No. 6 (260). – S. 71-76. – DOI 10.53083/1996-4277-2026-260-6-71-76.

3. Vozdelyvanie pshenitsy v zavisimosti ot sposoba poseva i vneseniya azotnykh udobreniy / M. S. Chekusov, A. A.Kem, E. M. Mikhaltsov [i dr.] // Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki. – 2022. – T. 52, No. 1. – S. 90-994.

4. Shindelov, A.V. Tekhnologicheskaya predraspolozhennost i ekologicheskoe obosnovanie marshrutizatsii polevykh agregatov / A.V. Shindelov, L.N. Korobova, A.V. Tanatova // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2014. – No. 11. – S. 22-26.

5. Belyaev, V.I. Sravnitelnaya otsenka pokazateley kachestva raboty posevnykh mashin / V.I. Belyaev // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 10 (168). – S. 124-130.

6. Shchitov, S. V. Osobennosti podgotovki pochvy k posevnym rabotam v regionakh, otnosyashchikhsya k zonam riskovannogo zemledeliya / S.V. Shchitov, P.N. Shkolnikov, Z.F. Krivutsa, E.S. Polikutina, D.V. Ermakov // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2026. – No. 2. – S. 220-233.

7. Khizhnyak, V.I. Proektirovanie i raschet propashnykh seyalok: uchebnoe posobie po kursovomu i diplomnomu proektirovaniyu / V.I. Khizhnyak, A.Yu. Nesmiyan, F.V. Avramenko. – Zernograd: Azovo-Chernomorskiy inzhenernyy institut FGBOU VPO DGAU, 2015. – 114 s.

✦ ✦ ✦

УДК 629.113/.115.003.12
DOI: 10.53083/1996-4277-2026-265-11-102-108

С.Б. Выставкин, В.В. Иванайский, А.В. Ишков
S.B. Vystavkin, V.V. Ivanayskiy, A.V. Ishkov

ИНДУКТИВНЫЙ ДАТЧИК ПОЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОХРАННОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

INDUCTIVE POSITION SENSOR FOR A VEHICLE SECURITY SYSTEM

Ключевые слова: *обмотка, индуктивность, стержень, каркас, зазор, биометрический элемент, транспортное средство, двигатель, световая и звуковая сигнализация.*

В современных системах автоматизации и контроля широко используются различные датчики с первичной обработкой входного сигнала (фильтрация, модуляция, преобразование аналогового сигнала в цифровой код). Принцип их работы может заключаться от простого механического замыкания контактов до изменения параметров электромагнитного поля. Важной составляющей любой интеллектуальной автоматизированной системы является перевод биометрического сигнала (вес, рост человека, ИМТ и др.) в электрический сигнал. В наше время существует огромное количество разного рода охранных систем, автосигнализаций, датчиков, механических противоугонных систем, электрических, механико-электрических. Использование элементов биометрических параметров в охранных системах транспортных средств становится всё более актуальным, что позволяет повысить уровень безопасности, упростить процесс идентификации владельца и предотвратить угон. Противоугонный датчик положения транспортного средства функционирует по принципу изменения индуктивности катушки в зависимости от массы, воздействующей на сиденье водителя. Сигнал поступает на блок сравнения, который распознаёт его как «свой» (авторизованный водитель) и разрешает запуск двигателя. Если же на сиденье оказывается человек с массой, существенно отличающейся от эталонной (как злоумышленник с большей или меньшей массой), положение сердечника изменяется иначе. Блок сравнения фиксирует несоответствие, блокирует запуск двигателя и активирует звуковую и световую сигнализацию. Выполнен подробный расчёт основных параметров индуктивной катушки с сердечником для предлагаемого датчика охранной системы транспортных средств. Оптимальные параметры: количество витков обмотки – 1500, длина намотки катушки – 25 мм, диаметр сердечника – 30 мм. Полученные параметры обеспечивают значение индуктивности катушки от 71,6 до 166,5 мГн.

