

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

**Сборник материалов
национальной научно-технической конференции
(20-21 октября 2016 г.)**

**БРЯНСКАЯ ОБЛАСТЬ - КОКИНО
2018**

УДК 631.17:631.145 (06)
ББК 30.604:65.32
П 78

Проблемы технологического обеспечения агропромышленного комплекса: сборник материалов национальной научно-технической конференции (20-21 октября 2016 г.). – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2018. – 80 с.

ISBN 978-5-88517-300-1

В сборнике отражены исследования, проводимые учеными Брянского ГАУ и других вузов РФ, Белоруссии и Республики Молдова. Материалы рассчитаны на студентов, научных и инженерно-технических работников, занимающихся проблемами энергетики, автоматизации, информатизации и природопользования.

Редакционный совет:

Безик Д.А. – директор института энергетики и природопользования;

Безик В.А. – зав. кафедрой электрооборудования и автоматики;

Байдакова Е.В. – зав. кафедрой природопользования и водопользования;

Шустов А.Ф. – зав. кафедрой философии, истории и педагогики;

Рекомендовано к изданию решением методической комиссии института протокол № 6 от 10 апреля 2018 года.

ISBN 978-5-88517-300-1

© Брянский ГАУ, 2018
© Коллектив авторов, 2018

Содержание

<i>Безик Д.А., Гурьянов Г.В.</i> Моделирование плоских электростатических полей средствами интегрированной среды freefem++	4
<i>Безик Д.А., Гурьянов Г.В.</i> Расчет электрического поля при измерении электропроводности почв	11
<i>Кирдищев Д.В., Грунтович Н.В., Мамеев Ю.А.</i> Техническое диагностирование топливных форсунок дизелей на стендах в ремонтных мастерских	15
<i>Кирдищева Д.Н., Кирдищев Д.В. Буравлев А.В.</i> Вибродиагностирование топливного насоса высокого давления без демонтажа	21
<i>Кирдищева Д.Н., Кирдищев Д.В., Грунтович Н.В., Гапонова В.С.</i> Вибродиагностирование механических топливных форсунок на работающем двигателе	28
<i>Безик Д.А., Лавров В.И., Никитин А.М., Жиряков А.В.</i> Влияние обслуживающего персонала на уровень безопасности транспортных процессов	36
<i>Кисель Ю.Е., Кубаткина О.В., Обозов А.А., Козлова А.А.</i> Прочность сцепления гальванических железо-кобальтовых сплавов с основой	45
<i>Безик Д.А., Петракова Н.В.</i> Организация самостоятельной работы студентов в вузе	49
<i>Безик Д.А., Панов М.В., Панова Т.В., Губарев Н.Е.</i> технологии переработки растительных материалов с утилизацией теплоизбытков	57
<i>Зверева Л.А.</i> Оценка экономического результата при очистке хозяйственно-бытовых стоков	62
<i>Широбокова О.Е., Грунтович Н.В.</i> Экономия электроэнергии и повышения коэффициента мощности при использовании индивидуальных компенсаторов (резонаторов)	67
<i>Безик Д.А., Кисель Ю.Е., Кубаткина О.В., Кацера А.А.</i> Структура и прочность гальванических покрытий	69
<i>Безик Д.А., Кисель Ю.Е., Симохин С.П., Козлова А.А.</i> Демпфирующая способность гальванических композитов	75

*Безик Д.А., директор института ЭиП, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
Гурьянов Г.В., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОСКИХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ СРЕДСТВАМИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЫ FREEFEM++

Задачи расчета электростатических полей возникают во многих сферах деятельности, в частности, при расчетах протекания электрического тока через почву. Рассмотрены возможности интегрированной среды конечно-элементного анализа FreeFem++ для расчета плоских задач электростатики с граничными условиями Дирихле и Неймана. Результаты моделирования применены для расчета коэффициента установки ячейки для измерения электропроводности почвы.

Ключевые слова: FreeFem++, почва, электрическая проводимость, электрический потенциал, модель.

MODELING OF A FLAT ELECTROSTATIC FIELDS BY MEANS OF THE INTEGRATED ENVIRONMENT FREEFEM++

Problems of calculation of electrostatic fields arise in many scientific fields, in particular, in the calculations of the flow of electric current through the soil. The possibilities of integrated finite element analysis environment FreeFem++ for the calculation of plane problems of electrostatics with Dirichlet and Neumann boundary conditions are considered. The simulation results are used to calculate the cell installation coefficient for measuring the electrical conductivity of the soil. The tribo-EMF occurs during mechanical treatment of the soil. This article is suggested as the most common mechanisms of its occurrence electrokinetic phenomena and electrochemical phenomena that appear on the inhomogeneities of various kinds.

Keywords: FreeFem++, soil, electrical conductivity, electrical potential, model.

Введение. Расчет электростатических полей требуется при решении различных прикладных задач, например при расчете растекания электрического тока через заземлители или при расчете протекания тока в лабораторной кювете для измерения электропроводности почвы. Применение аналитических методов не всегда возможно, поэтому чаще всего исследователи прибегают к составлению математической модели и в её рамках численному решению дифференциальных уравнений в частных производных. Задачей моделирования является разработка модели, которая позволит увеличить разрешающую способность, скорость получения результатов.

Рассматриваемая расчётная модель основана на классических математических моделях [1, 2]. Для решения её дифференциальных уравнений применена интегрированная среда конечно-элементного анализа FreeFem++ [3, 4].

Среда FreeFem++ выбрана для решения поставленных задач по ряду причин. Обычно дифференциальные уравнения решаются либо методом сеток или методом конечных элементов. Первый вариант затратен (в смысле ресурсов ЭВМ) в случае равномерной сетки и неудобен при использовании адаптивной сетки. Методы конечных элементов (МКЭ) в последнее время занимают доминирующее положение применительно к численному решению дифференциальных уравнений. Это обусловлено созданием оптимальных алгоритмов триангуляции расчётной области, а также эффективных алгоритмов решения систем линейных уравнений, возникающих в МКЭ.

FreeFem++ разработан и предназначен для численного решения дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных элементов. Он может применяться как в плоском случае, так и в 3D - пространственном случае. В отличие от коммерческих пакетов, в FreeFem++ возможен доступ ко всем внутренним данным. С его помощью возможно решение любых уравнений в частных производных с любой конфигурацией начальных и граничных условий. Язык FreeFem++ прост в применении (его синтаксис близок к C++), имеет встроенные средства триангуляции, эффективные расчётные алгоритмы и качественную визуализацию.

Физическая постановка задачи. Рассматривается плоский случай расчёта электростатического поля в ограниченной области. В общем случае этот расчет сводится к определению поля потенциала, подчиняющегося уравнению Пуассона:

$$\Delta\varphi = \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} = \frac{\rho}{\varepsilon\varepsilon_0} \quad (1)$$

где φ – потенциал электрического поля, В;

ρ – плотность электрического заряда, Кл/м³;

ε – диэлектрическая проницаемость среды;

ε_0 – электрическая постоянная.

По уравнению (1) рассчитывается поле потенциала, а затем по нему определяется поле напряженности электрического поля и плотности тока:

$$\bar{E} = -\overline{\text{grad}\varphi}, \quad (2)$$

$$\bar{j} = \gamma\bar{E}, \quad (3)$$

где E – напряжённость электрического поля, В/м;

j – плотность электрического тока, А/м²;

γ – удельная электрическая проводимость См/м.

В случае однородной среды, где нет связанных зарядов, уравнение (1) упрощается до уравнения Лапласа:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \quad (4)$$

Для его решения требуется задание граничных условий:

$$\text{Дирихле:} \quad \varphi|_{\Gamma} = \varphi(x, y) \quad (5)$$

$$\text{Неймана:} \quad \left. \frac{\partial \varphi}{\partial n} \right|_{\Gamma} = \phi(x, y) \quad (6)$$

где Γ – граница области Ω , в которой ищется решение.

Условие Дирихле выполняется на проводящих электродах, помещенных в слабопроводящую среду, а условие Неймана – на непроводящих границах расчетной области (условие (6) означает отсутствие нормальной составляющей электрического тока через границу области Γ).

Граница расчетной области обозначена как Γ (в наших расчетах замкнутый прямоугольный контур). При этом важно соблюдать направление обхода контура при задании границы и его непрерывность.

Переход к слабой (вариационной) формулировке задачи. Задачи, ре-

шаемые с помощью FreeFem++, должны быть приведены к слабой (вариационной) формулировке.

Теорема Остроградского-Гаусса гласит что

$$\iiint_{\Omega} \nabla \bar{f} d\omega = \iint_S (\bar{f}, n) d\sigma. \quad (7)$$

откуда следует следующая формула (получается путем подстановки в (7) вектора $\bar{f} = v\nabla u$):

$$\iiint_{\Omega} ((\nabla v, \nabla u) + v\Delta u) d\omega = \iint_S v \frac{\partial u}{\partial n} d\sigma. \quad (8)$$

Здесь S – поверхность, охватывающая объём Ω . Это уравнение справедливо для непрерывных, кусочно дифференцируемых функций u и v , в том числе для кусочно-линейных базисных функций, применяемых в МКЭ.

Если рассматривается плоский случай и искомая функция удовлетворяет уравнению Пуассона $\Delta u = f$, то (8) примет вид

$$\iint_S \left(\frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial y} + vf \right) d\sigma = \oint_{\Gamma} v \frac{\partial u}{\partial n} dl, \quad (9)$$

а для уравнения Лапласа

$$\iint_S \left(\frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial y} \right) d\sigma = \oint_{\Gamma} v \frac{\partial u}{\partial n} dl, \quad (10)$$

Соответствующий уравнению (10) код в FreeFem++ выглядит следующим образом:

```
solve laplace(phi,w)=int2d(Th)(dx(phi)*dx(w) + dy(phi)*dy(w))
+ on(G1,phi=0) + on(G0,phi=1);
```

(11)

Здесь ϕ , w – искомая и тестовая функция, а во второй строке задаются граничные условия Дирихле на границах электродов (G_0 и G_1). На внешней границе задавалось условие Неймана $\left. \frac{\partial \phi}{\partial n} \right|_{\Gamma} = 0$, соответствующее непроводящей границе. Оно автоматически выполняется, так как соответствующий интеграл в правой части уравнения (10) равен нулю.

Указанным способом решалось уравнение Лапласа в области Ω с задан-

ной границей Γ и граничными условиями. Разбиение границы и области на конечные элементы осуществлялось автоматически по заданному числу конечных элементов на границе. Пример разбиения показан на рисунке 1.

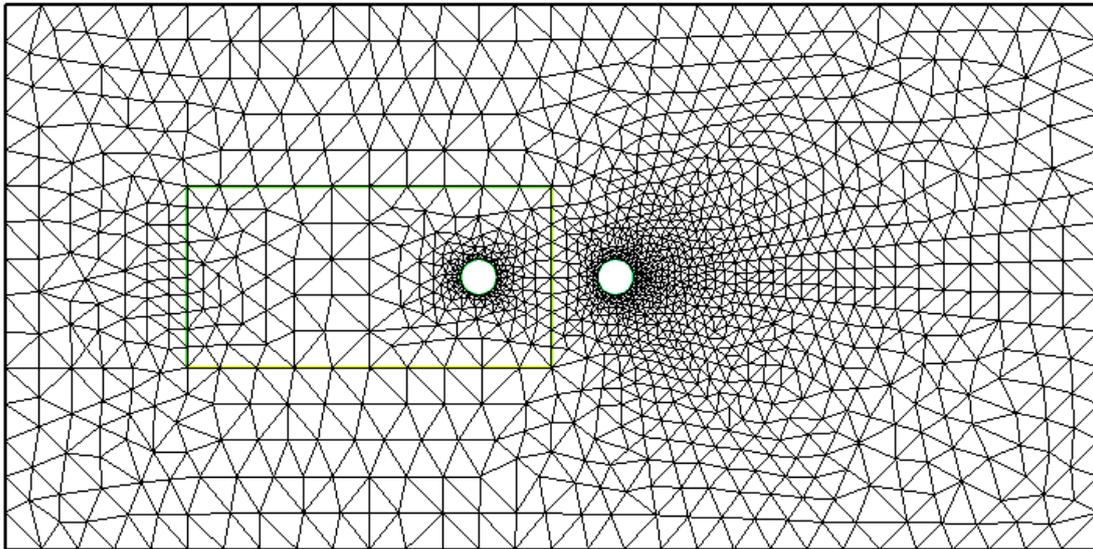


Рисунок 1 - Триангуляция расчётной прямоугольной области. Внутри расположены проводящие электроды (в виде окружностей), на которых задается условие Дирихле. Триангуляционная сетка – адаптивная.

Решение уравнения Лапласа (4) позволяет определить поле потенциала φ , а по нему и напряженность электрического поля (рисунок 2).

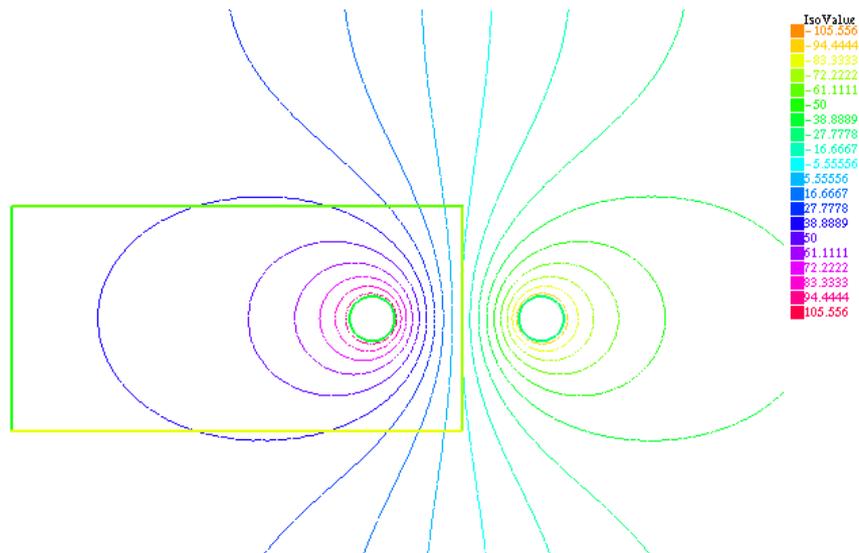


Рисунок 2 - Эквипотенциальные линии. На внутренних электродах задано условие Дирихле ($\varphi|_{G_0} = -100$, $\varphi|_{G_1} = 100$).

Расчетное поле потенциала позволяет определить ток, протекающий между электродами.

Закон Ома в дифференциальной форме:

$$\vec{j} = \gamma \vec{E} = -\gamma \overline{\text{grad} \varphi} \quad (12)$$

Сила электрического тока, протекающая через проводящую среду от одного электрода к другому:

$$I = \oint_S \vec{j} d\vec{S} = -\oint_{\vec{A}} \gamma \overline{\text{grad} \varphi} d\vec{l} . \quad (13)$$

Здесь учтено, что рассматривается плоская задача и принята единичная толщина проводящего слоя. Интеграл (13) удобно вычислять по замкнутому прямоугольнику:

$$I = \gamma \left(\int_{\vec{A}_1} \frac{\partial \varphi}{\partial y} dx - \int_{\vec{A}_2} \frac{\partial \varphi}{\partial x} dy - \int_{\vec{A}_3} \frac{\partial \varphi}{\partial y} dx + \int_{\vec{A}_4} \frac{\partial \varphi}{\partial x} dy \right), \quad (14)$$

где $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4$ – нижняя, правая, верхняя и левая границы прямоугольного контура интегрирования.

Соответствующая строка в FreeFem++ выглядит следующим образом:

```
cout << "I1= " << int1d(Th,G5)(dy(phi))-int1d(Th,G6)(dx(phi))-
int1d(Th,G7)(dy(phi))+int1d(Th,G8)(dx(phi)) << endl; \quad (15)
```

Таким образом, после задания потенциала на электродах производится расчет поля потенциала с помощью решения уравнения Лапласа (4), записанного в данном в FreeFem++ в виде (11). Затем можно определить силу тока по формуле (13), записанной в FreeFem++ в виде (15).

Разработанная модель была использована для расчета коэффициента установки в лабораторной кювете для определения удельной электропроводности почвы. Она представляет собой прямоугольную кювету с параллельными цилиндрическими электродами. Экспериментально величина удельной электропроводности почвы определяется по формуле

$$\gamma = K \frac{I}{U} \quad (16)$$

где K – коэффициент установки, а I и U – измеренная экспериментально сила тока и напряжение на электродах.

Коэффициент установки может быть определен расчетным путем с использованием формулы (13). Из формул (13) и (16) следует, что коэффициент установки равен

$$K = \frac{U}{\int_{\bar{A}_1} \frac{\partial \varphi}{\partial y} dx - \int_{\bar{A}_2} \frac{\partial \varphi}{\partial x} dy - \int_{\bar{A}_3} \frac{\partial \varphi}{\partial y} dx + \int_{\bar{A}_4} \frac{\partial \varphi}{\partial x} dy}, \quad (17)$$

где U – разность потенциалов между электродами, заданная произвольно на этапе расчета поля потенциалов.

Таким образом, применение рассмотренной модели позволяет рассчитать токи в произвольной области при заданном напряжении и электропроводности, а, с другой стороны, позволяет определить взаимосвязь между удельной электропроводностью, геометрическими параметрами измерительной кюветы и экспериментально определенным току и напряжению.

Выводы. Построена двумерная математическая модель протекания электрического тока в ограниченной среде с произвольным расположением электродов. Математическая модель представляет собой краевую задачу для уравнения Лапласа, для решения которой были использованы средства интегрированной среды FreeFem++. Построенная модель позволяет определить поле потенциала, плотность электрического тока и его величину. Построенная модель была применена для расчета коэффициента установки лабораторной установки для измерения удельной электропроводности почвы.

Литература

1. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы. 4-е изд., испр. М.:БИНОМ. Лаборатория знаний. 320 с.
2. Мантуров О.В. Курс высшей математики: ряды. Уравнения математической физики. Теория функций комплексной переменной. Численные методы. Теория вероятностей: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1991. 448 с.
3. Hecht F. FreeFem++. Version 2.17-1 [Electronic resource] / F. Hecht [et al.]. Mode of access: <http://www.freefem.org/ff++>.
4. Жуков М.Ю., Ширяева Е.В. Использование FreeFem++ для решения задач математической физики. Ростов н/Д: ЦВВР, 2007.

*Безик Д.А., к.т.н., директор института ЭиП, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
Гурьянов Г.В., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ*

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОЧВ

Почва состоит из различных компонентов и характеризуется множеством параметров. Одним из них является электропроводность, по которой можно судить и об остальных свойствах почвы. Поэтому электропроводность почв является одним из важных диагностических параметров. Рассмотрено распределение потенциалов в почве при измерении её электропроводности четырехэлектродным способом. Получена расчётная зависимость для полусферических электродов.

Ключевые слова: почва, электрическая проводимость, электрический потенциал, модель.

THE CALCULATION OF THE ELECTRIC FIELD IN THE MEASUREMENT OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF SOILS

The soil consists of various components and is characterized by a variety of parameters. One of them is the electrical conductivity, which can be used to judge the rest of the soil properties. Therefore, soil conductivity is one of the important diagnostic parameters. The distribution of potentials in the soil when measuring its electrical conductivity by a four-electrode method is considered. The calculated dependence for hemispherical electrodes is obtained.

Keywords: soil, electrical conductivity, electrical potential, model.

Для определения электропроводности почв часто применяется четырехэлектродный метод. При этом используется два потенциальных электрода, с которых снимается разность потенциалов, и два токовых, на которые подается напряжение от источника и через которые измеряется протекающий ток. Обычно используется линейное расположение электродов с равными расстояниями между ними. На практике применяются штыревые электроды, размерам и форме которых уделяется немного внимания [1–3].

В данной статье производится расчет электростатического поля для четырехэлектродной схемы с полусферическими электродами. Для этого случая получена расчётная формула.

Пусть в полупространстве с удельным сопротивлением ρ распложены две проводящих полусферы диаметром d на расстоянии $2a$ друг от друга. Определим сопротивление и проводимость между проводниками [4, 5].

Для упрощения вначале считаем, что диэлектрическая проницаемость поч-

вы не сильно отличается от проницаемости воздуха и верхнее полупространство не сильно искажает электрическое поле в почве. Поэтому будем считать, что две проводящие сферы находятся в бесконечной однородной области, занятой слабо проводящей средой. А при расчёте тока учтём только нижнюю часть полупространства.

