

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПЛУНЖЕРНОЙ ПАРЫ ДИЗЕЛЯ

М. М. Кулаков¹⁾, В. А. Иванов²⁾, А. О. Григорьев²⁾

¹⁾410080, Саратов, Российская Федерация

²⁾Чувашская государственная сельскохозяйственная академия
428003, Чебоксары, Российская Федерация

Аннотация. Отказы в работе топливоподающих насосов высокого давления и их неисправность обусловлены прекращением или снижением цикловой подачи топлива. На основе исследований гидроплотности плунжерных пар топливоподающего насоса высокого давления было подтверждено наличие ранее выявленных участков износа на плунжере и на втулке. В результате этого на участках возрастает зазор, что снижает гидравлическую плотность плунжерной пары, рассматриваемую как количественный показатель, характеризующий уровень и динамику убыли потенциала работоспособности (ПРС). С износом изменяется и геометрия управляющей отсечной кромки плунжера, которая также снижает цикловую подачу топлива.

Объектом исследования являлись плунжерные пары, взятые из ремонтного фонда. Гидравлическая плотность плунжерных пар определялась при давлении 2,0 МПа, вязкости смеси $(9,9...10,9) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ и при следующих положениях плунжера: 1 – в соответствии с ТУ завода-изготовителя; 2, 3, 4 – после поворота плунжера на 20° , 180° и 200° в сторону увеличения активного хода. Затем для каждой плунжерной пары определялись разности $\Delta\tau_1 = \tau_2 - \tau_1$ и $\Delta\tau_2 = \tau_4 - \tau_3$, которые, по своей сути, являются относительными показателями, характеризующими уровень остаточного потенциала работоспособности выбракованных плунжерных пар.

При испытании плунжерных пар было установлено, что потенциал работоспособности их рабочей кромки утрачен в большей мере, чем резервной кромки, поэтому возможно восстановление работоспособности топливоподающего насоса путем поворота плунжера на 180° и включение резервной кромки в качестве управляющей (включение «холодного» резерва).

Ключевые слова: топливоподающий насос; потенциал работоспособности; управляющая кромка плунжера.

Введение. Оценочными показателями работы топливного насоса высокого давления, отражающими в той или иной степени техническое состояние его основных структурных элементов (зазоров в сопряжениях «втулка-плунжер», клапанных узлов, кулачкового вала и др.) принято считать максимальное развиваемое давление P_{max}^n и цикловую подачу $V_{ц}^n$ при пусковой частоте вращения кулачкового вала $n = 100 \text{ мин}^{-1}$ [1].

В процессе эксплуатации плунжерной пары образуется локальный износ на участках втулки и плунжера в нагнетательных, впускных и отсечных зонах отверстий и каналов [13], что приводит к невозможному снижению, а также к последующему увеличению неравномерности цикловой подачи топлива в пусковом режиме [3], [10], когда частота вращения коленчатого вала дизеля составляет $150...200 \text{ мин}^{-1}$.

Выбраковка топливоподающего насоса осуществляется в соответствии с учетом критерия снижения параметра пусковой подачи топлива [4], [9], [11]. Плунжерная пара выбраковывается, если фактическое значение величины пусковой подачи топлива, выявленное в процессе контроля или диагностики, становится ниже допустимого показателя [5], [6], [7], [8].

Причем, остаточная стоимость плунжерной пары, соответствующая фактическому потенциалу работоспособности, может многократно превышать стоимость металлического лома [14].

Расходование потенциала работоспособности в процессе эксплуатации, особенно текущих и резервных частей, связано с интенсивностью образования гидроабразивного изнашивания локальных участков плунжера и втулки. В результате на этих местах возрастает зазор, что снижает гидравлическую плотность пары, которая рассматривается в качестве количественного показателя, характеризующего уровень и динамику убыли потенциала работоспособности. С износом изменяется и геометрия управляющей отсечной кромки плунжера, которая также искажает цикловую подачу топлива.

