

**МЕРТВЫЙ ХОД ПЛУНЖЕРА КАК ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТР
ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ТИПА****Доброхотов Ю.Н., Иванчиков Ю.В., Васильев А.О., Андреев Р.В.**

Реферат. В работе предложено устройство для замера мертвого хода плунжеров насоса распределительного типа. Приведены показатели мертвого хода плунжеров насосных секций топливного насоса НД-22/6. В результате статистической обработки полученных данных установлено наличие корреляционной связи между значениями мертвого хода плунжеров насосных секций. Предложено использовать значения мертвого хода плунжеров как диагностический параметр технического состояния насосов распределительного типа.

Ключевые слова: насосная секция, плунжер, механизм вращения, мертвый ход, корреляционная связь, диагностический параметр.

Введение. В топливных насосах с многоплунжерными секциями, как известно, в процессе эксплуатации быстро нарушается равномерность подачи топлива по отдельным цилиндрам и изменяется угол опережения впрыска, в результате чего ухудшаются показатели рабочего процесса в отдельных цилиндрах дизеля. В связи с этим возникает необходимость постоянной регулировки топливных насосов высокого давления этих систем, что усложняет техническую эксплуатацию дизеля и его обслуживание. Кроме того, стоимость изготовления многоплунжерных топливных насосов достаточно высокая. По данным [1], затраты на изготовление плунжерных пар и других прецизионных деталей составляют 25...30% всех затрат по производству топливной аппаратуры.

Поэтому проводятся работы по созданию топливных систем с минимальным количеством плунжерных пар. К таким системам относятся системы распределительного типа. Основным элементом их является распределительный топливный насос высокого давления, в котором используют одну плунжерную прецизионную пару для обслуживания ряда, а иногда и всех цилиндров дизеля.

В настоящее время в народном хозяйстве широкое распространение получили топливные насосы распределительного типа НД-22/6. В связи с тенденцией перехода автомобильного парка страны на дизельные двигатели, с ростом количества тракторов и комбайнов, на которые устанавливаются дизельные двигатели с насосами данного типа, в дальнейшем их роль еще больше возрастает. По этой причине встает задача не только увеличения выпуска таких насосов, но и правильной их эксплуатации и ремонта [2,3].

Изучение вопроса ремонта насосов НД-22/6 показало, что ремонт их сводится в основном к замене насосных секций высокого давления. При отсутствии явных дефектов, заметных при визуальном осмотре, таких, как

поломка зубьев шестерен, срез шпонок, повреждение резьбы, разрушение подшипников и т.п., механизм вращения плунжеров устанавливается на отремонтированный насос без специального контроля состояния его элементов или же, его состояния в целом [4,5].

В специальной научной литературе также, главным образом, преобладают сведения об исследовании насосных секций, а механизму вращения плунжеров уделяется недостаточное внимание.

Установка на отремонтированный насос новых насосных секций в сочетании с изношенным механизмом вращения плунжеров без учета его состояния может не дать должного ожидаемого эффекта и возможности (равномерность подачи топлива по цилиндрам, стабильность цикловой подачи, скоростные характеристики, ресурс и др.), заложенные в новых насосных секциях, могут быть не полностью реализованы [6].

Механизм вращения плунжеров у данных насосов включает четыре цилиндрических и одну коническую пару шестерен, сопряжение в виде плоского паза для передачи вращения от кулачкового вала к эксцентриковому валу, и два прямоугольных сопряжения для непосредственной передачи вращения плунжерам от зубчатых втулок. В ходе эксплуатации насоса каждая зубчатая пара и сопряжение изнашиваются, что ведет к увеличению мертвого хода механизма вращения плунжеров. При этом обобщающим показателем, характеризующим состояние механизма вращения плунжеров, может являться величина мертвого хода плунжеров.

Условия, материалы и методы исследований. Зная предельное и допустимое значение мертвого хода плунжеров [7], можно сделать соответствующие выводы о целесообразности дальнейшей эксплуатации или ремонта механизма привода. Исходя из этого, с целью определения состояния механизма вращения плунжеров у насосов, находящихся в эксплуа-

тации, нами были измерены мертвый ход плунжеров в 52 топливных насосах НД-22/6, поступивших на ремонт в специализированную мастерскую ОАО «Янтиковское РТП». Устройство для замера мертвого хода представлено на рисунке 1.

