УДК 621.43.001.42

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВПУСКА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ МЕТОДАМИ ТЕСТОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Плаксин А.М., Гриценко А.В., Граков Ф.Н., Глемба К.В., Лукомский К.И.

Челябинская государственная агроинженерная академия, Челябинск, e-mail: alexgrits13@mail.ru; Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, e-mail: glemba77@mail.ru

В статье представлена проблема разработки новых методов и средств технического диагностирования системы впуска двигателей внутреннего сгорания. Система впуска современного автомобиля – это система с элементами электроники, автоматики и механики. Отдельные элементы системы впуска – датчик массового расхода воздуха, регулятор холостого хода, датчик положения дроссельной заслонки – являются лидерами по числу отказов. Отказы газораспределительного механизма составляют 7–10% общего числа отказов двигателей внутреннего сгорания. Отказы датчиков массового расхода воздуха занимают третье место среди отказов всех элементов электрооборудования автомобилей. Разработаны новые средства и методы диагностирования газораспределительного механизма и датчиков массового расхода воздуха автомобилей. Цель настоящего исследования – повышение эффективности диагностирования газораспределительного механизма и датчиков массового расхода воздуха автомобилей. Установлено, что потери напора на входе в цилиндр при установке эталонного датчика массового расхода воздуха незначительны и вызывают снижение количества подаваемого воздуха с $Q = 621$ до $Q = 620$ кг/ч, т.е. при максимально возможном разряжении во впускном коллекторе добавление эталонного датчика массового расхода воздуха отразится в снижении подачи воздуха на 0,16%, что крайне незначительно и находится в пределах величины погрешности датчика массового расхода воздуха. Разработаны чувствительные диагностические режимы и параметры для определения основных элементов системы впуска. Приведены экспериментальные данные исследований, которые позволили выявить эталонные значения напряжения, их минимальные и максимальные отклонения, значения минимальных и максимальных отклонений напряжения после 3000 часов работы датчиков массового расхода воздуха. Для новых датчиков: на холостом ходу (массовый расход воздуха $Q = 41{,}31$ кг/ч) должен быть не более 0,15 В; на номинальном режиме (массовый расход воздуха $Q = 402{,}05$ кг/ч) не более 0,35 В. Для датчиков после 3000 часов работы: на холостом ходу (массовый расход воздуха $Q = 41{,}31$ кг/ч) не более 0,21 В; на номинальном режиме (массовый расход воздуха $Q = 402{,}05$ кг/ч) не более 0,51 В.

Ключевые слова: методы и средства диагностирования, система впуска, механизм газораспределения, датчик массового расхода воздуха, регулятор холостого хода, тестовое воздействие, диагностические параметры, режимы, работоспособность.

DIAGNOSING THE INTAKE SYSTEM OF THE INTERNAL COMBUSTION AUTOMOBILE ENGINE DIAGNOSTICS TEST METHODS

Plaksin A.M., Gritsenko A.V., Grakov F.N., Glemba K.V., Lukomskiy K.I.

Chelyabinsk State Agroengineering Academy, Chelyabinsk, e-mail: alexgrits13@mail.ru; South Ural State University (NRU), Chelyabinsk, e-mail: glemba77@mail.ru

The article presents the problem of the development of new methods and technical diagnosis of the intake system of internal combustion engines. Intake system of a modern car – a system with elements of electronics, automation and mechanics. Individual elements of the intake system – the air flow sensor, idle control, throttle position sensor are the leaders in the number of failures. Timing failures constitute 7–10% of the total number of failures of internal combustion engines. Failures mass air flow sensors are the third most denials of all the electrical cars. Develop new tools and methods for diagnosing timing and mass air flow sensors cars. The purpose of this study – improving the efficiency of diagnosing timing and mass air flow sensors cars. It has been established that the loss of pressure at the inlet to the cylinder at the reference installation of the air flowmeter and causing insignificant reduction in air quantity with $Q = 621$ to $Q = 620$ kg/h. That is the maximum possible intake manifold vacuum to add a reference air flow sensor impact in reducing the air supply by 0,16%, which is extremely small and within the margin of error of the air flowmeter. Developed sensitive diagnostic modes and parameters to identify the main elements of the intake system. The experimental data from studies that have revealed the reference voltage value, their minimum and maximum deviations, minimum and maximum values of voltage deviations after 3000 hours the mass air flow sensor. For new sensors at idle (air mass flow rate $Q = 41{,}31$ kg/h) should be no more than 0,15 V; at nominal conditions (air mass flow rate $Q = 402{,}05$ kg/h) is 0,35 V. For sensors after 3000 hours of operation : idle (air mass flow rate $Q = 41{,}31$ kg/h) is not greater than 0,21 V; at nominal conditions (air mass flow rate $Q = 402{,}05$ kg/h) not more than 0,51 V.

