

# ЦИФРОВОЕ УСТРОЙСТВО БОРТОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ

## DIGITAL ON-BOARD CLUTCH TESTER

**В.В. ГЕРАЩЕНКО**, к.т.н.

**В.П. ЛОБАХ**, к.т.н.

**Н.А. КОВАЛЕНКО**, к.т.н.

**В.Д. РОГОЖИН**, к.т.н.

Белорусско-Российский университет, Могилев,  
Беларусь, lobakhvp@mail.ru

**V.V. GERASHCHENKO**, PhD in Engineering

**V.P. LOBAKH**, PhD in Engineering

**N.A. KOVALENKO**, PhD in Engineering

**V.D. ROGOZHIN**, PhD in Engineering

Belarusian-Russian University, Mogilev, Belarus,  
lobakhvp@mail.ru

Работа посвящена созданию бортового устройства цифрового типа для диагностирования сцепления тягово-транспортных машин. Устройство позволяет с высокой точностью определять буксование сцепления при появлении в нем неисправностей. Принцип работы устройства основан на применении цифровой техники для измерения частоты вращения (количества импульсов) в цифровом коде маховика и первичного вала коробки передач (КП).

С помощью светоизлучающих диодов высвечиваются полученные цифровые коды, отображающие количество импульсов напряжения за одну секунду от датчиков частоты вращения маховика и шестерни первичного вала КП. Полученные водителем (оператором) цифровые коды переводят в десятичную систему счисления. Учитывая, что количество зубьев маховика больше, чем количество зубьев шестерни, производится корректирование количества импульсов от датчиков путем деления количества импульсов от маховика за один оборот на отношение зубьев маховика к количеству зубьев шестерни. Далее определяют разность числа скорректированных количества импульсов от шестерни и маховика, которую сравнивают с допустимым количеством импульсов, и на основании сравнения делают заключение о техническом состоянии сцепления. При разности равной нулю или менее допустимой, сцепление будет считаться исправным.

Устройство для диагностирования сцепления включает два цифровых датчика частоты вращения, каждый из которых содержит катушку индуктивности с магнитным сердечником, жестко закрепленных вблизи зубьев маховика и шестерни первичного вала коробки передач. Первая дифференцирующая цепь, с отсекающим диодом на выходе, входом подсоединена к катушке индуктивности и выполнена на первом и втором резисторах и конденсаторе. Вторая дифференцирующая цепь, с отсекающим диодом на выходе, выполнена на резисторе и конденсаторе и входом соединена с выходом автоколебательного мультивибратора.

Автоколебательный мультивибратор выполнен на двух логических элементах И-НЕ, двух конденсаторах, двух диодах и двух резисторах. Выход второй дифференцирующей цепи соединен со входами установки нуля шестнадцатиразрядных суммирующих электронных счетчиков. Выходы логических элементов И соединены посредством резисторов со счетными входами двух электронных счетчиков, на выходе которых формируются цифровые коды, отображающие частоты вращения маховика и шестерни первичного вала коробки передач.

Приведен пример расчета параметров элементов дифференцирующей цепи автоколебательного мультивибратора.

**Ключевые слова:** буксование, цифровой измеритель, цифровой код, топливная экономичность, дифференцирующая цепь, интегрирующая цепь, суммирующий электронный счетчик, логический элемент, сцепление, катушка индуктивности, мультивибратор.

**Для цитирования:** Геращенко В.В., Лобак В.П., Коваленко Н.А., Рогожин В.Д. Цифровое устройство бортового диагностирования сцепления // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 1. С. 23–28. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-1-23-28.

The work is devoted to the creation of a digital type on-board device for diagnosing the clutch of traction vehicles and allows to determine with high accuracy the slipping of the clutch when faults appear in it. The principle of operation of the device is based on the use of digital technology for measuring the rotational speed (number of pulses) in the digital code of the flywheel and the input shaft of the gearbox (GB).

With the help of light-emitting diodes, the received digital codes are displayed, displaying the number of voltage pulses per second from the flywheel speed sensors and the gearbox primary shaft gear. The received digital codes are converted by the driver (operator) into the decimal number system. Given that the number of flywheel teeth is greater than the number of gear teeth, the number of pulses from the sensors is adjusted by dividing the number of pulses from the flywheel per revolution by the ratio of the number of flywheel teeth to the number of gear teeth. Next, the difference between the corrected number of pulses from the gear and the flywheel is determined, which is compared with the permissible number of pulses and, based on the comparison, a conclusion is made about the technical condition of the clutch. If the difference is equal to zero or less, the clutch will be considered good.

