

# ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

## DIGITAL ROTATION METER

**В.В. ГЕРАЩЕНКО**, К.Т.Н.  
**В.П. ЛОБАХ**, К.Т.Н.  
**Н.А. КОВАЛЕНКО**, К.Т.Н.  
**О.В. БИЛЫК**, 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  
**O.V. BILYK**, PhD in Engineering

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

Разработан цифровой универсальный измеритель частоты вращения различных деталей: зубчатого колеса, шлицевого вала, специального диска с прорезями и др. Применение 16 разрядного суммирующего электронного счетчика позволяет формировать цифровой код до 65536 импульсов в секунду, что дает возможность устанавливать его практически на любой машине. При этом он обладает простотой, дешевизной, надежностью и точностью.

В конструкцию измерителя входят: датчик сигналов, автоколебательный мультивибратор, логические элементы, электронный суммирующий счетчик импульсов. Датчик измерителя выполнен в виде катушки индуктивности с магнитным сердечником. В качестве преобразователя сигналов датчика используется первая дифференцирующая цепь с диодом, подсоединенная к логическому элементу И, который своим выходом соединен через резистор со счетным входом счетчика. Вход второй дифференцирующей цепи и второй вход логического элемента И параллельно соединены с выходом автоколебательного мультивибратора, а вход установки нуля счетчика параллельно соединен с выходом второй дифференцирующей цепи.

Автоколебательный мультивибратор выполняется симметричным, а сопротивление его резисторов и емкости конденсаторов выбраны таким образом, что обеспечивается формирование на его выходе прямоугольных импульсов напряжения и пауз длительностью 1 с.

Наличие шестнадцатиразрядного суммирующего электронного счетчика, состоящего из 16 триггеров и имеющего 16 выходов и 16 светоизлучающих диодов, каждый из которых соединен с одним из выходов счетчика, позволяет при включении измерителя получать на их выходе цифровые коды за одну секунду, отображающие частоту вращения.

Приведен пример расчета элементов дифференцирующей цепи мультивибратора. Выполнены эксперименты, подтвердившие работоспособность разработанного измерителя частоты вращения.

**Ключевые слова:** измеритель частоты, автоколебательный мультивибратор, логический элемент, датчик частоты, дифференцирующая цепь, импульсы напряжения, отсекающий диод.

**Для цитирования:** Герашенко В.В., Лобак В.П., Коваленко Н.А., Билык О.В. Цифровой измеритель частоты вращения // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 2. С. 21–26. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-2-21-26.

There was developed a digital universal measuring device for the rotation frequency of various parts: a gear wheel, a splined shaft, a special disc with slots, etc. The use of a 16-digit summing electronic counter makes it possible to form a digital code up to 65536 pulses per second, which makes it possible to install it on almost any vehicle. At the same time, it has simplicity, low cost, reliability and accuracy.

The design of the meter includes a signal transducer, a self-oscillating multivibrator, logic elements, and an electronic summing pulse counter. The sensor of the meter is made in the form of an inductance coil with a magnetic core. The first differentiating circuit with a diode is used as a converter of the sensor signals, connected to a logic AND gate, which is connected by its output through a resistor to the counting input of the counter. The input of the second differentiating circuit and the second input of the logical element AND are connected in parallel with the output of the self-oscillating multivibrator, and the input for setting the zero of the counter is connected in parallel with the output of the second differentiating circuit.

The self-oscillating multivibrator is symmetrical, and the resistance of its resistors and capacitors are selected in such a way that the formation of rectangular voltage pulses and pauses duration of 1 second at its output is ensured.

The presence of a sixteen-bit summing electronic counter, consisting of 16 triggers and having 16 outputs and 16 light-emitting diodes, each of which is connected to one of the outputs of the counter, allows, when the meter is turned on, to receive digital codes at their output in one second, showing the speed.

An example of calculating the elements of the differentiating circuit of a multivibrator is given. The experiments have confirmed the efficiency of the developed rotational speed meter.

**Keywords:** frequency meter, self-oscillating multi-vibrator, logic element, frequency sensor, differentiating circuit, voltage pulses, cut-off diode.