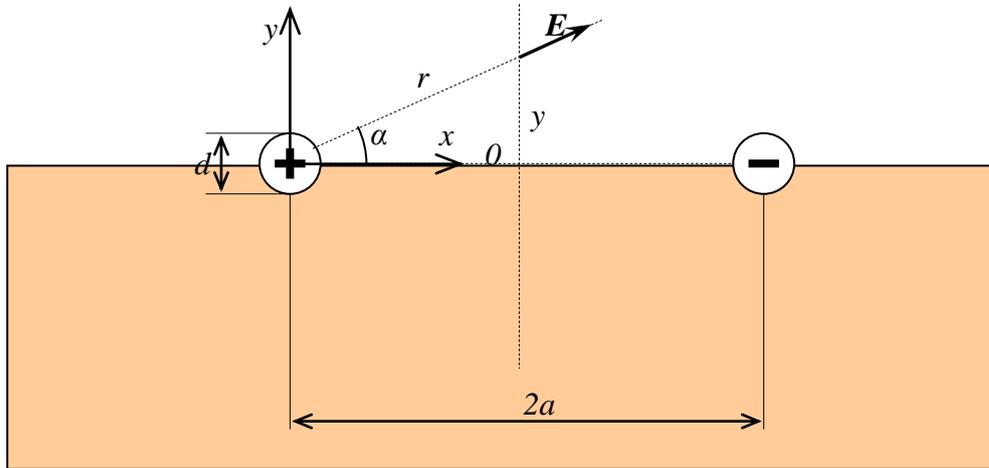


Рисунок 1 – Схема расположения электродов в двухэлектродной схеме.

Пусть q – заряд на проводниках. Напряжённость поля, создаваемая каждым проводником, найдётся по теореме Гаусса:

$$\hat{O} = \frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0} = E \cdot 4\pi r^2, \quad (1)$$

где E – напряжённость электрического поля на расстоянии r от центра сферического проводника, а теорема Гаусса применена к сфере радиуса r с центром, совпадающим с центром проводника.

Напряжённость электрического поля, создаваемая одним проводником:

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}. \quad (2)$$

Определим ток, протекающий от одного проводника к другому проинтегрировав плотность тока по плоскости β , перпендикулярной отрезку, соединяющему центры проводников и пересекающей его посередине (на расстоянии a от каждого проводника, см. рис. 1). В каждой точке этой плоскости результирующий вектор напряжённости электрического поля перпендикулярен плоскости β и равен

$$E_{\perp} = 2E \cos \alpha = 2 \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \frac{a}{r} = \frac{q}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{a}{r^3} = \frac{q}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{a}{(y^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}},$$

здесь y – координата, отсчитываемая вдоль оси, перпендикулярной плоскости раздела почва-воздух.

По закону Ома

$$j = \frac{E}{\rho}, \quad (3)$$

где ρ – удельное сопротивление среды.

Учитывая, что при $r = \text{const}$: $E = \text{const}$ интегрировать будем по y , считая, что dI – это ток, протекающий через кольцевую площадку радиусом y и шириной dy :

$$dI = j \cdot 2\pi y dy.$$

Полный ток, текущий и через верхнее полупространство и через нижнее равен

$$I = \int_0^{+\infty} j \cdot 2\pi y dy,$$

$$I = \frac{q}{\epsilon\epsilon_0 \rho}. \quad (4)$$

То есть ток пропорционален потенциалу сфер и их радиусу:

$$I = \frac{q}{\epsilon\epsilon_0 \rho} = \frac{2\pi\phi d}{\rho},$$

или же напряжённости поля и площади сфер:

$$I = \frac{q}{\epsilon\epsilon_0 \rho} = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \frac{4\pi r^2}{\rho} = \frac{ES}{\rho}. \quad (5)$$

Потенциал сферы

$$\phi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}, \quad (6)$$

значит разность потенциалов:

$$\Delta\phi_{14} = \frac{q}{\pi\epsilon\epsilon_0 d} - \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 a}.$$

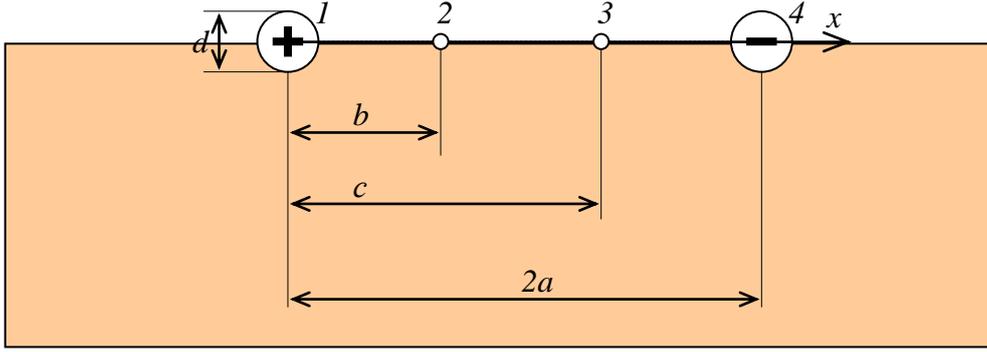


Рисунок 2 – Схема расположения электродов в четырехэлектродной схеме

Теперь определим разность потенциалов между точками 2 и 3, которые расположены на расстоянии b и c от первой сферы (см. рис. 2):

$$\varphi_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 b} - \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0(2a-b)}, \quad \varphi_3 = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 c} - \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0(2a-c)},$$

$$\Delta\varphi_{23} = \frac{q}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \left(\frac{(2a-c)(ac-bc) + (2a-b)(bc-ab)}{cb(2a-b)(2a-c)} \right).$$

Эта разность потенциалов меньше, чем $\Delta\varphi_{14}$:

$$\frac{\Delta\varphi_{23}}{\Delta\varphi_{14}} = \frac{1}{2} \left(\frac{2a^2(c-b) + c^2(b-a) + b^2(a-c)}{cb(2a-b)(2a-c)} \right) \frac{4ad}{4a-d}.$$

Искомое сопротивление между сферами:

$$R = \frac{\Delta\varphi_{14}}{I} = \frac{\epsilon\epsilon_0\rho}{q} \left(\frac{q}{\pi\epsilon\epsilon_0 d} - \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 a} \right) = \frac{\rho}{\pi} \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{4a} \right)$$

Если по результатам измерений определены $\Delta\varphi_{23}$ и I_{12} , то

$$R = \frac{\Delta\varphi_{14}}{2I_{12}} = \frac{cb(2a-b)(2a-c)}{2a^2(c-b) + c^2(b-a) + b^2(a-c)} \frac{4a-d}{4ad} \frac{\Delta\varphi_{23}}{I_{12}}$$

Приравнивая предыдущие два выражения, получим:

$$\rho = \pi \frac{cb}{(c-b)} \frac{\Delta\varphi_{23}}{I_{12}}. \quad (7)$$

Формула (7) позволяет рассчитать удельную электропроводность почвы при использовании четырехэлектродной схемы с полусферическими электродами с линейным расположением электродов и заданными межэлектродными расстояниями по измеренным значениям тока через токовые электроды I_{12} , и разности потенциалов на потенциальных электродах $\Delta\varphi_{23}$.

Литература

1. Губов В.И. Агрофизические свойства почв: краткий курс лекций для аспирантов направления подготовки 35.06.01 «Сельское хозяйство». Саратов: Изд-во Саратовский ГАУ, 2014. 63 с.
2. Елисеев П.И. Взаимосвязь некоторых свойств почвы лёгкого гранулометрического состава гумидной зоны с электрофизическими параметрами: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.03 / Павел Иванович Елисеев; МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2013. 25 с.
3. Поздняков А.И., Позднякова А.Д. Стационарные электрические поля в почвах. М.: КМК Scientific Press Ltd, 1996. 358 с.
4. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы. 4-е изд., испр. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 320 с.
5. Мантуров О.В. Курс высшей математики: ряды. Уравнения математической физики. Теория функций комплексной переменной. Численные методы. Теория вероятностей: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1991. 448 с.

УДК 621.4331.37:625.26

Кирдищев Д.В., ст.преподаватель, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
Грунтович Н.В., д.т.н., профессор, УО ГГТУ
Мамеев Ю.А., студент, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТОПЛИВНЫХ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЕЙ НА СТЕНДАХ В РЕМОНТНЫХ МАСТЕРСКИХ

Форсунки дизельных двигателей являются одним из самых ответственных элементов системы топливоподачи. Для диагностирования и регулировки форсунок по качеству распыления и давлению начала впрыскивания используют два основных способа. Первый способ на механических стендах отечественного и зарубежного производства. Качество распыления топлива форсункой проверяется прокачкой топлива через форсунку, отрегулированную на заданное давление начала впрыскивания при частоте 60-80 впрыскиваний в минуту. Качество распыления считается удовлетворительным, если топливо впрыскивается в туманообразном состоянии и равномерно распределяется как по всем струям, так и по поперечному сечению каждой струи. Второй способ представляет собой диагностирование на компьютерном стенде. Компьютерный стенд для диагностирования и ремонта дизельных форсунок Common Rail CR 305 предназначен для дизельных двигателей легковых, грузовых автомобилей, автобусов, дорожной и строительной спецтехники. Предлагаемый нами способ вибродиагностирования исключает необходимость демонтажа форсунок с двигателя. Достоинством данного способа является низкая стоимость оборудования, простота использования,

высокая точность диагностирования, мобильность и автономность оборудования.

Ключевые слова: Диагностирование, вибрация, дизельная форсунка, диагностический стенд.

TECHNICAL DIAGNOSTICS OF FUEL INJECTORS OF DIESELS AT STANDS IN REPAIR WORKSHOPS

Injection nozzles for diesel engines are one of the most critical elements of the fuel system. To diagnose and adjust nozzles on the spray quality and pressure of the injection is used in two main ways. The first method on the mechanical stands of domestic and foreign production. The quality of fuel atomization nozzle is tested by pumping fuel through the injector is regulated at the set pressure start of injection at a frequency of 60-80 injections per minute. The spray quality is considered satisfactory if the fuel is injected in a mist state and uniformly distributed for all jets and the cross section of each jet. The second method is a diagnosis on a computer stand. Computer stand for diagnosis and repair of diesel Common Rail injector CR 305 is designed for diesel engines of cars, trucks, buses, road and construction machinery. Our proposed method of vibrodiagnostik eliminates the necessity of dismantling the injectors from the engine. The advantage of this method is the low cost of equipment, ease of use, high accuracy diagnosis, mobility and autonomy of the equipment.

Key words: Diagnostics, vibration, diesel injector, diagnostic stand.

В настоящее время применяются два основных способа проверки и наладки форсунок.

1. Диагностирование и регулировка на механических стендах (ДД-2110).
2. В диагностических центрах с использованием зарубежных компьютерных стендов диагностирующих форсунки в различных режимах (CR 305).

В статье предлагается третий способ диагностирования форсунок на основе измерения и анализа спектра вибрации корпуса форсунки во время подачи топлива.

Форсунки дизельных двигателей являются одним из самых ответственных элементов системы топливоподачи. Качественное протекание процессов дозирования топлива во многом определяется техническими характеристиками форсунки. Применяемые в двигателях форсунки обладают большим числом важных рабочих показателей, работают в сложных условиях вибрации двигателя, при высоких температурах и загрязненном топливе. По мере изнашивания деталей форсунки и снижения упругости пружины давление начала впрыскивания топлива уменьшается, а следствием этого являются увеличение объема впрыскиваемого топлива и угла начала впрыскивания, изменение мощности и экономичности. При значительном снижении давления впрыскивания топливо может

подтекать из распылителя после посадки иглы в седло, что быстро приводит к его закоксовыванию, ухудшению качества распыливания, зависанию иглы. Закоксовывание проходных сечений распылителей определяет изменение пропускной способности и неравномерность работы дизеля [1].

На данный момент полная проверка форсунки с определением всех диагностических показателей возможна только при их демонтаже с последующим диагностированием на специальном стенде. Диагностический стенд включает в себя электронный блок управления, электрический насос, топливный распределитель, регулятор давления, мерные емкости с технической жидкостью, элементы управления и выбора диагностического режима.

Для диагностирования и регулировки форсунок по качеству распыления и давлению начала впрыскивания используют два основных способа.

Первый способ на механических стендах отечественного и зарубежного производства EPS 100 фирмы Bosch (Германия); ДД-2110 ОАО «Мопаз» (Россия); М-106Э Красноуфимского ОЭЗ (Россия).

Принцип работы этих устройств в целом идентичен. В корпус вмонтирована плунжерная пара и клапан, обеспечивающие создание давления рабочей жидкости (за счет перемещения рукояти рычага), которое фиксируется манометром [2].

Качество распыления топлива форсункой проверяется на стендах прокачкой топлива через форсунку, отрегулированную на заданное давление начала впрыскивания при частоте 60-80 впрыскиваний в минуту. Качество распыления считается удовлетворительным, если топливо впрыскивается в туманообразном (нормативное значение диаметра капель -30-10 мкм и менее) состоянии и равномерно распределяется как по всем струям, так и по поперечному сечению каждой струи. Начало и конец впрыскивания при этом должны быть четкими. После окончания впрыскивания допускается увлажнение носика распылителя без образования капли. Впрыскивание топлива у новой форсунки сопровождается характерным резким звуком. Конус распыленного топлива должен находиться в пределах 10-20°[2].

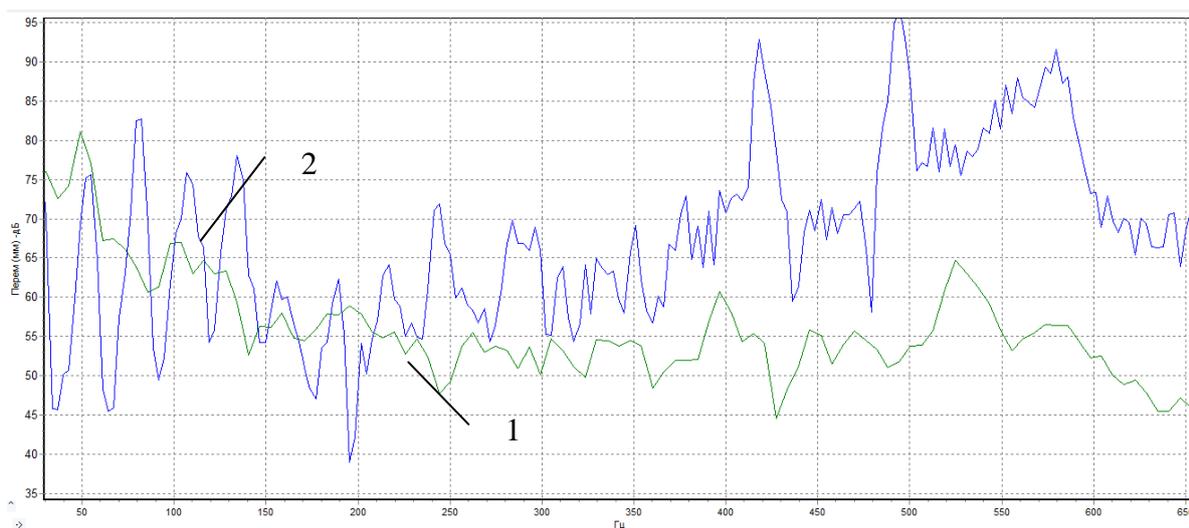


Рисунок 1 - Спектр вибрации дизельных форсунок (1 зеленая- на ДД-2110 ОАО «Мопаз»; 2 синяя- на работающем двигателе, 700 об/мин (300 моточасов))

К положительной стороне стенда ДД-2110 можно отнести невысокую стоимость и простоту использования. Недостатком является низкая точность регулировки, так как физика работы форсунок на стенде и на работающем двигателе совершенно разная (см.рис.1.). Это обусловлено разным законом подачи топлива в форсунку. Чтобы на стенде создать необходимое давление топлива в форсунке нужно несколько раз нажать на ручку насоса. На работающем двигателе топливо в форсунке подается топливным насосом высокого давления за доли секунды.

Второй способ представляет собой диагностирование на компьютерном стенде. Компьютерный стенд для диагностирования и ремонта дизельных форсунок CommonRail CR 305 предназначен для дизельных двигателей легковых, грузовых автомобилей, автобусов, дорожной и строительной спецтехники. Данный стенд оснащен безмензурочной системой измерения в реальном времени (моделирует подачу топлива в форсунку как топливный насос высокого давления). Используется для диагностирования и регулировки электромагнитных и пьезо форсунок.

Стандартный тест состоит из шести последовательных шагов, во время которых производится тестирование форсунки на всех режимах работы, после чего формируется итоговый отчет.

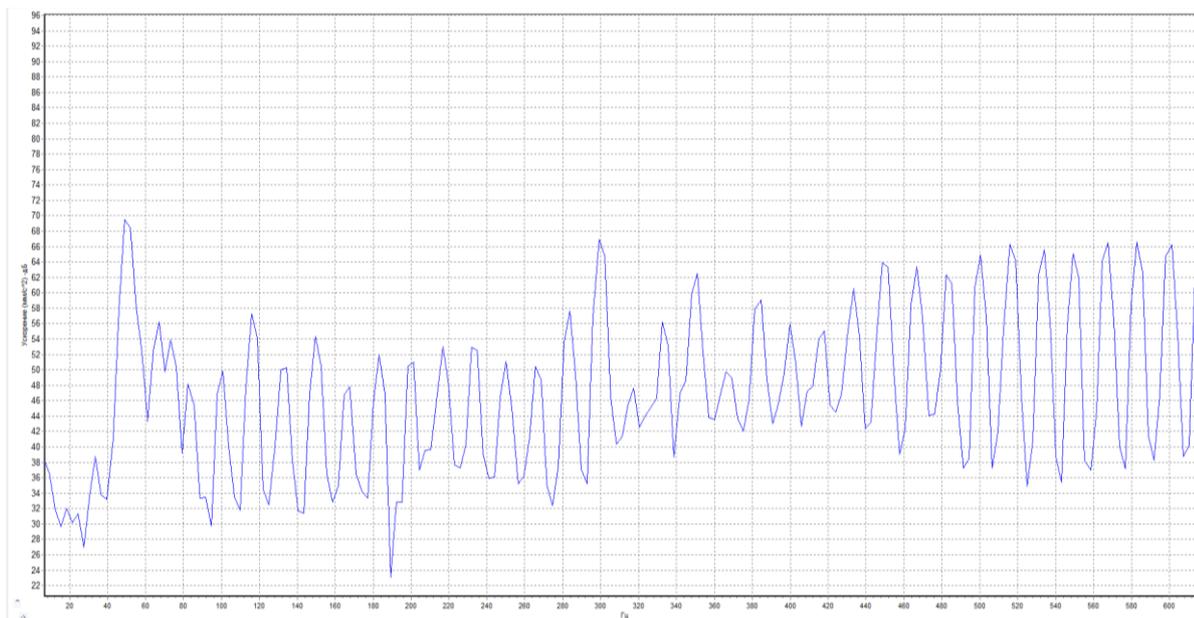


Рисунок 2 - Спектр вибрации дизельной форсунки
на стенде CR-305 (режим нагрузки)

К достоинствам этого стенда относится высокая точность диагностирования, широкий спектр режимов работы. К недостаткам использования - высокая стоимость, наличие высококвалифицированного персонала.

Основным недостатком двух вышеописанных способов является необходимость демонтажа форсунок с двигателя.

Для снижения трудоемкости и продолжительности процедур проверки форсунок целесообразнее использовать методы, не предусматривающие демонтажные работы.

Работа дизельных двигателей неразрывно связана с эффектом вибраций, интенсивность и характер которых, проявляются разным образом в зависимости от технического состояния оборудования. Получить полную информацию о техническом состоянии без вывода оборудования из рабочего режима, т.е. без демонтажа или без разборки можно анализируя вибрации тем или иным методом. Периодически проводя такой анализ можно спрогнозировать остаточный рабочий ресурс задолго до выхода оборудования из строя.

Предлагаемый нами способ вибродиагностирования исключает необходимость демонтажа форсунок с двигателя. В состав оборудования для вибродиа-

гностирования входят: датчик вибрации, устройство согласования и ноутбук с необходимым программным обеспечением. Датчик крепится на магните к форсунке, что исключает негативное воздействие вибрации создаваемой двигателем при записи результатов.

Достоинством данного способа является низкая стоимость оборудования, простота использования, высокая точность диагностирования, мобильность и автономность оборудования.

Выводы: Проведенные исследования показали, что оценка технического состояния форсунок на стенде типа ДД-2110 не позволяет достоверно оценить ее работу. Компьютерная система диагностирования позволяет более полно и достоверно оценить степень износа, но для этого необходимо демонтировать форсунку с двигателя. Оценка работы форсунки по спектру вибрации дает дополнительную информацию о режиме работы и настройки форсунки.

Литература

1. Диагностика и техническое обслуживание машин: учебник для студентов высш. учеб. заведений / А.Д. Ананьин, В.М. Михлин и др. М.: Изд.центр "Академия", 2008. 432 с.