Keywords: methods and tools for diagnosis, intake system, engine timing, air flow sensor, idle control, test action, diagnostic parameters, modes, performance

Система впуска современного автомобиля – это система с элементами электроники, автоматики и механики. Например, отдельные элементы системы впуска – датчик массового расхода воздуха, регулятор холостого хода, датчик положения дроссельной заслонки – являются лидерами по числу отказов. Так по данным [1] распределение отказов, %, элементов системы управления работой бензиновых ДВС выглядит следующим образом: электрические цепи – окисление контактов и обрыв проводов – 35%;

датчик массового расхода воздуха – 22%; регулятор холостого хода – 10%; элементы системы зажигания – 9%; форсунки – 8%; датчик кислорода – 7%; датчики и реле – 6%; электронный блок управления – 3%. Отказы ГРМ составляют 7–10% общего числа отказов ДВС.

Теоретические исследования. Система впуска представлена рядом последовательных и параллельных элементов [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Некоторые из них практически не изменяют свои свойства и выходные параметры в процессе эксплуатации, тогда как другие изменяют свое техническое состояние непрерывно. Для определения степени влияния отдельных элементов системы впуска рассмотрим расчетную схему процесса подачи воздуха через элементы системы впуска (рис. 1).

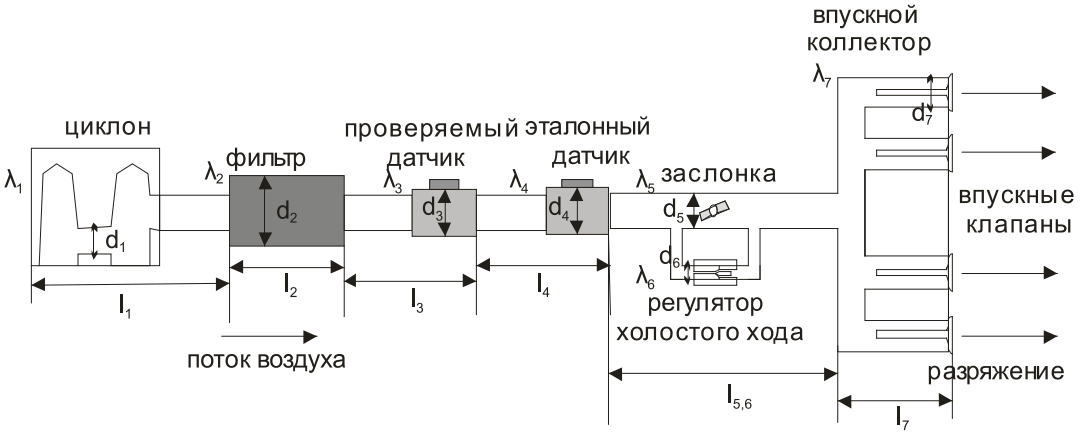

Рис. 1. Расчетная схема процесса подачи воздуха через элементы системы впуска: λ_1, λ_2, λ_3, λ_4, λ_5, λ_6, λ_7 – коэффициенты Дарси для участков; d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7 – диаметр участка, м; l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7 – длина участка, м

Так, например воздушный фильтр – один из самых быстродинамично изменяющихся элементов, который по мере загрязнения изменяет параметры всей системы. Для определения его технического состояния предлагается тестовое воздействие, которое заключается в выведении ДВС на режим работы на одном цилиндре с полностью открытой дроссельной заслонкой при наличии воздушного фильтра и без него, что можно представить условием [5, 6, 7]

$$R = \frac{n_{\text{НФ}}}{n_{\text{ОФ}}}, \qquad (1)$$

где R – степень загрязнения воздушного фильтра; $n_{\text{НФ}}$ – частота вращения коленчатого вала ДВС при наличии фильтра, мин$^{-1}$; $n_{\text{ОФ}}$ – частота вращения коленчатого вала ДВС при отсутствии фильтра, мин$^{-1}$.