**Cite as:** Gerashchenko V.V., Lobakh V.P., Kovalenko N.A., Bilyk O.V. Digital rotation meter. Traktory i sel'khoz-mashiny. 2021. No 2, pp. 21–26 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-2-21-26.

## Введение

Измерители частоты вращения широко используются на автомобилях, тракторах, сельхозмашинах, строительной технике, различном оборудовании и т.д. для управления их работой, при диагностировании. При этом они выпускаются различными по конструкции в зависимости от требований к ним, основными из которых являются простота, дешевизна, надежность, точность измерения, универсальность, линейная статическая характеристика.

Авторами разработан цифровой универсальный измеритель частоты вращения, конструкция которого изложена ниже.

## Цель исследований

Проверка работоспособности предложенного универсального цифрового измерителя частоты вращения.

## Материалы и методы

Цифровой универсальный измеритель частоты вращения устанавливается вблизи вращающихся зубчатого колеса, шлицевого вала, специального диска с прорезями и др. на расстоянии 2–3 мм. Датчик 1 (рис. 1) выполнен в виде катушки 2 индуктивности с магнитным сердечником 3. В качестве формирователя напряжений на выходе датчика 1 применены первая дифференцирующая цепь 4 с первым отсекающим диодом 5, входом подсоединенная к катушке 2 индуктивности датчика 1 частоты вращения, вторая дифференцирующую цепь 6

со вторым отсекающим диодом 7, автоколебательный мультивибратор 8, логические элементы И 44 и И–НЕ 51, 52, электронный суммирующий счетчик импульсов 11.

Параметры указанных приборов измерителя рассчитываются. В качестве примера рассчитаем элементы дифференцирующей цепи 6 мультивибратора 8 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 8 с постоянной времени  $T = 0,2 \cdot 1 = 0,2$  с. Принимаем, что резистор 9 выбран с сопротивлением  $R_9 = 10^4$  Ом. Тогда постоянная времени дифференцирующей цепи 6 вычисляется по формуле:

$$T = R_9 C_{10}. \quad (1)$$

Отсюда находим второй параметр дифференцирующей цепи 6, а именно емкость конденсатора  $C_{10}$

$$C_{10} = \frac{T}{R_9} = \frac{0,2}{10^4} = 20 \text{ мкФ}. \quad (2)$$

Регистраторами и формирователями импульсов в измерителе служат: шестнадцатиразрядный суммирующий электронный счетчик 11 с выходами 12–27, соединенными со светоизлучающими диодами 28–43; логический элемент