The device for diagnosing the clutch includes two digital speed sensors, each of which contains an inductance coil with a magnetic core, rigidly fixed near the flywheel teeth and gears of the input shaft of the gearbox. The first differentiating circuit, with a cut-off diode at the output, the input is connected to the inductor and is made on the first and

second resistors and capacitor. The second differentiating circuit with a cut-off diode at the output is made on a resistor and a capacitor, and the input is connected to the output of the self-oscillating multivibrator.

The self-oscillating multivibrator is made on two logical elements NAND, two capacitors, two diodes and two resistors. The output of the second differentiating circuit is connected to the zero-setting inputs of sixteen-bit summing electronic counters. The outputs of the logical elements AND are connected by means of resistors with the counting inputs of two electronic counters, at the output of which digital codes are formed, which reflect the rotational speed of the flywheel and gears of the input shaft of the gearbox.

An example of calculating the parameters of the elements of the differentiating circuit of an auto-oscillating multivibrator is given.

**Keywords:** slipping, digital meter, digital code, fuel efficiency, differentiating circuit, integrating circuit, summing electronic counter, logic element, clutch, inductor, multivibrator.

**Cite as:** Gerashchenko V.V., Lobakh V.P., Kovalenko N.A., Rogozhin V.D. Digital on-board clutch tester. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2021. No 1, pp. 23–28 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-1-23-28.

## Введение

Механическая трансмиссия имеет широкое применение на тягово-транспортных машинах (ТТМ) из-за простоты и надежности. Наиболее частой неисправностью сцепления является его пробуксовка, обусловленная износом поверхностей трения ведущих и ведомых деталей, потерей упругих свойств нажимных пружин и др. С целью увеличения ресурса работы и исключения его пробуксовки сцепление рассчитывают с запасом по передаваемому крутящему моменту  $M_{\text{сц}}$ , который в 1,2–2,5 раза больше [1] наибольшего крутящего момента  $M_{\text{max}}$ , создаваемого двигателем внутреннего сгорания (ДВС):

$$M_{\text{сц}} = M_{\text{max}} \cdot \beta_{\text{сц}}, \quad (1)$$

где  $\beta_{\text{сц}}$  – коэффициент запаса сцепления, равный 1,2–2,5.

Пробуксовка сцепления приводит к снижению таких показателей эффективности работы ТТМ, как производительность, топливная экономичность, проходимость [2–4]. Поэтому важным вопросом снижения затрат в эксплуатации является своевременное прекращение работы ТТМ при указанной неисправности, которая определяется диагностированием. Наиболее простым методом оценки технического состояния сцепления является силовой – с применением стробоскопа и нагрузочного стенда. Однако он является трудоемким, требует громоздкого и дорогостоящего оборудования [5].

Бортовых средств диагностирования сцепления, позволяющих вести постоянный контроль за его техническим состоянием, в настоящее время нет. Поэтому разработка простых и дешевых бортовых диагностических средств для диагностирования сцепления является важной задачей.

## Цель исследований

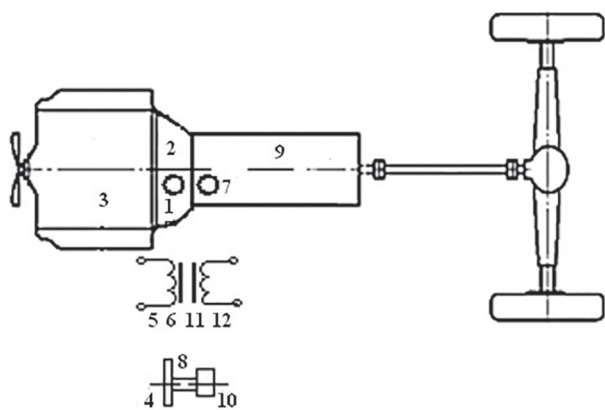
Разработка эффективного цифрового устройства бортового диагностирования сцепления ТТМ, применение которого обеспечит высокую точность его буксования, что, в свою очередь, позволит своевременно предупредить эксплуатацию сцепления в неисправном состоянии и повысит эффективность работы машины.