2. Устройство для испытания топливной форсунки на качество распыла топлива: пат. 2355908 Рос. Федерация / Черноиванов В.И., Соловьев Р.Ю., Филиппова Е. М., Петрищев Н. А., Емельянов Г.Г., Ивлева И.Б., Данков А.А., Юсипов Р.Т.; заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (ГНУ ГОСНИТИ); заявл. 15.11.2007; опубл. 20.05.2009.

3. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования: учеб. пособие. Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2013. 271с. : ил.-(Высшее образование: Бакалавриат).

Кирдищева Д.Н., к.э.н., ст.преподаватель, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
Кирдищев Д.В., ст. преподаватель, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
Буравлев А.В., студент, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ БЕЗ ДЕМОНТАЖА

В статье изложены вопросы диагностирования топливной аппаратуры дизельных двигателей. Предлагается способ вибродиагностирования топливной аппаратуры, который исключает необходимость демонтажа топливного насоса высокого давления с двигателя. Достоинство данного способа простота использования системы, высокая точность диагностирования, мобильность и автономность оборудования.

Ключевые слова: вибродиагностирование, топливная аппаратура двигателей внутреннего сгорания, топливный насос высокого давления, датчик вибрации.

VIBRODIAGINATION OF HIGH PRESSURE FUEL PUMP WITHOUT DISMANTLING

In the article questions of diagnostics of the fuel equipment of diesel engines. The method of vibration diagnosis of fuel equipment, which eliminates the need to dismantle the fuel pump with a high pressure engine, is proposed. The advantage of this method is the ease of use of the system, high accuracy of diagnosis, mobility and autonomy of the equipment.

Keywords: vibration diagnosis, fuel equipment of internal combustion engines, high-pressure fuel pump, vibration sensor.

Введение. В настоящее время серьезной проблемой сельского хозяйства является «старение» машинно-тракторного парка и недостаточное его сервисное обслуживание, что не позволяет качественно проводить работы в растениеводческой отрасли. Сроки выполнения большинства видов работ ограничены, не могут быть перенесены, а увеличение времени на их выполнение влечет за собой недобор продукции, и как следствие повышение ее себестоимости. Поэтому особенно важно, насколько предприятие обеспечено средствами механизации. При этом следует отметить, что оптимальный срок службы трактора составляет 6-7 лет, после чего затраты на его эксплуатацию резко увеличиваются (требуется больше запчастей, увеличивается расход горючего, может снижаться сезонная выработка).

По Госпрограмме развития АПК предусмотрено на 2013–2020гг. закупить

для АПК 329,1 тыс. тракторов, хотя согласно рекомендации ГНУ ВИМ закупки необходимо довести к 2020 году до 900 тыс. шт [2].

Вместе с тем снижается покупательная способность сельских товаропроизводителей, что в свою очередь ведёт к замедлению обновления основных фондов и приобретение технологических материалов [1]. По данным аналитического обзора ОАО «АСМ-Холдинг» в 2015 году рынок сельскохозяйственных тракторов снизился на 39,2% по отношению к 2014 году, а общий объем продаж тракторов за 2015 год составил 26852 ед. из них только 2610 тракторов отечественных марок, их продажи снизились на 24,3%.

По этой причине, весьма актуальным является решение задач повышения долговечности и безотказности сельскохозяйственной техники на основе компьютерных технологий и технической диагностики.

Надежность работы машинно-тракторного агрегата (МТА) зависит от надежности каждой из его подсистем, а также от способа их соединения. Так, от состояния рабочих поверхностей прецизионных деталей топливного насоса высокого давления (ТНВД), основная из которых – плунжер-штуцер, зависит работоспособность топливной системы, а также протекание процессов смесеобразования и сгорания в цилиндрах дизеля, определяющих экономические, функциональные и эксплуатационные показатели всего МТА.

По некоторым данным, загрязненность дизельного топлива по пути его следования к месту доставки возрастает с 0,0005 % до 0,0630 %, то есть более чем в 100 раз. Твердость частиц кварца и окислов металла, содержащихся в полевой пыли и проникающих в топливо, составляет 6,5...9,0 единиц по шкале Мооса [3, 4]. Но даже незначительное количество механических примесей вызывает усиленный износ прецизионных деталей. Вследствие этого при эксплуатации дизелей около 50 % неисправностей приходится на долю системы питания [5].

Постановка задачи. В настоящее время проверка и наладка топливного насоса высокого давления не возможна без полного демонтажа его с двигателя. Авторами предлагается способ диагностирования ТНВД на работающем

двигателе на основе измерения и анализа спектра вибрации корпуса насоса во время подачи топлива.

Результаты исследований. Топливный насос высокого давления дозирует топливо в соответствии с рабочим режимом двигателя и подает топливо к форсунке, обеспечивая в совокупности с другими элементами системы получения требуемых характеристик впрыскивания.

Опыты проводились на рядном топливном насосе высокого давления (рис. 1). Этот тип топливного насоса высокого давления оснащается плунжерными парами, расположенными рядом друг с другом. Их количество строго соответствует количеству рабочих цилиндров двигателя.

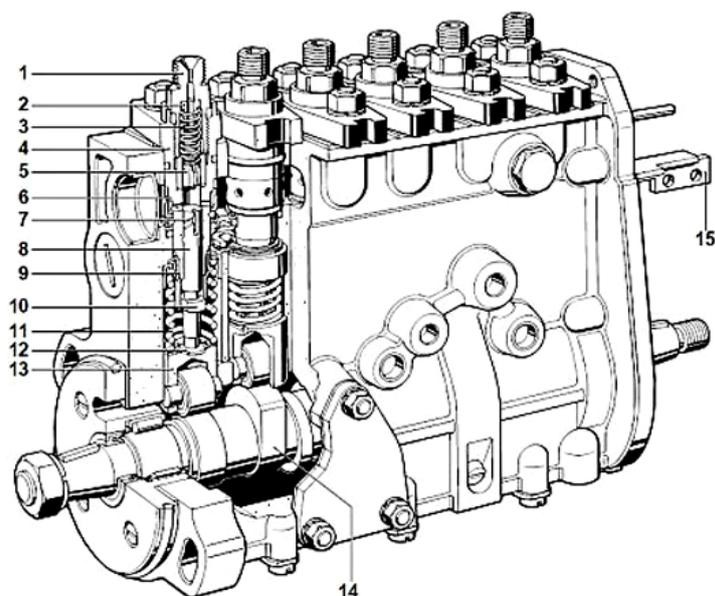
Таким образом, одна плунжерная пара обеспечивает подачу топлива к одной форсунке.

В состав диагностического комплекса входит:

- Вибродатчик ускорения (тип АР-1040 диапазон измерения 5-5000Гц);
- Многофункциональный сборщик данных МСД-2010;
- Персональный компьютер с программой обработки данных.

Многофункциональный сборщик данных МСД-2010 предназначен для аналого-цифрового преобразования выходных сигналов датчиков, которые представляют собой электрический заряд, напряжение или ток, временного сохранения полученных данных в буферном ОЗУ и передачи их в ПЭВМ для дальнейшей обработки. МСД работает под управлением ПЭВМ на напряжении 220В в сети переменного тока и 9–18 Вв сети постоянного тока от аккумулятора с потребляемой мощностью не более 5 Вт.

МСД-2010 может использоваться в составе измерительно-информационной системы при экспериментальных исследованиях или контроле технического состояния различных машин и механизмов, а также промышленного оборудования.



1. штуцер напорной магистрали
2. седло клапана
3. пружина клапана
4. корпус насосной секции
5. нагнетательный клапан
6. впускное и выпускное отверстия
7. наклонная поверхность плунжера
8. плунжер
9. втулка
10. рычаг управления плунжером
11. возвратная плунжерная пружина
12. пружина толкателя
13. роликовый толкатель
14. кулачок
15. зубчатая рейка

Рисунок 1 - Устройство рядного ТНВД

Компьютерная программа позволяет представить результаты измерения в метрической системе (м/с^2) и в относительных единицах дБ. Для определения частот вибрации используется преобразование Фурье.

Датчик крепится на магните к корпусу ТНВД в непосредственной близости плунжерных пар, что исключает негативное воздействие вибрации создаваемой двигателем при записи результатов.

Предложенный нами способ вибродиагностирования исключает необходимость демонтажа ТНВД с двигателя.

Достоинством данного способа является низкая стоимость оборудования, простота использования, высокая точность диагностирования, мобильность и

автономность оборудования.

Измерялась вибрация топливных насосов высокого давления при оборотах коленчатого вала 700 об/мин и 2000 об/мин тракторов с различным сроком эксплуатации, при обороте вала 700 об/мин измерялась вибрация на частотах срабатывания форсунок: 27Гц, 48Гц, 77-88Гц, 106-119Гц и в диапазоне 500-700Гц при обороте вала 2000 об/мин измерялась вибрация на частотах 33Гц, 48Гц, 64Гц, 94-97Гц, 112Гц, 131Гц и в диапазоне 500-700Гц.

Частота вибрации 33Гц-это частота вращения коленчатого вала.

У трактора с большим сроком эксплуатации (8425моточасов) на частоте вращения два значительных импульса 79дБ и 69дБ(рис. 2 поз. 3). У трактора со сроком эксплуатации 300 моточасов тоже два существенных импульса 69-71дБ (рис. 3 поз 3) и 75-77дБ (рис. 4 поз 3). В первом тракторе нарушение балансировки более значительные $\Delta\alpha=10$ дБ.

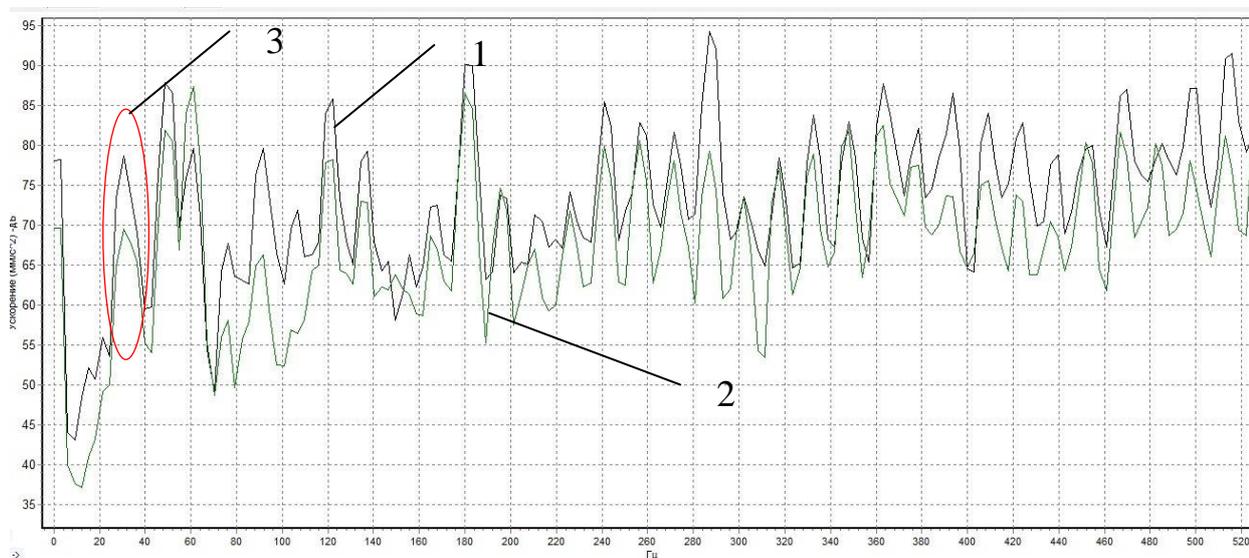


Рисунок 2 - Спектр вибрации топливного насоса высокого давления

2000 об/мин (1зеленая-4 плунжер 8425 моточасов;

2 черный- 2 плунжер 8425 моточасов)

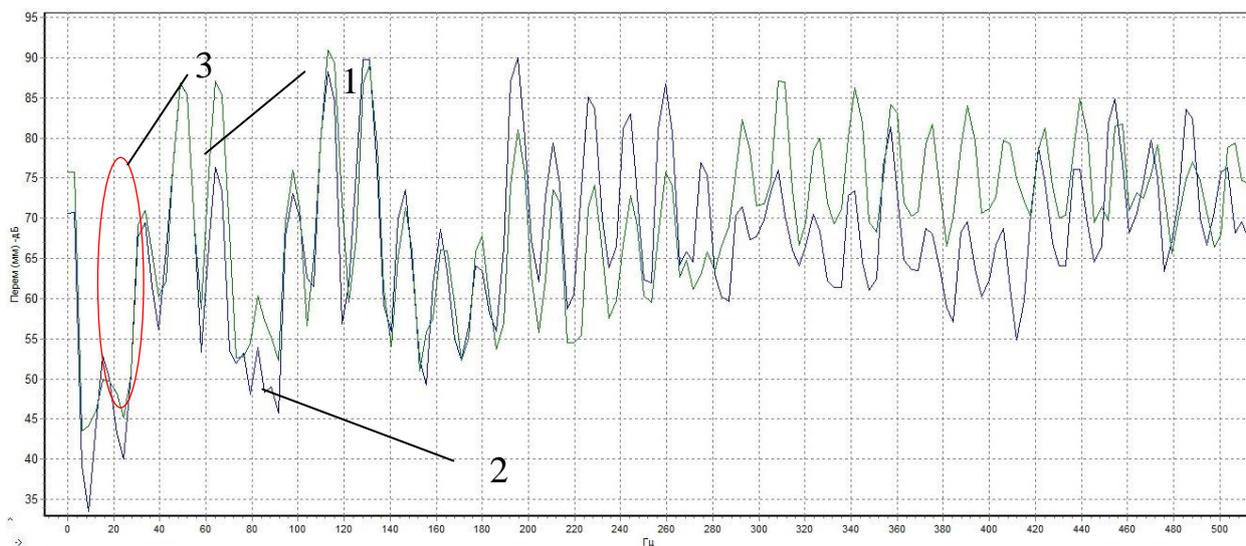


Рисунок 3 - Спектр вибрации топливного насоса высокого давления
2000 об/мин (1зеленая-1 плунжер 300 моточасов;
2 синяя- 2 плунжер 300 моточасов)

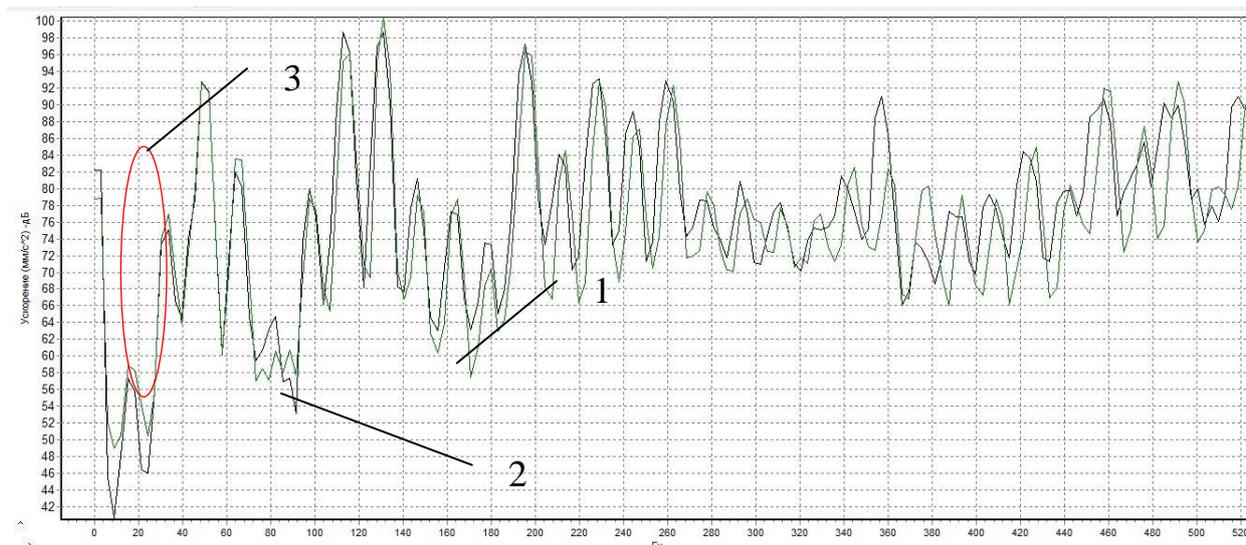


Рисунок 4 - Спектр вибрации топливного насоса высокого давления
2000 об/мин(1зеленая-3 плунжер 300 моточасов;
2 черная- 4 плунжер 300 моточасов)

В диапазоне частот 500-700Гц можно определить три основных амплитуды с различным уровнем вибрации. Амплитуда с максимальным значением вибрации характеризует уровень шума при истечении топлива из топливного насоса. Среднее значение амплитуды вибрации возникает при поступлении топлива в форсунку. Минимальное значение амплитуды вибрации топливного насоса возникает при поступлении топлива в камеру сгорания.

Уровень вибрации топливного насоса на средней амплитуде по своему

значению близок вибрации форсунки при поступлении топлива в ее полость.

Уровень вибрации топливного насоса на частоте 27 Гц (700об/мин) и на частоте 48Гц(2000об/мин) характеризует степень износа поверхностей ролик толкателя-кулачек и пружины насоса.

Вывод. Оценка работы топливного насоса высокого давления по спектру вибрации дает информацию о режиме работы и степени износа поверхностей ролик толкателя-кулачек и пружины насоса без демонтажа ТНВД.

Литература

1. Костомахин М.Н. Влияние эксплуатационной надежности тракторов и зерноуборочных комбайнов на эффективность их использования 05.20.03 технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве: автореф. дис. ... канд. тех. наук. М., 2008.

2. Лачуга Ю.Ф., Бондаренко А.М. К проблеме технической и технологической модернизации сельского хозяйства // Механизация и электрификация животноводства, растениеводства. 2013. № 1 (21). С. 4-12.

3. Григорьев М.А., Донецкий В.А. Обеспечение надежности двигателей. М.: Стандарты, 1978. 324 с.

4. Григорьев М.А. Очистка масла и топлива в автотракторных двигателях. М.: Машиностроение, 1970. 270 с.

5. Исследование износа и надежности ТНВД двигателей мобильных энергетических средств // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 16–17 окт. 2013 г.). В 3 т. Т. 3. Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2014. 332 с.

6. Грунтович Н.В. Техническое диагностирование дизелей сельскохозяйственной техники // Проблемы энергообеспечения, информатизации и автоматизации, безопасности и природопользования в АПК: материалы VIII НТК. Брянск, 2014 г. с. 85-88.

7. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования: учеб.пособие. Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2013. 271с.

Кирдищева Д.Н., к.э.н., старший преподаватель
Кирдищев Д.В., старший преподаватель
Грунтович Н.В., д.т.н., профессор, УО ГГТУ
Гапонова В.С., студент, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ТОПЛИВНЫХ ФОРСУНОК НА РАБОТАЮЩЕМ ДВИГАТЕЛЕ

В статье изложены вопросы диагностики топливной аппаратуры дизельных двигателей. Это позволяет совершенствовать систему технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники. Предлагается способ вибродиагностирования топливной аппаратуры. Способ исключает необходимость демонтажа форсунок с двигателя. Достоинство данного способа это простота использования системы, высокая точность диагностирования, мобильность и автономность оборудования.

Ключевые слова: вибродиагностика, топливная аппаратура двигателей внутреннего сгорания, износ форсунки, датчик вибрации.

VIBRODIAGNOSTICS OF MECHANICAL FUEL INJECTORS AT THE OPERATING ENGINE

The questions of fuel equipment diagnostics in diesel engines described in the article. This allow to improve the system of maintenance service and repair for agricultural machinery. A method of fuel equipment vibrodiagnostics is proposed. The method eliminates the need to dismantle the engine nozzles. Dignity of of this method is the easy to use the system, high precision of diagnosis, mobility and autonomy of the equipment.

Keywords: vibrodiagnostic, fuel equipment of diesel engines, deterioration of fuel injectors, vibration pickup.

Введение. Последние 10 лет учеными России уделяется большое внимание экономическому росту и модернизации производства в сельском хозяйстве . Рассматривая экономические показатели, автор отмечает, что энергоёмкость в России превышает энергоёмкость в Японии в 3,5 раза, а в Германии – 3 раза. Совокупные энергетические затраты на производство 1 т условной зерновой единицы в России в сравнение с США выше более чем в пять раз.

Уровень механизации сельского хозяйства в Росси ниже, чем в других странах. Если в России на 100 га посевных площадей в 2011 г. мощность тракторных двигателей составила 56 л.с., то в Великобритании - 148, США - 156, Франции - 273, Германии - 397. Количество зерноуборочных комбайнов на 1000га посевов за тот же год составило: Россия - 3, Великобритания- 14, США - 15, Франция - 16, Германия - 25 единиц, при этом парк сельхозтехники в России изношен на 70%.

