

УДК 629.113.004.53

UDC 629.113.004.53

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ
ФИЛЬТРА ТОНКОЙ ОЧИСТКИ
ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА**

**TECHNIQUE OF AN ASSESSMENT OF
IMPURITY OF THE THIN PURIFICATION
FILTER OF DIESEL FUEL**

Симдянкин Аркадий Анатольевич
д.т.н., профессор

Simdyankin Arkadiy Anatolievich
Dr.Sci.Tech., professor

Успенский Иван Алексеевич
д.т.н., профессор

Uspensky Ivan Alekseevich
Dr.Sci.Tech., professor

Синицин Павел Сергеевич
аспирант
*Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева, Рязань,
Россия*

Sinitsin Pavel Sergeevich
postgraduate student
*Ryazan State Agrotechnological University named
after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

В данной статье рассмотрены результаты исследований преподавателей и сотрудников ФГБОУ ВПО РГАТУ, подтвержденные патентами РФ

This article discusses the results of the studies made by the faculty and the staff of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev confirmed with RF patents

Ключевые слова: ДИАГНОСТИРОВАНИЕ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Keywords: MAINTENANCE DIAGNOSIS MOBILE ENERGY FUNDS, INCREASING OPERATING EFFICIENCY OF ROAD TRANSPORT

При расчете сложных математических систем часто прибегают к электромеханической аналогии, противопоставляя механической системе соответствующую электрическую [1-4]. Например, при механических колебаниях периодически изменяются координата тела x и проекции его скорости v на оси координат $(v_x; v_y)$. При электромагнитных колебаниях меняются заряд конденсатора q и сила тока в цепи I .

Аналогичность представления базируется не на природе противопоставляемых величин, а на процессах их периодического изменения. Например, тело на пружине возвращается к положению равновесия под действием силы упругости F , которая пропорциональна смещению тела от положения равновесия

$$F = -kx \tag{1}$$

а разряд конденсатора обусловлен наличием разности потенциалов (напряжением U) между пластинами конденсатора

$$U = \frac{1}{C} q \quad (2)$$

Если рассмотреть конденсатор в составе колебательного контура, то электрический ток в катушке – за счет явления самоиндукции – увеличивается под действием напряжения постепенно и не исчезает в момент, когда напряжение становится равным нулю. В данном случае индуктивность контура L будет играть ту же роль, что и масса тела m в механике.

Таким образом, жесткость k пружины играет при механическом колебательном процессе такую же роль, как величина $\frac{1}{C}$ при электромагнитных колебаниях, а начальная координата x_m соответствует заряду q_m [5-8].

Рассмотрим фильтрацию топлива в системе топливоподачи ДВС. Она характеризуется пульсацией топлива с частотой, зависящей от количества форсунок и оборотов двигателя.

Введем следующие допущения:

пульсация топлива изменяется по гармоническому закону;

пульсация топлива не зависит от загрязненности фильтрующего элемента фильтра;

течение топлива в топливопроводе – ламинарное;

сила, создаваемая за счет разряжения на выходе фильтра топливным насосом высокого давления (ТНВД), прямо пропорциональна давлению, умноженному на площадь сечения топливопровода;

фильтр полностью заполнен топливом.

На самом деле форма импульса давления топлива за счет высокого быстродействия форсунок будет близка к прямоугольнику (рис. 1). При этом с увеличением загрязненности фильтра прямоугольные фронты будут заваливаться с обеих сторон. Заваливание фронтов будет связано, в

первую очередь, с замедлением отклика фильтрующего элемента (мембраны) на изменение давления – как при его повышении, так и снижении с максимального уровня до минимального – вследствие ее засоренности.