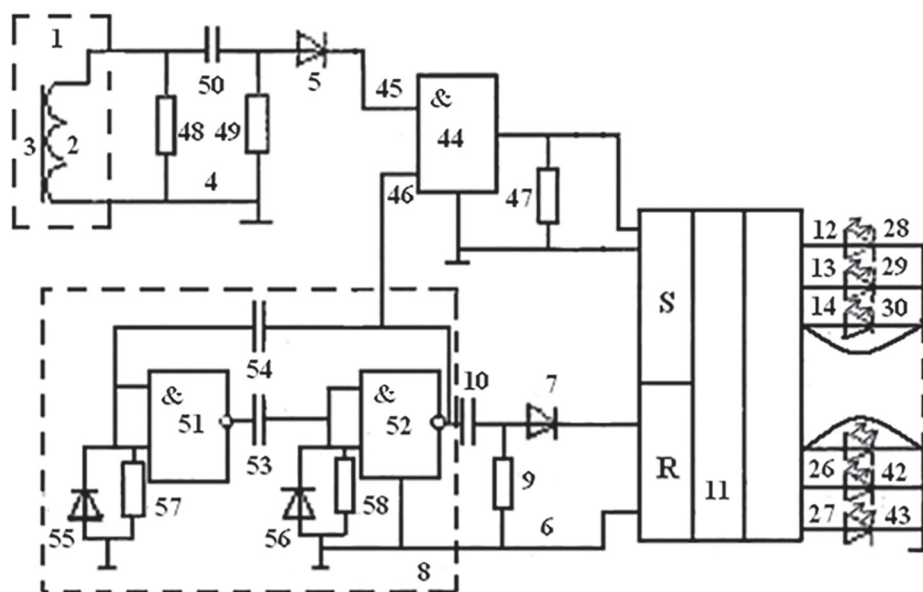


Рис. 1. Электрическая схема цифрового измерителя частоты вращения

Fig. 1. Electrical circuit of a digital speed meter

И 44 со входами 45 и 46, первым входом 45 соединенный с первой дифференцирующей цепью 4. При этом выход первого логического элемента И 44 посредством первого резистора 47 соединен со счетным входом счетчика 11.

Вход второй дифференцирующей цепи 6 и второй вход 46 логического элемента И 44 параллельно соединены с выходом автоколебательного мультивибратора 8, а вход установки нуля счетчика 11 параллельно соединен с выходом второй дифференцирующей цепи 6.

Первая дифференцирующая цепь 4 имеет два резистора 48, 49 и конденсатор 50. Вторая дифференцирующая цепь 6 имеет конденсатор 10 и резистор 9. Автоколебательный мультивибратор 8 имеет первый логический элемент И–НЕ 51, второй логический элемент И–НЕ 52, первый конденсатор 53, второй конденсатор 54, первый диод 55, второй диод 56, первый резистор 57, второй резистор 58.

Автоколебательный мультивибратор выполняется симметричным, а сопротивление его резисторов и емкости конденсаторов выбраны таким образом, что обеспечивается формирование на его выходе прямоугольных импульсов напряжения и пауз длительностью 1 с. Наличие шестнадцатиразрядного суммирующего электронного счетчика 11, имеющего 16 выходов и 16 светоизлучающих диодов, каждый из которых соединен с одним из выходов счетчика 11, позволяет при включении измерителя получать на их выходе цифровые коды за одну секунду, отображающие частоту вращения.

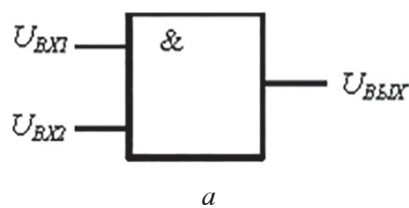
Наличие логического элемента И 44 с двумя входами, первым входом 45 соединенного с первой дифференцирующей цепью 4, соединением выхода логического элемента И 44 посредством первого резистора 47 со счетным входом счетчика 11, соединением входа второй дифференцирующей цепи 6 и второго входа 46 логического элемента И 44 параллельно с выходом автоколебательного мультивибратора 8, соединением входа установки нуля счетчика 11 параллельно с выходом второй дифференцирующей цепи 6 позволяет обнулять счетчик 11 и получать на выходе логического элемента И 44 последовательность импульсов, длительность которых равна длительности прямоугольного импульса, формируемого на выходе автоколебательного мультивибратора 8, а число импульсов на выходе логического элемента И 44 пропорционально частоте вращения. Частота вращения и количество зубьев, например, маховика позволяют приме-

нить в датчике 16-разрядный счетчик 11, так как, например, при частоте вращения маховика (колнчатого вала) 6000 мин<sup>-1</sup> и количестве зубьев маховика, равным 100, за 1 секунду формируется на выходе дифференцирующей цепи 4 с отсекающим диодом 5 не более 10000 положительных импульсов, а 16-разрядный счетчик может формировать цифровой код до 65536 импульсов в секунду, подаваемых на его вход.

В цифровом измерителе применяются для обработки и преобразования информации цифровые методы. Импульсы в схемах имеют два фиксированных уровня напряжения. Уровню высокого напряжения приписывается символ «1» (истинность), а уровню низкого напряжения – символ «0» (ложь). При анализе импульсных устройств используется двоичная система счисления, а математическим аппаратом анализа служит алгебра логики.

В разработанном цифровом измерителе используются микросхемы типа И 44 и И–НЕ 51, 52 (рис. 1), выполняющие логические функции.