Keywords: *winding, inductance, core, frame, gap, biometric element, vehicle, engine, visual and audible alarm.*

In modern automation and control systems, various sensors that perform input signal processing as filtering, modulation, or the conversion of analog signals into digital code are widely used. Their operating principles may

range from simple mechanical contact closure to changes in the parameters of an electromagnetic field. A key component of any intelligent automated system is the conversion of biometric data (such as a person's weight, height, or body mass index) into an electrical signal. Nowadays, there are a huge number of different types of security systems, car alarms, sensors, mechanical anti-theft systems, electrical systems, and mechanical-electrical systems. The use of biometric parameters in vehicle security systems becomes increasingly important. The use of biometrics improves security, simplifies owner identification, and prevents theft. An anti-theft vehicle position sensor operates by changing the inductance of a coil depending on the mass acting on the driver seat. The signal is sent to a comparison unit which recognizes the driver as an authorized driver and allows the engine to start. If a person with a mass significantly different from the reference mass (such as an intruder with a higher or lower mass) occupies the seat, the core's position changes. The comparison unit detects the discrepancy, prevents the engine from starting, and activates an audible and visual alarm. A detailed calculation of the key parameters of the inductive coil with a core for the proposed vehicle security system sensor was performed. The optimal parameters are as following: the number of winding turns - 1,500; the coil winding length - 25 mm; the core diameter - 30 mm. These parameters provide a coil inductance of 71.6 mH to 166.5 mH.

Выставкин Сергей Борисович, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: vystsergej@yandex.ru.
Иванайский Виктор Васильевич, д.т.н., ст. науч. сотр., профессор кафедры, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: viv174@bk.ru.
Ишков Алексей Владимирович, д.т.н., доцент, зав. кафедрой «Технология конструкционных материалов и ремонта машин», ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: alerseyyishk@rambler.ru.

Vystavkin Sergey Borisovich, Asst. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: vystsergej@yandex.ru.
Ivanayskiy Viktor Vasilevich, Dr. Tech. Sci., Senior Researcher, Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: viv174@bk.ru.
Ishkov Aleksey Vladimirovich, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Head of Chair, Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: alerseyyishk@rambler.ru.

Введение

История противостояния автовладельцев и угонщиков началась ещё в июле 1896 г., всего через десять лет после изобретения первого автомобиля с двигателем внутреннего сгорания. Именно тогда был зафиксирован первый в истории угон транспортного средства, что положило начало вечной борьбе за безопасность автомобиля.

Вначале использовались примитивные механические блокираторы рулевой колонки. Однако преступники быстро находили способы их обхода, что заставляло инженеров и владельцев искать более совершенные методы защиты. В наши дни рынок предлагает огромное разнообразие охранных систем: от автосигнализаций и датчиков до сложных механических, электрических и комбинированных противоугонных комплексов. Тем не менее, какой бы надёжной ни казалась система, злоумышленники зачастую находят способы её взлома [1-3].

Статистика ГИБДД РФ подтверждает прямую зависимость между ростом автопарка и количеством преступлений. За последние пять лет количество автомобилей в России увеличилось на 65%, а ежегодный прирост составляет около 1,5 млн ед. К сожалению, вместе с ростом числа машин увеличивается и число их угонов.

Так, по итогам 2025 г. в Алтайском крае было зарегистрировано 118 случаев хищения автотранспорта. При этом раскрываемость подобных преступлений остаётся на низком уровне – около 30%. Это означает, что владельцам возвращается лишь каждый третий автомобиль.

Неутешительная статистика подчёркивает острую необходимость в защите транспортных средств. Несмотря на широкий ассортимент современных автосигнализаций, различающихся по степени защиты, сложности и стоимости, доля автомобилей, действительно защищённых от взлома и угона, по оценкам экспертов, составляет всего 18% [4].

Одним из перспективных направлений в борьбе с угонами является внедрение новых, в том числе авторских, охранных систем. В отличие от серийных устройств, продающихся в магазинах, авторские разработки не имеют общедоступных инструкций и схем. Это лишает преступников информации о расположении элементов системы и способах её отключения.