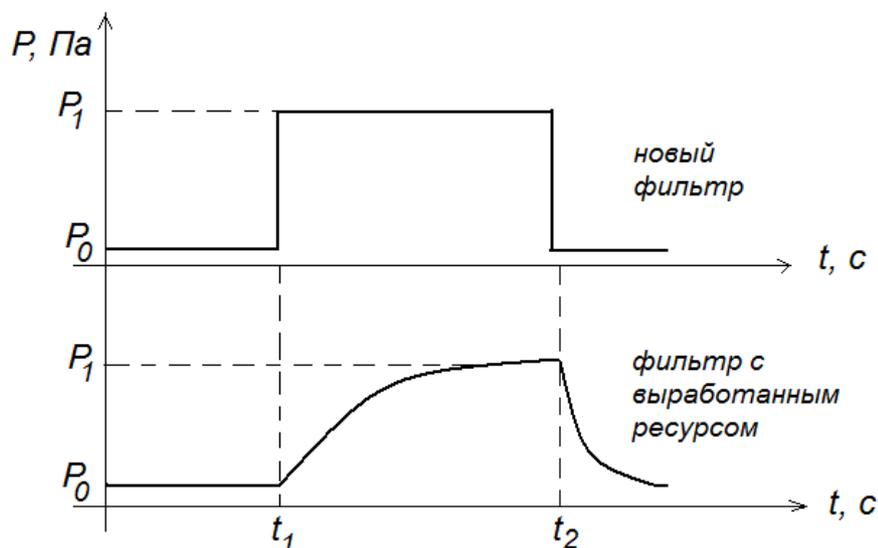


Рисунок 1 - Изменение формы импульса давления топлива, связанное с загрязнением фильтра

Найдем максимальную скорость изменения положения мембраны фильтра, находящегося в среде топлива, при действии на него переменной силы, определяемой пульсацией давления в топливопроводе (рис. 2).

Сила F , действующая на мембрану, пропорциональна пульсации давления ΔP . Отклонение мембраны d пропорционально пульсации давления ΔP и жесткости ее крепления K к стенкам фильтра. Изменение массы мембраны m влияет на скорость реагирования отклонения мембраны на изменение давления ΔP .

Перейдем к следующей схеме фильтрующего элемента (рис.3). представим мембрану как тело с массой m (на самом деле масса m должна учитывать массу присоединенной жидкости, но это достаточно сложная гидромеханическая задача, поэтому введем допущение, что масса присоединенной жидкости не учитывается), находящееся в вязкой жидкости (коэффициент вязкости b). Коэффициент жесткости K

определяется жесткостью крепления мембраны к стенкам фильтра. Сила F возникает при каждой пульсации давления в топливопроводе.