Мертвый ход плунжеров замерялся по следующей схеме. На автоматическую муфту опережения впрыска топлива устанавливался градусный лимб ценой деления в один градус. Против градусного диска устанавливалась неподвижная стрелка, которая закреплялась на установочной плите насоса. Предварительно удалив у соответствующей втулки 1 плунжера 2 три штуцера и пробку, на втулку 1 устанавливался корпус 3 приспособления с подвижным кольцом 4. На осевое отверстие плунжера 2 устанавливалась Г-образная стрелка 5. Специальным воротком кулачковый вал насоса проворачивался против часовой стрелки на 360° для выбора люфта в механизме вращения. Поворот контролировался по неподвижной стрелке и градусному лимбу на муфте. После этого подвижное кольцо 4 устанавливалась нанесенной на нем нулевой риски против указателя 6 Г-образной стрелки. Для удобства наблюдения Г-образную стрелку необходимо на плунжер установить таким образом, чтобы она после поворота кулачкового вала против часовой стрелки на 360° оказалась примерно по оси насоса в сторону наблюдателя. Поворачивая кулачковый вал на 360° по часовой стрелке до тех пор, пока Г-образная стрелка не станет снова против нулевой отметки риски на подвижном кольце 4, фиксировали по градусному лимбу новое относительное положение неподвижной стрелки и градусного лимба.

Из-за наличия люфта в механизме враще-

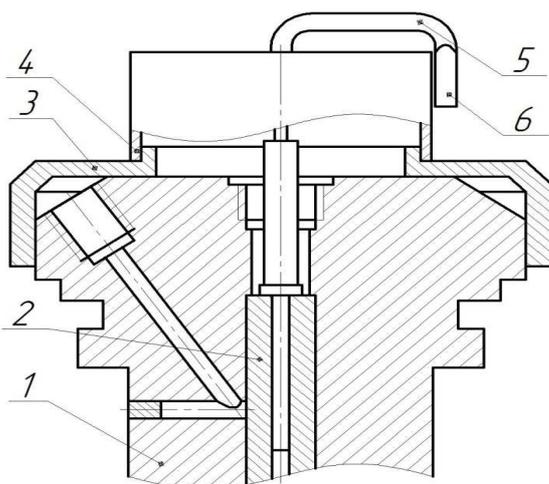


Рисунок 1 – Устройство для замера мертвого хода плунжера:

1 – втулка, 2 – плунжер, 3 – корпус приспособления, 4 – кольцо подвижное, 5 – стрелка Г-образная, 6 – указатель Г-образной стрелки

ния плунжеров первоначальное и новое относительное положение неподвижной стрелки и градусного лимба не совпадают. Разница первоначального и нового положения неподвижной стрелки по градусному лимбу укажет величину мертвого хода соответствующего плунжера в градусах. Так как передаточное отношение от кулачкового вала к плунжерам первой и второй насосных секций равняется единице, то дополнительного пересчета не требуется.

На рисунке 2 приведены результаты замеров мертвого хода плунжера первой и второй насосных секций. Для удобства дальнейшей обработки данные представлены графически в виде пар значений $(x_i; y_i)$, по оси абсцисс отложено значение X мертвого хода плунжера первой насосной секции, по оси ординат – значение Y мертвого хода плунжера второй насосной секции. Цифры в клетках указывают количество пар значений X и Y , попадающих в данную клетку. В таблицах 1 и 2 приведены статистические ряды информации мертвого хода плунжеров соответственно для первой и второй насосных секций.

Результаты обработки данных (среднеарифметические значения \bar{x}, \bar{y} , среднеквадратические отклонения G_x, G_y и коэффициенты вариации – V_x, V_y) приведены соответственно на рисунках 3 и 4.

Значение коэффициента вариации обеих секций меньше 0,33, что дает основание полагать, что распределение значений мертвого хода подчиняется нормальному закону. На рисунках 3 и 4 приведены также теоретические и эмпирические кривые распределения вероятностей мертвого хода плунжеров первой и второй насосных секций.