Кроме того, многие авторские противоугонные комплексы способны блокировать основные

узлы автомобиля, делая невозможным его движение, если за рулём находится не владелец [5, 6].

Цель – исследование повышения уровня безопасности транспортных средств.

Объект исследования – индуктивный датчик, интегрированный в систему охраны автомобиля. Его задача: фиксировать положение водителя в кресле и отличать «своего» пользователя от «чужого» по изменению индуктивности катушки, вызванному перемещением сердечника.

Задачи:

1) анализ конструкции датчика;

2) моделирование работы датчика при различных положениях сердечника (исходное, «свой», «чужой»);

3) измерение электрических параметров (индуктивности, тока) в зависимости от положения сердечника;

4) сравнение полученных сигналов с эталонными для принятия решения о разрешении или блокировке запуска двигателя.

Объекты и методы

На рисунке 1 приведена схема индуктивного датчика, положения с конструктивными параметрами, состоящими из каркаса 1, намотанной на него обмотки 2 и сердечником 3, перемещающейся в каркасе пружиной 4.

Принцип работы датчика: датчик устанавливается под креслом водителя транспортного средства (исходное положение, рис. 1а). При посадке владельца на сердечник катушки, опирающийся торцом в нижнюю часть сиденья, перемещается внутри каркаса 1. В этот момент пружина сжимается, и сердечник устанавливается напротив обмотки 2. В цепи создаётся максимальное значение тока, которое передаётся на блок сравнения. Блок сравнения идентифицирует сигнал как «свой», после чего поступает команда на запуск двигателя транспортного средства (ТС).

Если же кресло занимает злоумышленник с большей или меньшей массой параметры сигнала изменяются. В этом случае двигатель блокируется и включается звуковая и световая сигнализация.

Экспериментальная часть

Обоснование конструктивных элементов индуктивной катушки. Предварительно производили аналитический расчет элементов создаваемой индуктивной катушки для последующего ее изготовления. Каркас катушки выполнен из полистирола с установленным внутренним диаметром 30 мм толщиной стенок 1 мм. В процессе расчета эти конструктивные элементы не изменялись. Обмотки катушек наматывали по 1000, 1500, 2000 витков с длиной намотки на каркасе 20, 25 и 30 мм. Намотку осуществляли проводом марки ПЭВ-1 диаметром 0,12 мм, для фиксации проводов использовали лак марки ФЛ-98. В катушке размещали сердечник диаметром 30 мм и длиной 25 мм, выполненный из стали 10. Для создания постоянного радиального зазора (1 мм) при перемещении сердечника в катушки на его поверхность приклеивалась малярная лента.

