^{k+m} \cdot V_1^{n_1 k - n_1 m}}{(GR)^m} \left( \frac{V_1^{1+m - n_1 m - n_1 k} - V_2^{1+m - n_1 m - n_1 k}}{1 - m - n_1 m - n_1 k} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

В частном случае, например, для мгновенного коэффициента теплоотдачи по формуле Эйхельберга, где  $c = 7,7\sqrt[3]{c_{II}}$ ,  $k=0,5$  и  $m=0,5$ , имеем (5)

$$\alpha_{z.ср} = \frac{7,7\sqrt[3]{c_n} p_1 V_1^{n_1}}{V_h \sqrt{GR}} \left( \frac{V_1^{1,5 - n_1} \cdot V_2^{1,5 - n_1}}{1,5 - n_1} \right) \quad (5)$$

Расчет показателей специального рабочего цикла возможен при определении  $\alpha_{Г.ср}$  по формуле Эйхельберга. Показатель политропы расширения в специальном цикле определялся на основе зависимостей, приведенных в работе [7].

При этом в цикле с одноразовой подачей топлива ( $\Delta q_{ц1}=0,8\Delta q_{цн}$ ) средняя температура  $T_{Г.ср}$  получена  $802^\circ \text{K}$ , а в специальном цикле с двухразовой подачей топлива ( $\Delta q_{ц1}=0,8\Delta q_{цн}$ ) ( $\Delta q_{ц2}=0,3\Delta q_{цн}$ )  $T_{Г.ср}=857^\circ \text{K}$ , соответственно средние значения коэффициентов теплоотдачи получены  $235 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{K})$  и  $271 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{K})$ , температура носка распылителя  $186^\circ\text{C}$  и  $202^\circ\text{C}$ .

Расчет температуры носка распылителя производился на основе зависимостей, приведенных в работе [8].

При отработке метода ускоренного диагностирования коксования выбран такой тепловой режим распылителя, при котором его закоксовывание до предельного состояния ( $K_k=25\%$ ) происходит за 5 ч.

Соотношение цикловых подач основного и дополнительного насосов составило  $\Delta q_{ц1}=0,8\Delta q_{цн}$ ; ( $\Delta q_{ц2}=0,3\Delta q_{цн}$ , углов начала подачи топлива  $\Theta_1=opt$ ,  $\Theta_2 = 5^\circ$  п.к.в. после ВМТ. По сравнению с существующим методом продолжительность ускоренного диагностирования закоксовывания сокращена в 2– 2,5 раза.

Экспериментальные исследования, проведенные на данном режиме работы двигателя с 4-кратной повторностью, показали, что изменение среднего эффективного проходного сечения распылителя  $\mu_f$  за 5 ч ускоренного коксования составило для испытываемой форсунки первого цилиндра 25,6% и для испытываемой форсунки четвертого цилиндра 30,2%.

Достоверность опыта оценивалась коэффициентом варьирования  $V$  и относительной ошибкой опыта  $S_x$  с уровнем достоверности 95%; при этом их значения оказались ниже допустимых.

Коксование распылителей проводилось при работе двигателя с нагрузкой на корректорной ветви характеристики при частоте вращения  $1600 \text{ мин}^{-1}$ .

Раскоксовывание распылителей проводилось без разборки и снятия испытываемых форсунок с двигателя. При этом использовался метод, основанный на использовании топливо-водяной эмульсии. Для реализации комплексного метода ускоренных испытаний форсунок режим раскоксовывания выбран с учетом повышенной температуры распылителя испытываемой форсунки.

Приготовление топливно-водяной эмульсии проводилось в течение 30 мин механическим способом на специальном стенде, который включен в общую схему экспериментальной установки.

Состав эмульсии: 83% дизельного топлива, 15% воды, 2% эмульгатора.

Применение топливно-водяной эмульсии в качестве топлива на

работающем двигателе допустимо при условии получения эмульсии с присутствием воды в виде мельчайшей дисперсии (5÷10 мкм), что возможно сделать с помощью ультразвука или механическим путем, смешивая воду с топливом в присутствии эмульгатора.

Эффект раскоксовывания наблюдается при наличии воды в топливе до 5%, хотя повышение содержания воды в эмульсии способствует интенсификации процесса раскоксовывания, но с увеличением содержания воды стабильность эмульсии уменьшается.

Процесс раскоксовывания распылителей форсунок длится 10÷30 мин в зависимости от режима работы двигателя (крайние значения времени раскоксовывания равны соответственно номинальной нагрузке двигателя и работе двигателя на холостом ходу).