## Материалы и методы

Метод создания бортового цифрового диагностического устройства заключается в том, что измерение параметров (количество импульсов) осуществляется в цифровом 16-разрядном коде, обеспечивающим высокую точность. При этом измеряют частоту импульсов от зубьев маховика при помощи датчика частоты вращения в 16-разрядном цифровом коде и частоту импульсов от зубьев шестерни первичного вала коробки передач в 16-разрядном цифровом коде. Затем переводят полученные цифровые коды в десятичную систему счисления и определяют разность полученных импульсов с учетом корректировки количества импульсов от маховика путем деления этого количества импульсов на отношение количества зубьев маховика к количеству зубьев шестерни первичного вала коробки передач. Далее сравнивают разность импульсов с нормативным значением и на основании этого делают заключение о техническом состоянии сцепления. При исправном состоянии эта разность должна быть равна нулю или меньше допустимой.

## Результаты и обсуждение

Разработанное устройство (рис. 1) содержит первый датчик 1 частоты вращения маховика, который установлен на картере 2 сцепления, жестко прикрепленного к блоку ДВС 3, и вы-

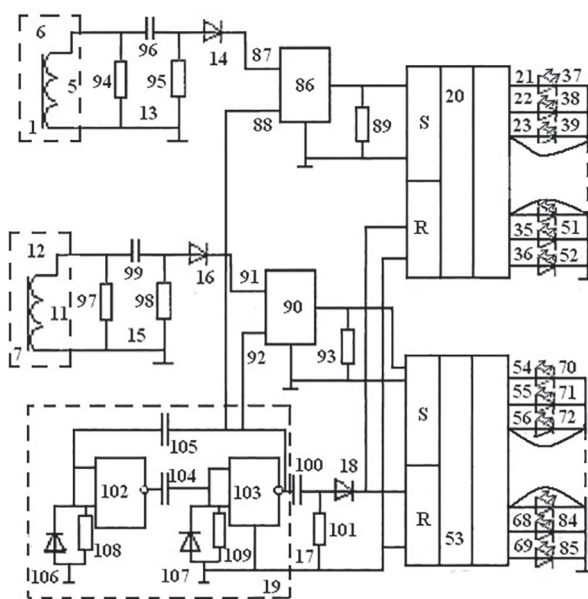


**Рис. 1.** Схема установки датчиков частоты вращения маховика и первичного вала коробки передач на картере сцепления и крышке коробки передач

*Fig. 1. Installation diagram of the flywheel and input shaft speed sensors on the clutch housing and gearbox cover*

полненный в виде маховика 4, первой катушки индуктивности 5 с магнитным сердечником 6, установленных вблизи зубьев маховика 4 на расстоянии 1–3 мм. Второй датчик 7 частоты вращения первичного вала 8 коробки передач (КП) 9 установлен на ее крышке на расстоянии 1–3 мм от зубьев шестерни 10 первичного вала 8 и выполнен в виде второй катушки индуктивности 11 с магнитным сердечником 12. В качестве формирователей сигналов, получаемых на выходах датчиков, применены первая дифференцирующая цепь 13 (рис. 2) с первым отсекающим диодом 14, входом подсоединенная к первой катушке индуктивности 5 первого датчика 1 частоты вращения, вторая дифференцирующая цепь 15 со вторым отсекающим диодом 16, входом подсоединенная ко второй катушке индуктивности 11 второго датчика 7 частоты вращения, третья дифференцирующая цепь 17 с третьим отсекающим диодом 18, автоколебательный мультивибратор 19.