На плунжере топливоподающего насоса, как правило, высекают [2] две идентичные и симметрично расположенные спиральные канавки, одна из которых имеет управляющую кромку, используемую в качестве рабочей в течение всего срока службы плунжерной пары, вторая – служит для уравнивания бокового усилия, которое воздействует на плунжер в связи давлением топлива. Окружная длина кромок спиральной канавки составляет $60...170^\circ$ градусов, что и обеспечивает необходимый уровень потенциала работоспособности, поскольку путем поворота плунжера в сторону увеличения активного его хода компенсируются утечки топлива через участки износа плунжера и втулки.

Нельзя четко разделить текущую и резервную части потенциала работоспособности, в связи с чем можно предположить, что рабочая управляющая кромка выполняет функцию «активного» резервирования. Текущая и резервная части потенциала работоспособности расходуются одновременно, поэтому необходимо исследовать его с учетом использования на каком-то этапе эксплуатации в качестве резервной кромки («пассивного» резерва) второй спиральной канавки плунжера. В этом случае оценка потенциала работоспособности плунжерной пары по однопараметрическому критерию гидравлической плотности (в одном угловом положении плунжера относительно отсечного окна втулки) оказывается несостоятельной.

Мы полагаем, что интегральная оценка потенциала работоспособности плунжерной пары с учетом «пассивного» резерва может основываться на результатах измерений гидравлической плотности плунжера в нескольких

точках рабочей и «резервной» управляющих кромок. Это дает возможность оценить и общий износ плунжерной пары, и характер разрушения управляющих кромок плунжера, и их раздельное влияние на динамику убыли потенциала работоспособности. Наконец, многопараметрический критерий оценки плотности может быть положен в основу методики подбора плунжерных пар в комплекте при ремонте.

Цель настоящей работы – изучить возможность использования плунжерных пар, отобранных из ремонтного фонда, и установить наличие остаточного потенциала их работоспособности после выбраковки.

Материалы и методы исследований. Объектом исследования являлись плунжерные пары ЯЗТА (Ярославского завода топливной аппаратуры), отобранные из ремонтного фонда одного из предприятий республики после их выбраковки.

Гидравлическая плотность плунжерных пар определялась при давлении 2,0 МПа, вязкости смеси $(9,9...10,9) \cdot 10^{-6}$ м²/с и при следующих положениях плунжера: 1 – в соответствии с ТУ завода-изготовителя; 2,3,4 – после поворота плунжера на 20°, 180° и 200° в сторону увеличения активного хода. Объем выборки составил 107 плунжерных пар, повторность измерений – три измерения гидравлической плотности при каждом положении плунжера.

Затем для каждой плунжерной пары определялись разности $\Delta\tau_1 = \tau_2 - \tau_1$ и $\Delta\tau_2 = \tau_4 - \tau_3$, которые, по своей сути, являются относительными показателями, характеризующими уровень остаточного потенциала работоспособности отдельных выбракованных плунжерных пар.

Результаты исследований и их обсуждение. Величины $\Delta\tau_1$ и $\Delta\tau_2$ для новой плунжерной пары, строго отвечающей всем техническим требованиям, в силу идентичности обеих спиральных канавок равны между собой и зависят одна от другой. В плунжерных парах ремонтного фонда они являются независимыми, поскольку в процессе эксплуатации рабочая и резервная управляющие кромки подвергаются воздействию случайных разрушительных процессов различной интенсивности. Связь между величинами $\Delta\tau_1$ и $\Delta\tau_2$ в плунжерных парах ремонтного фонда является стохастической. Статистическая обработка результатов измерения $\Delta\tau_1$ и $\Delta\tau_2$ показала, что они распределяются по нормальному закону, имея следующие параметры: средние арифметические значения $\overline{\Delta\tau_1} = 9,2$ с и $\overline{\Delta\tau_2} = 12,4$ с; средние квадратические отклонения $\sigma_1 = 3,5$ с и $\sigma_2 = 4,2$ с. Коэффициент корреляции, характеризующий степень тесноты линейной зависимости между $\Delta\tau_1$ и $\Delta\tau_2$, равен $r = 0,75$. При уровне вероятности более 0,95 различия средних арифметических и средних квадратических отклонений являются статистически значимыми. Предельные значения $\Delta\tau$ устанавливались в соответствии с рекомендациям профессора В. И. Казарцева [14] в качестве прогрессивной нормы, учитывающей выбраковку 25 % плунжерных пар после того, как они исчерпали свой потенциал работоспособности, по критериям - $\Delta\tau_{1\text{пред}} = 7$ с, $\Delta\tau_{2\text{пред}} = 10$ с.