При движении эмульсии в сопловом канале распылителя происходит теплообмен между стенками канала и жидкостью, а также наблюдается выделение теплоты за счет диссипации механической энергии. Тогда тепловое состояние потока может быть выражено уравнением теплового баланса (6):

$$F\rho c_{ж} dx dT = dq_{д} dx + \alpha_c \Pi (T_c - T_s) dx d\tau, \quad (6)$$

где  $F$  – площадь сечения канала,  $m^2$ ;

$\rho$  – плотность потока жидкости,  $kg/m^3$ ;

$c_{ж}$  – удельная теплоемкость жидкости,  $Dж/(кг \cdot K)$ ;

$dx$  – элементарный участок длины потока,  $m$ ;

$dT$  – изменение температуры на элементарном участке длины потока,  $K$ ;

$dq_{д}$  – теплота, выделяемая при диссипации механической энергии потока,  $Dж/m$ ;

$\alpha_c$  – коэффициент теплоотдачи от стенки соплового канала распылителя к потоку жидкости,  $Dж/(m^2 \cdot c \cdot K)$ ;

$\Pi$  – периметр соплового канала распылителя, м;

$T_c$  – температура стенки соплового канала распылителя, К;

$T_3$  – температура эмульсии, К;

$d\tau$  – элементарный промежуток времени процесса теплообмена, с.

$$F\rho c_{ж} \frac{dT}{d\tau} = \frac{dq_{Д}}{d\tau} + \alpha_c \Pi (T_c - T_3) \quad \text{или} \quad (7)$$

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{1}{F\rho c_{ж}} \cdot \frac{dq_{Д}}{d\tau} + \frac{1}{F\rho c_{ж}} \cdot \alpha_c \Pi (T_c - T_3)$$

Разделив правую и левую часть уравнения (6) на  $dx$  и  $d\tau$ , получим:

Если  $d\tau = \frac{dx}{\bar{\omega}}$ , где  $\bar{\omega}$  – средняя скорость потока жидкости по сечению

канала, м/с, равная:

$$\bar{\omega} = \sqrt{\frac{1}{4} \frac{\alpha_c R}{\eta} (T_c - T_0)} \quad (8)$$

где  $R$  – радиус соплового канала, м;

$\eta$  – коэффициент динамической вязкости, Па·с;

$T_0$  – температура эмульсии в начале соплового канала, К, а

$\frac{dq_{Д}}{d\tau} = 8\pi\eta\bar{\omega}^2$ , то уравнение (7) примет следующий вид после подстановки

$d\tau = \frac{dx}{\bar{\omega}}$ ,  $\frac{dq_{Д}}{d\tau} = 8\pi\eta\bar{\omega}^2$  и деление левой и правой части уравнения на  $\bar{\omega}$ :

$$\frac{dT}{dx} = \frac{8\pi\eta\bar{\omega}}{F\rho c_{ж}} + \frac{1}{\bar{\omega}F\rho c_{ж}} \cdot \alpha_c \Pi (T_c - T_3) \quad (9)$$

Перейдя к конечным разностям и сделав ряд преобразований, получим

$$T_3 - T_0 = \frac{8\pi\eta\bar{\omega}}{F\rho c_{ж}} \Delta x + \frac{1}{\bar{\omega}F\rho c_{ж}} \cdot \alpha_c \Pi (T_c - T_3) \Delta x \quad (10)$$

Решив уравнение (10) относительно  $T_3$ , найдем температуру эмульсии с учетом подвода тепла от поверхности канала распылителя и от диссипации механической энергии

$$T_3 = \frac{1}{\bar{\omega}F\rho_{c_{жс}} + \alpha_c\Pi\Delta x} (T_o\bar{\omega}F\rho_{c_{жс}} + 8\pi\eta\bar{\omega}^2\Delta x + \alpha_c\Pi\Delta xT_c) \quad (11)$$

Падение давления в сопловом канале распылителя и повышение температуры эмульсии способствуют испарению капель воды, что приводит к образованию паровых пузырьков. Давление пара в пузырьке больше давления окружающей среды, т.е. больше давление жидкости. При этом скачек давления на поверхности раздела жидкой и паровой фазы может быть рассчитан по формуле Лапласа (12)

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R} \quad (12)$$

где  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м;

$R$  – радиус парового пузырька, м.

Так как эмульсия содержит в своем составе мельчайшие частицы и газовые пузырьки, что является центром образования паровых пузырьков, то превышение давления в пузырьке, содержащем пар и газ, можно рассчитать по формуле (13)

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R} - p_r \quad (13)$$

где  $p_r$  – давление газа, Па.