Возрастной состав тракторов может быть представлен: эксплуатация до 3 лет - 8%, от 3-10 лет - 19%, свыше 10 лет - 73%; зерноуборочных комбайнов соответственно – 13%, 28%, 59%.

Происходит ежедневное сокращение парка тракторов в среднем на 7 %, зерноуборочных комбайнов - на 8 %. Ежегодные расходы на запасные части и ремонт оцениваются в 25 млрд. руб. (в ценах 2011 г.).

К 2000 г. темпы роста цен от продажи сельскохозяйственной продукции в 7,5 раза отставали от темпов роста цен на приобретаемые товары и услуги. В 2012 г при покупке одного трактора сельхозорганизации отдали почти в три раза больше зерна, чем в 2000 г. За один центнер минеральных удобрений больше в 6,7 раза. Все это значительно усложнило проблему модернизации техники в сельхозорганизациях.

При этом следует отметить, что оптимальный срок службы трактора составляет 6-7 лет, после чего затраты на его эксплуатацию резко увеличиваются (требуется больше запчастей, увеличивается расход горючего, может снижаться сезонная выработка).

По этой причине, весьма актуальным является решение задач повышения долговечности и безотказности сельскохозяйственной техники на основе компьютерных технологий и технической диагностики.

Анализируя состояние эксплуатации техники в предприятиях аграрного производства, видно что, трактора, сельскохозяйственные машины в хозяйствах эксплуатируются на несоответствующем уровне, что приводит их к снижению эффективности эксплуатации. В таблице 1 приведена статистика по снижению экономичности дизелей сельскохозяйственной техники в результате износа топливной аппаратуры (ТА) [1].

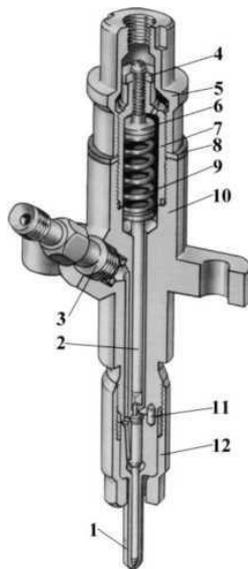
Таблица 1 - Влияние неисправностей двигателя на потери топлива

Виды неисправности	Снижение показателей, %	Потери топлива, кг/год		
		«Беларус» 800/820	«Белорус 1221»	«Белорус 2522»
Неисправность одной форсунки	топлива - 15-20%	2000	3300	6100
Уменьшение угла опережения топлива	5%/град	700	900	1700
Износ плунжерных пар топливного насоса	15-20%	2000	3300	6100

Постановка задачи. В настоящее время проверка и наладка форсунок не возможна без полного демонтажа их с двигателя. Авторами предлагается способ диагностирования форсунок на работающем двигателе на основе измерения и анализа спектра вибрации корпуса форсунки во время подачи топлива.

Результаты исследований. Форсунка предназначена для впрыска и распыливания топлива, подаваемого насосом высокого давления в цилиндр двигателя. Качество работы форсунки непосредственно влияет на протекание рабочего процесса в цилиндре и, как следствие, определяет показатели работы дизеля – экономичность и долговечность.

В автотракторных и комбайновых дизелях применяются закрытые форсунки с многодырчатыми распылителями различного конструктивного исполнения. Каждый из российских заводов по производству ТА выпускает практически всю номенклатуру применяемых в отечественных дизелях распылителей.



1 - распылитель; 2 - штанга; 3 - штуцер подвода топлива; 4- контргайка;
5 - колпак форсунки; 6 - регулировочный винт; 7 - гайка пружины; 8 - прокладка;
9 - пружина; 10 - корпус форсунки; 11 - штифты; 12 - гайка распылителя

Рисунок 1 - Устройство форсунки

Запорная игла прижимается к седлу распылителя через штангу 2 пружиной 9. Верхний конец пружины опирается на регулировочный винт 4, который ввернут в стакан пружины, и удерживается в заданном положении контргайкой 10. На стакан сверху наверх колпак 5, служащий для отвода топлива из внутренней полости форсунки и ограничивающий доступ к регулировочному винту. Винтом 6 устанавливают натяг пружины 9, определяющий давление впрыска. Топливо к форсунке подводится через штуцер 3, который ввернут в резьбовое отверстие корпуса форсунки.

Топливо в кольцевую камеру подается по наклонному каналу. Когда нет подачи топлива насосом, давление в камере составляет 2.4 МПа. Оно давит на дифференциальную площадку иглы, но его сила меньше силы пружины 9, которая перекрывает распыливающие отверстия.

При поступлении топлива от насоса в форсунку (импульс «а» рисунок 2) сила давления топлива на дифференциальную площадку и углы становится больше усилий пружины (9), игла поднимается, ударяясь о корпус форсунки (импульс «б», рисунок 2). Через образовавшуюся кольцевую щель и распыливающее отверстие (импульс «с», рисунок 2) топливо поступает в камеру сгорания.

Подъем иглы ограничен упором ее торца в корпус форсунки и составляет 0,2-0,28 мм. После прекращения подачи топлива насосом давление в кольцевой камере резко снижается и под действием пружины 9 игла прижмется запорным конусом к седлу распылителя (импульс «d» рисунок 2.), перекрывая распыливающие отверстия. Топливо, просачивающееся через зазор между иглой и распылителем, отводится через отверстие в колпаке 5 и сливной штуцер в топливный бак или фильтр тонкой очистки.

Как следует из рисунка 2 износ пружин в форсунках 2 и 4 одного и того же дизеля - разный (импульс «в» и «d») и уровень закоксованности иглы тоже разный (импульс «d»). Это приводит к разной подаче топлива в камеру сгорания. Разность амплитуд вибрации в диапазоне частот 440-480 Гц составляет порядка 25 Дб. В метрической системе измерений эта разность будет отличаться в 16 раз. Чем больше подача топлива, тем больше шум и вибрация.

Прекращение (отсечка) подачи топлива должно быть резким, без повторного подъема иглы, в противном случае в конце впрыскивания топливо образует у выходных отверстий распылителя капли, которые, сгорая не полностью, вызывают его закоксовывание.

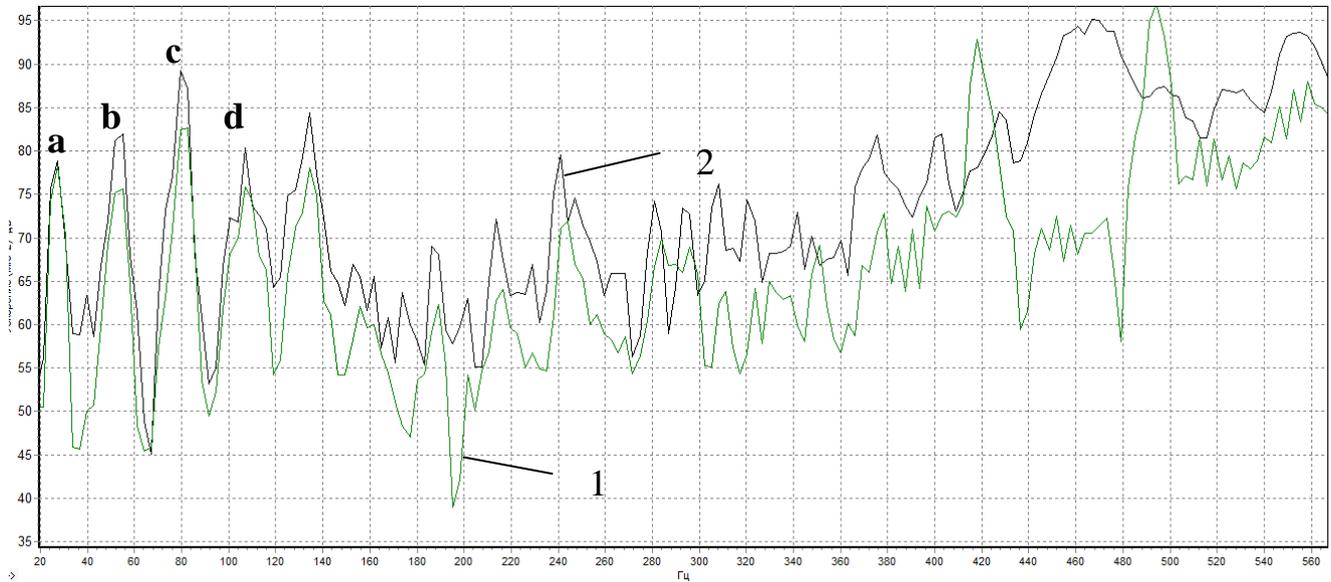


Рисунок 2 - Спектр вибрации дизельных форсунок Д-240 на 700об/мин 300 моточасов (зеленая кривая(1) - вторая форсунка; черная кривая (2)- четвертая форсунка). Амплитуды вибрации форсунок: а-поступление топлива в полость форсунки; б-подъем иглы; с- впрыск топлива в камеру сгорания; д-опускание иглы

Внешние признаки неисправности форсунок — черный выхлоп отработавших газов, перебои в работе двигателя (неравномерное чередование вспышек топлива в цилиндрах).

На практике иногда на работающем двигателе неисправную форсунку определяют, поочередно ослабляя накидные гайки крепления топливопроводов высокого давления к штуцерам секций насоса и наблюдая за частотой вращения коленчатого вала. Если частота не изменяется, а дымность уменьшается, то форсунка неисправна. При отключении исправной форсунки частота вращения уменьшится, а дымность не изменится. Разумеется, это не лучший способ диагностирования форсунок.

На некоторых станциях технического обслуживания проверка форсунки с

определением всех диагностических показателей возможна только при их демонтаже с последующим диагностированием на специальном стенде. Диагностический стенд включает в себя электронный блок управления, электрический насос, топливный распределитель, регулятор давления, мерные емкости с технической жидкостью, элементы управления и выбора диагностического режима.

Для диагностирования и регулировки форсунок по качеству распыления и давлению начала впрыскивания в основном используют следующие способы.

Первый способ на механических стендах отечественного и зарубежного производства. Второй способ представляет собой диагностирование на компьютерном стенде.

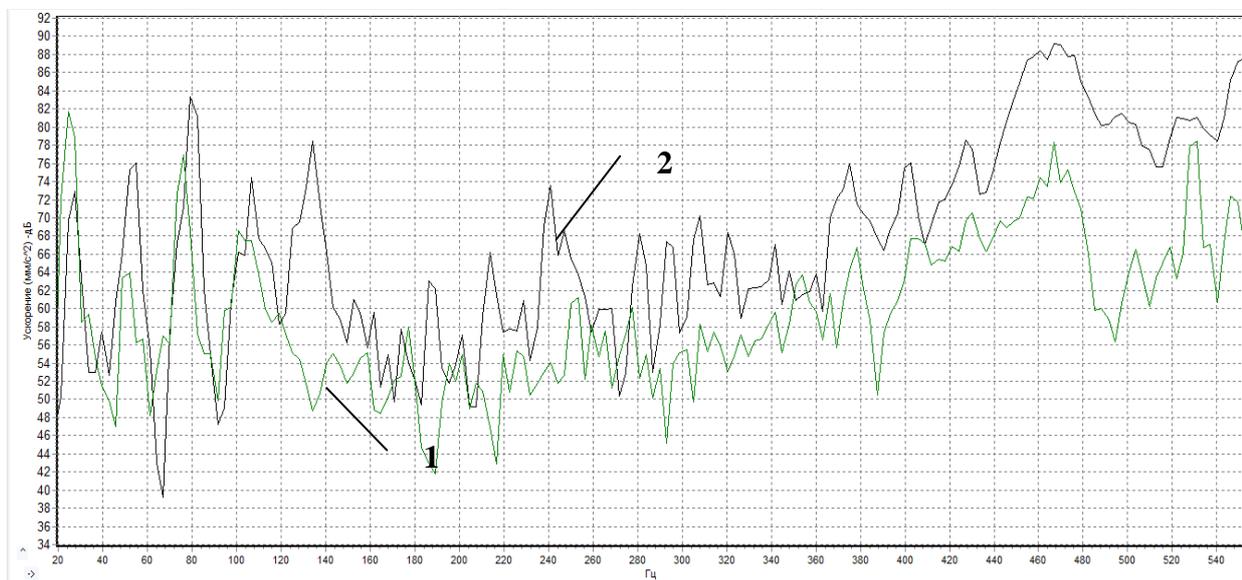


Рисунок 3 - Спектр вибрации дизельных форсунок Д-240 на 700об/мин (зеленая кривая (1) - четвертая форсунка нового трактора, черная кривая (2) – четвертая форсунка трактора с наработкой 8425 моточасов)

Основным недостатком двух вышеописанных способов является необходимость демонтажа форсунок с двигателя.

Для снижения трудоемкости и продолжительности процедур проверки форсунок целесообразнее использовать методы, не предусматривающие демонтажные работы.

Работа дизельных двигателей неразрывно связана с эффектом вибраций,

интенсивность и характер которых, проявляются разным образом в зависимости от технического состояния оборудования. Получить полную информацию о техническом состоянии без вывода оборудования из рабочего режима, т.е. без демонтажа или без разборки можно анализируя вибрации. Периодически проводя такой анализ можно прогнозировать остаточный рабочий ресурс форсунок задолго до выхода оборудования из строя.

Предлагаемый авторами способ вибродиагностирования исключает необходимость демонтажа форсунок с двигателя.

В состав диагностического комплекса входит:

- Вибродатчик ускорения (тип AP-1040 диапазон измерения 5-5000Гц);
- Многофункциональный сборщик данных МСД-2010;
- Персональный компьютер с программой обработки данных.

Многофункциональный сборщик данных МСД-2010 предназначен для аналого-цифрового преобразования выходных сигналов датчиков, которые представляют собой электрический заряд, напряжение или ток, временного сохранения полученных данных в буферном ОЗУ и передачи их в ПЭВМ для дальнейшей обработки.

МСД работает под управлением ПЭВМ на напряжении 220В в сети переменного тока и 9–18 В в сети постоянного тока от аккумулятора с потребляемой мощностью не более 5 Вт.

МСД-2010 может использоваться в составе измерительно-информационной системы при экспериментальных исследованиях или контроле технического состояния различных машин и механизмов, а также промышленного оборудования.

Компьютерная программа позволяет представить результаты измерения в метрической системе (м/с^2) и в относительных единицах дБ. Для определения частот вибрации используется преобразование Фурье.



Рисунок 4 - Инженер Кирдищев Д.В. производит измерение вибрации на форсунках дизельного двигателя Д-243

Датчик крепится на магните к форсунке, что исключает негативное воздействие вибрации создаваемой двигателем при записи результатов.

Достоинством данного способа является низкая стоимость оборудования, простота использования, высокая точность диагностирования, мобильность и автономность оборудования.

Выводы. Оценка работы форсунки по спектру вибрации дает дополнительную информацию о режиме работы и настройке форсунки без демонтажа форсунки. По спектру вибрации топливной аппаратуры можно выявить износ топливного насоса, пружины форсунки и закоксованность иглы.

Литература

1. Диагностика и техническое обслуживание машин: учебник / А.В. Новиков и др. Минск: ИВЦ Минфина, 2013. 340 с.
2. Габитов И.И., Неговора А.В. Топливная аппаратура автотракторных дизелей. Уфа: Изд-во БашГАУ, 2004. 216 с.
3. Грунтович Н.В. Техническое диагностирование дизелей сельскохозяйственной техники // Проблемы энергообеспечения, информатизации и автоматизации, безопасности и природопользования в АПК: материалы VIII НТК. Брянск, 2014. С. 85-88.
4. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования: учеб. пособие. Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2013. 271с.: ил.-(Высшее образование: Бакалавриат).

Безик Д.А., директор института ЭиП, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
Лавров В.И., ст. преподаватель, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
Никитин А.М., ст. преподаватель, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
Жиряков А.В., ст. преподаватель, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

ВЛИЯНИЕ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА НА УРОВЕНЬ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ

При обслуживании и ремонте автотранспортных средств обслуживающий персонал может допустить ошибку. Все факторы, которые приводят к ошибочным действиям обслуживающего персонала, можно разделить условно на две группы: «человеческие» и «личностные». Основная трудность в оценке влияния ошибок обслуживающего персонала на безопасность движения связана с получением достоверных статистических данных. В задачу обслуживающего персонала входит тщательный учет, анализ и обработка статистических материалов, получаемых на основе опыта эксплуатации АТС.

Ключевые слова: Автотранспортное средство, обслуживающий персонал, безопасность транспортных процессов, статистические данные, эксплуатация, обслуживание, ремонт, теория Вероятности, дорожный рейс.

INFLUENCE OF SERVICE PERSONNEL ON THE SAFETY LEVEL OF TRANSPORT PROCESSES

In case of service and repair of vehicles the service personnel can make a mistake. All factors which lead to erratic actions of service personnel can be divided conditionally into two groups: "human" and "personal". The main difficulty in an impact assessment of maintenance errors on traffic safety is connected to receiving reliable statistical data. The task of service personnel includes careful accounting, the analysis and processing of the statistical materials received on the basis of operating experience of automatic telephone exchange.

Keywords: Vehicle, service personnel, safety of transport processes, statistical data, maintenance, service, repair, probability theory, road flight.

В процессе эксплуатации, обслуживания и ремонта автотранспортных средств обслуживающий персонал может допустить ошибку, приводящую либо к пропуску имеющейся неисправности, либо к внесению новой, либо к созданию условий для проявления неисправности автотранспортных средств (АТС) [1,2,5].

Все факторы, которые приводят к ошибочным действиям обслуживающего персонала, можно разделить условно на две группы: «человеческие» и «личностные». «Человеческие» факторы обусловлены особенностями взаимодействия человека с АТС. Это взаимодействие зависит как от свойств автотранспортных средств (надежность, эксплуатационная технологичность, ремонтно-

пригодность, контролепригодность, сохраняемость и другие), которые можно объединить понятием «эксплуатационное совершенство», так и от условий, при которых это взаимодействие проявляется (степень защиты от шумов, вибраций и метеорологических воздействий, уровень освещенности, степень механизации выполнения физических работ, равномерность загрузки и другие). «Личностные» факторы связаны с такими недостатками конкретного специалиста, таких как низкая специальная подготовка и натренированность, недисциплинированность и халатность при выполнении работ, психофизические особенности, отклонения в состоянии здоровья и другие. Возникающие ошибки обслуживающего персонала, как правило, являются следствием сочетания нескольких факторов различных групп.

Если обозначить через $q_{ОШ_i}$, $p_{ОШ_i}$ соответственно вероятности недопущения и совершения ошибки при подготовке i -й системы, а через s_{K_i} , r_{K_i} — условные вероятности пропуска обнаружения и устранения при контроле допущенной ошибки, то вероятность выхода АТС в дорожный рейс с i -й исправной системой будет равна

$$P_i = p_{ОШ_i} + q_{ОШ_i} r_{K_i} \quad (1)$$

Вероятность выпуска в дорожный рейс АТС с i -й неисправной системой из-за возникших ошибок обслуживающего персонала, т. е. когда неисправность не обнаружена или внесена при обслуживании

$$q_i = 1 - p_i = q_{ОШ_o} s_{K_i} \quad (2)$$

Для получения достоверных оценок вероятностей p_i q_i необходима тщательная организация сбора и учета данных эксплуатации, кропотливая статистическая обработка этих данных по каждому типу АТС, в конкретных условиях эксплуатации. В случае невозможности получить объективные оценки таким путем прибегают к методу экспертного опроса.

На рисунке 1 изображен характер изменения вероятности q выпуска в дорожный рейс АТС с i -й неисправной системой из-за ошибок обслуживающего

персонала для двух систем с различным уровнем эксплуатационного совершенства (система 1 имеет плохие свойства, а система 2 – хорошие) в зависимости от внешних условий (температуры окружающего воздуха $t^{\circ}_{н}$, скорости ветра $W_{в}$, освещенности систем естественным светом E), времени $T_{оп}$, отводимого на обслуживание и контроль технического состояния систем, и опыта эксплуатации данной техники (ЭО).

Эти зависимости наглядно показывают, что при обслуживании системы 1, обслуживающий персонал, с большей вероятностью может совершить ошибку, чем при обслуживании системы 2. Вероятность q_i снижается при улучшении погодных условий, увеличении времени $T_{оп}$ и при увеличении опыта эксплуатации АТС данного типа.

