

УДК 621.313:625(06)

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-104579>

Оригинальное исследование



Технические электрогенерирующие средства инженерного обустройства дорог: систематика и конструктивные особенности

Ю.М. Ляшенко, А.В. Прудий

Шахтинский автодорожный институт им. М.И. Платова, Шахты, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В настоящее время Правительством Российской Федерации уделяется большое внимание безопасной эксплуатации автомобильных дорог, о чем свидетельствует национальный проект «Безопасные качественные дороги». Одним из средств, обеспечивающих безопасность пешеходов в городской среде, являются дорожные искусственные неровности, которые служат для принуждения водителей транспортных средств к снижению скорости.

С другой стороны, ученые всего мира работают над созданием альтернативных источников электрической энергии. Указанные обстоятельства привели к появлению такого класса устройств, как технические электрогенерирующие средства.

Несмотря на то, что технические электрогенерирующие средства представлены большим количеством разработок как отечественных ученых, так и зарубежных, в современной научной литературе отсутствует систематическое представление о данном классе устройств.

Целью данной статьи является обобщение знаний о технических электрогенерирующих средствах и разработка их классификации.

Материалы и методы. Данный класс устройств позволяет аккумулировать и преобразовывать энергию движущегося автомобиля в электрическую энергию. Принцип действия технических электрогенерирующих средств основан на том, что в момент наезда транспортного средства на искусственную дорожную неровность последняя получает импульс энергии, который можно преобразовать в электрическую энергию и использовать для электрообеспечения объектов дорожной инфраструктуры (освещение пешеходных переходов, подсветка дорожных знаков, электроснабжение светофоров).

Результаты. Основным классификационным признаком данных устройств является тип устройства, преобразующего энергию движущегося автомобиля в электрическую: пьезоэлектрическое, гидравлическое, электромеханическое. В свою очередь технические электрогенерирующие устройства с электромеханическим преобразователем энергии классифицируются по ряду признаков: количеству двигателей, типу механизма передаточного устройства, конструкции нажимной платформы, виду используемого генератора.

Выводы. Подготовленная классификация позволяет систематизировать достижения отечественных и зарубежных ученых в разработке такого класса устройств, как технические электрогенерирующие средства.

Ключевые слова: альтернативные источники энергии; безопасность дорожного движения; дорожная искусственная неровность; дорожная энергетическая установка; дорожная электрогенерирующая неровность; электрический генератор.

Для цитирования:

Ляшенко Ю.М., Прудий А.В. Технические электрогенерирующие средства инженерного обустройства дорог: систематика и конструктивные особенности // Известия МГТУ «МАМИ». 2022. Т. 16, № 1. С. 89–98. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-104579>

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-104579>

Original study article

Technical electrogenerating tools for road facilities: systematics and design specifics

Yuriy M. Lyashenko, Alexey V. Prudiy

Automobile and Road Construction Institut, Shakhty, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Currently the Russian Federation Government has a strong focus to roads safety. This is due to the national project «Safe High-Quality Roads». One of tools of pedestrian safety in an urban are road bumps. They are need for drivers speed slow.

Contrarily world scientists create alternative sources of electrical energy. It led to tools type as technical electrogenerating devices.

Whereas technical electrogenerating tools have big amount of developments by russian and world scientists. But in modern scientific literature there is no systematic concept about this tools type.

AIMS: The paper purpose is knowledge summary about technical electrogenerating tools and develop their classification.

METHODS: Energy of a moving car is accumulated and converted into electrical energy by devices type. Concept of technical electrogenerating tools is based on conversion of energy pulse of speed bump into electrical energy at the moment of car runover. This energy can be used for electricity supply of road infrastructure (crosswalk lighting, road sign light, powering traffic lights).

RESULTS: The basic classification feature of these tools is device type converting moving car energy into electrical energy: piezoelectric, hydraulic, electromechanical. In turn technical electrogenerating tools with electromechanical converter are classified by criteria: amount of motor, type of transmission mechanism, design of pressing platform and type of generator.

CONCLUSIONS: The developed classification provides to systematize contributions of russian and world scientists designing devices of technical electrogenerating tools.

Keywords: *alternative energy sources; road safety; road artificial bump; road power plant; road electrically generating bump; electric generator.*

Cite as:

Lyashenko YuM, Prudiy AV. Technical electrogenerating tools for road facilities: systematics and design specifics. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2022;16(1): 89–98. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-104579>

Received: 08.03.2022

Accepted: 08.04.2022

Published: 15.04.2022

ВВЕДЕНИЕ

С целью организации безопасного дорожного движения посредством технических средств инженерного обустройства дорог уже не одно десятилетие в условиях городской среды практикуется установка искусственных неровностей, которые служат для принуждения водителей автотранспортных средств к снижению скорости движения и представляют собой местное искусственное возвышение на проезжей части автомобильной дороги [1–4].

Дорожные искусственные неровности монтируют на участках дорог с обеспеченным нормативным расстоянием видимости поверхности дороги с максимальным приближением к имеющимся мачтам искусственного освещения, а в необходимых случаях – и с установкой новых опор наружного освещения.