Чем больше степень засорения воздушного фильтра, тем меньше частота вращения коленчатого вала ДВС с фильтром по отношению к частоте без воздушного фильтра. Этот признак предполагается использовать для определения технического состояния воздушного фильтра.

Одним из самых ненадежных элементов системы впуска является ДМРВ, его отказ проявляется в неверном представлении данных по количеству воздуха МСУД. И довольно часто возникают неисправности, которые дают значительное отклонение воздухоподачи [1, 7].

При использовании эталонного ДМРВ, который устанавливается последовательно штатному, определим потери напора на входе в цилиндр и количество проходящего воздуха.

Составим уравнение Бернулли для потока воздуха во впускном тракте и решим его относительно количества проходящего воздуха Q, получим:

$$Q = \sqrt{\frac{(H_{\text{ВАК}} - H)\cdot 2\cdot g\cdot S^2}{\left(1+\lambda_1\cdot\frac{l_1}{d_1}+\lambda_2\cdot\frac{l_2}{d_2}+\lambda_3\cdot\frac{l_3}{d_3}+\lambda_4\cdot\frac{l_4}{d_4}+\lambda_5\cdot\frac{l_5}{d_5}+\lambda_6\cdot\frac{l_6}{d_6}+\lambda_7\cdot\frac{l_7}{d_7}\right)}}, \qquad (2)$$

где $H_{\text{вак}}$ – вакуумметрический столб разряжения, создаваемый возвратно-поступательным движением поршня, м; Н – высота подъема воздуха во впускном тракте, м; g – ускорение свободного падения, м/с^2; S – наименьшая площадь сечения во впуск-

ном тракте, м^2; λ_1, λ_2, λ_3, λ_4, λ_5, λ_6, λ_7 – коэффициенты Дарси для участков: циклона, воздушного фильтра, проверяемого ДМРВ, эталонного ДМРВ, дроссельной заслонки, регулятора холостого хода, впускных клапанов; d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7 – диаметр участков: циклона, воздушного фильтра, проверяемого ДМРВ, эталонного ДМРВ, дроссельной заслонки, регулятора холостого хода, впускных клапанов, м; l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7 – длина участков: циклона, воздушного фильтра, проверяемого ДМРВ, эталонного ДМРВ, дроссельной заслонки, регулятора холостого хода, впускных клапанов, м.

Введение во впускной тракт эталонного ДМРВ отразится некоторым увеличением сопротивления, определим, как изменится подача воздуха через ДМРВ при этом.

Подставляя в выражение (2) для двигателя ЗМЗ-4062 [7]: $H_{вак} = 3415$ м, $H = 5$ м, $g = 9{,}8$ м/с^2; $S = 1{,}963 \cdot 10^{-3}$ м^2, $\lambda_1 = 0{,}4$, $\lambda_2 = 3$, $\lambda_3 = 0{,}02$, $\lambda_4 = 0{,}02$, $\lambda_5 = 0{,}05$, $\lambda_6 = 0{,}4$, $\lambda_7 = 0{,}02$, $d_1 = 0{,}1$ м, $d_2 = 0{,}1$ м, $d_3 = 0{,}1$ м, $d_4 = 0{,}1$ м, $d_5 = 0{,}1$ м, $d_6 = 0{,}01$ м, $d_7 = 0{,}04$ м, $l_1 = 0{,}2$ м, $l_2 = 0{,}2$ м, $l_3 = 0{,}12$ м, $l_4 = 0{,}12$ м, $l_5 = 0{,}2$ м, $l_6 = 0{,}2$ м, $l_7 = 0{,}1$ м, получим $Q = 620$ кг/ч. При отсутствии эталонного ДМРВ $Q = 621$ кг/ч, Т.е. при максимально возможном разряжении во впускном коллекторе добавление эталонного ДМРВ отразится в снижении подачи воздуха на 0,16 %, что крайне незначительно и находится в пределах величины погрешности ДМРВ.