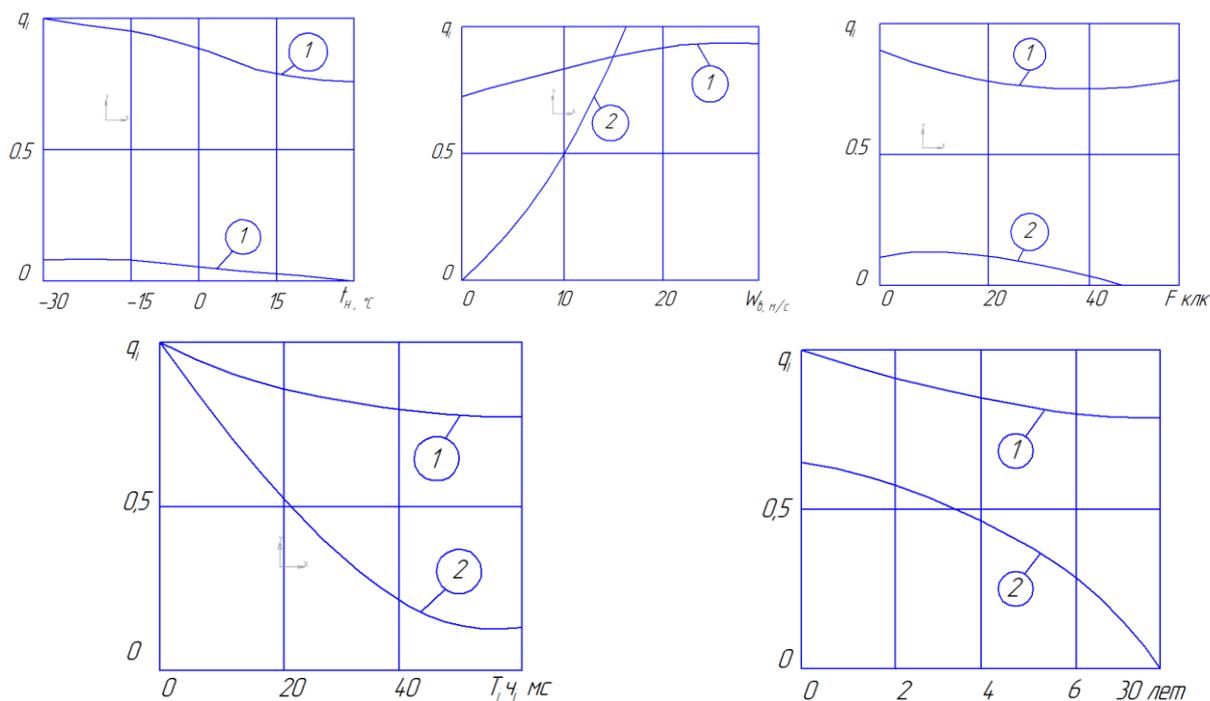


Рисунок 1 – Характер изменения вероятности q

Однако благоприятный характер изменения рассматриваемых факторов дает значительно меньший эффект для системы 1 с плохими свойствами эксплуатационного совершенства, чем для системы 2. Поскольку ошибки обслуживающего персонала снижают надежность работы АТС, то и влияние их на уровень безопасности движения следует производить теми же методами, что и при отказах автотранспортных средств по конструктивно-производственным

недостаткам (КПН). Чтобы выделить роль ошибок обслуживающего персонала на снижение уровня безопасности движения, можно принять допущение о безотказности АТС по КПН. В тех случаях, когда вероятность неисправности АТС из-за допущенной ошибки обслуживающего персонала зависит от продолжительности рейса, оценку безопасности движения производят с использованием цепи Маркова. Если же вероятность проявления ошибок обслуживающего персонала не зависит от продолжительности дорожного рейса, а связана с применением технических систем на определенных этапах дорожного движения, то влияние этих ошибок на уровень безопасности транспортных процессов следует производить с использованием формулы полной вероятности, при этом вероятность безотказной работы i -й системы p_i и вероятность ее неисправности q_i вычисляется по выражениям (1) и (2).

Для последнего случая рассмотрим пример оценки влияния ошибок обслуживающего персонала на уровень безопасности транспортных процессов для трех независимых систем ($n = 3$) с целью получения в дальнейшем рекуррентных соотношений для любого числа систем. На рисунке 2 изображено дерево исходов события, где r_i и s_i – условные вероятности предотвращения и непредотвращения водителем последствий неисправности i -й системы соответственно.

Состояние $\{БД_1\}$ соответствует благополучному исходу рейса, если не допущено ошибок в подготовке систем; $\{БД_2\}$, $\{БД_3\}$, $\{БД_5\}$ – когда сумел справиться с проявлением ошибки на одной из трех систем; $\{БД_4\}$, $\{БД_6\}$, $\{БД_7\}$ – на двух из трех систем и $\{БД_8\}$ – с проявлением ошибок обслуживающего персонала на всех трех технических системах.

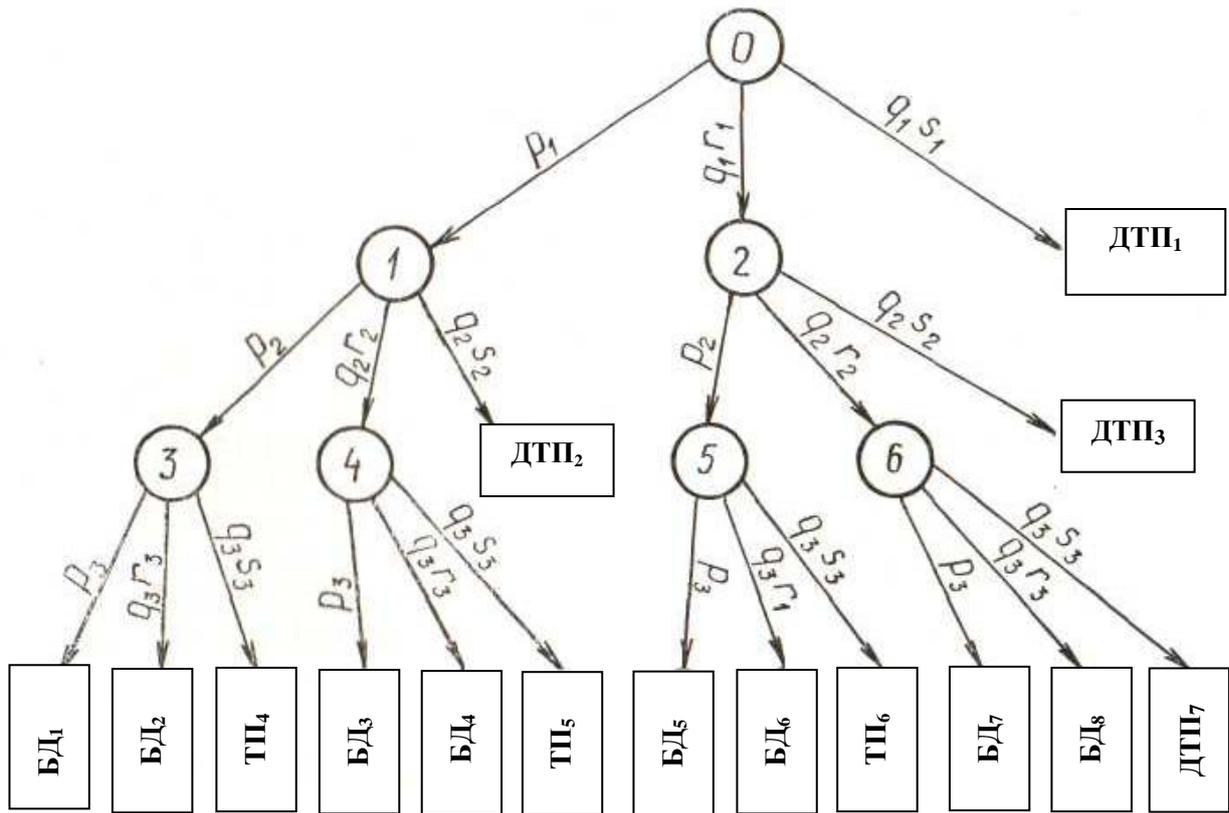


Рисунок 2 – Дерево исходов событий

Состояния $\{ДТП_i\}$ – неблагоприятные исходы рейса (дорожно–транспортные происшествия) из-за допущенных ошибок обслуживающего персонала при подготовках технических систем. Дерево исходов событий (рисунок 2) позволяет получить вероятности благополучного P и неблагоприятного Q исходов рейса (дорожного движения) при возможных ошибках обслуживающего персонала в процессе обслуживания трех технических систем:

$$\begin{aligned}
 P &= \sum_{m=1}^8 p_m \{БД_m\} = p_1 p_2 p_3 + p_1 p_2 q_3 r_3 + p_1 p_2 q_2 r_2 + p_1 q_2 r_2 q_3 r_3 + \\
 &+ p_2 p_3 q_1 r_1 + p_2 q_1 r_1 q_3 r_3 + p_3 q_1 r_1 q_3 r_3 + q_2 r_1 q_2 r_2 q_3 r_3 = \\
 &= \prod_{i=1}^3 p_i \left(1 + \sum_{i=1}^3 \frac{q_i r_i}{p_i} + \sum_{i=1}^2 \frac{q_i r_i}{p_i} \sum_{j=2}^3 \frac{q_j r_j}{p_j} + \prod_{i=1}^3 \frac{q_i r_i}{p_i} \right) \quad (3)
 \end{aligned}$$

$$Q = \sum_{l=1}^7 Q_l \{ДТП\} = 1 - P$$

Для любого числа n систем формула (3) может быть записана в следующем виде:

$$P = \sum P_m \{БД_m\} = \prod_{k=1}^n P_k \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{q_i r_i}{p_i} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{q_i r_i}{p_i} \sum_{j=i+1}^n \frac{q_j r_j}{p_j} + \dots + \prod_{i=1}^n \frac{q_i r_i}{p_i} \right)$$

$$Q = \sum_l Q_l \{ДТП_\delta\} = 1 - P \quad (4)$$

Если вероятность p_i выпуска автотранспортного средства в дорожный рейс с исправной i -й технической системой достаточно велика, то вероятности проявления в рейсе двух и более допущенных ошибок обслуживающего персонала малы и выражение (4) можно приближенно записать в следующем виде:

$$P \approx \prod_{k=1}^n P_k \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{q_i r_i}{p_i} \right) \quad (5)$$

Выражения (4) и (5) показывают, что безопасность движения при возможных ошибках обслуживающего персонала определяется не только вероятностью совершения этих ошибок, но и степенью опасности неисправностей систем, при обслуживании которых допущены ошибки. При наличии необходимых данных приведенные методы оценки влияния ошибок обслуживающего персонала на уровень безопасности движения позволяют выявить наиболее опасные ошибки, рациональнее организовать обслуживание и контроль подготовки АТС, наметить мероприятия по повышению безопасности движения.

Деятельность обслуживающего персонала по обслуживанию и ремонту автотранспортных средств чрезвычайно разнообразна [2,3,4]. Опыт эксплуатации АТС показывает, что наиболее часто обслуживающим персоналом допускаются ошибки при многократном выполнении простейших операций в процессе выполнения технического обслуживания и ремонта АТС. Большая часть допущенных ошибок обнаруживается при контроле и устраняется перед выпуском автотранспортных средств в дорожный рейс. Однако некоторая часть ошибок, пропущенных при контроле, может проявиться в дорожном рейсе и привести к частичному или полному отказу отдельных агрегатов или систем.

Если вероятность проявления ошибок обслуживающего персонала зависит от продолжительности дорожного рейса, то оценку их влияния на безопасность

движения можно произвести с помощью цепей Маркова. При составлении графов состояний под интенсивностью i -го типа отказа техники λ_{Ci} ; следует понимать:

$$\lambda_{Ci} = \lambda_{Ti} + \lambda_{OШi} \quad (6)$$

λ_{Ti} – интенсивность i – го отказа АТС при безошибочной работе обслуживающего персонала;

$\lambda_{OШi}$ – интенсивность i – го отказа АТС из-за ошибочных действий обслуживающего персонала.

Если проявление допущенной обслуживающим персоналом ошибки зависит не от продолжительности дорожного рейса, а от этапа движения или вида маневра, то вероятность завершения рейса без дорожно-транспортного происшествия при этом можно определить с помощью формулы полной вероятности. Рассмотрим оценку безопасности движения при возможных ошибках обслуживающего персонала при " n " контролируемых операциях при подготовке АТС в дорожный рейс.

Поскольку в дорожном рейсе различные ошибки обслуживающего персонала могут проявляться совместно, рассмотрим следующие возможные гипотезы:

H_0 – АТС вышло в дорожный рейс без единой ошибки обслуживающего персонала;

H_1, H_2, \dots, H_n – в дорожном рейсе проявятся, G_1, G_2, \dots, G_n – не проявятся одновременно, соответственно одна, две и так далее или все из " n " возможных ошибок.

Вероятность нулевой гипотезы:

$$P(H) = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (7)$$

где $P_i = P_{OШi} + q_{OШi} P_{Ki}$ – вероятность выпуска АТС в дорожный рейс без i -ой ошибки;

$P_{OШi}$ – вероятность несовершения i – ой ошибки;

$q_{OШi}$ – вероятность i – ой ошибки;

P_{Ki} – условная вероятность предотвращения i – ой ошибки при контроле.

Вероятности гипотеза H_1 и G_1 , по i – ой ошибке:

$$P(H_1)_i = \frac{q_i P_{ni}}{P_i} \prod_{i=1}^n P_i, \quad (8)$$

$$P(G_1)_i = \frac{q_i q_{ri}}{P_i} \prod_{i=1}^n P_i$$

где P_i и q_{ri} – соответственно, вероятности применения и неприменения системы в рейсе с i – ой ошибкой.

Вероятности гипотез H_2 , и G_2 по двум i – ым и j – ым ошибкам:

$$P(H_2)_{ij} = q_i \sum_{j=i+1}^n q_j \frac{P_{nij}}{P_i P_j} \prod_{i=1}^n P_i$$

$$P(G_2)_{ij} = q_i \sum_{j=i+1}^n q_j \frac{q_{nij}}{P_i P_j} \prod_{i=1}^n P_i$$

где P_{nij} и q_{nij} – соответственно, вероятности совместного использования и неиспользования в hтqct систем с i – ой и с j – ой ошибками ОП.

Вероятности гипотез H_n и G_n :

$$P(H_n) = P_{ni\dots n} \prod_{i=1}^n q_i \quad P(G_n) = q_{ni\dots n} \prod_{i=1}^n q_i, \quad (10)$$

где: $P_{ni\dots n}$ и $q_{ni\dots n}$ – соответственно вероятности совместного использования и неиспользования в рейсе системы с " n " возможными ошибками..

Обозначим через $r_i, r_{ij} \dots r_{i\dots n}$ – условные вероятности предотвращения водителем проявления в дорожном рейсе, соответственно одной, двух и " n " допущенных ошибок. Тогда вероятность благополучного завершения рассматриваемого этапа рейса, определяемая действиями обслуживающего персонала, может быть вычислена по формуле:

$$P_{БД} = P(H_0) + \sum_{i=1}^n P(H_1)_i r_i + \sum_{i=1}^n P(H_2)_{ij} r_{ij} + \dots$$

$$+ P(H_n) r_{i\dots n} + \sum_{i=1}^n P(G_1)_i + \sum_{i=1}^{n-1} P(G_2)_{ij} + \dots + P(G_n)$$

После постановки вероятностей гипотез в выражение (11) получим:

$$P_{БД} = (1 + \sum_{i=1}^n q_i \frac{P_{ni} r_i}{P_i} + \sum_{i=1}^{n-1} q_i \sum_{j=i+1}^n q_j \frac{P_{nij} r_{ij}}{P_i P_j} + \dots + \frac{P_{ni\dots n} r_{i\dots n}}{\prod_{i=1}^n P_i} \prod_{i=1}^n q_i + \sum_{i=1}^n q_i \frac{q_{ni}}{P_i} +$$

$$+ \sum_{i=1}^{n-1} q_i \sum_{j=i+1}^n q_j \frac{q_{nij}}{P_i P_j} + \dots + \frac{q_{ni\dots n}}{\prod_{i=1}^n P_i} \prod_{i=1}^n q_i) \prod_{i=1}^n P_i$$

Если вероятность P_i выпуска АТС в дорожный рейс с исправной i – ой системой достаточно высока, то вероятности гипотез одновременного проявления в рейсе двух и более допущенных ошибок будут пренебрежимо малы. В этом случае выражение (12) приближенно может быть записано в следующем виде:

$$P_{БД} = \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{P_{ni}q_i r_i}{P_i} - \sum_{i=1}^n \frac{q_{ni}q_i}{P_i}\right) \prod_{i=1}^n P_i \quad (13)$$

Основная трудность в количественной оценке влияния ошибок обслуживающего персонала на безопасность движения связана с получением достоверных статистических данных по возможным ошибкам, частоте их появления, эффективности контроля правильности выполненных операций и возможным последствиям допущенных ошибок. В задачу обслуживающего персонала входит тщательный учет, анализ и обработка статистических материалов, получаемых на основе опыта эксплуатации АТС. При наличии таких данных расчеты могут быть использованы для выявления наиболее опасных ошибок и рациональной организации контроля.

Литература

1. Сакович Н.Е. Обеспечение безопасности транспортных работ в сельскохозяйственном производстве за счет снижения аварийности сельскохозяйственной транспортной техники: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2012. 300 с.
2. Сакович Н.Е. Математическое моделирование в обеспечении безопасности дорожного движения: монография. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2011. 176 с.
4. Христофоров Е.Н. Вероятностно-статистические методы в дорожном движении: монография. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2005. 200 с.
5. Христофоров Е.Н., Сакович Н.Е. Безопасность транспортных работ в АПК // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2007. № 5. С. 8-10.

*Кисель Ю.Е., д.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
Кубаткина О.В., ст. преподаватель, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
Обозов А.А., ст. преподаватель, ФГБОУ ВО Брянский ГИТУ
Козлова А.А., студент, ФГБОУ ВО Брянский ГИТУ*

ПРОЧНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗО-КОБАЛЬТОВЫХ СПЛАВОВ С ОСНОВОЙ

Изучено влияние режимов электролиза и состава электролита железнения на прочность сцепления, микротвердость и износостойкость покрытий. Установлены оптимальный состав и структура электрохимических композитов, обеспечивающие наибольшую абразивную износостойкость.

Ключевые слова: покрытия, микротвердость, прочность.

THE ADHESION STRENGTH OF THE ELECTROPLATED IRON-COBALT ALLOYS WITH BASE

The influence of electrolysis conditions and the composition of the electrolyte on the bonding strength, microhardness and wear resistance of coatings was studied. The optimum composition and structure of electrochemical composites providing the greatest abrasive wear resistance are established.

Keywords: coating, hardness, strength.

Введение. Для повышения долговечности деталей сельскохозяйственных машин широкое применение нашли гальванические сплавы кобальта на основе железа [1-3]. Они обладают высокой твердостью и износостойкостью и могут быть использованы для защиты поверхности деталей широкой номенклатуры. в том числе для работающих в условиях абразивного изнашивания в контакте с грунтами и песком. В числе последних особую роль играют детали импортной техники, стоимость которых в настоящее время достаточно высока. Поэтому представляет практический интерес разработка способов повышения долговечности этих деталей.

При нанесении покрытий на поверхности основной проблемой является получение высокого сцепления их с основой. Поэтому целью работы было исследование влияние состава электролита для получения сплава железо-кобальт на прочность сцепления покрытия с среднеуглеродистой сталью 35Л.

Методика исследований. Осаждение проводили из базового электролита

состава, г/л: $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ - 500; $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 100; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ - 100, содержание активных ионов которого изменяли в пределах, г-экв/л : Co^{2+} - от 0 ... 44,34, SO_4^{2-} - 0 ... 154, Al^{3+} - 0 ... 16,2. Остальные параметры (рН, температура, плотность тока) поддерживали постоянными, отвечающими оптимальному качеству покрытий из базового электролита [3].

Опыты проводили на образцах диаметром 12 мм по плану ЦКР2³ (таблица 1).

Таблица 1 - Пределы изменения независимых переменных при исследовании влияния ионов Co^{2+} , Al^{3+} и SO_4^{2-} на прочность сцепления покрытий с основой

Уровни факторов	Код переменных	Значения переменных, г-экв/л.		
		X ₁	X ₂	X ₃
Основной уровень	0	20,97	8,1	77,44
Интервал варьиров.		12,46	4,81	46,04
Верхний уровень	+1	33,43	12,91	123,49
Нижний уровень	-1	8,50	3,28	31,40
Звездная точка(+ α)	+1,68	41,94	16,2	154,89
Звездная точка(- α)	-1,68	0	0	0

Входными параметрами служили содержание в базовом растворе ионов Co^{2+} - X₁, Al^{3+} - X₂ и SO_4^{2-} - X₃. Функцией отклика являлось сцепление покрытия Y, кгс/мм². В исследованиях применяли метод кольцевого сдвига(среза) поясков покрытий, который позволяет проводить испытания на образцах любой твердости, не требует сложной подготовки и оборудования для испытаний.