Необходимость выполнения ГОСТ по освещенности дорожных искусственных неровностей и поиск альтернативных источников энергии привел к созданию технических электрогенерирующих средств инженерного обустройства дорог, преобразующих энергию движущегося автомобиля в электрическую энергию.

Принцип действия технических электрогенерирующих средств основан на том, что в момент наезда транспортного средства на искусственную дорожную неровность последняя получает импульс энергии, который можно преобразовать в электрическую энергию и использовать для электроснабжения объектов дорожной инфраструктуры (освещение пешеходных переходов, подсветка дорожных знаков, электроснабжение светофоров).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Технические средства инженерного обустройства дорог (ТСИОД) в виде местного искусственного возвышения на проезжей части автомобильной дороги

представляются совокупностью трех групп конструкций технических средств и устройств: дорожные искусственные неровности, дорожные электрогенерирующие



Рис. 1. Классификация ТСИОД в виде местного искусственного возвышения на проезжей части автомобильной дороги.

Fig. 1. Classification of technical means of road engineering in the form of a local artificial elevation (bump) on the roadway.

щие неровности, дорожные энергетические установки (рис. 1).

Совершенствование конструкций технических электрогенерирующих средств к настоящему времени реализуется в двух направлениях:

- *дорожные электрогенерирующие неровности* служат для принуждения водителей автотранспортного средства к снижению скорости движения и преобразования энергии движения автомобиля в электрическую энергию;
- *дорожные энергетические установки* служат для преобразования энергии движущегося автотранспортного средства в электрическую энергию.

Пример конструкции дорожной электрогенерирующей неровности представлен на рис. 2 [5].

Дорожная электрогенерирующая неровность не опасна для транспортного средства только при невысоких скоростях движения автотранспорта. Объясняется это тем, что соотношение высоты гребня дорожной

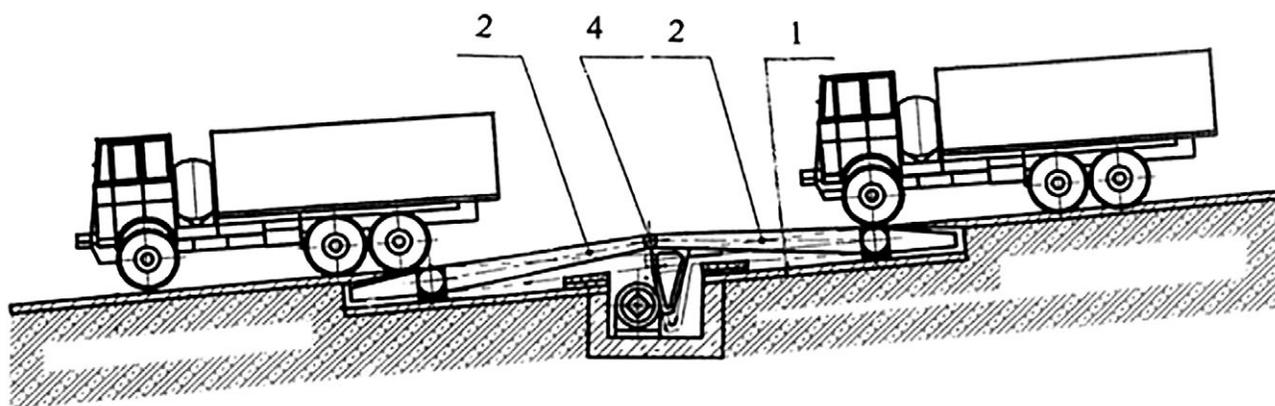


Рис. 2. Дорожная электрогенерирующая неровность: 1 – корпус; 2 – платформы; 3 – поперечные оси; 4 – шарнир.

Fig. 2. Road electrically generating bump: 1 – frame; 2 – platforms; 3 – transverse axes; 4 – hinge.

электрогенерирующей неровности к ее ширине составляет порядка 0,1–0,2, т. е. транспортное средство подпрыгивает на дорожной электрогенерирующей неровности и при высоких скоростях движения возможно нанесение вреда подвеске автомобиля. В местах установки дорожных электрогенерирующих неровностей наблюдается резкое повышение уровня шума, загазованности, снижение пропускной способности улиц. Кроме того, дорожная

электрогенерирующая неровность при наезде колес автотранспорта проваливается, образуя на стыке платформ дополнительные неровности.

Пример дорожной энергетической установки представлен на рис. 3 [6].

Часть дорожной энергетической установки, которая взаимодействует с транспортным средством, выполненная из гибкого материала, обеспечивает плавный наезд и съезд колес автотранспорта с энергетической установки.

Однако при проезде автотранспорта по предварительно выгнутому металлическому листу крутящий момент от колеса, перемещающийся через предварительно выгнутый металлический лист, сначала сжимает его переднюю половину, он крутится, а затем раскручивается – создается рикошет энергии между передней и задней частью. Длительное воздействие на металл повторно-переменных напряжений снижает порог усталости материала, вызывает образование трещин и разрушение. Как следствие – низкий срок службы представленной конструкции дорожной энергетической установки.

Еще один пример дорожной энергетической установки представлен на рис. 4 а, б [7].

Нажимная платформа, состоящая из неподвижного настила и подвижной головки винта в виде гребенки, установленной в прорезях неподвижного настила, позволяет обеспечивать плавность наезда и съезда автомобиля с дорожной энергетической установки при низком уровне шума и загазованности.