Все параметры элементов устройства рассчитываются. В качестве примера рассчитаем приборы дифференцирующей цепи 17 мультивибратора 19 при условии, что мультивибратор формирует на выходе прямоугольные импульсы напряжением длительностью, равной одной секунде. Тогда принимаем, что постоянная времени дифференцирующей цепи должна быть равной, для обеспечения надежной работы системы, 20 % длительности прямоугольного импульса на выходе автоколебательного мультивибратора с постоянной времени  $T = 0,2 \cdot 1 = 0,2$  с. Принимаем, что резистор 101



**Рис. 2.** Электрическая схема устройства для бортового диагностирования сцепления

*Fig. 2. Electrical diagram of the device for on-board clutch diagnostics*

выбран с сопротивлением  $R_{101} = 10^4$  Ом. Тогда постоянная времени дифференцирующей цепи 17 вычисляется по формуле:

$$T = R_{101} \cdot C_{100} \quad (2)$$

Отсюда находим второй параметр дифференцирующей цепи 17, а именно емкость конденсатора  $C_{100}$ :

$$C_{100} = T / R_{101} = 0,2 / 10^4 = 20 \text{ мкФ}. \quad (3)$$

Регистраторами и формирователями сигналов в устройстве служат: первый шестнадцатиразрядный суммирующий электронный счетчик 20 с выходами 21–36, соединенными со светоизлучающими диодами 37–52; второй шестнадцатиразрядный суммирующий электронный счетчик 53 с выходами 54–69, соединенными со светоизлучающими диодами 70–85; первый логический элемент И 86 с входами 87 и 88, первым входом 87 соединенный с первой дифференцирующей цепью 13; второй логический элемент И 90 с входами 91 и 92. При этом выход первого логического элемента И 86 посредством первого резистора 89 соединен со счетным входом первого счетчика 20, а второй логический элемент И 90 первым входом соединен со второй дифференцирующей цепью 15. Выход второго логического элемента И 90 посредством второго резистора 93 соединен со счетным входом второго счетчика 53.

Вход третьей дифференцирующей цепи 17 и вторые входы 88, 92, соответственно, первого и второго логических элементов И 86, 90 параллельно соединены с выходом автоколебательного мультивибратора 19, а входы установки нуля первого и второго счетчиков 20, 53 параллельно соединены с выходом третьей дифференцирующей цепи 17.

Первая дифференцирующая цепь 13 имеет два резистора 94, 95 и конденсатор 96, вторая – два резистора 97, 98 и конденсатор 99. Третья дифференцирующая цепь 17 имеет конденсатор 100 и резистор 101. Автоколебательный мультивибратор 19 имеет первый логический элемент И-НЕ 102, второй логический элемент И-НЕ 103, первый конденсатор 104, второй конденсатор 105, первый диод 106, второй диод 107, первый резистор 108, второй резистор 109.

Автоколебательный мультивибратор выполняется симметричным, а его сопротивление резисторов и емкости конденсаторов выбраны таким образом, что обеспечивается формирование на его выходе прямоугольных импульсов напряжения и пауз длительностью 1 с. Наличие первого и второго шестнадцатиразрядных суммирующих электронных счетчиков, каждый из которых имеет 16 выходов, 32 светоизлучающих диода, в свою очередь каждый из которых соединен с одним из выходов первого 20 и второго 53 счетчиков, позволяет при включении устройства получать на их выходе за одну секунду цифровые коды, отображающие, соответственно, частоты вращения маховика 4 ДВС 3 и первичного вала 8 КП 9 (рис. 1). Перевод кода в десятичное исчисление и определение разности чисел импульсов на выходе первого 20 и второго 53 счетчиков является мерой буксования сцепления.

Наличие первого логического элемента И 86 с двумя входами, соединенного первым входом 87 с первой дифференцирующей цепью 13, соединение выхода первого логического элемента И 86 посредством первого резистора 89 со счетным входом первого счетчика 20, наличие второго логического элемента И 90 с двумя входами, соединенного первым входом со второй дифференцирующей цепью 15, соединение выхода второго логического элемента И 90 посредством второго резистора 93 со счетным входом второго счетчика 53, соединение входа третьей дифференцирующей цепи 17 и вторых входов 88, 92 первого 86 и второго

90 логических элементов И параллельно с выходом автоколебательного мультивибратора 19, соединение входов установки нуля первого 20 и второго 53 счетчиков параллельно с выходом третьей дифференцирующей цепи 17 позволяет обнулять счетчики 20, 53 и получать на выходах логических элементов И 86, 90 последовательность импульсов, длительность которых равна длительности прямоугольного импульса, формируемого на выходе автоколебательного мультивибратора 19, а число импульсов на выходах первого и второго логических элементов И пропорционально частоте вращения и количеству зубьев соответственно маховика 4 ДВС 3 и первичного вала 8 с шестерней 10 КП 9. Частота вращения и количество зубьев маховика 4 и шестерни 10 позволяют применить в устройстве 16-разрядный счетчик, так как, например, при частоте вращения вала  $6000 \text{ мин}^{-1}$  за 1 секунду формируется на выходе первой дифференцирующей цепи с отсекающим диодом не более 10000 положительных импульсов, а 16-разрядный счетчик может формировать цифровой код до 60 тысяч импульсов в секунду, подаваемых на его вход.