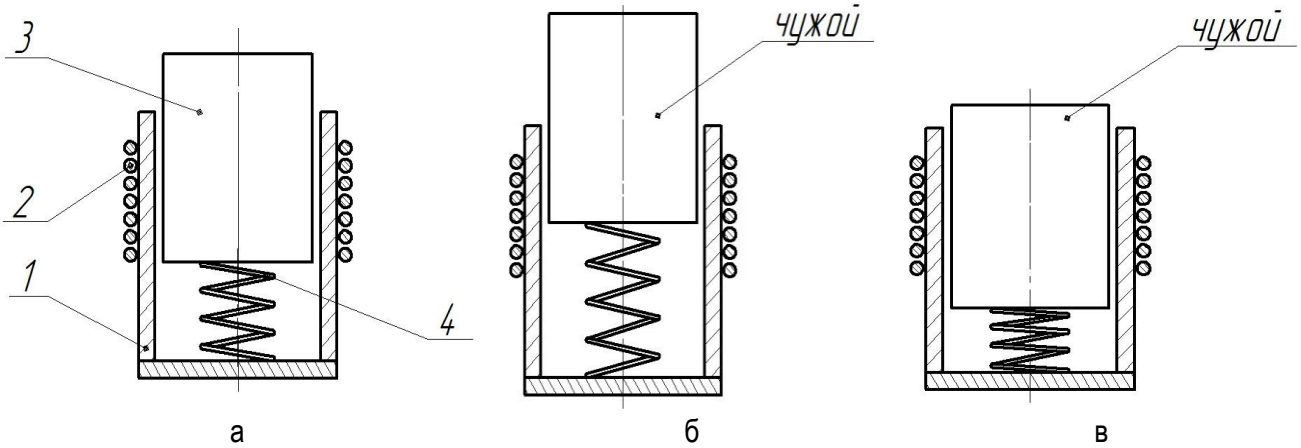

Рис. 1. Схема индуктивного датчика в состоянии:
а – свой; б, в – чужой;
1 – каркас, 2 – обмотка, 3 – сердечник, 4 – пружина

Обоснование конструктивных элементов индуктивной катушки длина намотки (20, 25, 30 мм) при фиксированном диаметре каркаса (32 мм) считывалось нами по формуле [7-9]:

$$L = \mu_0 \cdot \mu_{eff} \frac{N^2 \cdot A}{l} \cdot K_N, \quad (1)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная;

μ_{eff} – эффективная магнитная проницаемость (в расчёте условно принята как k_μ =20, учитывающая стальной сердечник и радиальный зазор 1 мм);

$A = \pi r^2$ – площадь поперечного сечения катушки (r = 16 мм);

N – число витков;

l – длина намотки;

K_N – коэффициент Нагаока (учитывает конечную длину катушки).

Аналитическим методом рассчитали индуктивность катушек с разным числом витков (1000, 1500, 2000), при различной длине намотки (20, 25, 30 мм) и фиксированном внутреннем диаметре каркаса (32 мм). При увеличении числа витков и уменьшении длины намотки индуктивность катушки возрастает (рис. 2).

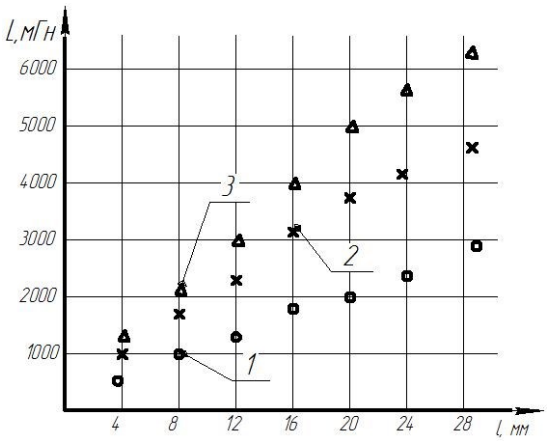

Рис. 2. Зависимость индуктивности от количества витков и длины намотки: 1 – 1000 витков; 2 – 1500 витков; 3 – 2000 витков

При перемещении сердечника вдоль оси катушки индуктивность линейно увеличивается от значения без сердечника (L_0) до максимального (Lmax = $k_\mu L$), когда сердечник полностью внутри обмотки [9].

Результаты исследований и их обсуждение

Формулы расчёта индуктивности (табл. 1) для сердечников d = 30, 40 мм определяли по основной формуле индуктивности катушки с сердечником, по результатам расчётов построен график зависимости индуктивности от диаметра сердечника (рис. 3).

По результатам проведенных расчетов оптимальный диаметр сердечника катушки составляет 30-40 мм.

Обоснование физического смысла определения длины сердечника состоит в том, что он не меняет значительно индуктивность (при условии, что сердечник длиннее или равен длине катушки), однако изменяет форму зависимости $L(x)$ от положения сердечника. Ключевым параметром становится ширина «плато» – диапазона перемещений, в котором индуктивность остается максимальной и стабильной (табл. 2).

Формула ширины плато:

$$\Delta x_{\text{плато}} = l_{\text{серд}} - l_{\text{кат}}; \quad (2)$$

бокового свеса (перекрытия):

$$\Delta x_{\text{свес}} = \frac{l_{\text{серд}} - l_{\text{кат}}}{2}. \quad (3)$$

Из проведенного аналитического анализа индуктивной катушки положения определены ее конструктивные элементы: диаметр сердечника – 30 мм, длина – 38 мм, внутренний диаметр каркаса – 32 мм, количество витков – 1500.