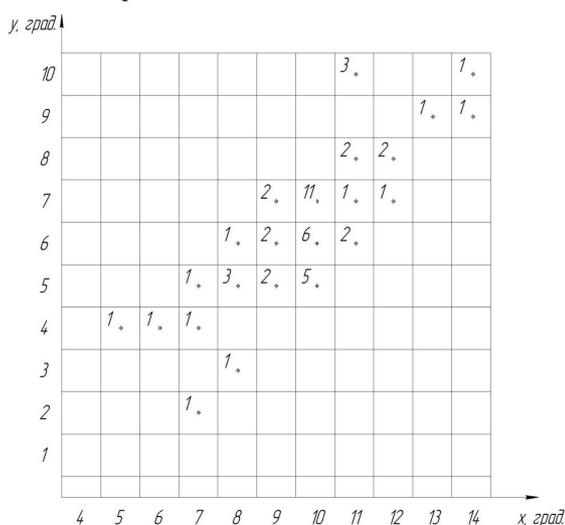


Рисунок 2 – Показатели мертвого хода плунжеров насосных секций:

x – значение мертвого хода плунжера первой секции, град; y – значение мертвого хода плунжера второй секции, град

Таблица 1 – Статистический ряд информации мертвого хода плунжера первой секции

Интервалы в градусах	4,28-5,56	5,56-6,84	6,84-8,12	8,12-9,40	9,40-10,68	10,68-11,96	11,96-13,24	13,24-14,52
Середина интервала	4,92	6,20	7,48	8,76	10,04	11,32	12,60	13,88
m_i (опытная частота)	1	1	8	6	22	8	4	2
P_i (опытная вероятность)	0,0192	0,0192	0,1538	0,1154	0,4231	0,1538	0,0769	0,0385
ΣP_i (накоп. опыт. вер.)	0,0192	0,0384	0,1922	0,3076	0,7307	0,8845	0,9614	0,9999

Таблица 2 – Статистический ряд информации мертвого хода плунжера второй секции

Интервалы в градусах	1,57-2,71	2,71-3,85	3,85-4,99	4,99-6,13	6,13-7,27	7,27-8,41	8,41-9,55	9,55-10,69
Середина интервала	2,14	3,28	4,42	5,56	6,70	7,84	8,98	10,12
m_i (опытная частота)	1	1	3	22	15	4	2	4
P_i (опытная вероятность)	0,0192	0,0192	0,0577	0,4231	0,2885	0,0769	0,0385	0,0769
ΣP_i (накоп. опыт. вер.)	0,0192	0,0384	0,0961	0,5192	0,8077	0,8846	0,9231	1,0000

Вероятность совпадения опытного и теоретического значений данных определялась законом распределения критерия согласия Колмогорова λ . В нашем случае для обеих секций $P(\lambda) = 0,71$, что можно считать вполне удовлетворительным.

На производстве непосредственное определение мертвого хода плунжеров вышеизложенным способом или другими существующими способами представляет довольно трудоемкий процесс. В связи с этим представляет интерес определение мертвого хода одного из плунжеров через известное значение другого. При расчетах использовалась известная методика [8].

Для расчета статистических силовых характеристик составлена корреляционная таблица 3 с использованием данных рисунка 1.

Пользуясь таблицей 3, определяем эмпирические дисперсии S_x, S_y , а также коэффициент корреляции r_{xy} по формулам:

$$S_x = \sqrt{\frac{d_x^2}{n-1} \cdot \left(Q_x - \frac{P_x^2}{n} \right)} = \sqrt{\frac{1}{52-1} \cdot \left(155 - \frac{81}{52} \right)} = 1,73; \quad (1)$$

$$S_y = \sqrt{\frac{d_y^2}{n-1} \cdot \left(Q_y - \frac{P_y^2}{n} \right)} = \sqrt{\frac{1}{52-1} \cdot \left(171 - \frac{961}{52} \right)} = 1,73; \quad (2)$$

$$r_{xy} = \frac{d_x \cdot d_y}{(n-1) \cdot S_x \cdot S_y} \cdot \left(L_{xy} - \frac{P_x \cdot P_y}{n} \right) = \frac{1}{(52-1) \cdot 1,73 \cdot 1,73} \cdot \left(124 - \frac{9 \cdot 31}{52} \right) = 0,77. \quad (3)$$

В уравнениях 1...3 приняты следующие обозначения:

d_x и d_y – ширина интервалов соответственно по оси X и Y ;

n – количество пар значений x_i и y_i (объем наблюдений).

$$P_x = \sum_{i=1}^k h_i \cdot e_i; \quad P_y = \sum_{j=1}^l h_j \cdot e_j$$

$$Q_x = \sum_{i=1}^k h_i \cdot e_i^2; \quad Q_y = \sum_{j=1}^l h_j \cdot e_j^2,$$

где k и l – количество интервалов соответственно по оси X и Y .