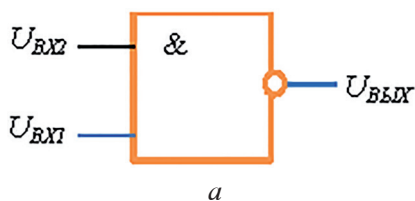
Условное обозначение логического элемента И и таблица его состояний показаны на рис. 2. Логический элемент И (рис. 2, а) имеет на своем выходе импульс, если на два входа одновременно подаются импульсы напряжения (рис. 2, б). Условное обозначение логического элемента И–НЕ и таблица его состояний показаны на рис. 3. Логический элемент И–НЕ (рис. 3, а) имеет на своем выходе импульс напряжения во всех случаях, кроме одного, когда на оба входа одновременно подаются импульсы напряжения (рис. 3, б).



$U_{ВХ1}$	$U_{ВХ2}$	$U_{ВЫХ}$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Рис. 2. Условное обозначение (а) и таблица состояний (б) логического элемента И

Fig. 2. Conventional designation (a) and table of states (b) of the logical element AND



$U_{ВХ1}$	$U_{ВХ2}$	$U_{ВЫХ}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Рис. 3. Условное обозначение (а) и таблица состояний (б) логического элемента И–НЕ

Fig. 3. Conventional designation (a) and table of states (b) of the logical element AND–NOT

Счетчик *И* (рис. 1) используют для преобразования последовательностей прямоугольных импульсов в 16-тиразрядный цифровой код за время 1 с. Счетчик состоит из шестнадцати 16-разрядных триггеров (рис. 4) со счетным запуском, каждый из которых имеет два состояния устойчивого равновесия. Триггер со счетным запуском имеет один вход и один выход. Частота его выходных импульсов вдвое меньше частоты входных импульсов каждого триггера (рис. 4).

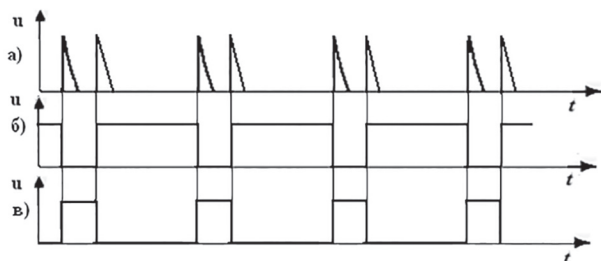
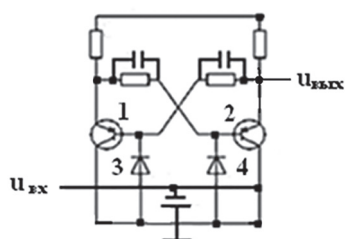


Рис. 4. Схема триггера со счетным запуском и графики напряжений на его входе (а) и выходе (б), (в)

Fig. 4. Circuit of a trigger with a counting start and voltage graphs at its input (a) and output (b), (c)

Принцип работы триггера следующий (рис. 4). Предположим, что до прихода импульса на вход транзистор *1* закрыт, а транзистор *2* открыт. По этой причине потенциал катода диода *3* оказывается меньшим, чем потенциал катода диода *4*. Вследствие этого входной импульс напряжения от датчика создает прямой ток диода *3* больший, чем у диода *4*, и появляется ток базы транзистора *1*, который открывается. Транзистор *2* закрывается из-за регенеративного процесса. Второй входной положительный импульс возвращает триггер в первоначальное состояние и т.д.

Работу датчика частоты вращения поясняет рис. 5. При вращении, например, маховика на выходе катушки *2* индуктивности с магнитным сердечником *3* формируются разнополярные импульсы. Эти импульсы (рис. 5, а) дифференцируются первой дифференцирующей цепью *4* (рис. 5, б), выпрямляются диодом *5* (рис. 5, в) и подаются на первый вход *45* логического элемента *И 44* (рис. 1).