Учитывая, что испарение капелек воды в сопловом канале распылителя идет в ограниченном объеме, то возникает деформация паровых пузырьков, способствующая вытеснению топлива из зазора между корпусом распылителя и иглой (у штифтовой форсунки), что улучшает условия смесеобразования и исключает коксообразование.

Раскоксовывание проводилось на холостом ходу с частотой вращения коленчатого вала двигателя  $1600 \text{ мин}^{-1}$ . В исследованиях осуществлялось 4 повторяющихся цикла закоксовывания и раскоксовывания распылителей, которые соответствуют полному использованию моторесурса форсунок применительно к условиям эксплуатации.



В каждом последующем цикле интенсивность коксования распылителя увеличивается, а процесс раскоксовывания усложняется (рисунок 1).

С увеличением количества циклов увеличивается степень остаточной закоксованности распылителей. Так, после четвертого цикла коэффициент коксования распылителей  $K_k$  составил для 1-й форсунки 4%, а для 4-й 5%.

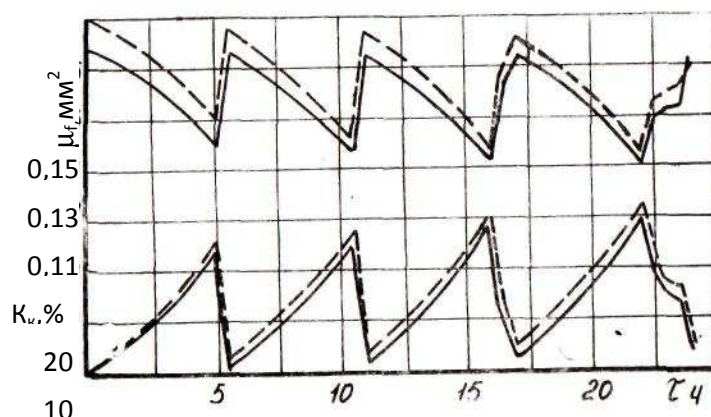


Рисунок 1 - Изменение эффективного проходного сечения  $\mu_f$  и коэффициента коксования  $K_k$  в зависимости от времени ускоренных испытаний: — — форсунка 1; - - - - - форсунка 4

Разработанный комплексный метод ускоренного диагностирования форсунок на коксование по суммарным показателям закоксовывания и раскоксовывания [10, 11] позволяет оценить полный ресурс работы распылителя. При сравнении с эксплуатационным циклом закоксовывания и раскоксовывания распылителей с учетом корреляционных связей можно оценивать надежность форсунок и прогнозировать их ресурс работы на основе комплексного метода ускоренных моторных испытаний.

### Список литературы

1. Диагностика современного автомобиля / Ю. Н. Храпов, И. А. Успенский, Г. Д. Кокорев [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 118. – С. 1001-1025.
2. Кокорев Г.Д. Тенденции развития системы технической эксплуатации автомобильного транспорта / Кокорев Г.Д., Успенский И.А., Николотов И.Н. // В Международная научно-производственная конференция ПГСХА, Пенза. 2009. С. 135-138.

3. Перспективы повышения эксплуатационных показателей транспортных средств при внутрихозяйственных перевозках плодоовощной продукции / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №04(078). С. 475 – 486. – IDA [article ID]: 0781204041. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/41.pdf>, 0,75 у.п.л.

4. Повышение эксплуатационно-технологических показателей транспортной и специальной техники на уборке картофеля / Г.К. Рембалович, Н.В. Бышов, С.Н. Борычев и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №04(088). С. 509 – 518. – IDA [article ID]: 0881304034. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/34.pdf>, 0,625 у.п.л.

5. Повышение эффективности эксплуатации автотранспорта и мобильной сельскохозяйственной техники при внутрихозяйственных перевозках / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №04(088). С. 519 – 529. – IDA [article ID]: 0881304035. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/35.pdf>, 0,688 у.п.л.

6. Современная концепция обслуживания и ремонта машин / Соловьев Р.Ю., Михлин В.М., Колчин А.В. // Техника в сельском хозяйстве. 2008. № 1. С. 12-16.

7. Ждановский Н.С, Николаенко А.В., Зуев В.П., Беляков В.В. Комплексный метод ускоренных испытаний форсунок дизелей на отказ по причине коксования.- «Двигателестроение», 1979, № 10.

8. Ждановский Н.С, Николаенко А.В. Надежность и долговечность автотракторных двигателей. Л., «Колос», 1974.