На каждом образце формировали по 5...6 поясков, что позволило увеличить достоверность результатов и изучить распределение сцепления в зависимости от распределения анодного и катодного тока. Высоту поясков принимали 1...1,25 мм в соответствии с рекомендациями [2]. Их нарезку выполняли отрезным кругом на вулканитовой основе толщиной 3мм. Для этого использовали токарный станок 16У04П, в патрон которого устанавливали образец, а на суппорте закрепляли электродвигатель, оснащенный этим кругом. Нарезка колец отрезным кругом диаметром 100...150мм, с частотой вращения 2700 об/мин, при оборотах образца 100 об/мин в струе СОЖ, исключала нагрев и деформа-

цию покрытия и подложки. Расстояние между кольцами в 3...5 мм при испытаниях полностью исключали повреждение следующего пояса.

После подготовки образцов их испытания проводили на машине Р-10, путем продавливания через закаленную матрицу (HRC 62..64). Усилие сдвига определяли с точностью 0.05кН. Высоту кольца измеряли после сдвига по следу на подложке с помощью микроскопа МБС-9 с точностью 0,05мм.

Напряжения сдвига каждого кольца рассчитывали по формуле $\sigma_{сд} = P/\pi dh$, где P - усилие сдвига, кгс; d - диаметр образца, мм; h - высота кольца, мм. Прочность сцепления определяли как среднее по результатам измерения всех колец на образце.

Обработку данных для построения уравнения регрессии проводили по стандартной методике [3].

Результаты исследований и их обсуждение. При обработке результатов исследований было получено адекватное уравнение, моделирующее зависимость прочности сцепления гальванических сплавов от состава электролита. Проверка по F-критерию показала, что уравнение адекватно описывает поверхность отклика. После выделения наиболее значимых коэффициентов (по t-критерию Стьюдента), было получено уравнение регрессии:

$$Y=46.23+2.40X_1-1.79X_3-2.29X_1^2-0.48X_2^2-1.81X_3^2+0.68X_1X_2. \quad (1)$$

Исследования показали, что прочность сцепления железо-кобальтовых покрытий с легированной сталью зависит от изменения содержания ионов легирующих добавок в электролитах, и в покрытии.

Анализ уравнения показал, что добавка катионов кобальта приводила к увеличению прочности сцепления (рис. 1). Влияние катионов алюминия на сцепление осадков с основой в пределах эксперимента оказалось незначительным. Данная добавка вводится в раствор в качестве буфера, и при принятых в опытах начальных режимах электролиза ее действие практически не проявляется в следствие относительно небольших концентрационных сдвигов в при электродных слоях в период формирования первых слоев покрытий.

Увеличение концентрации сульфат-ионов приводило вначале к незначи-

тельному повышению, а затем сцепление заметно уменьшалось. Подобное влияние можно объяснить вытеснением сульфат-ионами молекул гидроксидов, что приводило к некоторому улучшению. Отрицательное действие аниона SO_4^{2-} связано с тем, что на катоде происходит конкурирующая адсорбция ионов Cl^- и SO_4^{2-} . Большая концентрация сульфат-ионов в начальный момент электролиза за счет пассивирующего действия, мешала активированию катода, что приводило к уменьшению прочности сцепления до 36 кгс/мм^2 , равному прочности сцепления покрытий из базового электролита без добавок (34 кгс/мм^2).

Таким образом, для повышения адгезии покрытий целесообразно использовать сернокислый кобальт, увеличение содержания которого в электролите улучшает их сцепление с основой и повышает прочностные свойства.

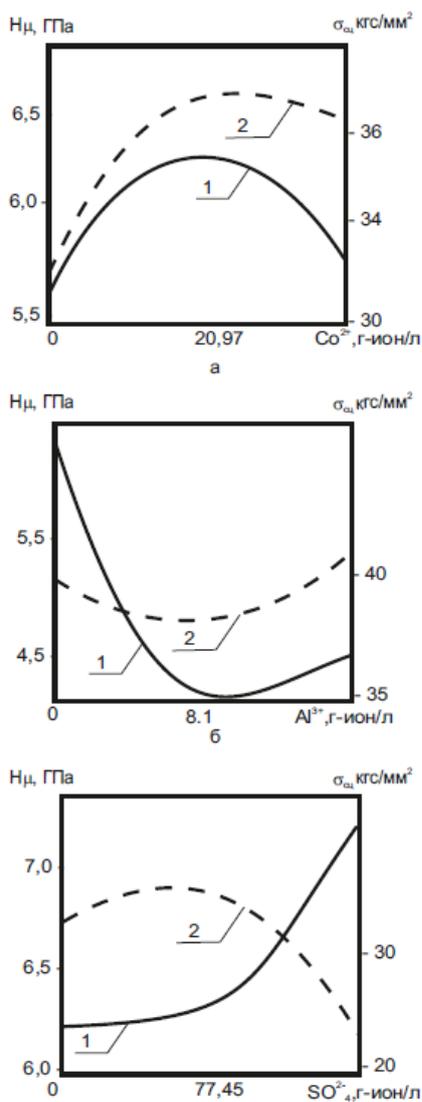


Рис. 1. Зависимость прочности сцепления (1)

и микротвердости (2) железо-кобальтовых сплавов от состава электролита

Анализ уравнений показал, что оптимальные концентрации компонентов раствора лежат в области плана эксперимента, что позволило выбрать состав, обеспечивающий прочность сцепления покрытий с легированной основой на уровне 45...50 кг/мм², что достаточно для надежного восстановления деталей.

Литература

1. Кисель Ю.Е., Гурьянов Г.В. Влияние дисперсной фазы на коэффициент вариации микротвердости композиционных электрохимических покрытий // Упрочняющие технологии и покрытия. 2009. № 3. С. 18-20.
2. Лазерная обработка износостойких композиционных электрохимических покрытий / Г.В. Гурьянов, С.С. Годунов, П.Е. Кисель, Ю.Е. Кисель // Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. № 9. С. 32-37.
3. Гурьянов Г.В., Кисель Ю.Е. Износостойкие электрохимические сплавы и композиты на основе железа. Брянск, 2015.

УДК 378.2

*Безик Д.А., директор института ЭиП, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
Петракова Н.В., к. п. н., доцент, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ*

ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ В ВУЗЕ

Главной целью высшего образования является не столько наполнение студента определенным объемом информации, сколько формирование у него познавательных стратегий самообучения и самообразования как основы и неотъемлемой части будущей профессиональной деятельности. В условиях вуза самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы. Никакие знания, не подкрепленные самостоятельной деятельностью, не могут стать подлинным достоянием человека. Целесообразно заметить, что самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности, а это весьма актуально для современного специалиста высшей квалификации.

Ключевые слова: самостоятельная работа, учебно-познавательная деятельность, информационные технологии, знания, умения, навыки, компетенции, информационная культура.

ORGANIZATION OF INDEPENDENT WORK OF STUDENTS IN HIGHER EDUCATION

The main purpose of higher education is not so much the content of the student a certain amount of information as the formation of his cognitive strategies for learning and self-education as

the basis and an integral part of the future professional activity. In the conditions of the university, independent work completes the tasks of all types of academic work. No knowledge, not backed up by independent activity, can not become the true property of man. It is expedient to note that the independent work forms the independence not only as co-vokupnost skills, but also as a trait that plays a significant role in the structure of the personality, and this is very important for modern specialist of higher qualification

Keywords: independent work, educational and cognitive activity, information technologies, knowledge, skills, skills, competence, information culture.

В условиях информатизации, глобализации и научно-технического прогресса возникла необходимость подготовки творческих, профессионально компетентных, социально активных и конкурентоспособных специалистов, владеющих навыками успешного решения задач, способных к разрешению профессиональных проблемных ситуаций, умеющих использовать опыт других людей и способных к саморазвитию на протяжении всей жизни.

Независимо от специализации и характера будущей профессиональной деятельности, любой начинающий специалист должен обладать фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками. Немаловажное значение в приобретении этих знаний, умений и навыков имеют опыт творческой, исследовательской и самостоятельной деятельности, позволяющий будущему специалисту определить свою позицию по тому или иному профессионально ориентированному вопросу или проблеме [4].

В соответствии с действующим государственным образовательным стандартом (ФГОС) значительная часть учебного времени отводится на самостоятельную работу студентов. Также положение оправдано тем, что в вузе будущий специалист получает не только определенный объем информации, знаний, но и должен приобретать навыки самостоятельного, мобильного освоения в дальнейшем своего профессионального дела.

Самостоятельная работа студентов сложна и многообразна. В вузе он должен сам многое постичь, многому научиться, опираясь на имеющиеся приемы организации и планирования своего времени и труда. Важно овладеть навыками научно- исследовательского подхода к изучаемому материалу, творчески использовать многообразные формы обучения. В данном случае велика роль

самообразования, самоорганизации и самомобилизации для преодоления всевозможных познавательных трудностей.

На эффективность учебного процесса профессионального образования влияет противоречие между требованиями новой образовательной среды и недостаточной способностью студента ориентироваться в условиях меняющихся учебных программ. Данное противоречие является своего рода предпосылкой для рассмотрения самостоятельной работы студента с новых позиций, с позиции личностно-ориентированного образования с использованием системного и деятельностного подходов к обучению.

Главной целью высшей школы является не столько наполнение студента определенным объемом информации, сколько формирование у него познавательных стратегий самообучения и самообразования как основы и неотъемлемой части будущей профессиональной деятельности.

Следовательно, для достижения высокого уровня научно-практической подготовки студентов, необходимо решить две главные проблемы:

- обеспечить возможность получения студентами глубоких фундаментальных знаний;
- изменить подходы к организации самостоятельной работы студента.

Эффективная интеграция указанных подходов ориентирована на повышение качества обучения, развитие творческих способностей студентов, их стремление к непрерывному приобретению новых знаний.

Анализ различных вариантов организации системы образования в вузе позволяет сделать выводы о том, что самостоятельная работа студентов в условиях современного учебного заведения будет эффективна, если функция управления будет возложена на преподавателя, располагающего современными техническими средствами обучения. Для достижения цели качества обучения могут помочь новые информационные технологии в комплексе с традиционными методами преподавания [6].

В условиях вуза самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы. Никакие знания, не подкрепленные самостоятельной деятель-

ностью, не могут стать подлинным достоянием человека. Целесообразно заметить, что самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности, а это весьма актуально для современного специалиста высшей квалификации.

В настоящее время в вузах существуют две общепринятые (внеаудиторная, аудиторная) формы самостоятельной работы. На наш взгляд, сегодня актуальная самостоятельная работа студента с использованием информационных технологий – информационно-коммуникативная, – позволяющая поставить самостоятельную работу студента на новый уровень самостоятельности субъекта обучения (рис. 1).



Рисунок 1 - Формы самостоятельной работы студентов в вузе

Перспективное направление, характеризующее новую форму самостоятельной работы, связано с внедрением в учебный процесс информационных технологий, сопровождающихся увеличением объемов самостоятельной работы студентов. Тенденцию к разработке информационно-коммуникативной формы самостоятельной работы студентов, предусматривающей большую самостоятельность студентов, большую индивидуализацию заданий, касающихся как содержательной предметного материала, так и характера контроля, определяют

изменения в развитии общества, включение общества в активный информационно-коммуникационный процесс информатизации [5].

Самостоятельная работа с исследовательской и учебной литературой, изданной на бумажных носителях, сохраняется как важное звено самостоятельной работы студентов в целом. С использованием информационных технологий возможности организации самостоятельной работы студентов расширяются. Актуальной становится самостоятельная работа с обучающими программами, с тестирующими системами, с информационными базами данных. По существу, все известные виды электронных изданий могут служить основой для организации самостоятельной работы студентов, наиболее эффективными из них являются мультимедийные издания.

Эффективность использования средств информационных технологий в самостоятельной работе студентов во многом зависит от успешности решения задач методического характера, связанных с информационным содержанием и способом использования автоматизированных систем обучения. В связи с этим целесообразно рассматривать автоматизированные системы обучения, используемые в конкретной учебной программе, определяемой предметным содержанием, целями и задачами обучения, как программно-методические комплексы [2, 8].

Использование информационных технологий в учебном процессе позволяет изменить характер учебно-познавательной деятельности студентов, активизировать самостоятельную работу студентов с различными электронными средствами учебного назначения (рис. 2).

Самостоятельная работа студентов состоит из следующих этапов [10]:

- поисковый этап (постановка задачи, поиск);
- деятельностный этап (анализ; обработка информации);
- контролирующий этап (оценка, самоконтроль).

Интеграция традиционных и современных компьютерных методов обучения в организации самостоятельной работы студента позволит сделать более эффективным качество самостоятельной работы студента, а также и всего учебного процесса в целом.



Рисунок 2 - Информационные технологии в самостоятельной работе студентов

При использовании в образовательном процессе вуза информационных технологий возрастает объем и расширяются организационные формы самостоятельной работы студентов. Все это поможет формированию общей информационной культуры обучаемых, придаст самостоятельной работе студентов новый облик, позволит не только закреплять полученные знания и навыки, но и управлять самостоятельной работой студентов, формируя основы для их дальнейшего самообразования и профессионального роста [5].

В процессе профессиональной подготовки перед студентами ставятся задачи овладения информационной культурой, позволяющей ориентироваться в потоке разнообразной информации. Этому во многом способствуют дисциплины информатика и информационные технологии [7]. Будущие специалисты должны иметь представление об информационных ресурсах Internet по проблемам их будущей профессиональной деятельности; знать наиболее популярные Web-сайты по вопросам образования и науки; уметь производить поиск в электронных каталогах и базах данных информационных центров, занимающихся

проблемами их профессиональной деятельности и многое другое.

Включенность информационных технологий в учебный процесс в вузе решает следующие задачи:

- обеспечение информацией студентов в учебном процессе;
- формирование ключевых компетенций студентов;
- интеграция базового и дополнительного образования;
- повышение мотивации студентов к обучению и др.

Главной сегодняшней задачей в сфере высшего профессионального образования является, по выражению одного из крупнейших теоретиков и практиков образования взрослых [10], американского ученого М.Ш. Ноулза, стало «производство компетентных людей – таких людей, которые были бы способны применять свои знания в изменяющихся условиях, и ... чья основная компетенция заключалась бы в умении включиться в постоянное самообучение на протяжении всей своей жизни».

Формирование компетентного выпускника вуза возможно лишь в условиях делового партнерства студентов и преподавателя. Важным условием достижения этой цели есть самостоятельная работа как субъекта, который в содружестве с преподавателем планирует, осуществляет и оценивает свои результаты. Самостоятельная работа студентов в вузе является особой формой самообразования и помогает овладеть информационными технологиями как необходимой профессиональной составляющей современного специалиста, способствует формированию навыков автономного приобретения знаний и развитию информационной культуры.

Литература

1. Вerezубова Н.А. Современные аспекты совершенствования обучения студентов // Стратегия социально-ориентированного управления в рыночной экономике: труды международной научно-практической конференции. Брянск. Изд-во Брянская ГСХА, 2009. С.11-13.

2. Вerezубова Н.А. Информационные технологии как фактор и необходимое условие развития высшего образования // Проблемы энергообеспечения,

информатизации и автоматизации, безопасности и природопользования в АПК: сборник материалов международной научно-технической конференции. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2012. С. 39-42.

3. Организация самостоятельной работы студентов // Организация самостоятельной работы студентов: материалы докладов II Всероссийской научно-практической интернет-конференции (6-9 декабря 2013 года). Саратов: Изд-во «Новый Проект», 2013. 188 с.

4. Петраков М.А. Концептуальные основы менеджмента качества образовательных процессов // Стратегия социально-ориентированного управления в рыночной экономике: труды международной научно-практической конференции. Брянск. Изд-во Брянская ГСХА, 2009. С.11-13.

5. Петракова Н.В. Формирование у студентов готовности к применению компьютерных технологий в профессиональной деятельности: дис. ... канд. педагогических наук. Брянск, 2003.

6. Петракова Н.В. Инновационные образовательные технологии в подготовке современного специалиста АПК // Производство и безопасность сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности: материалы III Международной научно-практической конференции (11-13 февраля 2015 года, Воронеж, Россия). Ч. II / Коллектив авторов. Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2015. С. 149-151.

7. Петракова Н.В. Формирование общекультурных компетенций у студентов в процессе изучения дисциплины «Информационные технологии» // Проблемы энергетики, природопользования, экологии: сборник материалов Международной научно-технической конференции. Брянск. Изд-во Брянская ГСХА, 2015.

8. Сакович Н.Е. Интерактивные обучающие системы как средство эффективной подготовки специалистов // Проблемы энергопользования, информатизации и автоматизации, безопасности и природопользования АПК: материалы Международной научно-практической конференции. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2011. С. 161-165.

9. Сакович Н.Е. Компетентностный подход при изучении информатики в ВУЗе // Проблемы энергопользования, информатизации и автоматизации, безопасности и природопользования АПК: материалы Международной научно-практической конференции. Брянск.: Изд-во Брянская ГСХА, 2013. С. 97-99.

10. Темербекова А.А. Проблемы формирования информационной компетентности учителя // Непрерывное образование в Западной Сибири: современное состояние и перспективы: сб. материалов регион. научно-практ. конф. Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2008. С. 237-240.

УДК 631.437.1/5

*Безик Д.А., директор института ЭиП, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
Панов М.В., к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
Панова Т.В., к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
Губарев Н.Е. студент, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ*

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛОИЗБЫТКОВ

В последнее десятилетие вновь возрос интерес к компостам как к доступной по стоимости питательной подкормке для растений. Кроме того, компостирование органики решает и такую важную экологическую задачу, как утилизация растительного материала, оставшегося после скармливания животным, обкашивания территории хозяйств от сорных растений, прополки полевых участков, а также пожнивных остатков, обрезки плодовых и декоративных деревьев и кустарников, опавшей листвы и пр.

Ключевые слова: компост, растительное сырье, ферментативное разложение, технология высокого уровня, установка для приготовления компоста.

MECHANIZATION OF COMPOSITION OF PLANT MATERIALS WITH UTILIZATION OF HEAT TREATMENT

In the last decade, the newly increased interest in composts as affordable Stoï bridge feeding a nutrient for plants. In addition, the composting of organic solve such an important environmental problem, as the utilization of the plant material, the remaining-Gosia after feeding the animals, obkashivaniya area farms from weeds, weed field crop areas, as well as crop residues, cutting fruit and ornamental trees and shrubs, fallen leaves and so forth.

Keywords: compost, plant material, enzymatic decomposition, a high level of technology, plant for composting.

Компосты - органические удобрения, получаемые в результате разложения различных органических веществ под влиянием деятельности микроорганизмов.

При компостировании в органической массе повышается содержание доступных растениям элементов питания (азота, фосфора, калия и других), обезвреживаются патогенная микрофлора и яйца гельминтов, уменьшается количество целлюлозы, гемицеллюлозы и пектиновых веществ (вызывают переход растворимых форм азота и фосфора почвы в менее усваиваемые растениями органические формы), удобрение становится сыпучим, что облегчает внесение его в почву.

Процесс приготовления компоста является трудоёмким и достаточно вредным для персонала, который участвует в данном процессе. Нарушение режима компостирования может привести к низкому качеству конечного продукта, отклонению от ГОСТ его основных характеристик, что не позволит его применять как полноценное удобрение. С другой стороны, компостирование непосредственно связано с жизнедеятельностью микроорганизмов, многие из которых являются патогенными, способными вызывать аллергические реакции, грибковые и другие заболевания у персонала, занятого в производстве компостов.

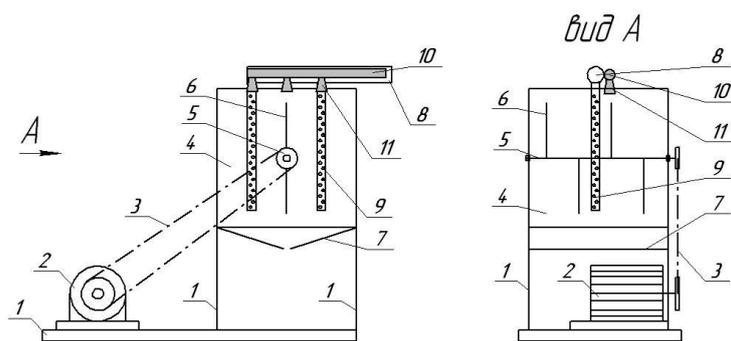
Одной из задач научных исследований являлась разработка установки по компостированию растительного материала, которая сочетала бы в себе надёжность, малую металлоёмкость, простоту монтажа, демонтажа и эксплуатации и относительно низкую стоимость. Второй задачей являлась утилизация избыточной теплоты, которая выделяется при разложении органики. В качестве сырья, которое выделяет теплоту при разложении, мы предлагаем использовать отходы кормов, которые теряются при раздаче или остаются невыбранными из траншеи (силос) в конце стойлового периода.

Ферментативное разложение органики сопровождается повышением температуры в сырье до 65-75 °С (иногда до 80-90 °С). Для того, чтобы снизить всхожесть семян сорных растений и нейтрализовать патогенную микрофлору, достаточной считается температура в пределах 65 °С. Избыточную теплоту можно утилизировать и направлять на производственные нужды.