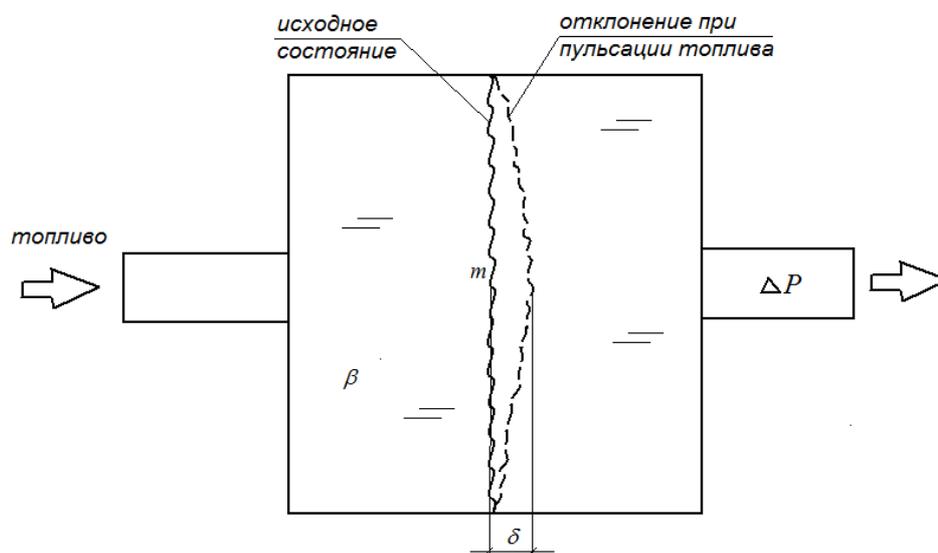


Рисунок 2 - Отклонение мембраны при пульсации давления

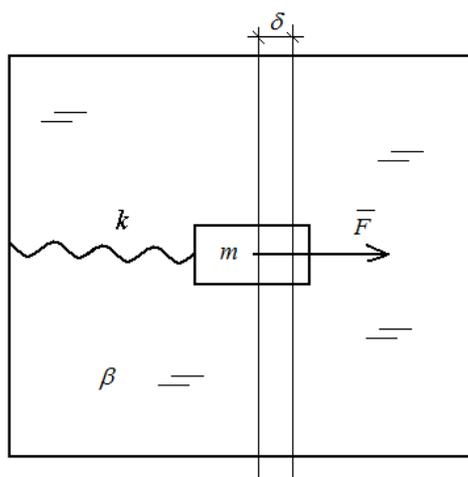


Рисунок 3 - Схема фильтрующего элемента

Пользуясь правилами аналогий, составим электрическую схему: она выглядит как колебательный контур, содержащий внешний источник переменного тока (рис.4), закон изменения которого определяется законом пульсации топлива.

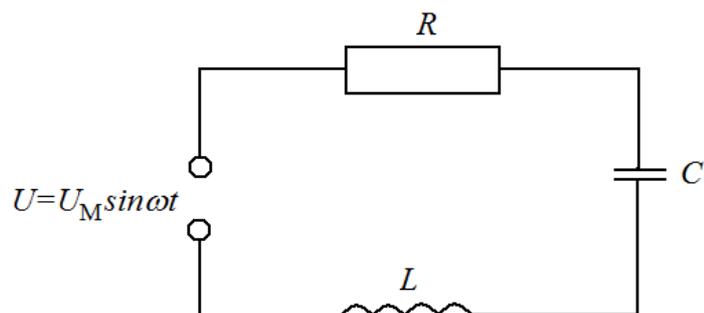


Рисунок 4 - Колебательный контур

Используем закон Ома для участка цепи для переменного тока и найдем максимальную силу тока

$$I_M = \frac{U_M}{Z} = \frac{U_M}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad (3)$$

где U_m – максимальное (амплитудное) значение напряжения, В; Z – полное сопротивление цепи, Ом; R – активное сопротивление, Ом; L – индуктивность, Гн; C – емкость, Ф; ω - частота вынужденных колебаний, C^{-1} .

Установим соответствия характеристик механической и электрической схем:

$$F \rightarrow U ; m \rightarrow L ; k \rightarrow \frac{1}{C} ; b \rightarrow R . \quad (4)$$

Изменения коэффициента упругости (жесткости) K крепления мембраны к стенкам корпуса и массы m мембраны можно определить экспериментально у нового фильтра и фильтра, выработавшего свой ресурс. Вязкость топлива задается техническими условиями, но может быть оценена также экспериментально.

Примем за исходные следующие значения.

Топливный насос высокого давления, марка Denso HP3, включающий топливоподкачивающий насос Feed pump (рис.5). Частота вращения вала подкачивающего насоса 1000 мин^{-1} ($\approx 17 \text{ с}^{-1}$), при этом прокачивается объем топлива $245 \pm 60 \text{ см}^3/\text{мин}$.

Кинематическая вязкость дизельного топлива: летнее 3-6 $\text{мм}^2/\text{с}$, зимнее 1,8-5 $\text{мм}^2/\text{с}$, арктическое 1,5-4 $\text{мм}^2/\text{с}$.

Разрежение в топливопроводе $P = 5000 \dots 12000 \text{ Н/м}^2$.

Площадь топливопровода $S = 38,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

Процесс измерения масс фильтров нового, с пробегом 10 тыс. км и 20 тыс. км представлен на рис.6-9.