9. Успенский И.А. Место и роль диагностирования в системе технической эксплуатации мобильного транспорта в сельском хозяйстве / И.А. Успенский, Г.Д. Кокорев, С.Н. Гусаров // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования: материалы международной научно-практической конференции ППС, научных сотрудников и аспирантов СПбГАУ, Ч.1, Санкт-Петербург – Пушкин, 24 – 26 января 2013г. – Спб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. с. 333-336.

10. Диагностирование дизельных двигателей автотракторной техники: учебное пособие / Шемякин А.В., Борычев С.Н., Данилов И.К., Марусин А.В., и др. – Рязань: Изд. ФГБОУ ВО РГАТУ, 2021. – 130 с.

11. Перспективы технической эксплуатации мобильных средств сельскохозяйственного производства / Борычев С.Н., Успенский И.А., Шемякин А.В. и др. Рязань: Изд. ФГБОУ ВО РГАТУ, 2015. – 192 с.

### References

1. Diagnostika sovremennogo avtomobilja / Ju. N. Hrapov, I. A. Uspenskij, G. D. Kokorev [i dr.] // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 118. – S. 1001-1025.

2. Kokorev G.D. Tendencii razvitija sistemy tehnicheskoj jekspluatacii avtomobil'nogo transporta / Kokorev G.D., Uspenskij I.A., Nikolotov I.N. // V Mezhdunarodnaja nauchno-proizvodstvennaja konferencija PGSHA, Penza. 2009. S. 135-138.

3. Perspektivy povyshenija jekspluacionnyh pokazatelej transportnyh sredstv pri vnutrihozajstvennyh perevozkah plodoovoshhnoj produkcii / N.V. Byshov, S.N. Borychev,

I.A. Uspenskij i dr. // Politematiceskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2012. – №04(078). S. 475 – 486. – IDA [article ID]: 0781204041. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/41.pdf>, 0,75 u.p.l.

4. Povyshenie jekspluacionno-tehnologicheskikh pokazatelej transportnoj i special'noj tehniki na uborke kartofelja / G.K. Rembalovich, N.V. Byshov, S.N. Borychev i dr. // Politematiceskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – №04(088). S. 509 – 518. – IDA [article ID]: 0881304034. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/34.pdf>, 0,625 u.p.l.

5. Povyshenie jeffektivnosti jekspluacii avtotransporta i mobil'noj sel'skohozjajstvennoj tehniki pri vnutrihozjajstvennyh perevozkah / N.V. Byshov, S.N. Borychev, I.A. Uspenskij i dr. // Politematiceskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – №04(088). S. 519 – 529. – IDA [article ID]: 0881304035. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/35.pdf>, 0,688 u.p.l.

6. Sovremennaja koncepcija obsluzhivaniya i remonta mashin / Solov'ev R.Ju., Mihlin V.M., Kolchin A.V. // Tehnika v sel'skom hozjajstve. 2008. № 1. S. 12-16.

7. Zhdanovskij N.S, Nikolaenko A.V., Zuev V.P., Beljakov V.V. Kompleksnyj metod uskorenyh ispytanij forsunok dizelej na otkaz po prichine koksovanija.- «Dvigatelsestroenie», 1979, № 10.

8. Zhdanovskij N.S, Nikolaenko A.V. Nadezhnost' i dolgovechnost' avtotraktornyh dvigatelej. L., «Kolos», 1974.

9. Uspenskij I.A. Mesto i rol' diagnostirovaniya v sisteme tehniceskoy jekspluacii mobil'nogo transporta v sel'skom hozjajstve / I.A. Uspenskij, G.D. Kokorev, S.N. Gusarov // Nauchnoe obespechenie razvitija APK v uslovijah reformirovaniya: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii PPS, nauchnyh sotrudnikov i aspirantov SPbGAU, Ch.1, Sankt-Peterburg – Pushkin, 24 – 26 janvarja 2013g. – Spb. : Izd-vo Politehn. un-ta, 2013. s. 333-336.

10. Diagnostirovanie dizel'nyh dvigatelej avtotraktornoj tehniki: uchebnoe posobie / Shemjakin A.V., Borychev S.N., Danilov I.K., Marusin A.V., i dr. – Rjazan': Izd. FGBOU VO RGATU, 2021. – 130 s.

11. Perspektivy tehniceskoy jekspluacii mobil'nyh sredstv sel'skohozjajstvennogo proizvodstva / Borychev S.N., Uspenskij I.A., Shemjakin A.V. i dr. Rjazan': Izd. FGBOU VO RGATU, 2015. – 192 s.