Несмотря на большое многообразие конструкций технических электрогенерирующих средств, предлагаемых

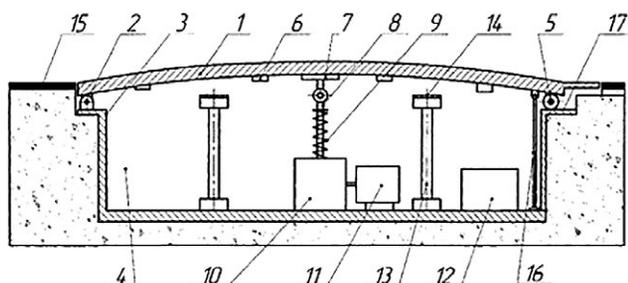


Рис. 3. Дорожная энергетическая установка: 1 – проезжая часть, выполненная из гибкого материала; 2 – оси; 3 – опор; 4 – подвал; 5 – ролик; 6 – ребра жесткости; 7 – кронштейн; 8 – шток; 9 – упругий элемент; 10 – реверсивный преобразователь; 11 – электрический генератор; 12 – аккумуляторная батарея; 13 – упоры-ограничители; 14 – демпферы; 15 – дорожное полотно; 16 – натягивающее устройство; 17 – подпятник.

Fig. 3. Road power plant: 1 – roadway made of flexible material; 2 – axes; 3 – support; 4 – basement; 5 – roller; 6 – stiffeners; 7 – bracket; 8 – stock; 9 – elastic element; 10 – reversible converter; 11 – electric generator; 12 – battery; 13 – stops-limiters; 14 – dampers; 15 – roadbed; 16 – tensioning device; 17 – thrust bearing.

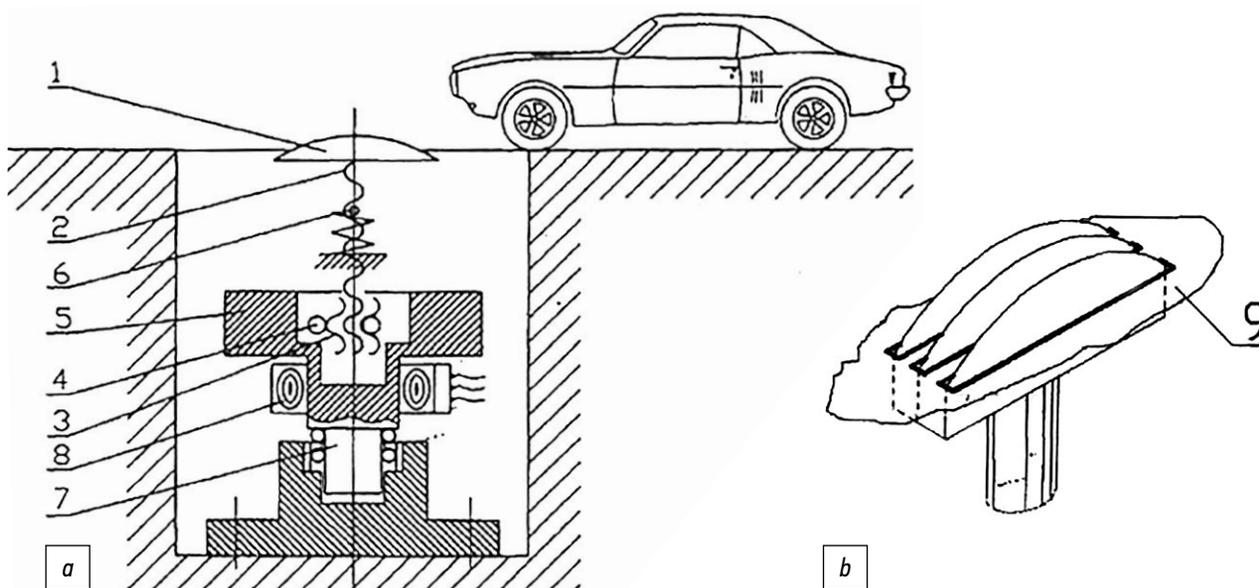


Рис. 4. Дорожная энергетическая установка: а – конструктивная схема; б – аксонометрия гребенки; 1 – головка в форме гребенки; 2 – подпружиненный винт; 3 – гайка; 4 – обгонная муфта; 5 – маховик; 6 – пружина; 7 – основание; 8 – электрический генератор; 9 – прорези для гребенки.

Fig. 4. Road power plant: а – construction diagram; б – axonometric view of comb; 1 – comb-shaped head; 2 – spring-loaded screw; 3 – nut; 4 – overrunning clutch; 5 – flywheel; 6 – spring; 7 – base; 8 – electric generator; 9 – slots for comb.

российскими и зарубежными учеными, в современной научной литературе отсутствует систематическое представление о данном классе устройств.