Работу датчика частоты вращения поясняет рис. 3. При вращении маховика 4 ДВС 3 и первичного вала 8 КП 9 (рис. 1) на выходе катушек индуктивности 5 и 12 с магнитными сердечниками 5 и 6 за один оборот формируются разнополярные импульсы. Эти импульсы (рис. 3, а) дифференцируются первой и второй дифференцирующими цепями 13, 15 (рис. 3, б), выпрямляются первым и вторым диодами 14, 16 (рис. 3, в) и подаются на первые входы 87, 91 логических элементов 86, 90 (рис. 2).

На вторые входы 86, 92 логических элементов 86, 90 и одновременно на вход третьей дифференцирующей цепи 17 подаются импуль-

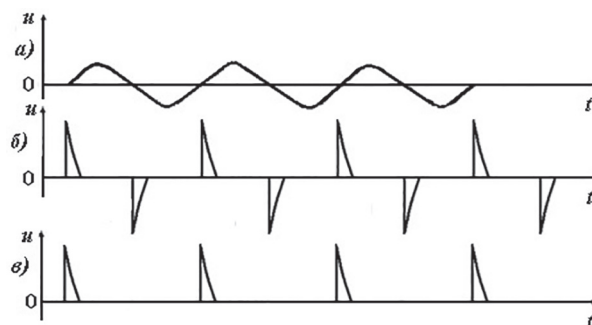


Рис. 3. Импульсы напряжения в цепях датчика частоты вращения

Fig. 3. Voltage pulses in the speed sensor circuits

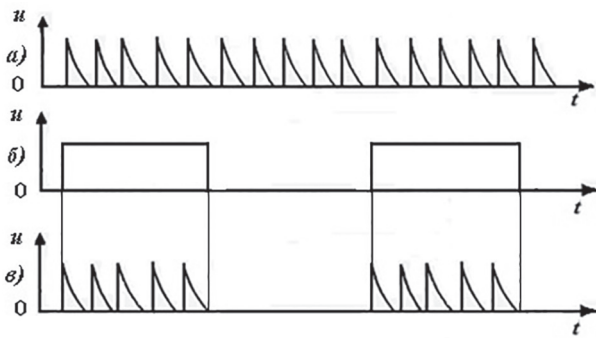


Рис. 4. Импульсы напряжения на входе (а, б) и выходе (в) при работе логического элемента

Fig. 4. Voltage pulses at the input (a, b) and output (c) during the operation of the logic element

сы от автоколебательного мультивибратора 19 длительностью 1 с (рис. 4, б).

При наличии напряжения на вторых входах логических элементов 86, 90 длительностью 1 с на их выходах формируются периодические последовательности коротких импульсов (рис. 4, в), которые подаются на счетные входы S счетчиков 20 и 53, преобразуются счетчиками в 16-разрядные цифровые коды на выходах 21–36 первого счетчика 20 и выходах 54–69 второго счетчика 53. С помощью светоизлучающих диодов 54–69 и 70–85 высвечиваются полученные цифровые коды, отображающие количество импульсов напряжения за одну секунду от датчиков 1, 7 частоты вращения соответственно маховика 4 ДВС 3 и шестерни 10 первичного вала 8 КП 9 (рис. 1). Полученные цифровые коды водителем (оператором) переводят в десятичную систему счисления и определяют количество импульсов. Учитывая, что количество зубьев маховика 4 и шестерни 10 может быть разным, необходимо скорректировать количество импульсов от датчика частоты вращения маховика путем деления этого количества импульсов на отношение количества зубьев маховика ( $Z_M$ ) к количеству зубьев шестерни ( $Z_{III}$ ). Далее определяют разность количества импульсов от шестерни 10 и скорректированного количества импульсов от маховика 4, которую сравнивают с допустимым количеством импульсов, и на основании сравнения делают заключение о техническом состоянии сцепления.