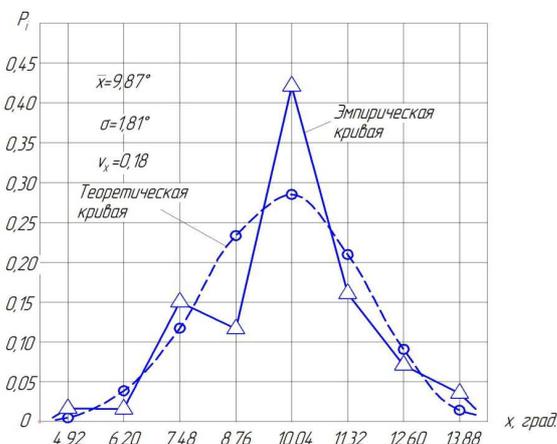


Рисунок 3 – график распределения вероятности мертвого хода плунжера первой насосной секции

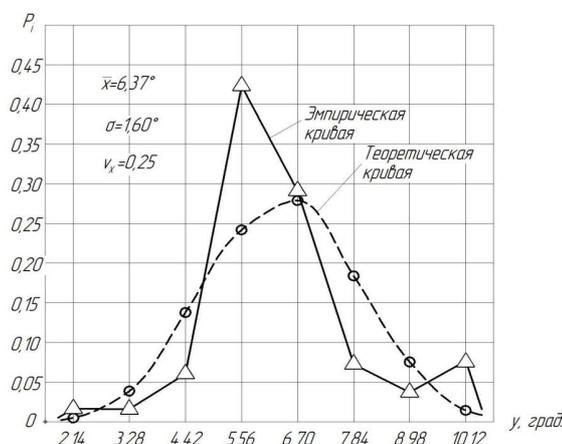


Рисунок 4 – график распределения вероятности мертвого хода плунжера второй насосной секции

Таблица 3 – Корреляционная связь показателей мертвого хода плунжеров насосных секций

Вторая секция (признак – У) $d_y=1,0^0$; $l=9,0$	V_i	Первая секция (признак – х) $d_x=1,0^0$; $k=10,0$										h_j	I_j	$h_i \cdot I_j$	$h_i \cdot I_j^2$
		4,5-5,5	5,5-6,5	6,5-7,5	7,5-8,5	8,5-9,5	9,5-10,5	10,5-11,5	11,5-12,5	12,5-13,5	13,5-14,5				
		u_i													
		5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0				
1,5-2,5	2,0											1	-5	-5	25
2,5-3,5	3,0											1	-4	-4	16
3,5-4,5	4,0											3	-3	-9	27
4,5-5,5	5,0			1/15	1/8							11	-2	-22	44
5,5-6,5	6,0			1/9		2/4		2/-2				11	-1	-11	11
6,5-7,5	7,0	1/15	1/12	1/16	3/12	2/2	5/0	1/0				15	0	0	0
7,5-8,5	8,0			1/16	1/2	2/0	6/0	2/2	1/0			4	1	4	4
8,5-9,5	9,0						11/0		2/4	1/6	1/8	2	2	4	8
9,5-10,5	10,0							3/9			1/12	4	3	12	36
h_i		1	1	3	5	6	22	8	3	1	2	n=52		$P_y=$	$Q_y=$
l_i		-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4			=31	=171
$h_i \cdot l_i$		-5	-4	-9	-10	-6	0	8	6	3	8	$P_x=-9$	$L_{xy}=124$		
$h_i \cdot l_i^2$		25	16	27	20	6	0	8	12	9	32	$Q_x=155$			

Коэффициент корреляции $r_{xy} = 0,77$, что указывает на наличие положительной корреляционной связи между значениями мертвого хода плунжеров первой и второй насосных секций.

Статистическая гипотеза $H_0: r_{xy} = 0$ о независимости значений X и Y опровергается, что говорит о наличии линейной зависимости между X и Y , т.к.:

$$T = \frac{r_{xy} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}} = \frac{0,77 \sqrt{52-2}}{\sqrt{1-0,77^2}} = 8,48, \quad (4)$$

где T – реализация выборочной функции;
 $\alpha = 0,01$ (вероятность ошибки или уровень значимости);

$$m = 50 \text{ (степень свободы), } m = n - 2;$$

$t_{0,01;50} \sim t_{0,01;60} = 2,66$; так как $T = 8,48 > 2,66$, гипотеза $H_0: r_{xy} = 0$ должна быть опровергнута.