Целью данной работы является систематизация технических электрогенерирующих средств и разработка их классификации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основываясь на данных отечественной и зарубежной научной литературы, технические электрогенерирующие

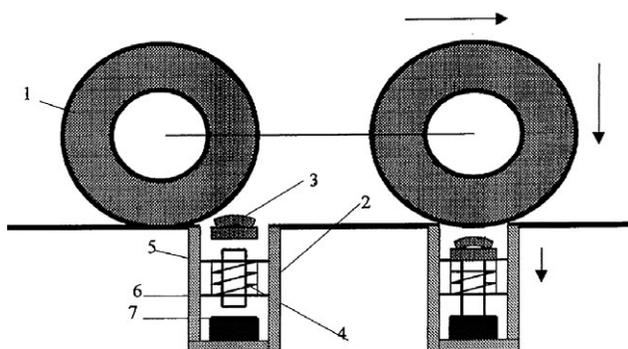


Рис. 5. Пьезоэлектрическое устройство преобразования энергии движущегося автомобиля в электрическую энергию: 1 – колесо; 2 – корпус устройства; 3 – ударный мост; 4 – ударно-возвратный механизм; 5 – верхняя упорная планка; 6 – нижняя упорная планка; 7 – пьезоэлемент.

Fig. 5. Piezoelectric device for converting energy of a moving car into electrical energy: 1 – wheel; 2 – device body; 3 – shock bridge; 4 – shock-return mechanism; 5 – upper thrust bar; 6 – lower thrust bar; 7 – piezo element.

средства можно классифицировать по типу устройства, преобразующего энергию движения автомобиля в электрическую энергию.

1. *Пьезоэлектрические устройства* [8]. В основе работы таких устройств лежит преобразование силы давления колес автотранспортного средства в электрическую энергию посредством пьезоэлектрических элементов (рис. 5).

2. *Гидравлические устройства* [9, 10]. Принцип действия таких устройств основан на том, что часть дорожного полотна выполняется в виде эластичного слоя, внутри которого проложены гибкие трубы. В момент проезда автотранспорта по участку эластичного полотна рабочая жидкость начинает перемещаться в трубах под давлением, после чего накапливается в гидравлических аккумуляторах. После достижения необходимого давления в гидравлическом аккумуляторе энергия сжатой жидкости преобразуется в электрическую посредством электромагнитного преобразователя (рис. 6).

3. *Электромеханические устройства* [11]. Преобразование энергии движения автотранспортного средства в таких устройствах осуществляется за счет того, что в момент наезда автомобиля на искусственную неровность последняя утапливается и приводит в действие механический преобразователь энергии, который связан с электрическим генератором (рис. 7).

В свою очередь технические электрогенерирующие средства с электромеханическим преобразователем энергии движения автомобиля различают по следующим признакам:

- *по количеству двигателей:* однодвигательные [12] – механическая энергия преобразуется в электрическую одним генератором (рис. 8, а); мно-

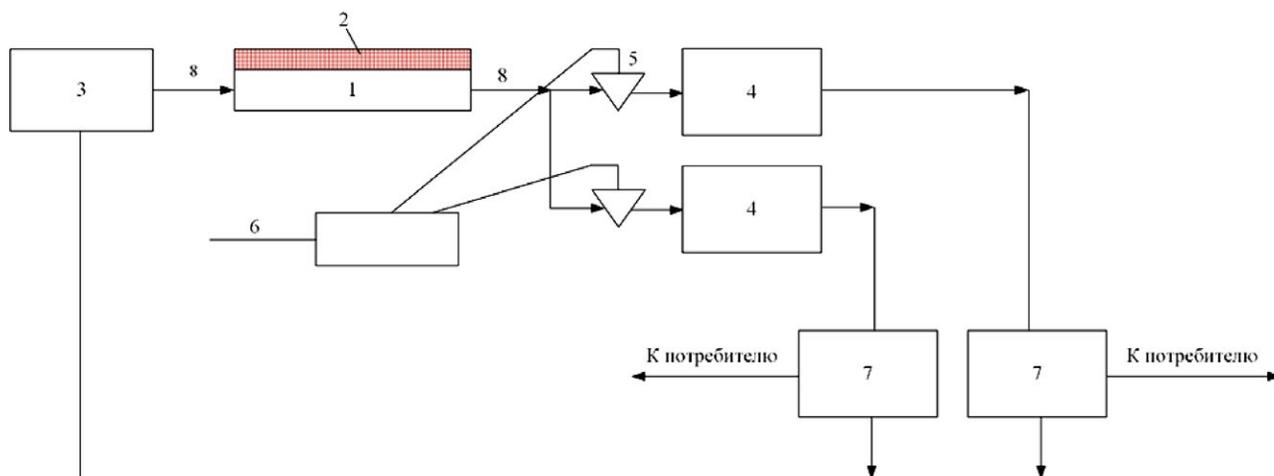


Рис. 6. Гидравлическое устройство преобразования энергии движущегося автомобиля в электрическую энергию: 1 – эластичная труба; 2 – эластичный слой дорожного покрытия; 3 – запасная емкость; 4 – емкости аккумуляторов давления рабочей жидкости; 5 – запорно-регулирующие органы; 6 – блок управления; 7 – преобразователи потенциальной энергии рабочей жидкости; 8 – трубопроводы.

Fig. 6. Hydraulic device for converting the energy of a moving car into electrical energy: 1 – elastic pipe; 2 – elastic layer of the road surface; 3 – spare tank; 4 – reservoirs of working fluid pressure accumulators; 5 – shut-off valves; 6 – control unit; 7 – converters of potential energy of working fluid; 8 – pipelines.