Для приготовления компоста в настоящее время применяют различные способы и оборудование - это простейшие бурты (штабели) на открытых площадках, стационарные компостеры, механизированные компостарии и биореак-

торы. Для повышения качества компоста применяют различные устройства: аэраторы, измельчители (чипперы), ворошители (смесители) и оросители (увлажнители). На сегодняшний день отечественная промышленность не выпускает оборудование для компостирования растительных материалов в малых объемах (1-3 м³), которое будет востребовано крестьянскими, фермерскими хозяйствами и частными подворьями.

Проанализировав имеющиеся устройства для приготовления компоста и улучшения его качества, мы разработали установку для получения компоста по технологии высокого уровня (рис. 1), отличающуюся простотой изготовления, монтажа и демонтажа, а, соответственно, и относительно невысокой стоимостью. Процесс получения качественного компоста в предлагаемой установке (компостарии) производится в следующей последовательности. Предварительно измельченное разнообразное растительное сырьё (сорные растения, скошенная газонная трава, листва, обрезь плодовых и декоративных деревьев и кустарников, некачественные корма и др.) засыпается в компостарий, представляющий собой контейнер, выполненный из перфорированных металлических листов. Для измельчения предлагается конструкция универсального двухкамерного устройства, позволяющего приготавливать резку древесного и недревесного растительного материала.

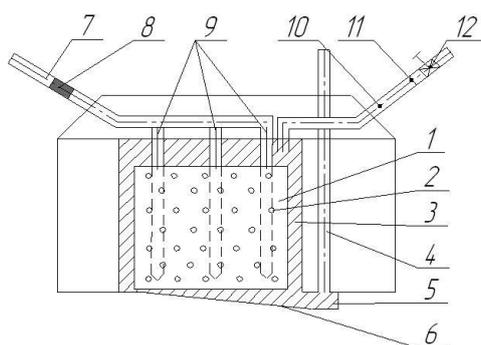


1 – рама, 2 – электродвигатель, 3 – цепная передача, 4 – контейнер,
 5 – вал, 6 – пальцы, 7 – створки днища, 8 – труба аэрации,
 9 – перфорированная труба, 10 – труба орошения, 11 – форсунка
 Рисунок 1 – Конструктивная схема установки для приготовления компоста

Масса примешивается помощью ворошителя через каждые 3-6 дней (если разогрев массы слабый – не выше 50 °С, то перемешивать необходимо через 3

дня, если температура стремительно повышается до 60-70 °С, то перемешивать можно через 6 дней). Процесс приготовления компоста в такой установке протекает до 3 месяцев. Так как для успешного процесса компостирования необходим кислород, по системе аэрации регулярно подается воздух. Аэрация приводит к снижению влажности, поэтому в установке предусмотрена система увлажнения, при этом периодическое перемешивание не прекращается. После того, как компост готов, его выгружают из контейнера, открывая защелки двусторончатого днища на сито, просеивают и отправляют не разложившиеся остатки на повторное компостирование.

Нами была рассмотрена возможность нагрева воздуха над поверхностью разлагающегося растительного сырья, например, в процессе его компостирования, и предложена конструкция приточно-вытяжного теплоутилизатора (рис. 2), представляющего собой систему приточных трубопроводов, заглубленных в растительное сырье, которое находится в специальном контейнере из перфорированного материала, расположенном в утепленной емкости. Теплоутилизатор работает следующим образом. Контейнер заполняют растительным материалом повышенной влажности (некачественным силосом, сенажом, опилками, отходами кормов и пр.) и помещают в облицованный приямок или в утепленную емкость на поверхности.



- 1 – контейнер для растительного сырья, 2 – отверстия перфорации,
 3 – облицованный приямок, 4 – вертикальный стояк, 5 – сокосборник, 6 – лоток,
 7 – приточный воздухоотвод, 8 – насос, 9 – перфорированные трубы,
 10 – вытяжной воздухоотвод, 11 – фильтр, 12 – вентиль

Рисунок 2 – Приточно-вытяжной теплоутилизатор

Растительное сырье при хранении разогревается (явление термогенеза) под действием микробиологических процессов. Через определенное время с помощью встроенного насоса системы нагнетания подают воздух через перфорированные трубы в нижнюю часть контейнера, при этом теплый воздух выдавливается из растительного сырья и удаляется через отверстия в стенках контейнера с помощью открытого вентиля по системе воздухоотведения со встроенным фильтром. После удаления теплого воздуха из растительного сырья вентиль системы воздухоотведения закрывают. По мере необходимости процесс повторяется.

Таким образом, схема получения компоста по технологии высокого уровня в предлагаемой нами установке учитывает все основные параметры, необходимые для приготовления качественного компоста. В ней механизированы процессы подработки (ворошения) компостируемого сырья, его аэрации, увлажнения и выгрузки, что снижает время контакта с патогенными микроорганизмами, а значит и риски приобретения профессиональных заболеваний работниками, занятыми производством компостов. Кроме того, появляется возможность без особых затрат использовать теплоту, выделяющуюся при ферментативном разложении для производственных нужд.

Литература

1. Белоус Н.М., Мамеев В.В., Смольский Е.В. Система удобрения: учебно-метод. пособие для выполнения курсового проекта для напр. 110100 "Агрохимия и агропочвоведение". Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2015. 48 с.
2. Лумисте Е.Г., Панова Т.В., Рыченкова Ю.А. Роль аэрации в процесс е приготовления компоста // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2011. № 6. С. 54-57.
3. Лумисте Е.Г., Панова Т.В., Панов М.В. Установка для приготовления компоста // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2011. № 5. С. 43-49.
4. Лумисте Е.Г., Панова Т.В. Приточно-вытяжной утилизатор тепла // Сельский механизатор. 2011. № 6. С. 28-29.
5. Контейнер для растительных материалов: пат. 107893 Рос. Федерация /

Лумисте Е.Г., Панова Т.В., Панов М.В.; заявитель и патентообладатель ФГОУВПО "Брянская государственная сельскохозяйственная академия". - № 2011112560/13; заявл. 01.04.2011; опубл. 10.09.2011, Бюл. №25. – 2 с. : ил.

6. Приточно-вытяжная установка для получения органического удобрения и утилизации тепла: пат. 107894 Рос. Федерация / Лумисте Е.Г., Панова Т.В., Панов М.В.; заявитель и патентообладатель ФГОУВПО "Брянская государственная сельскохозяйственная академия". - №2011109270/13; заявл. 11.03.2011; опубл. 10.09.2011, Бюл. №25. 2 с. : ил.

7. Контейнер с ворошителем для приготовления компоста: пат. 111966 Рос. Федерация / Лумисте Е.Г., Панова Т.В., Панов М.В., Шмигирилов С.Н.; заявитель и патентообладатель ФГОУВПО "Брянская государственная сельскохозяйственная академия". - №2011128828/13; заявл. 12.07.2011; опубл. 10.01.2012 Бюл. № 1. 2 с. : ил.

8. Измельчитель древесно-растительных отходов: Пат. 111967 Рос. Федерация / Лумисте Е.Г., Панова Т.В., Панов М.В., Шмигирилов С.Н., Лумисте К.О.; заявитель и патентообладатель ФГОУВПО "Брянская государственная сельскохозяйственная академия". - №2011128830/13; заявл. 12.07.2011; опубл. 10.01.2012 Бюл. № 1. 2 с. : ил.

9. Попкович Л.В. Совершенствование технологий вермикомпостирования в Брянской области для улучшения экологического качества копролита: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2006. 20 с.

УДК 696.133.33

Зверева Л.А., к.э.н., доцент, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО РЕЗУЛЬТАТА ПРИ ОЧИСТКЕ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОКОВ

Обозначены проблемы эколого-экономической эффективности очистки хозяйственно-бытовых стоков на очистных сооружениях. Дана оценка экономического результата от сброса не до очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод п. Кокино в р. Волосовку.

Ключевые слова: Экономический эффект, сточные воды, предотвращенный экономический ущерб, загрязняющие вещества.

В последние годы экологический фактор уже реально проявляется как составляющая общего снижения народного благосостояния.

Из чего можно предположить, что осуществляемые природоохранные мероприятия не достаточно эффективны, и установленные государством нормы платежей за загрязнение окружающей среды не стимулируют предприятия и организации на выполнение мероприятий по предупреждению или снижению ущерба окружающей среде.

Не являясь непосредственным источником средств материального производства, издержки предотвращения загрязнения отвлекают значительную часть трудовых и финансовых ресурсов, снижают темпы экономического роста, увеличивают себестоимость продукции. Это вызывает необходимость поиска разумных пропорций при выделении средств на мероприятия экологической направленности.

А поскольку затраты на очистку воды составляют 75-80% всех расходов на охрану окружающей среды, то более чем актуальна необходимость определения экологического и экономического эффекта выполняемых природоохранных мероприятий для водных объектов.

В соответствии с рекомендуемой типовой методикой определения экономической эффективности природоохранных мероприятий и оценки ущерба, наносимого народному хозяйству загрязнением окружающей среды, расчет экономического эффекта природоохранных мероприятий основывается на сопоставлении затрат на их осуществление с народнохозяйственным экономическим результатом, достигнутым благодаря этим мероприятиям.

В нашем случае дается оценка экономического результата от сброса не до очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод с. Кокино в р. Волосовку.

Экономический результат выражается величиной ликвидированного или предотвращенного экономического ущерба от нарушения или потерь ресурса и определяется по формуле

$$P = Y_{\text{п}} + D_{\text{ул}} \quad (1)$$

где Y_{Π} - величина предотвращенного экономического ущерба от проведения водо-охраных мероприятий, руб./год.

$D_{\text{ул}}$ - годовой расход от улучшения использования биогенных веществ и от других целевых эффектов в смежных отраслях в результате проведения водо-охраных мероприятий, руб.

Величина предотвращенного экономического ущерба от загрязнения биогенными веществами (Y_{Π} , руб.) равна разности между расчетными величинами возможного ущерба ($Y_{\text{в}}$), который имеет место или имел бы место в случае отказа от водо-охраных мероприятий и остаточным ущербом (Y_{o}) после их проведения, $Y_{\Pi} = Y_{\text{в}} - Y_{\text{o}}$

Возможный и остаточный ущербы определяются по формулам:

$$Y_{\text{в}} = 8400 \cdot G_K \cdot \sum M_{\text{в}} \cdot k_{\text{инф}}, \text{ тыс. руб.} \quad (2)$$

$$Y_{\text{o}} = 8400 \cdot G_K \cdot \sum M_{\text{o}} \cdot k_{\text{инф}}, \text{ тыс. руб.} \quad (3)$$

где 8400 – удельный ущерб, рублей на одну условную тонну биогенных веществ в ценах 2000 г., руб./т [1];

G_K - константа для различных водохозяйственных участков (коэффициент, учитывающий экологические факторы, по бассейнам морей и рек, для бассейна р. Десна, $G_K = 1,75$);

$\sum M_{\text{в}}$ и $\sum M_{\text{o}}$ - приведенная масса возможного и остаточного годового сброса биогенных веществ в водные объекты, т;

$k_{\text{инф}}$ - коэффициент, учитывающий инфляцию, (для Брянской области в 2015 году $k_{\text{инф}} = 7,5$).

Приведенная масса определяется по выражению:

$$\sum M_{\text{в}} = A_i \cdot m_{\text{в}i}, \text{ т} \quad (4)$$

$$\sum M_{\text{o}} = A_i \cdot m_{\text{o}i}, \text{ т} \quad (5)$$

где A_i – показатель относительной опасности i -го вещества, определяемый по формуле

$$A_i = \frac{1}{\text{ПДК}_i}, \quad (6)$$

m_{ei} и m_{oi} - масса годового сброса (возможного и остаточного) i -го вещества, т

$$m_{ei} = C_H \cdot V_{CT}, \text{ т/ГОД} \quad (7)$$

$$m_{oi} = C_{Oч} \cdot V_{CT}, \text{ т/ГОД} \quad (8)$$

где C_H - концентрация загрязняющих веществ в неочищенных стоках, г/л;

$C_{Oч}$ - концентрация загрязняющих веществ в очищенных стоках, г/л.

ПДК_{р/х} – предельно допустимая концентрация i вещества в водоеме для рыбохозяйственного назначения.

Не смотря на то, что в проектах строительства очистных сооружений учитываются все требования ГОСТов по очистке сточных вод до ПДК, при эксплуатации этих сооружений практически нигде не добиваются 100% степени очистки, так как качество работы сложных инженерных сооружений зависит от многих факторов: совершенства конструкций сооружения, квалификации обслуживающего персонала, бесперебойной подачи электроэнергии, температуры воздуха и воды и др.

Таблица – Расчет приведенной массы сброса загрязняющих веществ

Наименование п/п вещества	Концентрация стоков, г/м ³		Масса сброса в водоем (при V _{ст.} =325тыс.м ³ /ГОД), т		ПДК _{р/х} г/м ³	1/ПДК _{р/х} усл.т/т	Приведенная масса сброса в водоем, т	
	неочищ	очищен	возмож	остат.			возможн.	остаточн
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.Взвеш.вещества	282,2	6,32	91,9	2,05	10	0,1	9,19	0,21
2.БПК-5	115	6,3	37,38	2,04	3	0,33	12,33	0,67
3.Азот амонийный	41,2	4,3	13,39	1,4	0,5	2	26,78	2,8
4.Азот нитритный	0,042	0,4	0,014	0,123	0,02	50	0,7	6,13
5.Азот нитратный	0,18	2,7	0,059	0,88	0,1	10	0,59	8,64
6.Фосфаты	15,0	4,6	4,9	1,50	0,3	3,3	16,17	4,92
7.Нефтепродукты	0,04	0,02	0,013	0,006	0,5	20	0,26	0,12
8.Минер, состав	-	201,2	-	65,4	400	0,0025	-	0,16
9.ХПК	280	50	91	16,3	5	0,2	18,2	3,25
ИТОГО							84,22	26,9

Возможный ущерб, $U_e = 8400 \cdot 1,75 \cdot 84,22 \cdot 7,5 = 9285,255$ тыс. руб.

Обычно эффективность работы очистных сооружений не превышает 90%, а в некоторых случаях может быть на много ниже.

В данном примере очистные сооружения задерживают только около 68% приведенной массы загрязняющих веществ, что подтверждают лабораторные данные и расчеты.

Остаточный ущерб, $Y_o = 8400 \cdot 1,75 \cdot 26,9 \cdot 7,5 = 2965,725$ тыс. руб.

Предотвращенный ущерб, $Y_{\Pi} = 9285,255 - 2965,725 = 6319,53$ тыс. руб.

Поскольку сухой осадок сточных вод на иловых площадках не утилизируется, то дополнительный доход не определяем, тогда экономический результат (Р) будет равен 6319,53 тыс. руб. (в текущих ценах).

Расчеты показывают, что остаточный ущерб от сброса сточных вод в р. Волосовку равный 2965,725 тыс. руб. в год, значительно превышает платежи за сброс загрязняющих веществ, т. е. платежи покрывают только 20% причиняемого ущерба.

Таким образом, одной из актуальных проблем является установление экономически обоснованного уровня издержек предотвращения загрязнения водоемов. В частности, важными представляются вопросы рационального распределения средств между различными направлениями экологических мероприятий.

В нашем примере можно предложить два направления: построить дополнительно дорогостоящие сооружения для доочистки или использовать не до очищенные сточные воды для орошения, во втором случае кроме повышения степени очистки сбрасываемых в водоем вод, можно получить доход от производства с земель орошаемых сточными водами.

Литературные источники: 1. Идентификация и оценки «Горячих точек»: национальный отчет по проекту за 2001-2003 гг., 2003;

*Широбокова О.Е., к.т.н. доцент, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
Грунтович Н.В., д.т.н., профессор, УО ГГТУ*

ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ (РЕЗОНАТОРОВ)

Компенсация реактивной мощности является важной частью задачи электроснабжения промышленных предприятий АПК. Существуют следующие виды компенсации реактивной мощности:

1. Групповая компенсация - компенсация при которой предприятие практически не имеет никакой экономии (от реактивной энергии разгружаются сети энергоснабжающей организации) (Рис. 1. -КУ-1, КУ-2)

2. Индивидуальная компенсация – компенсация которая имеет ряд преимуществ по сравнению с групповой. Одним из которых является реальная экономия электрической энергии. (Рис.1.-КУ-3).

Электрические двигатели и распределительные трансформаторы служат основным оборудованием, создающим нагрузку в электросетях, за исключением некоторых специфичных производств - электросталеплавильные печи, производство алюминия, гальваническая обработка и пр. В подавляющем большинстве случаев нагрузка носит индуктивный характер. В этом случае снижается $\cos\varphi$ и для его повышения необходимо подключить компенсирующее устройство [1,2-2].

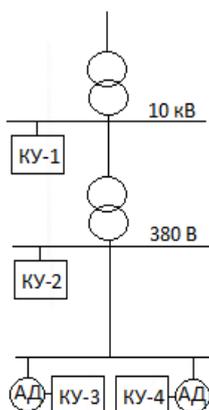


Рисунок 1 - К иллюстрации подключения КУ

Это приводит к тому, что результирующая нагрузка становится чисто активной и $\cos\varphi$ приобретает максимальное значение. При повышении $\cos\varphi$ с 0,5 до 0,9 снижение общей потребляемой мощности составляет 44%.

Подключение компенсирующих устройств КУ-1 или КУ-2 практически не влияет на уменьшение реактивной мощности в ЭД. Наибольший эффект достигается при подключении компенсирующего устройства (КУ) непосредственно к электродвигателю.

В странах ЕС ведется жесткий контроль над реактивной мощностью предприятий (табл. 1).

Таблица 1 - Наценка за неподдержание предписанного уровня $\cos\varphi$ (Европейские страны)

tg φ отбора	$\cos\varphi$ отбора	Наценка в %
1,008-1,034	0,7	37,59
0,869-0,895	0,75	28,07
0,737-0,763	0,8	19,74
0,607-0,632	0,85	12,38
0,471-0,498	0,9	5,85
0,311-0,346	0,95-1	Наценка отсутствует

Результаты экспериментальных исследований использования КУ на ответственных предприятиях представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты экспериментальных исследований на предприятиях от применения индивидуальных компенсаторов РМ (экспериментальные данные авторов)

Функция механизма	Р _{ном} ЭД, кВт	РРежим работы ЭД	Значения параметров ЭД			
			I _{нагр} , А	$\cos\varphi$	P, кВт	Q, кВАр
Конвейерный транспорт	132	Без КУ	99,6-101	0,37-0,49	18,8-34,5	54,2-54,6
		С КУ	20-22	0,99	8-11,5-14	0,12-0,6
Дымосос котла	11	Без КУ	11,3	0,3	2,85	6,95
		С КУ	2,9	0,99	1,68	0,67
Насос	250	Без КУ	357,8	0,8	208,3	152,9
		С КУ	263,8	1,0	189,3	2,4

При использовании индивидуальной компенсации (резонаторов) достигаются следующие результаты:

- снижение потребления активной мощности электродвигателя на 5-12% в зависимости от его режима работы; - компенсация реактивной мощности на 98-99% и, соответственно рост $\cos\phi$ до 0,9-0,95;

- уменьшение величины потребляемого тока на 15-35%

- снижение вибрации двигателя;

- снижение пусковых токов на 10-20%;

- уменьшение значений высших гармоник;

- увеличение времени выбега двигателя в 2-3 раза после отключения питающего напряжения, что может обеспечить повторный запуск электродвигателя после кратковременного обесточивания.

- уменьшение вибрации корпуса электродвигателей на отдельных частотах.

Литература

1. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электрической энергии. М.: Энергоатомиздат, 1985. 224 с.

2. Грунтович Н.В. Экспертные системы управления энергоэффективностью и энергетической безопасностью // Энергоэффективность: опыт, проблемы, решения. 2014. № 4. С. 16-20.

УДК 66.087.7

Безик Д.А., директор института ЭиП, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

Кисель Ю.Е., д.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

Кубаткина О.В., ст. преподаватель, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

Кацера А.А., студент, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

СТРУКТУРА И ПРОЧНОСТЬ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Выполнен анализ связи структуры с физико-механическими свойствами электрохимических покрытий. Показано, что дилатация может достаточно достоверно служить интегральным показателем совершенства материала. На основе теоретических зависимостей металловедения и рентгеноструктурного анализа получены уравнения, связывающие структуру и прочность покрытий

Ключевые слова: композиционные электрохимические покрытия, структура, износостойкость, микротвердость, дисперсная фаза, механические свойства, износостойкость

STRUCTURE AND STRENGTH OF GALVANIC COATINGS

An analysis is made of the relationship between the structure and the physicomachanical properties of electrochemical coatings. It is shown that the dilatation can serve as an integral measure of the perfection of the material quite reliably. On the basis of theoretical dependences of metal science and X-ray structural analysis, equations are obtained that bind the structure and strength of coatings

Composite electrochemical coatings, structure, resistance increase, microhardness, dispersed phase, mechanical properties, resistance increase

Электролитическое железо и его сплавы обладают рядом специфических свойств, которые объясняются их особой структурой, формируемой электрокристаллизацией. В литературе в основном приводятся зависимости механических свойств покрытий от параметров электролиза [1]. Попытки сопоставления свойств покрытий и структуры единичны [1]. Однако для целенаправленного управления процессом электролиза необходимо установить взаимосвязь свойств покрытий и структуры. По этому основным вопросом исследований было влияние параметров электролиза на субмикроструктуру железо-кобальтовых покрытий, полученных из растворов оптимального состава, найденных ранее [1].