На рисунке представлены графики линейной регрессии изучаемых величин: 1 – регрессия $\Delta\tau_1$ на $\Delta\tau_2$; 2 – регрессия $\Delta\tau_2$ на $\Delta\tau_1$, описываемые уравнениями:

$$\Delta\tau_1 = 1,6 + 0,61\Delta\tau_2, \quad (1)$$

$$\Delta\tau_2 = 4,1 + 0,91\Delta\tau_1, \quad (2)$$

На рисунке линия 3 представляет собой график теоретической функциональной зависимости величин $\Delta\tau_1$ и $\Delta\tau_2$ новых плунжерных пар в виде равенства $\Delta\tau_2 = \Delta\tau_1$.

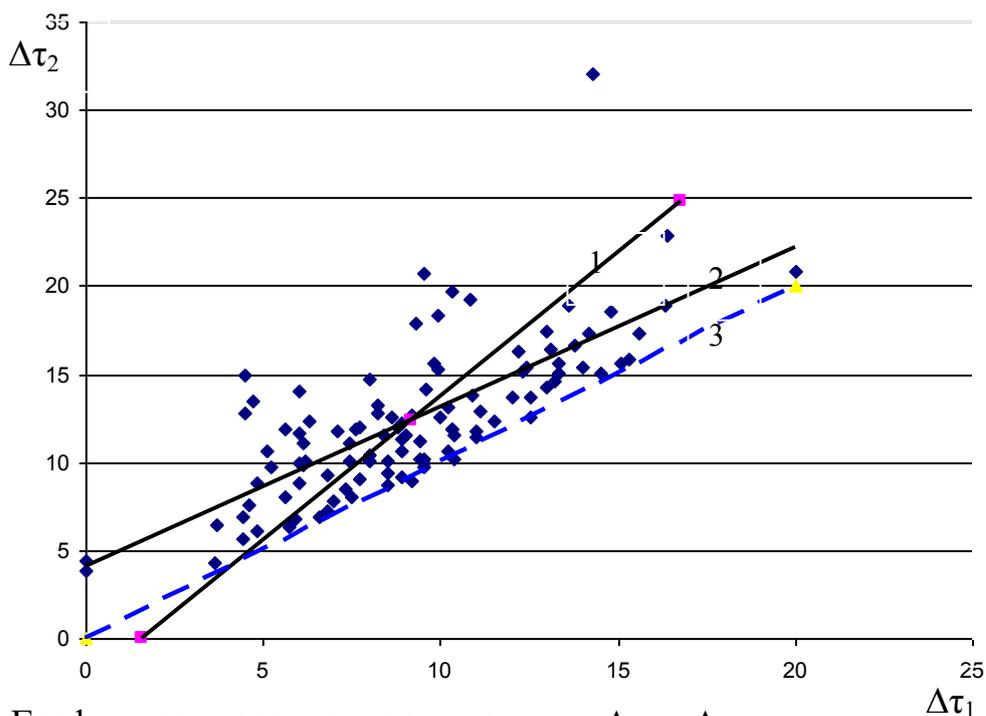


График взаимозависимости величин $\Delta\tau_1$ и $\Delta\tau_2$

Результаты анализа графиков и уравнений (1) и (2) позволяют сделать вывод, что линии 2 и 3 практически параллельны (угловые коэффициенты, соответственно, равны 0,91 и 1,0). Это свидетельствует о том, что резервная кромка обладает значительным остаточным ресурсом, а незначительное различие угловых коэффициентов обусловлено воздействием локального износа у отсечного окна втулки. Изменение $\Delta\tau_1$ в большей мере подвержено влиянию износа рабочей кромки, чем изменению углового положения плунжера и связанного с этим изменения активного хода. Потенциал работоспособности рабочей кромки утрачен в большей мере, чем у резервной кромки, поэтому возможно восстановление работоспособности топливоподающего насоса путем поворота плунжера на 180° и включения резервной кромки в качестве управляющей (включение «холодного» резерва). Момент такого включения требует дополнительных исследований. Результаты опытов показывают, что выбракованные плунжерные пары не полностью исчерпали свой потенциал работоспособности.