годвигательные [13] – механическая энергия преобразуется в электрическую двумя и более генераторами (рис. 8, b);

- по типу механического передаточного устройства: зубчатые пары [14] – преобразование механической энергии в электрическую осуществляется с помощью зубчатого зацепления (рис. 9, a); плоские рычажные механизмы [15] – преобразование механической энергии в электрическую осуществляется с помощью плоского рычажного механизма (кривошипно-шатунный механизм, кинематическая пара «коромысло – шатун») (рис. 9, b);
- по типу конструкции нажимной платформы: сборная [16] – выполненная из нескольких элементов (рис. 10, a); цельная [17] – выполненная в виде целого изделия;
- по типу используемого генератора: генератор постоянного тока [18; 19]; генератор переменного тока [20].

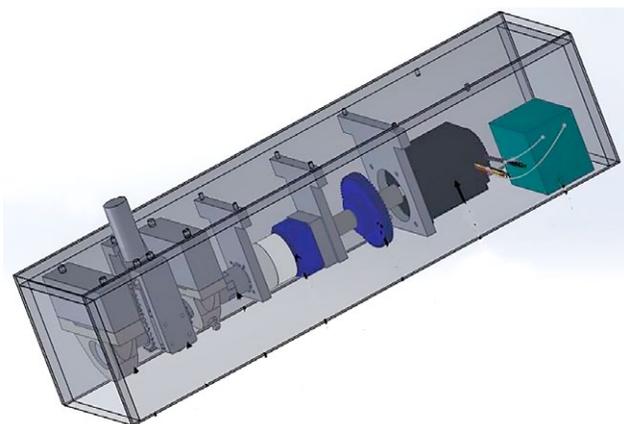


Рис. 7. Электромеханическое устройство преобразования энергии движущегося автомобиля в электрическую энергию.

Fig. 7. Electromechanical device for converting the energy of a moving car into electrical energy.

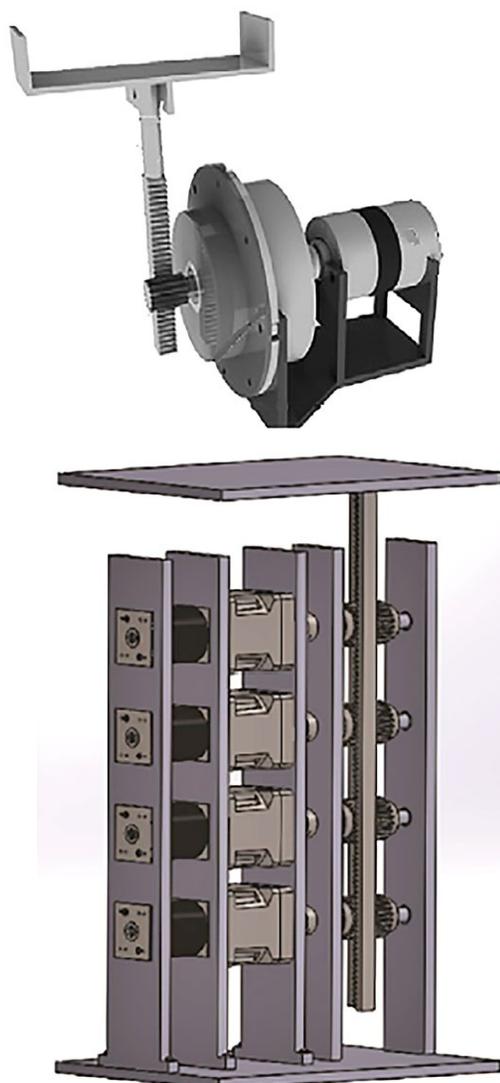


Рис. 8. Конструкция электропривода технических электрогенерирующих средств: а) однодвигательный; б) многодвигательный.

Fig. 8. The design of the electric drive of technical power generating facilities: a) single engine; b) multi-engine.

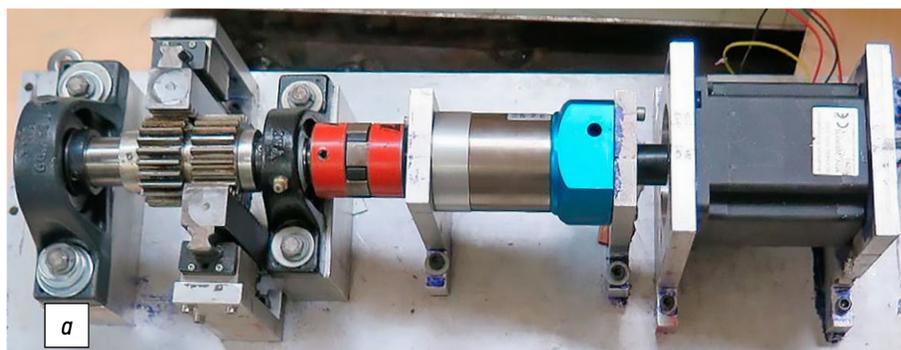


Рис. 9. Механическое передаточное устройство технического электрогенерирующего средства: а) в виде зубчатой передачи; б) в виде кинематической пары «коромысло – шатун»; 1 – нажимная платформа; 2 – подпружиненный шток; 3 – пружина; 4 – коромысло; 5 – шатун; 6 – приводной вал; 7 – обгонная муфта; 8 – маховик; 9 – электрический генератор.