На основании полученных результатов изготовили индуктивную катушку (рис. 4) для охраны ТС и собрали электрическую схему для измерения индуктивности катушки с пошаговой регистрацией перемещения сердечника.

Индуктивность катушки без сердечника составляет 71,6 мГн, с сердечником – 166,5 мГн.

Исходное положение (сердечник выдвинут, L=71,6 мГн) обеспечивает безопасность при поломках. Перемещение сердечника под весом водителя переводит датчик в режим измерения. Обеспечение максимального «плато» (запас по длине сердечника в 13 мм) позволяет жестко зафиксировать состояние «свой водитель» (индуктивность на максимуме), полностью исключив ложные срабатывания от вибраций кузова, при этом угонщик с иным весом просто не сможет вывести датчик в стабильное «плато».

В случае «чужой» угонщик имеет другой вес, он легче водителя и не может сжать пружину на необходимую величину. Сердечник останавливается на склоне характеристики (не достиг плато). Индуктивность составляет, например, 110-130 мГн. Система видит, что вес не соответ-

ствует калибровочному «плато» и блокирует двигатель. Если он тяжелее водителя, то «продавит» и уйдет за плато. Включается режим «чужой».

Таблица 1

Сводные результаты, полученные по формулам индуктивности катушек

Параметр	Формула	d = 30 мм	d = 40 мм
Радиус сердечника	$r = d / 2$	15 мм	20 мм
Площадь сечения	$A = \pi r^2$	$7{,}07 \cdot 10^{-4}$ м²	$1{,}26 \cdot 10^{-3}$ м²
Отношение l / d	$r = l / d$	0,833	0,625
Коэф. Нагаока	$K_N(\beta)$	0,530	0,450
Эффективная μ	$\mu_{eff} = \frac{\mu_r}{1 + \frac{\delta}{r}(\mu_r - 1)}$	14,20	18,59
Индуктивность	$L = \mu_0 \mu_{eff} \frac{N^2 A}{l} K_N$	≈ 600 мГн	≈ 1160 мГн
Отношение L / L_{30}	–	1,0	1,93

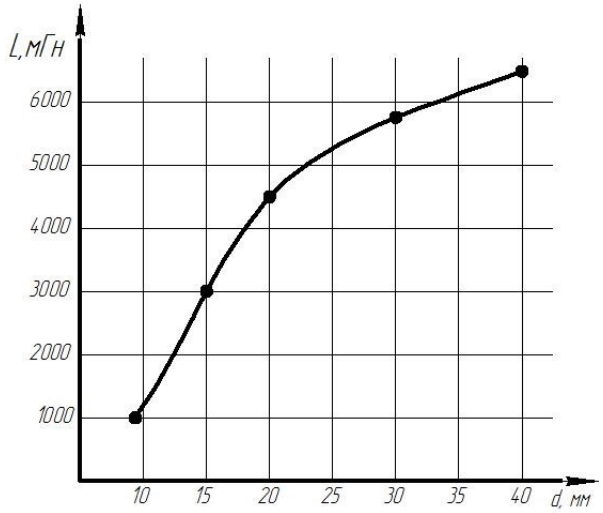

Рис. 3. Изменение индуктивности катушки от диаметра сердечника

Таким образом, 1500 витков создают требуемую надежность контура и крутизну характеристики на участке входа сердечника, что позволяет электронной схеме охраны легко зафиксировать даже малейшее отклонение от веса «своего» водителя.

Длина намотки 25 мм, сердечник 30 мм – инженерное решение для создания зоны гистерезиса/плато (13 мм). Это определяющее достоинство датчика, обеспечивающее его надежность в реальных эксплуатационных условиях. Индуктивности 71,6 и 166,5 мГн задают четкие аппаратные пороги (окна сравнения) для микроконтроллера системы охраны.