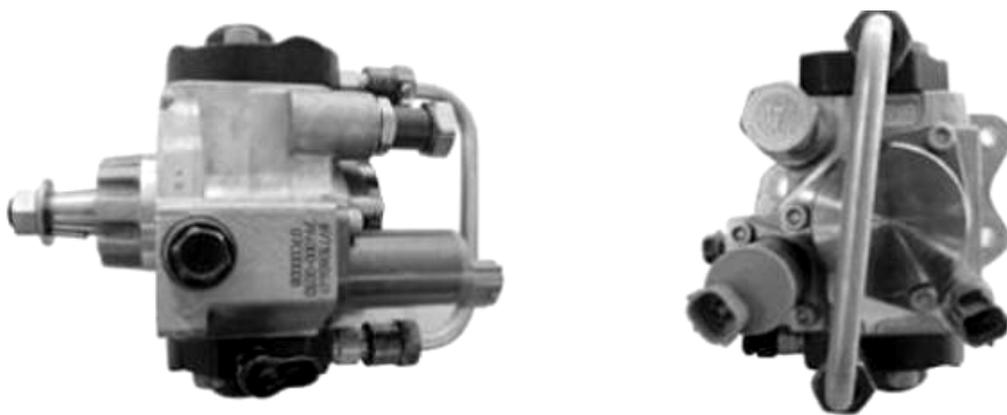


Рисунок 5 - Топливоподкачивающий насос Feed pump



Рисунок 6 - Измерение массы нового фильтра



Рисунок 7 - Измерение массы нового фильтра после заполнения топливом и последующей просушки



Рисунок 8 - Измерение массы фильтра с пробегом 10000 км



Рисунок 9 - Измерение массы фильтра с пробегом 20000 км

Разряжение в топливопроводе с установленным в нем фильтром тонкой очистки топлива системы Common Rail, определялось путем установки датчика калибратора давления "Метран" (рис.10-11) в системе питания перед топливным насосом высокого давления марки Denso HP3. Для проведения измерений использовались модули давления М 0.16 МПа №972, М 1 МПа №735, М -100 МПа №049 калибратора давления "Метран" (табл.).

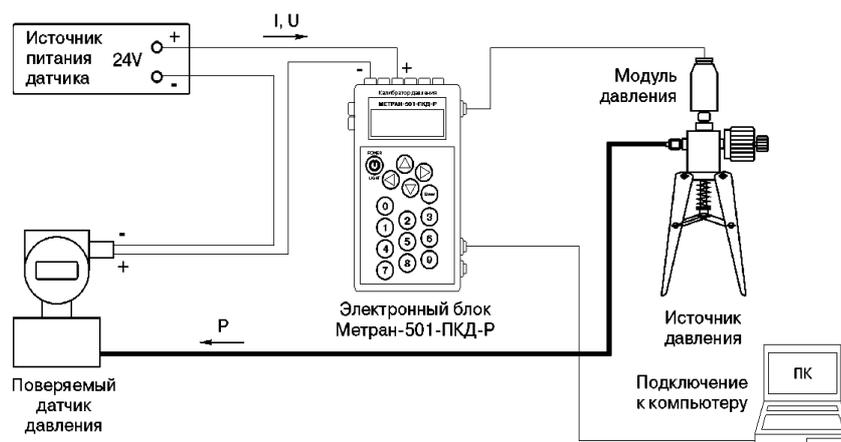


Рисунок 10 - Схема измерения калибратором давления "Метран"



Рисунок 11 - Измерение калибратором давления "Метран" разряжения в топливопроводе автомобиля