Гораздо более значительное влияние на количество подаваемого воздуха оказывает повышенное сопротивление воздушного фильтра. Так, руководствуясь [1, 7] и подставляя значения коэффициентов сопротивления в выражение (2), получили: с ростом сопротивления от 0,05 до 52,6 подача воздуха изменилась с 620 до 205 кг/ч. При таком изменении сопротивления фильтра возникают серьезные провалы в работе ДВС и снижение мощности.

Дальнейший рост сопротивления фильтра с 52,6 до 760 вызывает снижение количества воздуха с 205 до 57 кг/ч, что вызывает остановку ДВС и невозможность его работы.

Материалы и методы исследований

Также довольно часто выходит из строя РХХ. Для выявления его неисправности в процессе запуска ДВС наблюдается степень выдвижения штока (количество шагов). А далее проверяется быстрота корректирующих действий РХХ и степень адаптивности под стресс тест [7, 8, 9].

Для проверки быстроты корректирующих действий РХХ предлагается выключить из работы два цилиндра одновременно и проверить время реакции до момента добавления числа шагов. Можно записать условие для времени реакции t_p:

$$t_p = t_o + t_c, \tag{3}$$

где t_o – время отключения цилиндров, с; t_c – время коррекции числа шагов РХХ, с.

При этом частота вращения коленчатого вала ДВС на двух оставшихся цилиндрах должна быть кратной частоте вращения холостого хода или на 10 % большей:

$$n_p = n_{xx} + \Delta n_{10\%}, \tag{4}$$

где n_{xx} – частота вращения холостого хода ДВС, мин$^{-1}$; $\Delta n_{10\%}$ – максимальная прибавка частоты вращения коленчатого вала ДВС, мин$^{-1}$.

Герметичность клапанов и правильность фаз ГРМ определяются на основании тестов. Для проверки герметичности клапанов необходимо вывести ДВС на режим максимальной нагрузки при выключении полностью трех цилиндров и максимальной степени выключения одного оставшегося в работе цилиндра.

Степень негерметичности клапанов данного цилиндра проявится в виде условия:

$$H_{ГРМ} = \frac{n_P}{n_И} = \frac{n_И - \Delta n_{ГРМ}}{n_И}, \tag{5}$$

где n_P – частота вращения одного проверяемого цилиндра при максимальной степени нагружения ДВС, мин$^{-1}$; $n_И$ – частота вращения одного нового цилиндра при максимальной степени нагружения ДВС, мин$^{-1}$; $\Delta n_{ГРМ}$ – уменьшение частоты вращения проверяемого цилиндра при максимальной степени нагружения ДВС, мин$^{-1}$.

А степень отклонения фаз ГРМ проверяется следующим тестом [7]. При работе одного цилиндра на средней нагрузке меняют угол опережения зажигания в сторону раннего и позднего, найденный оптимум определится максимумом частоты вращения ДВС. Условие запишем:

$$n_Ф = n_{max}, \text{ при } \begin{cases} УОЗ \to max \text{ до вмт} \\ УОЗ \to min \text{ до вмт} \end{cases}, \tag{6}$$

где n_{max} – частота вращения максимальная для данной степени нагружения цилиндра, мин$^{-1}$; УОЗ → max, УОЗ → min – значения угла опережения зажигания меняются в пределах от максимально до минимально возможных.

Результаты исследования и их обсуждение

При проведении экспериментальных исследований на установке для диагностирования ДМРВ устанавливались различные значения массового расхода воздуха и измерялось напряжение на выводах 2 и 3 ДМРВ, которое менялось пропорционально расходу воздуха. По полученным данным была построена зависимость выходного напряжения ДМРВ от величины массового расхода воздуха (рис. 2).

При проведении эксплуатационных испытаний на установку устанавливались десять датчиков ДМРВ с различным техническим состоянием, результаты испытания датчиков массового расхода воздуха представлены на рис. 3.