Выводы.

Потенциал работоспособности рабочей кромки плунжерной пары утрачен в большей мере, чем у резервной кромки, поэтому возможно восстановление

работоспособности топливopодающего насоса путем поворота плунжера на 180° и включения резервной кромки, которая используется в этом случае в качестве управляющей (включение «холодного» резерва).

Литература

1. Башта, Т. М. Расчеты и конструкция самолетных гидравлических устройств / Т. М. Башта. – М.: Машиностроение, 1961. – 475 с.

2. Грехов, Л. В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2005. – 344 с.

3. Иванов, В. А. Восстановление работоспособности распределительного топливного насоса дизеля / В. А. Иванов, В. Г. Лебедев // Современное состояние прикладной науки в области механики и энергетики: материалы Всероссийской научно-практической конференции, проводимой в рамках мероприятий, посвященных 85-летию Чувашской государственной сельскохозяйственной академии, 150-летию Русского технического общества и приуроченной к 70-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора, заслуженного работника высшей школы Российской Федерации Акимова Александра Петровича. – Чебоксары: ФГБОУ ВО ЧГСХА, 2016. – С. 328-333.

4. Иванов, В. А. К вопросу утилизации плунжерных пар топливного насоса высокого давления распределительного типа / В. А. Иванов, В. Н. Гаврилов, А. М. Новиков // Научно-образовательные и прикладные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию первого выпуска технологов сельскохозяйственного производства. – Чебоксары: ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА, 2018. – С. 413-417.

5. Иванов, В. А. Концепция ремонта плунжерных пар топливной аппаратуры. / В. А. Иванов // Международный технико-экономический журнал. – 2010. – № 5. – С. 69-72.

6. Иванов, В. А. Обоснование способа восстановления работоспособности плунжерных пар топливных насосов распределительного типа / В. А. Иванов // Труды ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 107. – № 2. – С. 61-62.

7. Иванов, В. А. Оценка технического состояния плунжерной пары по скоростной характеристике / В. А. Иванов, А. М. Новиков // Перспективы развития технического сервиса в агропромышленном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2018. – С. 140-144.

8. Иванов, В. А. Повышение долговечности распределительных топливных насосов высокого давления путем модернизации: автореф. ... канд. тех. наук / В. А. Иванов. – Москва: Всерос. науч.-исслед. технолог. ин-т ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка, 2011. – 16 с.

9. Иванов, В. А. Разработка способа доиспользования плунжерных пар топливного насоса высокого давления распределительного типа дизелей / В. А.

Иванов, В. Г. Лебедев. – Международный технико-экономический журнал. – 2017. – № 1. – С. 74-77.

10. Иванов, В. А. Факторы, влияющие на оценочный показатель подбора плунжерных пар в комплект по гидроплотности / В. А. Иванов, В. Н. Гаврилов, А. М. Новиков // Агрэкологические и организационно-экономические аспекты создания и эффективного функционирования экологически стабильных территорий: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Чебоксары: Чувашская ГСХА, 2017. – С. 385-389.

11. Казаков, Ю. Ф. Аналитическая оценка технического состояния плунжерных пар при комплектации их по гидроплотности / Ю. Ф. Казаков, В. А. Иванов // Вестник Казанского ГАУ. – 2018. – № 1 (48). – С.138-142.

12. Казарцев, В. И. Ремонт машин / В. И. Казарцев. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 584 с.

13. Лебедев, В. Г. Определение мест расположения и величины износа деталей плунжерной пары топливного насоса высокого давления / В. Г. Лебедев, В. А. Иванов // Рациональное природопользование и социально-экономическое развитие сельских территорий как основа эффективного функционирования АПК региона: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 80-летию со дня рождения заслуженного работника сельского хозяйства Российской Федерации, почетного гражданина Чувашской Республики Айдака Аркадия Павловича. – Чебоксары, ФГБОУ ВО ЧГСХА, 2017. – С. 174-178.