Уравнение линейной корреляционной связи в общем виде:

$$\tilde{y} = \bar{y} + \tilde{b} (x - \bar{x}) \quad (5)$$

где \bar{x} и \bar{y} – среднеарифметические значения мертвого хода плунжеров соответственно первой и второй насосных секций.

Так как $\bar{x} = 9,97^0$; $\bar{y} = 6,3^0$; имеем;

$$\tilde{b} = \rho_{xy} \cdot \frac{S_y}{S_x} = 0,77 \cdot \frac{1,73}{1,73} = 0,77^0, \quad (6)$$

Подставляя полученные значения \bar{x} и \bar{y} и \tilde{b} в формулу 5, получим:

$$\tilde{y} = 0,77 x - 1,23. \quad (7)$$

Установленная корреляционная связь (7) с достоверностью позволяет определить значение мертвого хода плунжера второй насосной секции через известное значение мертвого хода плунжера первой насосной секции.

Выводы.

1. При эксплуатации топливных насосов распределительного типа НД-22/6 происходит износ элементов кинематической цепи вращения плунжеров, в результате чего возрастает мертвый ход плунжеров первой и второй насосных секций. С целью уменьшения трудоемкости дефектовочных операций при ремонте рекомендуется вначале определить мертвый ход плунжеров и по их значению судить об общем состоянии механизма вращения плунжеров.

2. Установлены пределы изменения и найдены статистические характеристики значений мертвого хода плунжеров первой и второй насосных секций топливных насосов.

3. Выявленная линейная корреляционная зависимость между значениями мертвого хода плунжеров первой и второй насосных секций позволяет достаточно точно прогнозировать по известному значению мертвого хода одного из плунжеров значение мертвого хода другого плунжера и механизма вращения плунжеров в целом.

Литература

1. Лышевский А. С. Система питания дизелей. – М.: Машиностроение, 1981. – 216 с.
2. Адигамов Н.Р., Шарифуллин С.Н. Комплексное решение проблем восстановления топливной аппаратуры дизелей // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – 2008. - №2. – С.16-18.
3. Шарифуллин С.Н., Адигамов Н.Р. Пути повышения эффективности работы топливной аппаратуры автотракторных дизельных двигателей. – Казань, изд-во Казан. гос. ун-та, 2008. – 296 с.
4. Новиков А.М., Иванчиков Ю.В., Лебедев В.Г., Доброхотов Ю.Н. Оптимизация параметров механизма привода стэнда для обкатки топливopпрыскивающего насоса // Научно-образовательная среда как основа развития агропромышленного комплекса и социальной инфраструктуры села. – Чебоксары. 2016.- С. 458-463.
5. Иванчиков Ю.В., Илюшкин А.Г. Применение вакуумных покрытий для восстановления прецизионных деталей дизельной топливной аппаратуры // Труды ГОСНИТИ. – 2008. – Т. 101. – С. 153-155.
6. Новиков А.М., Иванчиков Ю.В., Лебедев В.Г., Доброхотов Ю.Н. Оптимизация параметров передаточного механизма многозвенного механизма для обкатки топливopпрыскивающего насоса // Продовольственная безопасность и устойчивое развитие АПК. – Чебоксары, ЧГСХА, 2015.- С. 642-646.
7. Савиных П.А., Палицын А.В. Применение устройства индивидуального учета расхода топлива при эксплуатации машинно-тракторных агрегатов // Продовольственная безопасность и устойчивое развитие АПК. – Чебоксары, ЧГСХА, 2015.- С. 659-663.
8. Белов В.В. Математические модели как основа экспериментальных исследований и прогнозирования характеристик объектов исследований // Известия Международной академии аграрного образования. – 2012. Т. 1. . – № 13. – С. 26-28.

Сведения об авторах:

Доброхотов Юрий Николаевич – доцент

Иванчиков Юрий Васильевич – кандидат технических наук, доцент

Васильев Александр Олегович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: 3777222@bk.ru

Андреев Роман Викторович – кандидат технических наук

ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», г. Чебоксары, Чувашская Республика, Россия.

LOST MOTION OF PLUNGER AS A DIAGNOSTIC PARAMETER OF FUEL PUMPS OF DISTRIBUTION TYPE

Dobrokhotoy Yu.N., Ivanschikov Yu.V., Vasilev A.O., Andreev R.V.