Таблица - Основные технические характеристики калибратора давления "Метран"

| Код модуля давления | Диапазоны измерений давления, МПа | Поддиапазоны измерений давления, МПа | | | | Предельно-допускаемое давление, МПа |
|---|-----------------------------------|--------------------------------------|--------|----------|---------|-------------------------------------|
| Модули избыточного давления | | | | | | |
| К2.5 | 0-0.0025 | 0-0.0016 | | 0-0.0025 | | 0.0035 |
| К2.5Д | | | | | | 0.005 |
| К6 | 0-0.006 | 0-0.004 | | 0-0.006 | | 0.0085 |
| К6Д | | | | | | 0.012 |
| К25 | 0-0.025 | 0-0.01 | | 0-0.016 | 0-0.025 | 0.035 |
| К25Д | | | | | | 0.05 |
| МО,16 | 0-0.16 | 0-0.04 | 0-0.06 | 0-0.1 | 0-0.016 | 0.22 |
| МО,16Д | | | | | | 0.32 |
| М1 | 0-1.0 | 0-0.25 | 0-0.4 | 0-0.6 | 0-0.1 | 1.4 |
| М1Д | | | | | | |
| М2.5 | 0-2.5 | 0-1.6 | | 0-2.5 | | 3.5 |
| М10 | 0-10 | 0-4.0 | | 0-6.0 | 0-10.0 | 14 |
| М25 | 0-25 | 0-16.0 | | 0-25.0 | | 35 |
| М60 | 0-60 | 0-40 | | 0-60 | | 70 |
| Модули вакуумметрического давления (разряжения) | | | | | | |
| В25 | -0.025...0 | -0.025...0 | | | | -0.035 |
| В63 | -0.063...0 | -0.063...0 | | | | -0.09 |
| В100 | -0.1...0 | -0.1-0 | | | | -0.1 |

Результаты измерений разряжения в топливопроводе от пробега автомобиля приведены на рис.12-13. Зависимости, приведенные на рис.12, могут быть описаны следующими уравнениями:

$$\text{для холостого хода } P = 8,4 \cdot 10^{-8} L^2 + 1,7 \cdot 10^{-3} L + 50,5; \quad (5)$$

$$\text{для 1400 об/мин } P = 7,2 \cdot 10^{-8} L^2 + 1,935 \cdot 10^{-3} L + 51,5; \quad (6)$$

$$\text{для 2000 об/мин } P = 6,65 \cdot 10^{-8} L^2 + 2,03 \cdot 10^{-3} L + 52, \quad (7)$$

при этом величина достоверности аппроксимации графиков экспериментальных зависимостей не хуже, чем 0,99.