14. Лебедев, В. Г. Способ утилизации плунжерной пары топливного насоса высокого давления / В. Г. Лебедев, В. А. Иванов // Международный научный журнал. – 2017. – № 2. – С. 78–80.

Сведения об авторах

1. **Кулаков Михаил Михайлович**, кандидат технических наук, профессор, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: kulakov1939@yandex.ru;

2. **Иванов Владимир Андреевич**, кандидат технических наук, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: Vladimir21va@mail.ru, тел. +7-906-384-47-62.

3. **Григорьев Алексей Олегович**, кандидат технических наук, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: grinjaa111@rambler.ru, тел. +7-919-673-88-27.

REVISITING THE ASSESSMENT OF THE PERFORMANCE POTENTIAL OF THE DIESEL PLUNGER PAIR

M.M. Kulakov¹⁾, V.A. Ivanov²⁾, A.O. Grigoriev²⁾

¹⁾410080, Saratov, Russian Federation

Abstract. *Failures in the operation of high-pressure fuel pumps and their malfunction are due to the termination or reduction of the cyclic fuel supply. Based on the studies of the hydraulic density of the high-pressure fuel pump plunger pairs, the presence of previously identified wear areas on the plunger and on the sleeve was confirmed. As a result, the gap in the sections increases, which reduces the hydraulic density of the plunger pair, considered as a quantitative indicator characterizing the level and dynamics of the loss of the performance potential (PP). Together with the wear, the geometry of the control edge of the plunger also changes, which also reduces the cyclic fuel supply.*

The object of the study was plunger pairs taken from the repair fund. The hydraulic density of the plunger pairs was determined at a pressure of 2.0 MPa, the viscosity of the mixture (9.9...10.9)·10⁻⁶ m² / s and at the following positions of the plunger: 1 – in accordance with the manufacturer; 2,3,4-after turning the plunger by 20°, 180° and 200° in the direction of increasing the active stroke. Then, for each plunger pair, the differences were determined, which, in their essence, are the relative indicators characterizing the level of the residual potential of the efficiency of the selected plunger pairs.

When testing the plunger pairs, it was found that the performance potential of their working edge is lost to a greater extent than the reserve edge, so it is possible to restore the performance of the fuel pump by turning the plunger to 180° and turning on the reserve edge as the control (turning on a static reserve).

Key words: *fuel feed pump; performance potential; control edge of the plunger.*

References

1. Bashta, T. M. Raschety i konstruktsiya samoletnykh gidravlicheskiy ustroystv / T. M. Bashta. – M.: Mashinostroenie, 1961. – 475 s.
2. Grekhov, L. V. Toplivnaya apparatura i sistemy upravleniya dizeley / L. V. Grekhov, N. A. Ivashchenko, V. A. Markov. – M.: Legion-Avtodata, 2005. – 344 s.
3. Ivanov, V. A. Vosstanovlenie rabotosposobnosti raspredelitel'nogo toplivnogo nasosa dizelya / V. A. Ivanov, V. G. Lebedev // *Sovremennoe sostoyanie prikladnoy nauki v oblasti mekhaniki i energetiki: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, provodimoy v ramkakh meropriyatiy, posvyashchennykh 85-letiyu Chuvashskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii, 150-letiyu Russkogo tekhnicheskogo obshchestva i priurochennoy k 70-letiyu so dnya rozhdeniya doktora tekhnicheskikh nauk, professora, zasluzhennogo rabotnika vysshey shkoly Rossiyskoy Federatsii Akimova Aleksandra Petrovicha.* – Cheboksary: FGBOU VO CHGSKHA, 2016. –S. 328-333.
4. Ivanov, V. A. K voprosu utilizatsii plunzhernykh par toplivnogo nasosa vysokogo davleniya raspredelitel'nogo tipa / V. A. Ivanov, V. N. Gavrilov, A. M. Novikov // *Nauchno-obrazovatel'nye i prikladnye aspekty proizvodstva i pererabotki*

sel'skokhozyaystvennoy produkcii: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 20-letiyu pervogo vypuska tekhnologov sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva. – Cheboksary: FGBOU VO Chuvashskaya GSKHA, 2018. – S. 413-417.