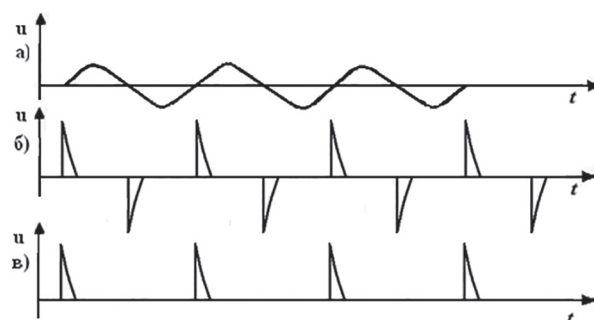


Рис. 5. Импульсы напряжения в цепях датчика частоты вращения

Fig. 5. Voltage pulses in the speed sensor circuits

На второй вход *46* логического элемента *И 44* и одновременно на вход второй дифференцирующей цепи *б* подаются импульсы от автоколебательного мультивибратора *8* длительностью 1 с (рис. 6, б). При наличии напряжения на втором входе логического элемента *И 44* длительностью 1 с (рис. 6, б) на его выходе формируются периодические последовательности коротких импульсов (рис. 6, в), которые подаются на счетный вход *S* счетчика *И*, преобразуются счетчиком *И* в 16-разрядные цифровые коды на выходах *12–27*. С помощью светоизлучающих диодов *28–43* высвечиваются полученные цифровые коды, отображающие количество импульсов напряжения за одну секунду от датчика *1* частоты вращения.



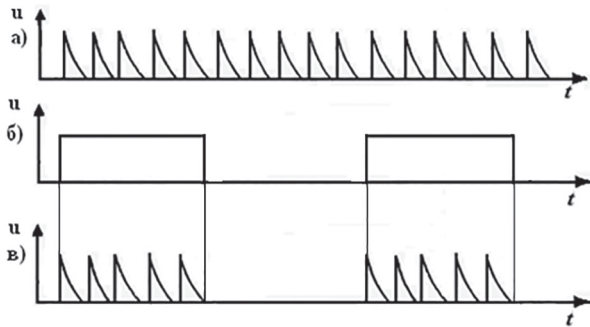


Рис. 6. Импульсы напряжения на входе (а, б) логического элемента И и входе S электронного счетчика (в)

Fig. 6. Voltage pulses at the input (a, b) of the logical element AND and the input S of the electronic counter (c)

## Результаты и обсуждение

Приведем пример перевода кода на счетчике *И* в импульсы. Пусть высветился посредством светодиодов код на шестнадцатиразрядном счетчике *И*, равный 0000000001100100. Для перевода его в десятичную систему счисления, 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 счетчиком подсчитано 100 импульсов, поступающих от датчика *1* частоты вращения за 1 с, что соответствует для приведенного выше примера маховика, имеющего 100 зубьев, его частоте вращения  $60 \text{ мин}^{-1}$ .

Для подтверждения достоверности теоретических исследований были выполнены необходимые эксперименты. Например, работоспособность датчика *1* частоты вращения (рис. 1) определялась на стенде (рис. 7) по виду осциллограммы (рис. 8), полученной посредством цифрового запоминающего осциллографа АКИП-4115/2А. Импульсы напряжения на выходе катушки индуктивности (рис. 8) совпали с теоретическими (рис. 5, а). Для проверки работоспособности измерителя (рис. 9) частоты вращения он был собран согласно электрической схеме (рис. 1). Испытания подтвердили его работоспособность.

Применение предлагаемого измерителя обеспечивает экономический эффект за счет простоты конструкции, универсальности и высокой точности измерения частоты вращения.