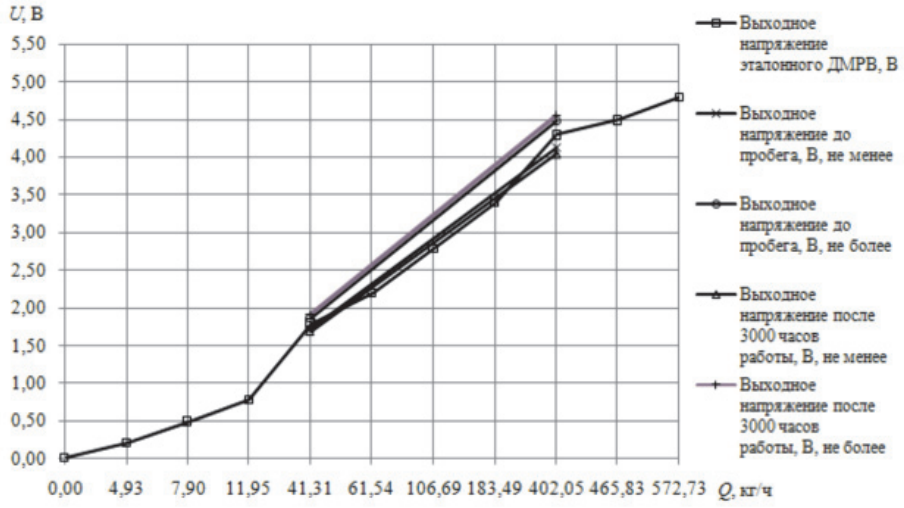

Рис. 2. Зависимость выходного напряжения датчика U, В от величины массового расхода воздуха Q, кг/ч

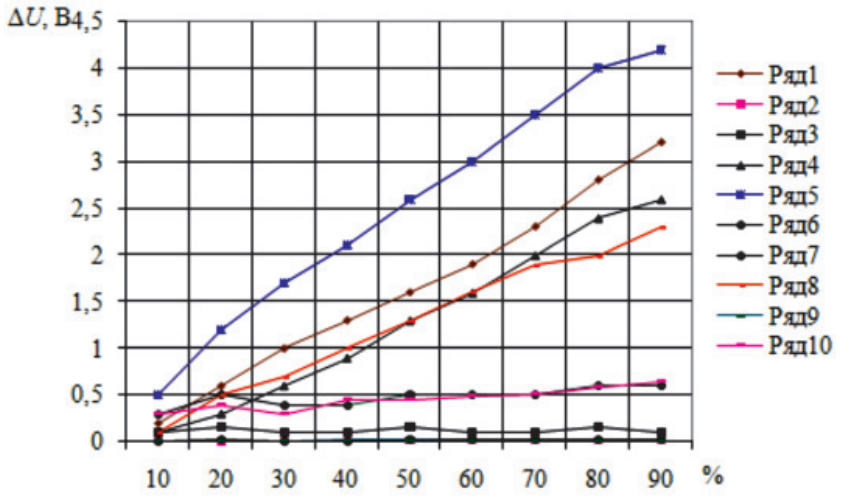

Рис. 3. Зависимость выходного напряжения датчика U, В от процента поворота дроссельной заслонки %: ряды 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 – номера испытуемых датчиков

Перед проведением испытаний балансировочными сопротивлениями выставляли нулевые показания вольтметра. Как видно из рис. 3, практически все неисправные ДМРВ при испытаниях показали значительный рост величины относительного напряжения [4, 5, 7].

Выводы

Отказы ДМРВ занимают третье место среди отказов всех элементов электрооборудования автомобилей. Установлено, что потери напора на входе в цилиндр при установке эталонного ДМРВ незначительны и вызывают снижение количества подаваемого воздуха с $Q = 621$ до $Q = 620$ кг/ч, т.е. при максимально возможном разряжении во впускном коллекторе добавление эталонного ДМРВ отразится в снижении подачи воздуха на 0,16%, что крайне незначительно и находится в пределах величины погрешности ДМРВ. Разработаны чувствительные диагностические режимы и параметры для определения основных элементов системы впуска.

Список литературы

1. Гриценко А.В. и др. Методы и средства тестового диагностирования системы питания двигателей внутреннего сгорания автомобилей // Технологические рекомендации. – М.: ГОСНИТИ, 2013. – 40 с.