Abstract. A device for measuring the lost motion of plungers of a distribution type pump is proposed. The indices of plungers' lost run of pump sections of the fuel pump ND-22/6 are given. As a result of statistical processing of the obtained data, a correlation was established between the values of the lost motion of plungers of the pump sections. It is proposed to use the plunger's lost motion values as a diagnostic parameter of the technical state of the distribution-type pumps.

Key words: pump section, plunger, rotation mechanism, lost motion, correlation link, diagnostic parameter.

References

1. Lyshevskiy A. S. *Sistema pitaniya dizeley*. [Power supply system for diesel engines] – М.: Mashinostroyeniye, 1981. – P. 216.
2. Adigamov N.R., Sharifullin S.N. Complex solution of fuel equipment restoration problems of diesel engines. [Kompleksnoe reshenie problem vosstanovleniya toplivnoy apparatury dizeley]. // *Vestnik KGTU im. A.N. Tupoleva*. – The Herald of KSTU named after A.N. Tupolev. 2008. - №2. – P. 16-18.
3. Sharifullin S.N., Adigamov N.R. *Puti povysheniya effektivnosti raboty toplivnoy apparatury avtotraktornykh dizelnykh dvigateley*. [Ways to improve the efficiency of fuel equipment of automotive diesel engines]. – Kazan, izd-vo Kazan. gos. un-ta, 2008. – P. 296.
4. Novikov A.M., Ivanschikov Yu.V., Lebedev V.G., Dobrokhotoy Yu.N. *Optimizatsiya parametrov mekhanizma privoda stenda dlya obkatki toplivoppryskivayushchego nasosa*. // *Nauchno-obrazovatel'naya sreda kak osnova razvitiya agropromyshlennogo kompleksa i sotsialnoy infrastruktury sela*. (Optimization of parameters of the stand drive mechanism for running a fuel injection pump. // Scientific and educational environment as a basis for the development of the agro-industrial complex and the social infrastructure of the village). FGBOU VO "Chuvashskaya gosudarstvennaya selskokhozyaystvennaya akademiya". 2016. - P. 458-463.
5. Ivanschikov Yu.V., Ilyushkin A.G. *Primenenie vakuumnykh pokrytiy dlya vosstanovleniya pretsizionnykh detaley dizelnoy toplivnoy apparatury*. // *Trudy GOSNITI*. [Application of vacuum coatings for restoration of precision parts of diesel fuel equipment. // Proceedings of GOSNITI]. 2008. Vol. 101. P. 153-155.
6. Novikov A.M., Ivanschikov Yu.V., Lebedev V.G., Dobrokhotoy Yu.N. *Optimizatsiya parametrov peredatochnogo mekhanizma mnogozvennogo mekhanizma dlya obkatki toplivoppryskivayushchego nasosa*. // *Prodovol'stvennaya bezopasnost i ustoychivoe razvitie APK*. [Optimization of parameters of the transfer mechanism of the multi-link mechanism for running the fuel injection pump. // Food safety and sustainable development of the agroindustrial complex]. Cheboksary, ChGSKhA, 2015. - P. 642-646.
7. Savinykh P.A., Palitsyn A.V. *Primenenie ustroystva individualnogo ucheta rashkoda topliva pri ekspluatatsii mashinno-traktornykh agregatov*. // *Prodovol'stvennaya bezopasnost i ustoychivoe razvitie APK*. [Application of individual metering device of fuel consumption during operation of machine-tractor units. // Food safety and sustainable development of agroindustrial complex]. Cheboksary, ChGSKhA, 2015. - P. 659-663.
8. Belov V.V. Mathematical models as a basis for experimental research and forecasting of the characteristics of research objects. [Matematicheskie modeli kak osnova eksperimentalnykh issledovaniy i prognozirovaniya kharakteristik obektov issledovaniy]. // *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*. - *Proceedings of International Academy of Agrarian Education*, 2012. Vol. 1. № 13. - P. 26-28.

Authors:

Dobrokhotoy Yuriy Nikolaevich – Associate Professor

Ivanschikov Yuriy Vasilevich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor

Vasilev Aleksandr Olegovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: 3777222@bk.ru

Andreev Roman Viktorovich – Ph.D. of Technical Sciences

Chuvash State Agricultural Academy.