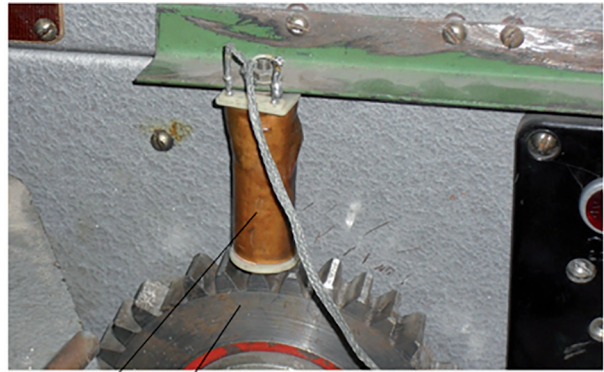


Рис. 7. Индуктивный датчик частоты вращения, установленный на стенде:

1 – катушка индуктивности; 2 – зубчатое колесо

Fig. 7. Bench-mounted inductive speed sensor: 1 – inductance coil; 2 – a gear wheel

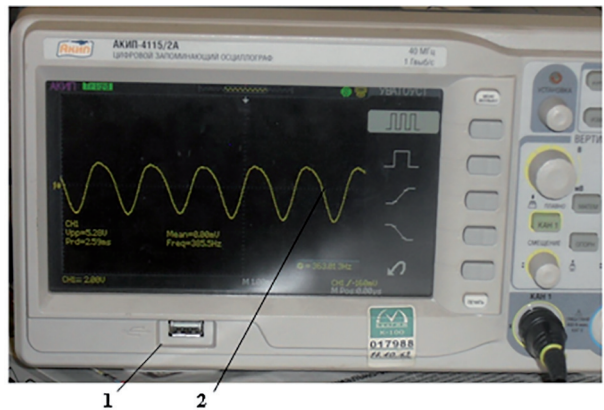


Рис. 8. Осциллограмма импульсов напряжения на первом входе логического элемента И:

1 – осциллограф; 2 – осциллограмма

Fig. 8. Oscillogram of voltage pulses at the first input of the logical element AND: 1 – oscilloscope; 2 – oscillogram

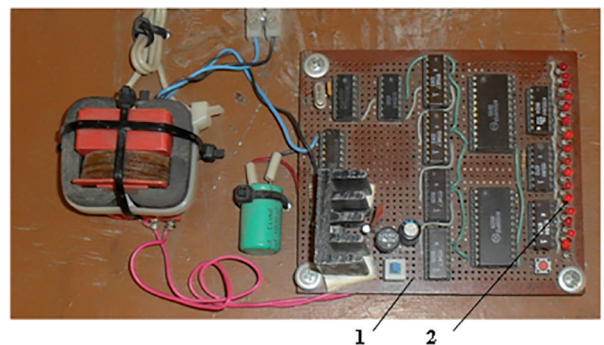


Рис. 9. Цифровой измеритель частоты вращения:

1 – 16-разрядный суммирующий счетчик; 2 – светоизлучающие диоды

Fig. 9. Digital speed meter: 1 – 16-bit totalizing counter; 2 – light emitting diodes

## Выводы

1. Разработан, изготовлен и испытан измеритель частоты вращения, который показал свою работоспособность.

2. Благодаря простоте конструкции, высокой точности измерения и универсальности применение измерителя позволит получить экономический эффект из-за повышения эффективности работы машин, на которых он будет установлен.

## Литература

1. Вахламов В.К. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей. М.: Академия, 2007. 560 с.
2. Герашенко 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.
3. Лустенков М.Е., Герашенко В.В., Лобак В.П., Коваленко Н.А. Модернизированная система автоматического управления движением автомобиля с гидромеханической передачей // Автомобильная промышленность. 2019. № 12. С. 1–4.

4. Лобак В.П., Герашенко В.В., Коваленко Н.А. Устройство автоматической блокировки межколесного дифференциала колесного трактора // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 7. С. 3–7.

## References

1. Vakhlamov V.K. Konstruktsiya, raschet i ekspluatatsionnyye svoystva avtomobiley [Design, calculation and performance of vehicles]. Moscow: Akademiya Publ., 2007. 560 p.
2. 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]: monografiya. Mogilev: Belarus.-Ros. uN-t, 2017. 170 p.
3. 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.).
4. Lobakh V.P., Gerashchenko V.V., Kovalenko N.A. Automatic blocking device for the cross-wheel differential of a wheeled tractor. Traktory i sel'khoz-mashiny. 2017. No 7, pp. 3–7 (In Russ.).