2. Дьяченко В.Г. Теория двигателей внутреннего сгорания: учебник / пер. с украин. языка. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – 340 с.

3. Драганов Б.Х. и др. Конструирование впускных и выпускных каналов двигателей внутреннего сгорания. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – 175 с.

4. Гриценко А.В., Ларин О.Н., Глемба К.В. Диагностирование датчиков массового расхода воздуха легковых автомобилей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2013. – Т 13, № 2. – С. 113–118.

5. Гриценко А.В. Метод диагностирования газораспределительного механизма по параметрам расхода воздуха и фаз газораспределения ДВС // Вестник ЧГАА, Челябинск, 2012. – Т. 62. – С. 32–34.

6. Гриценко А.В., Куков С.С. Диагностирование систем ДВС на тестовых статических режимах // Вестник ЧГАА. – Челябинск, 2012. – Т. 61. – С. 31–38.

7. Гриценко А.В. Разработка методов тестового диагностирования работоспособности систем питания и смазки двигателей внутреннего сгорания (экспериментальная и производственная реализация на примере ДВС автомобилей): дис. … д-ра техн. наук. Челябинск, 2014. – 397 с.

8. Черноиванов В.И. и др. Формирование инвестиционного механизма в сфере технического сервиса в сельском хозяйстве: монография / под общ. ред. В.И. Черноиванова. – М.: ГОСНИТИ, 2013. – 298 с.

9, Плаксин А.М., Гриценко А.В. Разработка средств и методов тестового диагностирования машин // Вестник КрасГАУ. Красноярск. – 2013. – № 12. – С. 123–128.

References

1. Gricenko A.V. i dr. Metody i sredstva testovogo diagnostirovanija sistemy pitanija dvigatelej vnutrennego sgoranija avtomobilej. Tehnologicheskie rekomendacii. M.: GOSNITI, 2013. 40 p.

2. D'jachenko V.G. Teorija dvigatelej vnutrennego sgoranija. Uchebnik / V.G. D'jachenko. Perevod s ukrainskogo jazyka. Har'kov. HNADU, 2009.

3. Draganov B.H. i dr. Konstruirovanie vpusknyh i vypusknyh kanalov dvigatelej vnutrennego sgoranija. K.: Vishha shk. Golovnoe izd-vo, 1987. 175 p.

4. Gricenko A.V., Larin O.N., Glemba K.V. Diagnostirovanie datchikov massovogo rashoda vozduha legkovyh avtomobilej // Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Mashinostroenie. 2013, T 13, no. 2, pp. 113–118.

5. Gricenko A.V. Metod diagnostirovanija gazoraspredelitel'nogo mehanizma po parametram rashoda vozduha i faz gazoraspredelenija DVS // Vestnik ChGAA, Cheljabinsk, 2012, T 62, pp. 32–34.

6. Gricenko A.V., Kukov S.S. Diagnostirovanie sistem DVS na testovyh staticheskih rezhimah // Vestnik ChGAA, Cheljabinsk, 2012, T. 61, pp. 31–38.

7. Gricenko A.V. Razrabotka metodov testovogo diagnostirovanija rabotosposobnosti sistem pitanija i smazki dvigatelej vnutrennego sgoranija (jeksperimental'naja i proizvodstvennaja realizacija na primere DVS avtomobilej). Dis… dokt. tehn. nauk. Cheljabinsk. 2014. 397 p.

8. Chernoivanov V.I. i dr. Formirovanie investicionnogo mehanizma v sfere tehnicheskogo servisa v sel'skom hozjajstve: Monografija / pod obshh. red. V.I. Chernoivanova. M.: GOSNITI. 2013. 298 p.

9. Plaksin A.M., Gricenko A.V. Razrabotka sredstv i metodov testovogo diagnostirovanija mashin // Vestnik KrasGAU, Krasnojarsk, 2013, no. 12, pp. 123–128.

Рецензенты:

Машрабов Н.М., д.т.н., профессор кафедры «Технология и организация технического сервиса», Челябинская государственная агроинженерная академия, г. Челябинск;

Ерофеев В.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология и организация технического сервиса», Челябинская государственная агроинженерная академия, г. Челябинск.

Работа поступила в редакцию 02.06.2014.