Fig. 9. Mechanical transmission device of technical electric generating equipment: a) in the form of gear transmission; b) in the form of kinematic pair “rocker-connecting rod”; 1 – pressure platform; 2 – spring-loaded rod; 3 – spring; 4 – rocker; 5 – connecting rod; 6 – drive shaft; 7 – overrunning clutch; 8 – flywheel; 9 – electric generator.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Все описанные выше технические электрогенерирующие средства сгруппированы в «Классификацию технических электрогенерирующих средств» (рис. 11).

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ показывает, что основным классификационным признаком технических электрогенерирующих устройств является тип преобразователя энергии движущегося автомобиля в электрическую:

- пьезоэлектрический;
- гидравлический;
- электромеханический.

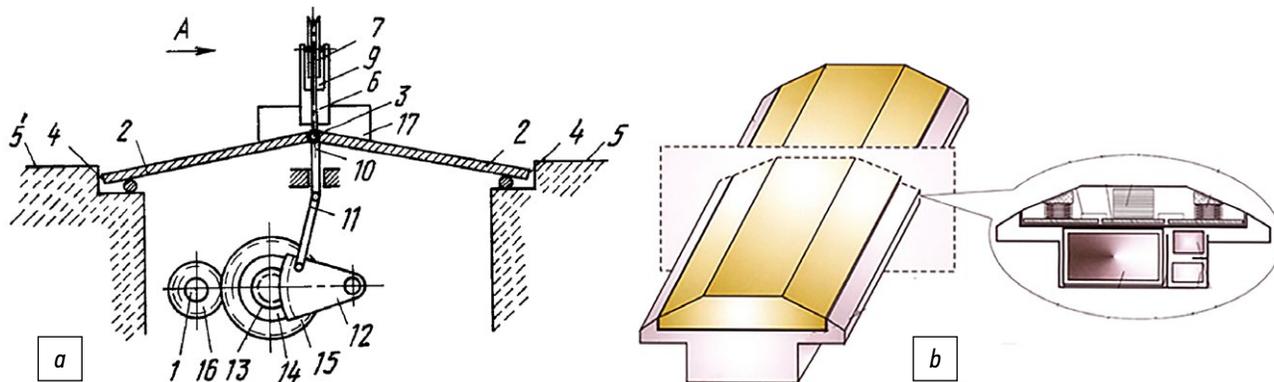


Рис. 10. Нажимная платформа технического электрогенерирующего средства: *a*) – сборная; *b*) – цельная; 1 – вал потребителя энергии; 2 – подвижные платформы; 3 – шарнирное соединение; 4 – опорные стороны платформы; 5 – проезжая часть; 6 – кронштейн; 7 – передаточный блок; 8 – груз; 9 – трос; 10 – толкатель; 11 – шатун; 12 – зубчатый сектор; 13 – храповой механизм с ведущей шестерней; 14 – ведомая шестерня; 15 – ведущая шестерня вала потребителя; 16 – ведомая шестерня вала потребителя; 17 – железобетонные опоры.

Fig. 10. Pressure platform of the technical power generating facility: *a*) – prefabricated; *b*) – one-piece; 1 – energy consumer shaft; 2 – mobile platforms; 3 – hinge connection; 4 – platform support sides; 5 – roadway; 6 – bracket; 7 – transmission unit; 8 – load; 9 – cable; 10 – pusher; 11 – connecting rod; 12 – gear sector; 13 – ratchet mechanism with a drive gear; 14 – driven gear; 15 – drive gear of the consumer shaft; 16 – driven gear of the consumer shaft; 17 – reinforced concrete supports.



Рис. 11. Классификация технических электрогенерирующих средств.

Fig. 11. Classification of technical power generating facilities.

В свою очередь технические электрогенерирующие устройства с электромеханическим преобразователем энергии классифицируются по ряду признаков:

- количеству двигателей;
- по типу механизма передаточного устройства;
- по конструкции нажимной платформы;
- по виду используемого генератора.

Разработанная классификация позволяет систематизировать достижения отечественных и зарубежных ученых в разработке такого класса устройств, как технические электрогенерирующие средства.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. *А.В. Прудий* — поиск публикаций по теме статьи, написание рукописи, редактирование текста рукописи, создание изображений; *Ю.М. Ляшенко* — поиск публикаций по теме статьи, экспертная оценка, утверждение финальной версии. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный

вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. *A.V. Prudiy* — search for publications, writing the text of the manuscript, editing the text of the manuscript, creating images; *Y.M. Lyashenko* — search for publications, expert opinion, approval of the final version. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 52605-2006. Технические средства организации дорожного движения. Искусственные неровности. Общие технические требования. Правила применения. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200048469> Дата обращения: 13.06.2022.
2. ГОСТ 32964-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Искусственные неровности. сборные. Технические требования. Методы контроля. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200123906> Дата обращения: 13.06.2022.
3. ГОСТ Р 52765—2007. Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Классификация. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200057499> Дата обращения: 13.06.2022.
4. ГОСТ Р 52766-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200057674> Дата обращения: 13.06.2022.
5. Патент РФ на изобретение № U 6891/ 30.12.2010. Говоровский В.И., Бирич В.В. Дорожная энергетическая установка. Режим доступа: <https://bypatents.com/2-u6891-dorozhnaya-energeticheskaya-ustanovka.html> Дата обращения: 13.06.2022.
6. Патент РФ на изобретение № 2359152 C1/ 26.09.2009. Абачараев И.М., Абачараев М.М., Кушиев С.Ч. Энергетическая установка. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37551312> Дата обращения: 13.06.2022.
7. Патент РУз на изобретение № FAP 00896/ 30.04.2012. Бюл. № 4. Аннакулова Г.К., Радкевич М.В. Устройство для выработки электрического тока.
8. Патент РФ на изобретение № 32936 U1/ 27.09.2003. Гайнанов Л.Х. Устройство, преобразующее энергию удара в электри-

ческую энергию, используя движение транспортных средств. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38349850> Дата обращения: 13.06.2022.

9. Патент РФ на изобретение № 2343311 C1/ 10.01.2009. Багерман А.З., Багерман М.Р., Багерман Е.А. Устройство для использования попутной энергии транспорта. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37542225> Дата обращения: 13.06.2022.

10. Патент РФ на изобретение № 2278992 C1/ 27.06.2006. Мартянов А.В. Установка для преобразования давления движущегося транспорта в электроэнергию (варианты) и устройство дорожного покрытия для такой установки. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37976855> Дата обращения: 13.06.2022.

11. Matthews J.O.I., Bish D., Du X., et al, inventors. Systems and methods for generating, storing and transmitting electricity from vehicular traffic. United States patent US 20200217306A1. 2020 Aug 7. Available from: <https://patents.google.com/patent/US20200217306A1/en?q=energy+harvesting+speed+bump&oq=energy+harvesting+speed+bump>

12. Azam A., Ahmed A., Hayat N., et al. Design, fabrication, modelling and analyses of a movable speed bump-based mechanical energy harvester (MEH) for application on road // *Energy*. 2021. Vol. 214. doi: 10.1016/j.energy.2020.118894

13. Gholikhani M., Beheshti Shirazi S.Y., Mabrouk G.M., Dessouky S. Dual electromagnetic energy harvesting technology for sustainable transportation systems // *Energy Conversion and Management*. 2021. Vol. 230. doi: 10.1016/j.enconman.2020.113804

14. Prakhar Todaria. Design, Modelling, and Test of an Electromagnetic Speed Bump Energy Harvester [Internet]. Available

from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Design%2C-Modelling%2C-and-Test-of-an-Electromagnetic-Todaria/4e247e048f4cc937409b9a6ee48872242c58c64a> Accessed: 13 Jun, 2022.

15. Патент РФ на изобретение № 205403 U1/ 13.07.2021. Ляшенко Ю.М., Прудий А.В., Колесник М.Н. Дорожная энергетическая установка. Режим доступа: <https://fips.ru/publication-web/publications/document?type=doc&tab=IZPM&id=FA72BBF4-5E16-4F10-8538-216D468EFE82> Дата обращения: 13.06.2022.

16. Патент РФ на изобретение № 2160849 C1/ 20.12.2000. Свиренко В.В., Богусhevский С.Л., Трейбич С.А. Преобразователь энергии. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37859073> Дата обращения: 13.06.2022.

17. Патент РФ на изобретение № 2359152 C1/ 26.09.2009. Абачараев И.М., Абачараев М.М., Кушиев С.С. Энергетическая уста-

новка. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37551312> Дата обращения: 13.06.2022.

18. Патент РУз на изобретение № FAP 00896/ 30.04.2012. Бул. № 4. Аннакулова Г.К., Радкевич М.В. Устройство для выработки электрического тока.

19. Sun M., Wang W., Zheng P., et al. A novel road energy harvesting system based on a spatial double V-shaped mechanism for near-zero-energy toll stations on expressways // *Sensors and Actuators A: Physical*. 2021. Vol. 323. doi: 10.1016/j.sna.2021.112648

20. Jang Dae-soo, inventor. Electric generating device using speed bump. South Korea patent KR 101062620B1. 2011 Sep 7. Available from: <https://patents.google.com/patent/KR101062620B1/en?q=KR101062620B1>

REFERENCES

1. GOST R 52605-2006. Traffic control devices. Road bumps and road humps. General technical requirements. Application rules. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200048469> Accessed: Jun 13, 2022. (In Russ).

2. GOST R 32964-2014. Automobile roads of general use. Road modular speed bumps. Technical requirements. Methods of testing. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200123906> Accessed: Jun 13, 2022. (In Russ).

3. GOST R 52765—2007. Automobile roads of the general use. Road facilities. Classification. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200057499>. Accessed: Jun 13, 2022. (In Russ).

4. GOST R 52766-2007. Automobile roads of general use. Road facilities. General requirements. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200057674> Accessed: Jun 13, 2022. (In Russ).

5. Patent BY №U 6891/ 30.12.2010. Govorovskii VI, Birich VV. *Dorozhnaya energeticheskaia ustanovka*. Available from: <https://bypatents.com/2-u6891-dorozhnaya-energeticheskaya-ustanovka.html> (In Russ).