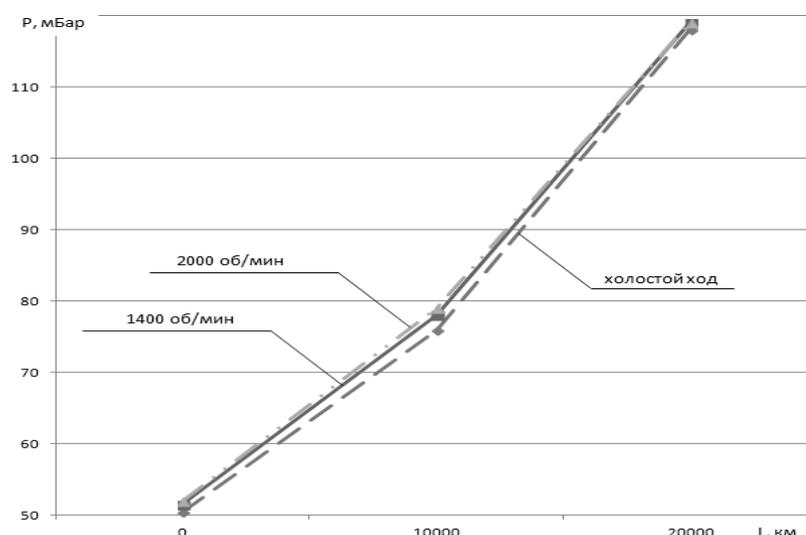


Рисунок 12 - Зависимость разряжения P в топливопроводе от пробега L автомобиля

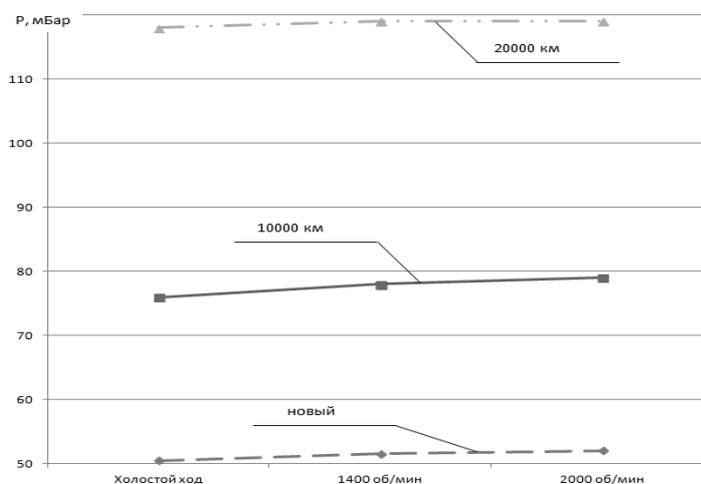


Рисунок 13 - Зависимость разряжения P в топливопроводе от оборотов двигателя для фильтров с различным пробегом

Частота пульсаций топлива в топливопроводе равна частоте вращения вала подкачивающего насоса 1000 мин⁻¹ ($\approx 17 \text{ C}^{-1}$).

Измерены следующие параметры:

масса нового фильтра после заполнения топливом и последующей просушки $m_0 = 0,124 \text{ кг}$; с пробегом 10000 км $m_{10} = 0,157 \text{ кг}$; с пробегом 20000 км $m_{20} = 0,173 \text{ кг}$;

коэффициент жесткости нового фильтра $k_0 = 945311 \text{ Н/м}$; с пробегом 10000 км $k_{10} = 733190 \text{ Н/м}$; с пробегом 20000 км $k_{20} = 594876 \text{ Н/м}$;

Известны следующие параметры, необходимые для расчета:

среднее значение коэффициента вязкости летнего топлива $b_{л} = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; зимнего топлива $b_{з} = 3,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; арктического топлива $b_{а} = 2,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;

сила, действующая на мембрану при создании разрежения $F = P_{ch} S = 8,5 \cdot 10^3 \cdot 38,5 \cdot 10^{-6} \approx 0,33 \text{ Н}$ (8)

На основании этих данных, подставляя их в формулу (3) и используя зависимости (4), с использованием MS Excel получим зависимости изменения скорости реагирования мембраны на параметры топливоподачи и ее засоренности (рис.14).

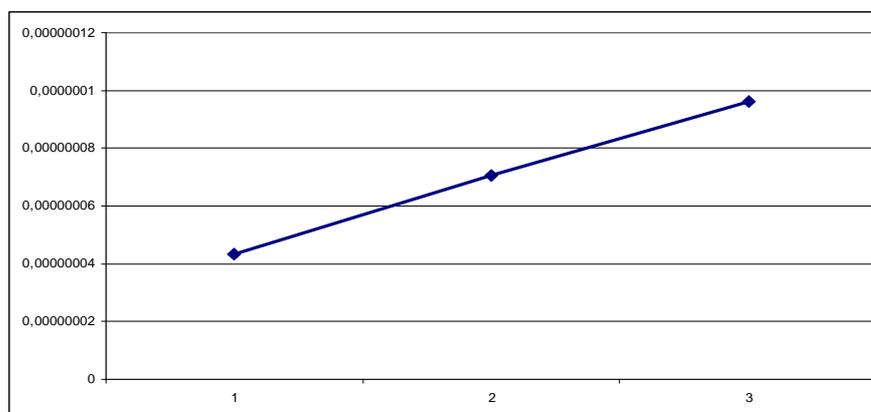


Рисунок 14 - Изменение скорости движения мембраны в зависимости от изменения параметров k, w, m, b, F

Как было указано выше, зависимости могут быть проанализированы только на качественном уровне. Как видно из анализа данных приведенных в таблице, определяющим для скорости колебаний мембраны является состояние мембраны – ее засоренность. При этом закон изменения скорости от состояния фильтрующего элемента в период его эксплуатации близок к линейному.