Исследования показали, что микроструктура железо-кобальтовых покрытий существенно зависит от параметров электролиза (рис. 1). Сопоставление результатов исследования микроструктуры железо-кобальтовых покрытий показало, что изменение плотности дислокаций со снижением температуры согласуется с изменениями износостойкости и микротвердости (рис.2). Мелкозернистые осадки с высокой плотностью дислокаций обладали более высокой износостойкостью и микротвердостью. Покрытия получались блестящие с густой сеткой микротрещин. Хотя некоторые трещины достигали основания, можно предположить, что покрытия сопротивлялись износу благодаря высокой адгезии. Появление сетки трещин приводило к дополнительному упрочнению материала, так как они являются барьерами при движении дислокаций, пока не перерастут в макротрещины и не приведут к охрупчиванию материала [2]. Увеличение плотности тока приводило к увеличению плотности дислокаций и микроискажений, измельчению блоков (рис.1). Увеличение кислотности раствора приводило к тому, что выделение металла на катоде происходит с мень-

шим перенапряжением, осадки имели более низкую плотность дислокаций и микротвердость (Рис. 3.16.). Увеличение рН раствора до 1.2 приводило к защелачиванию прикатодного слоя. Осадки получались рыхлыми, темно-серого цвета, обладали низкой абразивной износостойкостью. Анализ данных показал, что зависимость микроструктуры железо-кобальтовых покрытий от параметров электролиза имела аналогичный характер (рис. 3.19.-3.21.). Повышение плотности тока способствовало образованию более мелкозернистых осадков с высокой плотностью дислокаций, в связи с чем повышались их микротвердость и износостойкость. Повышение температуры снижает катодную поляризацию, способствуя образованию более пластичных крупнозернистых осадков с низкой плотностью дислокаций (рисунок), что приводило к снижению микротвердости и износостойкости осадков (рисунок).

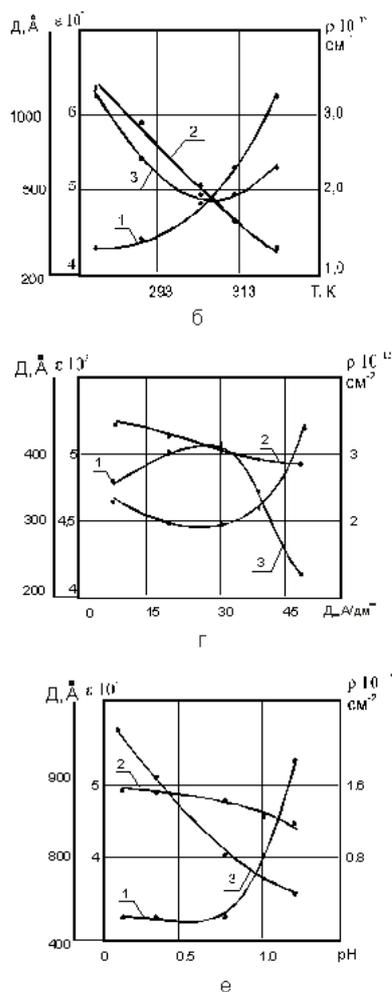
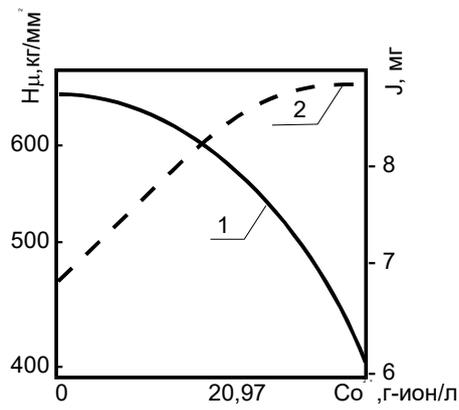
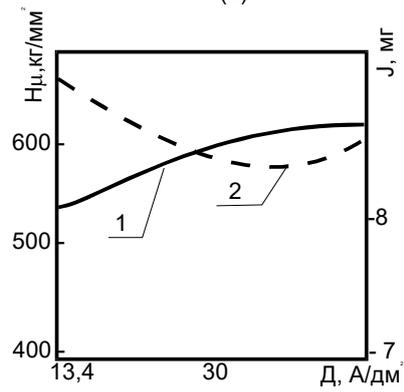


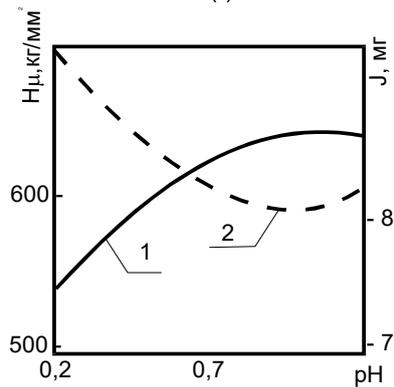
Рисунок 1 - Влияние режимов электролиза на параметры субструктуры железо-кобальтовых покрытий



(б)



(г)



(е)

Рисунок 2 - Влияние режимов электролиза на микротвердость (1) и износостойкость железо-кобальтовых покрытий

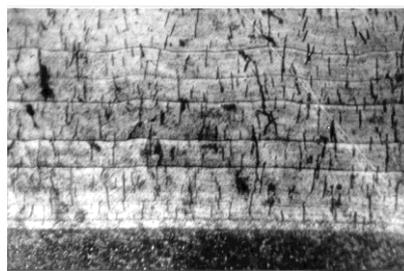


Рисунок 3 – Структура железо-кобальтовых покрытий

При исследовании тонкой структуры осадков было установлено, что ужесточение параметров электролиза приводило к увеличению плотности дислокаций и микроискажения решетки, измельчению блоков мозаики. Анализ данных по исследованию субмикроструктуры электролитических сплавов показал, что зависимость $H_M=f(D^{-1/2})$ имеет линейный характер, как и для чистого электролитического железа, полученного из хлористого электролита. Для железо-кобальтовых покрытий эта зависимость описывается следующим уравнением:

$$H_{\mu} = 5,86 + \frac{8,62 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{D}}, \quad (1)$$

Учитывая физическую природу микротвердости и соотношение $\sigma_m = \frac{1}{3} H_{\mu}$ [1], для пределов текучести железо-кобальтовых покрытий следующие выражения:

$$H_{\mu} = 4,16 + \frac{9,75 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{D}}. \quad (2)$$

Наиболее износостойкие покрытия соответствовали области образования в осадках устойчивых субмикротрещин. Происходило упрочнение материала, обусловленное процессом пластической деформации осадка в процессе электролиза, аналогичной субмикроструктурному упрочнению при пластической деформации (рис.2). Хотя осадок пронизан густой сеткой субмикротрещин, прочность покрытий на сдвиг повышалась. Действительно, трещины дополнительно оказывали сопротивление движению дислокаций, благодаря чему, как установлено выше, повышалась микротвердость и износостойкость.

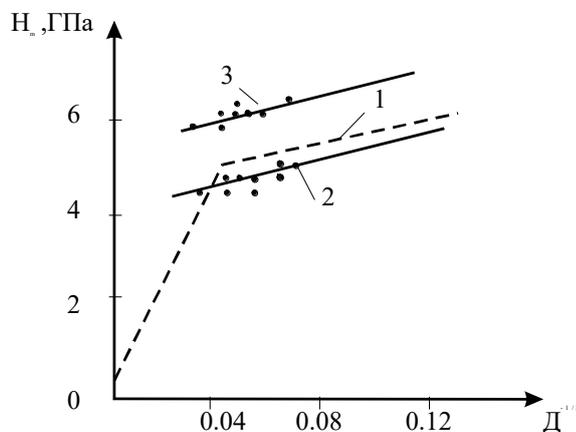


Рисунок 4 – Зависимость микротвердости от параметров субструктуры железо-кобальтовых покрытий

Таким образом, для осаждения наиболее износостойких при трении о нежесткозакрепленный абразив железо-никелевых покрытий, предназначенных для повышения долговечности деталей машин, необходимо соблюдать следующие режимы электролиза: плотность тока $-35...40 \text{ А/дм}^2$; температура электролита - $30...35 \text{ }^\circ\text{C}$; $\text{pH} = 0,7...0,9$. Наиболее износостойкие железо-кобальтовые покрытия для восстановления быстроизнашиваемых деталей машин следует получать при плотности тока $-30...35 \text{ А/дм}^2$; температуре электролита - $30...35 \text{ }^\circ\text{C}$; $\text{pH} = 0,7...0,9$. Установлено, что указанные режимы электролиза позволяют получать осадки износостойкостью в $1,5...2$ раза более чем закаленная сталь 65Г, используемая для изготовления серийных лемехов и $4...5$ раз эталонных образцов из стали 35, что позволяет рекомендовать в качестве основы для КЭП и восстановления деталей машин.

Исследования тонкой структуры покрытий подтвердили, что упрочнение материала при электролизе происходит за счет измельчения блоков, увеличения плотности дислокаций и микроискажения кристаллической решетки, как и при пластическом деформировании. Следовательно, зависимость упрочнения осадков от параметров субмикроструктуры соответствует закону Холла-Петча (Петча-Стро). У наиболее износостойких предельно упрочненных осадков плотность дислокаций достигала $2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$, что соответствует предельному упрочнению чистых металлов. Дальнейшее ужесточение режимов электролиза приводит к разупрочнению покрытий и уменьшению их прочностных свойств. Поэтому дальнейшее повышение износостойкости покрытий возможно за счет введения в них твердых частиц.

Литература

1. Кисель Ю.Е., Гурьянов Г.В. Влияние дисперсной фазы на коэффициент вариации микротвердости композиционных электрохимических покрытий // Упрочняющие технологии и покрытия. 2009. № 3. С. 18-20.
2. Лазерная обработка износостойких композиционных электрохимических покрытий / Г.В. Гурьянов, С.С. Годунов, П.Е. Кисель, Ю.Е. Кисель // Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. № 9. С. 32-37.

3. Гурьянов Г.В., Кисель Ю.Е. Износостойкие электрохимические сплавы и композиты на основе железа. Брянск, 2015.

УДК 66.087.7

*Безик Д.А., директор института ЭиП, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
Кисель Ю.Е., д.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
Симохин С.П., ст. преподаватель, ФГБОУ ВО Брянский ГИТУ
Козлова А.А., студент, ФГБОУ ВО Брянский ГИТУ*

ДЕМПФИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ

Исследовано влияние осадков электролитического железа и композита на его основе на демпфирование упругих колебаний. Установлено, что покрытия значительно увеличивают затухание упругих колебаний. Показано, что термообработка покрытий приводит к резкому уменьшению затухания упругих колебаний

Ключевые слова: композиционные электрохимические покрытия, структура, износостойкость, микротвердость, дисперсная фаза, механические свойства, износостойкость

The effect of precipitation of electrolytic iron and a composite on its basis on the damping of elastic vibrations is studied. It is established that coatings significantly increase the damping of elastic vibrations. It is shown that thermal treatment of coatings leads to a sharp decrease in the damping of elastic oscillations

Keywords: composite electrochemical coatings, structure, wear resistance, microhardness, dispersed phase, mechanical properties, wear resistance

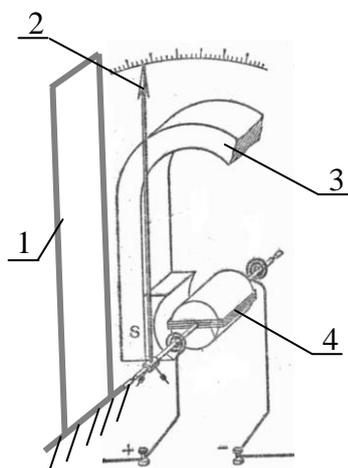
Динамические условия работы некоторых восстановленных электролитическим железением деталей машин не могут быть охарактеризованы только усталостной прочностью и износостойкостью. Статистика показывает, что большое количество поломок и аварий в технике является результатом непогашенных колебаний, которые упругие системы не могут погасить. Особую роль играет рассеяние энергии в процессе колебаний связано с явлением резонанса. По причине плохих демпфирующих свойств для изготовления валов двигателей и других ответственных деталей не нашли применения многие высокопрочные легированные стали. Имеющиеся в литературе данные о влиянии пористого хрома, серебра и олова указывает на существенное влияние покрытий на демпфирование упругих колебаний. Влияние железа и композиционных электрохи-

мических покрытий (КЭП) на их основе, несмотря на его широкое применение в ремонтном производстве, практически не изучено. Поэтому целью исследований было оценить влияние электролитического железа и КЭП на его основе на демпфирование упругих колебаний.

В соответствии с целью исследований в работе использовалась методика определения логарифмического декремента затухания по виброграммам поперечных колебаний консольных образцов (рисунок 1). Данная схема использовалась ранее в работах [1, 2] для измерения внутреннего трения и логарифмического декремента затухания в биспиралях и пластинах. В качестве характеристики рассеяния энергии колебательной системы использовался логарифмический декремент затухания свободных колебаний (δ), который определялся из соотношения:

$$\delta = \frac{1}{z} \ln \frac{A_i}{A_{i+z}}, \quad (1)$$

где z – число циклов колебаний на участке виброграммы поперечных колебаний консольных образцов; A_i и A_{i+z} – амплитуды колебаний.



- 1 – образец;
- 2 – стрелка вольтметра;
- 3 – магнит;
- 4 – измерительная катушка
вольтметра

Рисунок 1 – Схема установки для определения логарифмического декремента затухания

Для получения покрытий был выбран раствор хлористого железа ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ -500г/л) – один из самых производительных и широко применяемых на практике. В качестве образцов использовались пластины из стали СтЗ

размерами $170 \times 10 \times 0,6$ мм, равномерно покрытые с обеих сторон слоем электролитического железа толщиной $0,05 \pm 0,01$ мм. Для получения КЭП в раствор вводили порошок карбида бора марки М10. Содержанием микропорошка поддерживали в пределах $90 \dots 100$ кг/м³.

Свободные колебания вызывались быстрым снятием нагрузки, приложенной к незакрепленному концу образца. Поперечные колебания, преобразованные посредством колебаний стрелки вольтметра магнито-электрической системы, жестко связанной с образцом, в колебания ЭДС на зажимах вольтметра, записывались с помощью осциллографа на бумагу в затухающую синусоиду (Рисунок 2). Система стабилизации стрелки вольтметра спиральными пружинами была устранена с целью уменьшения аппаратных потерь. Для исключения влияния условий испытаний на характеристики демпфирования первые 2 виброграммы затухания колебаний образца исключались из рассмотрения [1]. Логарифмический декремент затухания относился к среднему на данном участке амплитуд напряжению в наружных волокнах образца в месте его закрепления с учетом изменения сечения за счет покрытия.

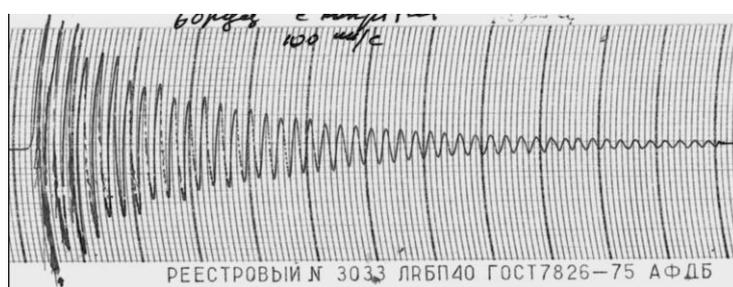


Рисунок 2 – Виброграмма колебаний образца

Исследования показали, что логарифмический декремент затухания образцов с покрытиями электролитического железа и КЭП был значительно больше, чем у образцов без покрытия (рисунок 3). Увеличение δ согласуется с данными работы [3] и связано с особенностями строения покрытий. Так как при испытании основное участие в рассеянии упругой энергии принимают на себя наружные слои покрытия, рассеяние энергии упругих колебаний можно объяснить с точки зрения дислокационной теории внутреннего трения [4]. Согласно пред-

ставлениям Гранато и Люкке увеличение плотности дислокаций способствует рассеянию энергии упругих колебаний. Особенности строения электролитических осадков является высокая плотность дислокаций [5], которая наблюдается даже при «мягких» условиях электролиза. Демпфирующая способность КЭП на основе электролитического железа несколько хуже, чем у «чистых» покрытий. Введение твердой дисперсной фазы в электролитическое железо уменьшает трещиноватость, слоистость микроструктуры покрытий. Твердые частицы при соосаждении с металлом изменяют тонкую структуру покрытия, уменьшая плотность дислокаций [6], что и приводит к снижению логарифмического декремента затухания колебаний образца.

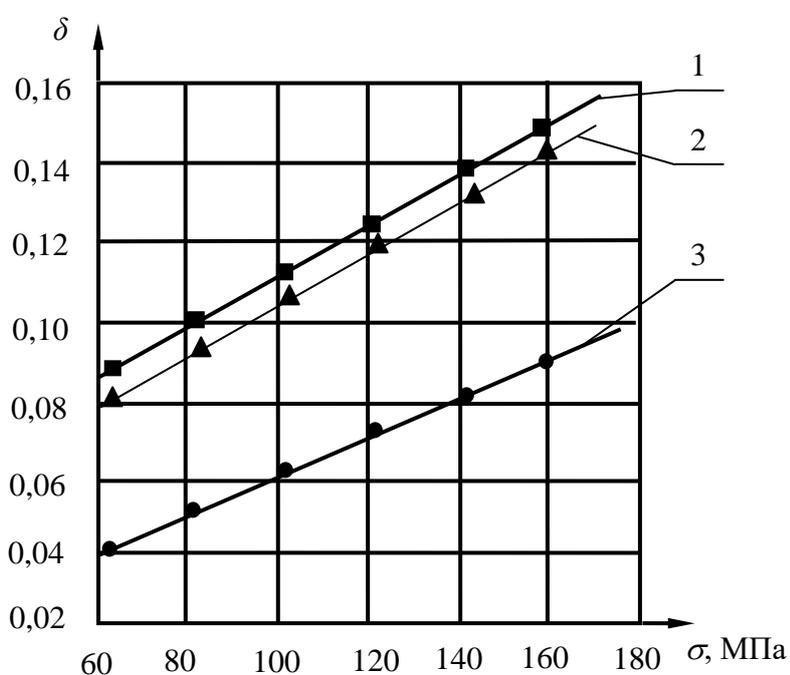


Рисунок 3 – Логарифмический декремент затухания образцов: 1 – с «чистым» электролитическим железом; 2 – с КЭП; 3 – без покрытия

Таким образом, электролитические железные покрытия и КЭП на их основе, имеющие в исходной структуре высокую плотность дислокаций, увеличивают затухание упругих колебаний, что является ценным эксплуатационным свойством наряду с высокой износостойкостью и прочностью сцепления.

Литература

1. Кисель Ю.Е., Гурьянов Г.В. Влияние дисперсной фазы на коэффициент

вариации микротвердости композиционных электрохимических покрытий // Упрочняющие технологии и покрытия. 2009. № 3. С. 18-20.

2. Лазерная обработка износостойких композиционных электрохимических покрытий / Г.В. Гурьянов, С.С. Годунов, П.Е. Кисель, Ю.Е. Кисель // Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. № 9. С. 32-37.

3. Гурьянов Г.В., Кисель Ю.Е. Износостойкие электрохимические сплавы и композиты на основе железа. Брянск, 2015.

4. Внутреннее трение и дефекты в металлах. М.: «Металлургия», 1965.

5. Электролитическое осаждение железа / Ю.Н. Петров, Г.В. Гурьянов, Ж.И. Бобанова и др. Кишинев: Штиинца, 1990. 195 с.

6. Гурьянов Г.В. Электроосаждение износостойких композиций. Кишинев: Штиинца, 1985. 237 с.

Научное издание

**ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

**Сборник материалов
национальной научно-технической конференции
(20-21 октября 2016 г.)**



Научный редактор Ю. Е. Кисель

Редактор Лебедева Е.М.

Подписано к печати 24.04.2018 г. Формат 60x84 1/16.
Бумага печатная. Усл. п. л. 4,65. Тираж 550 экз. Изд. № 5870.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