Приведем пример перевода кода на счетчике в импульсы. Пусть высветился посредством светодиодов код на первом шестнадцатиразрядном счетчике 20, равный 000000001100100. Для перевода его в десятичную систему чис-

ления, как известно, пользуются суммой:  $2^{15} + 2^{14} + 2^{13} + 2^{12} + 2^{11} + 2^{10} + 2^9 + 2^8 + 2^7 + 2^6 + 2^5 + 2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0 = 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 64 + 32 + 0 + 0 + 4 + 0 + 0 = 100$ . Это означает, что для получения этого кода первым счетчиком подсчитано 100 импульсов, поступающих от первого датчика 1 частоты вращения маховика. Если при этом на выходе второго счетчика 53 частоты вращения первичного вала КП образовался код, соответствующий десятичному числу, например, в 90 импульсов, то буксование оценивается в 10 импульсов. Если допустимое значение буксования равно 5 импульсам, то в данном примере сцепление требует технического воздействия, т.е. регулировки или ремонта. Затем снова определяют буксование. Если оно снизилось до значения, меньше допустимого (например, стало равным 3 импульсам), то техническое воздействие не требуется.

Применение предлагаемого устройства обеспечивает экономический эффект за счет увеличения колесной мощности, улучшения топливной экономичности и проходимости, снижения вероятности отказа сцепления и связанных затрат с их устранением.

## Выводы

Разработанное цифровое устройство дает следующий положительный эффект:

- 1) оперативно при необходимости позволяет оценить буксование сцепления;
- 2) является недорогим решением при внедрении и обеспечивает повышение таких эксплуатационных свойств ТТМ, как колесная мощность, топливная экономичность и проходимость;
- 3) сокращает эксплуатационные расходы за счет снижения вероятности отказов сцепления и затрат на их устранение.

## Литература

1. Вахламов В.К. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей. М.: Академия, 2007. 560 с.
2. Лустенков М.Е., Геращенко В.В., Лобах В.П., Коваленко Н.А. Модернизированная система автоматического управления движением автомобиля с гидромеханической передачей // Автомобильная промышленность. 2019. № 12. С. 1–4.
3. Лобах В.П., Геращенко В.В., Коваленко Н.А. Устройство автоматической блокировки межколесного дифференциала колесного трактора // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 7. С. 3–7.

4. Лустенков М.Е., Геращенко В.В., Коваленко Н.А., Лобак В.П. Метод диагностирования механических коробок передач СДМ на стенде // Строительные и дорожные машины, 2020. № 3. С. 42–45.
5. Геращенко В.В., Коваленко Н.А., Лобак В.П. Методы и средства диагностирования и повышения эксплуатационных свойств автомобилей и их агрегатов: монография. Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. 170 с.

### References

1. Vakhlamov V.K. Konstruktsiya, raschet i ekspluatatsionnyye svoystva avtomobiley [Design, calculation and performance of vehicles]. Moscow: Akademiya Publ., 2007. 560 p.
2. Lustenkov M.E., Gerashchenko V.V., Lobakh V.P., Kovalenko N.A. Upgraded system of automatic control of vehicle movement with hydromechanical transmission. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2019. No 12, pp. 1–4 (In Russ.).
3. Lobakh V.P., Gerashchenko V.V., Kovalenko N.A. Automatic blocking device for the cross-wheel differential of a wheel tractor. *Traktory i sel'khoz-mashiny*. 2017. No 7, pp. 3–7 (In Russ.).
4. Lustenkov M.E., Gerashchenko V.V., Kovalenko N.A., Lobakh V.P. Method for diagnosing mechanical transmissions of road construction vehicles at the test bench. *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny*, 2020. No 3, pp. 42–45 (In Russ.).
5. Gerashchenko V.V., Kovalenko N.A., Lobakh V.P. Metody i sredstva diagnostirovaniya i povysheniya ekspluatatsionnykh svoystv avtomobiley i ikh agregatov [Methods and tools for diagnosing and improving the operational properties of vehicles and their units: monograph]. Mogilev: Belorus.-Ros. uN-t Publ., 2017. 170 p.