6. Patent RUS №2359152 C1/ 26.09.2009. Abacharaev IM, Abacharaev MM, Kushiev SC. *Energeticheskaya ustanovka*. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37551312> (In Russ).

7. Patent UZ №FAP 00896/ 30.04.2012. Бул. № 4. Аннакулова Г.К., Радкевич М.В. *Ustroistvo dlya vyrabotki elektricheskogo toka*. (In Russ).

8. Patent RUS №32936 U1/ 27.09.2003. Gainanov LK. *Ustroistvo, preobrazuyushchee energiyu udara v elektricheskuyu energiyu, ispol'zuya dvizhenie transportnykh sredstv*. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38349850> (In Russ).

9. Patent RUS №2343311 C1/ 10.01.2009. Bagerman AZ, Bagerman MR, Bagerman EA. *Ustroistvo dlya ispol'zovaniya poputnoi energii transporta*. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37542225> (In Russ).

10. Patent RUS №2278992 C1/ 27.06.2006. Mart'yanov AV. *Ustanovka dlya preobrazovaniya davleniya dvizhushchegosya transporta v elektroenergiyu (varianty) i ustroistvo dorozhnogo pokrytiya dlya takoi ustanovki*. Available from <https://elibrary.ru/item.asp?id=37976855> (In Russ).

11. Matthews JOI, Bish D, Du X, et al, inventors. *Systems and methods for generating, storing and transmitting electricity*

from vehicular traffic. United States patent US 20200217306A1. 2020 Aug 7. Available from: <https://patents.google.com/patent/US20200217306A1/en?q=energy+harvesting+speed+bump&oq=energy+harvesting+speed+bump>

12. Azam A, Ahmed A, Hayat N, et al. Design, fabrication, modelling and analyses of a movable speed bump-based mechanical energy harvester (MEH) for application on road. *Energy*. 2021;214. doi: 10.1016/j.energy.2020.118894

13. Gholikhani M, Beheshti Shirazi SY, Mabrouk GM, Dessouky S. Dual electromagnetic energy harvesting technology for sustainable transportation systems. *Energy Conversion and Management*. 2021;230. doi: 10.1016/j.enconman.2020.113804

14. Prakhar Todaria. Design, Modelling, and Test of an Electromagnetic Speed Bump Energy Harvester [Internet]. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Design%2C-Modelling%2C-and-Test-of-an-Electromagnetic-Todaria/4e247e048f4cc937409b9a6ee48872242c58c64a> Accessed: 13 Jun, 2022.

15. Patent RUS №205403 U1/ 13.07.2021. Lyashenko YM, Prudii AV, Kolesnik MN. *Dorozhnaya energeticheskaya ustanovka*. Available from: <https://fips.ru/publication-web/publications/document?type=doc&tab=IZPM&id=FA72BBF4-5E16-4F10-8538-216D468EFE82> (In Russ).

16. Patent RUS №2160849 C1/ 20.12.2000. Svarenko VV, Bogushevskii SL, Treibich SA. *Preobrazovatel' energii*. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37859073> (In Russ).

17. Patent RUS №2359152 C1/ 26.09.2009. Abacharaev IM, Abacharaev MM, Kushiev SC. *Energeticheskaya ustanovka*. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37551312> (In Russ).

18. Patent UZ №FAP 00896/ 30.04.2012. Бул. № 4. Аннакулова Г.К., Радкевич М.В. *Ustroistvo dlya vyrabotki elektricheskogo toka*. (In Russ).

19. Sun M, Wang W, Zheng P, et al. A novel road energy harvesting system based on a spatial double V-shaped mechanism for near-zero-energy toll stations on expressways. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2021;323. doi: 10.1016/j.sna.2021.112648

20. Jang Dae-soo, inventor. *Electric generating device using speed bump*. South Korea patent KR 101062620B1. 2011 Sep 7. Available from: <https://patents.google.com/patent/KR101062620B1/en?q=KR101062620B1>

ОБ АВТОРАХ

***Прудий Алексей Васильевич,**

старший преподаватель кафедры «Транспортная безопасность и управление дорожной инфраструктурой»;

адрес: Россия, 346500, Ростовская обл., г. Шахты, пл. Ленина, 1;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0236-8821>;

eLibrary SPIN: 5223-3876;

e-mail: prudiy@yandex.ru

Ляшенко Юрий Михайлович,

д-р техн. наук,

профессор кафедры «Транспортная безопасность и управление дорожной инфраструктурой»;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6553-0163>;

eLibrary SPIN: 7361-3127;

e-mail: lumdtm@yandex.ru

***Автор для переписки**

AUTHORS' INFO

***Alexey V. Prudiy,**

Senior Lecturer Department of Transport Security and Road Infrastructure Management;

address: 1 pl. Lenina, Shakhty, Rostov Region, 346500, Russia;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0236-8821>;

eLibrary SPIN: 5223-3876;

e-mail: prudiy@yandex.ru

Yuriy M. Lyashenko,

Dr. Sci. (Engin.),

Professor of the Department of Transport Security and Road Infrastructure Management;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6553-0163>;

eLibrary SPIN: 7361-3127;

e-mail: lumdtm@yandex.ru

***Corresponding author**