5. Ivanov, V. A. Kontsepsiya remonta plunzhernykh par toplivnoy apparatury. / V. A. Ivanov // Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskii zhurnal. – 2010. – № 5. – S. 69-72.

6. Ivanov, V. A. Obosnovanie sposoba vosstanovleniya rabotosposobnosti plunzhernykh par toplivnykh nasosov raspreditel'nogo tipa / V. A. Ivanov // Trudy GOSNITI. – 2011. – T. 107. – № 2. – S. 61-62.

7. Ivanov, V. A. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya plunzhernoy pary po skorostnoy kharakteristike / V. A. Ivanov, A. M. Novikov // Perspektivy razvitiya tekhnicheskogo servisa v agropromyshlennom komplekse: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Cheboksary: Chuvashskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya, 2018. – S. 140-144.

8. Ivanov, V. A. Povyshenie dolgovechnosti raspreditel'nykh toplivnykh nasosov vysokogo davleniya putem modernizatsii: avtoref. ... kand. tekhn. nauk / V. A. Ivanov. – Moskva: Vseros. nauch.-issled. tekhnolog. in-t remonta i ekspluatatsii mashinno-traktornogo parka, 2011. – 16 s.

9. Ivanov, V. A. Razrabotka sposoba doispol'zovaniya plunzhernykh par toplivnogo nasosa vysokogo davleniya raspreditel'nogo tipa dizelyat / V. A. Ivanov, V. G. Lebedev. – Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskii zhurnal. – 2017. – № 1. – S. 74-77.

10. Ivanov, V. A. Faktory, vliyayushchie na otsenochnyy pokazatel' podbora plunzhernykh par v komplet po gidroplotnosti / V. A. Ivanov, V. N. Gavrilov, A. M. Novikov // Agroekologicheskie i organizatsionno-ekonomicheskie aspekty sozdaniya i effektivnogo funktsionirovaniya ekologicheski stabil'nykh territoriy: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Cheboksary: Chuvashskaya GSKHA, 2017. – S. 385-389.

11. Kazakov, Yu. F. Analiticheskaya otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya plunzhernykh par pri komplektatsii ikh po gidroplotnosti / Yu. F. Kazakov, V. A. Ivanov // Vestnik Kazanskogo GAU. – 2018. – № 1 (48). – S.138-142.

12. Kazartsev, V. I. Remont mashin / V. I. Kazartsev. – M.: Sel'khozizdat, 1961. – 584 s.

13. Lebedev, V. G. Opredelenie mest raspolozheniya i velichiny iznosa detaley plunzhernoy pary toplivnogo nasosa vysokogo davleniya / V. G. Lebedev, V. A. Ivanov // Ratsional'noe prirodoopol'zovanie i sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie sel'skikh territoriy kak osnova effektivnogo funktsionirovaniya APK regiona: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 80-letiyu so dnya rozhdeniya zasluzhennogo rabotnika sel'skogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii, pochetnogo grazhdanina Chuvashskoy Respubliki Aydaka Arkadiya Pavlovicha. – Cheboksary, FGBOU VO CHGSKHA, 2017. – S. 174-178.

14. Lebedev, V. G. Sposob utilizatsii plunzhernoy pary toplivnogo nasosa vysokogo davleniya / V. G. Lebedev, V. A. Ivanov // Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal. – 2017. – № 2. – S. 78–80.

Information about authors

1. ***Kulakov Mikhail Mikhaylovich***, Candidate of Technical Sciences, professor, Chuvash State Agricultural Academy; e-mail: kulakov1939@yandex.ru;

2. ***Ivanov Vladimir Andreevich***, Candidate of Technical Sciences, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx St., 29; e-mail: Vladimir21va@mail.ru, ph. 7-906-384-47-62.

3. ***Grigoriev Alexey Olegovich***, Candidate of Technical Sciences, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx St., 29; e-mail: grinjaa111@rambler.ru, ph. 7-919-673-88-27.