Таблица 2

Сравнительный анализ вариантов длины сердечника

Длина сердечника $l_{серд}$, мм	Ширина плато Δx, мм	Боковой свес, мм	Форма характеристики $L(x)$
25 (равна катушке)	0	0	Островершинная «колоколообразная» кривая. Максимум только в одной точке
35	10	±5	Трапеция с пологими скатами и коротким плоским верхом
40	15	±7,5	Трапеция с выраженным широким плато

Заключение

В результате аналитических расчётов и проведённых исследований получены следующие обоснованные конструктивные решения:

1. Выполнен подробный расчёт основных параметров индуктивной катушки с сердечником, предназначенной для применения в составе противоугонной системы транспортных средств. Расчёт обеспечил исходные конструктивные параметры, гарантирующие надёжную работу устройства в условиях эксплуатации.

2. Выбрано оптимальное количество витков обмотки – 1500, обеспечивающее высокую добротность электрического контура и крутизну зависимости индуктивности от перемещения сердечника. Это позволяет электронной схеме

охраны эффективно фиксировать даже незначительные отклонения массы пользователя относительно эталонного значения.

3. Длина намотки катушки составляет 25 мм, диаметр сердечника – 30 мм. Данная комбинация формирует зону плато (гистерезиса) протяжённостью около 13 мм, что повышает устойчивость и стабильность функционирования датчика в реальных дорожных условиях.

4. Расчётное значение индуктивности катушки варьируется в диапазоне от 71,6 до 166,5 мГн, что обеспечивает широкие «окна сравнения» для микроконтроллера охранной системы. Это минимизирует вероятность ложных срабатываний и повышает надёжность идентификации владельца автомобиля.

5. На основе полученных аналитических данных изготовлен опытный образец датчика положения для применения в противоугонных системах транспортных средств. Устройство успешно прошло предварительные испытания и подтвердило соответствие заявленным техническим характеристикам.

Таким образом, разработанная конструкция индуктивного датчика положения обладает высокой чувствительностью к изменению массы пользователя кресла, обеспечивает надёжную защиту транспортного средства от несанкционированного доступа и может быть рекомендована для внедрения в серийное производство систем безопасности автомобилей.

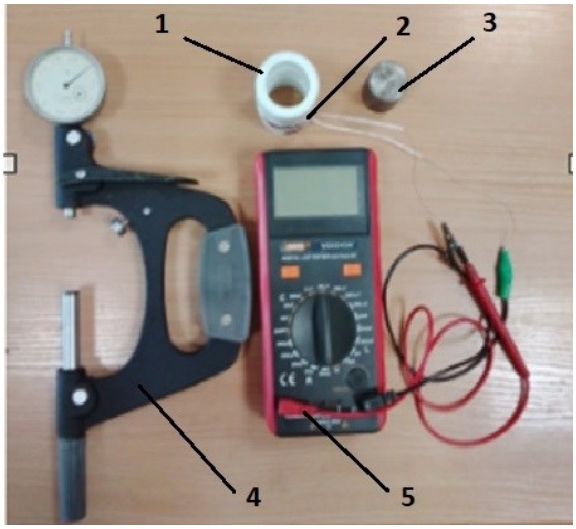

Рис. 4. Приборы для измерения индуктивности катушки: 1 – каркас; 2 – обмотка; 3 – сердечник, 4 – индикаторная скоба тип СИ; 5 – мультиметр DIGITAL LCP TESTER-Aute power Off VC6243A

Библиографический список

1. Кашкаров, А. П. Современные сигнализации для дома и автомобиля / А. П. Кашкаров. – Москва: ДМК Пресс, 2014. – 104 с. – Текст: непосредственный.

2. Андрианов, В. И. Охранные устройства для автомобилей: справочное пособие / В. И. Андрианов, А. В. Соколов. – Санкт-Петербург: Лань, 1997. – 320 с. – Текст: непосредственный.

3. Золотницкий, В. А. Защита автомобиля от угона / В. А. Золотницкий. – Москва: ООО «Издательство «За рулем», 2003. – 48 с. – Текст: непосредственный.