Список литературы

1. Петров, М.Р. Применение метода электромеханических аналогий для математического моделирования шарнирно-стержневых систем: дис ... канд. техн. наук. / М.Р. Петров - Комсомольск-на-Амуре, 2002.- 112 с.
2. Bloch, A. Electromechanical analogies and their use for the analysis of mechanical and electromechanical systems / Electrical Engineers - Part I: General, Journal of the Institution of Vol.92 , Iss.52, pp.157 - 169
3. Mircea Ignat – Incdie. Applications of the electromechanical analogies and the equivalent circuit in ultrasonic piezoceramic microactuation http://snet.elth.pub.ro/snet2004/cd/circ/circ_p3.pdf
4. Микитянский, В.В. Целесообразность применения метода электромеханических аналогий при исследовании динамики механизмов / В.В. Микитянский, Р. Хевер. // Вестник АГТУ - 2006. - №2. - С.44-50
5. Самарский, А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов – М.: Физматлит, 2001. – 320 с.
6. Доля, В.К. Общая теория электромеханических преобразователей. / В.К. Доля, В.Н. Митько – Ростов-на-Дону, 2009. – 79 с.
7. Хевер, Р. Метод аналогии при исследовании динамики механизмов / Р Хевер // Вестник АГТУ – 2004 - №1 - С. 40-52
8. Васильев, А.Е. Исследование мехатронных устройств с применением электромеханических аналогий / А.Е. Васильев, А.В Киричков, А.Г. Леонтьев// Мехатроника, автоматизация, управление - 2004 - №7 – С. 20-22

References

1. Petrov, M.R. Primenenie metoda jelektromehanicheskikh analogij dlja matematicheskogo modelirovaniya sharnirno-sterzhnevyyh sistem: dis ... kand. tehn. nauk. / M.R. Petrov - Komsomol'sk-na-Amure, 2002.- 112 s.
2. Bloch, A. Electromechanical analogies and their use for the analysis of mechanical and electromechanical systems / Electrical Engineers - Part I: General, Journal of the Institution of Vol.92 , Iss.52, pp.157 - 169
3. Mircea Ignat – Incdie. Applications of the electromechanical analogies and the equivalent circuit in ultrasonic piezoceramic microactuation http://snet.elth.pub.ro/snet2004/cd/circ/circ_p3.pdf
4. Mikitjanskij, V.V. Celesoobraznost' primenenija metoda jelektromehanicheskikh analogij pri issledovanii dinamiki mehanizmov / V.V. Mikitjanskij, R. Hever. // Vestnik AGTU - 2006. - №2. - S.44-50

5. Samarskij, A.A. Matematicheskoe modelirovanie: Idei. Metody. Primery / A.A. Samarskij, A.P., Mihajlov – M.: Fizmatlit, 2001. – 320 s.
6. Dolja, V.K. Obshhaja teorija jelectromehaničeskikh preobrazovatelej. / V.K. Dolja, V.N. Mit'ko – Rostov-na-Donu, 2009. – 79 s.
7. Hever, R. Metod analogii pri issledovanii dinamiki mehanizmov / R Hever // Vestnik AGTU – 2004 - №1 - S. 40-52
8. Vasil'ev, A.E. Issledovanie mehatronnyh ustrojstv s primeneniem jelectromehaničeskikh analogij / A.E. Vasil'ev, A.V Kirichkov, A.G. Leont'ev// Mehatronika, avtomatizacija, upravlenie - 2004 - №7 – S. 20-22