4. Теория и практика эксплуатации основных модулей автосигнализации / С. М. Латинский, В. И. Шарапов, С. П. Ксенз, С. С. Афанасьев; под редакцией С. М. Латинского. – Москва: Сов. радио, 1970. – 432 с. – Текст: непосредственный.

5. Патент РФ № 219661. МПК B60R 25/00 Сердечник катушки индуктивности дискретного датчика веса / Иванайский В. В., Кульбякина Я. В., Лысенко Б. А., Багаев А. А.; патентообладатель: ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ. – № 2023110887; заявл. 26.04.2023; опубл. 31.07.2023, Бюл. № 22 – 5 с. – Текст: непосредственный.

6. Патент РФ № 2776683. МПК 60R 25/00. Противоугонное устройство транспортного средства / Лысенко Б. А., Иванайский В. В., Медведева Ж. В.; патентообладатель: ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ. – № 2022107765; заявл. 23.03.2022; опубл. 25.07.2022., Бюл. № 21. – 7 с. – Текст: непосредственный.

7. Тамм, И. Е. Основы теории электричества / И. Е. Тамм. – 11-е изд., испр. и доп. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 616 с. – Текст: непосредственный.

8. Andreev, A. (2020). A Method for Calculating the Mutual Inductance of a Coil System Using a Model of an Axially Magnetized Cylinder. *Technical Physics Letters*. 46. 1096-1099. DOI: 10.1134/S1063785020110024.

9. Калантаров, П. Л. Расчет индуктивностей: справочная книга / П. Л. Калантаров, Л. А. Цейтлин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 488 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Kashkarov, A. P. Sovremennye signalizatsii dlya doma i avtomobilya / A. P. Kashkarov. – Moskva: DMK Press, 2014. – 104 s.

2. Andrianov, V. I. Okhrannye ustroystva dlya avtomobiley: spravochnoe posobie / V. I. Andrianov, A. V. Sokolov. – Sankt-Peterburg: Lan, 1997. – 320 s.

3. Zolotnitskiy V. A. Zashchita avtomobilya ot ugona / V. A. Zolotnitskiy. – Moskva: OOO Izdatelstvo “Za rulem”, 2003. – 48 s.

4. Teoriya i praktika ekspluatatsii osnovnykh moduley avtosignalizatsii / S. M. Latinskiy, V. I. Sharapov, S. P. Ksenz, S. S. Afanasev / pod redaktsiey S. M. Latinskogo. – Moskva: Sov. radio, 1970. – 432 s.

5. Patent RF No. 219661. MPK V60R 25/00 Serdechnik katushki induktivnosti diskretnogo datchika vesa / V. V. Ivanayskiy, Ya. V. Kulbyakina, B. A. Lysenko, A. A. Bagaev; patentoobladatel: FGBOU VO Altayskiy GAU. – No. 2023110887; zayavl. 26.04.2023; opubl. 31.07.2023, Byul. No. 22 – 5 s.

6. Patent RF No. 2776683. MPK 60R 25/00. Protivougonnoe ustroystvo transportnogo sredstva / Lysenko B. A., Ivanayskiy V. V., Medvedeva Zh.V.; patentoobladatel: FGBOU VO Altayskiy GAU. – No. 2022107765; zayavl. 23.03.2022; opubl. 25.07.2022., Byul. No. 21. – 7 s.

7. Tamm I. E. Osnovy teorii elektrichestva / I. E. Tamm. – 11-e izd., ispr. i dop. – Moskva: Fizmatlit, 2003. – 616 s.

8. Andreev, A. (2020). A Method for Calculating the Mutual Inductance of a Coil System Using a Model of an Axially Magnetized Cylinder. *Technical Physics Letters*. 46. 1096-1099. DOI: 10.1134/S1063785020110024.

9. Kalantarov P. L. Raschet induktivnostey: spravochnaya kniga / P. L. Kalantarov, L. A. Tseytlin. – 3-e izd., pererab. i dop. – Leningrad: Energoatomizdat. Leningr. otd-nie, 1986. – 488 s.

✦ ✦ ✦