

Научная статья

УДК 656.1, 625.748, 621.311.25

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-720-733>

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОТ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

И.А. Анисимов¹, В.Е. Костин², В.С. Орлов², Д.Н. Паутов², А.С. Поляков³, А.В. Шурупов⁴¹ ООО «Смарт СИ», г. Тюмень, Россия,² ООО «Запсибэнергоаудит», г. Тюмень, Россия,³ Российский университет транспорта, г. Москва, Россия,⁴ ГБУ «МосТрансПроект», г. Москва, Россияtkcc@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6712-9867>,vekostin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5947-7327>,orlov.vs@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3454-8221>,pautov.dn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3714-0715>,aspolyakov@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-2061-8890>,alexey.shurupov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0972-4964>

АННОТАЦИЯ

Введение. С целью повышения безопасности и снижения аварийности объекты транспортной инфраструктуры оборудуются все большим числом дополнительных светосигнальных и осветительных устройств. В работе рассмотрены вопросы электрификации объектов транспортной инфраструктуры, проанализированы варианты организации автономного электроснабжения этих объектов, дана оценка возможностей применения различных типов генераторов, использующих возобновляемые источники электрической энергии.

Материалы и методы. Для проведения исследования авторами разработан экспериментальный образец автономного генератора, встраиваемого в искусственную дорожную неровность.

Результаты. Произведена оценка потребления электрической энергии светосигнальным и осветительным оборудованием нерегулируемого пешеходного перехода и выработки электрической энергии экспериментальным образцом генератора, встраиваемого в искусственную дорожную неровность.

Обсуждение и заключение. Дана оценка эффективности разработанного генератора, встраиваемого в искусственную дорожную неровность, для обеспечения электрической энергией светового оборудования нерегулируемого пешеходного перехода, выявлена недостаточная производительность экспериментального образца. Определены задачи дальнейшего исследования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автономный электрический генератор, искусственная дорожная неровность, электроснабжение объектов дорожной инфраструктуры

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы выражают благодарность С.О. Евстропову за помощь в разработке платы управления и Д.А. Дедюхину за помощь в разработке механической части автономного электрического генератора, встраиваемого в искусственную дорожную неровность, а также А.А. Восканяну за помощь в проведении натурных испытаний автономного электрического генератора, встраиваемого в искусственную дорожную неровность.

Статья поступила в редакцию 11.10.2021; одобрена после рецензирования 08.12.2021; принята к публикации 14.12.2021.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Электроснабжение объектов дорожной инфраструктуры от альтернативных источников / Анисимов И.А., Костин В.Е., Поляков А.С. [и др.] // Вестник СибАДИ. 2021. Т.18, № 6(82). С. 720-733. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-720-733>

© Анисимов И.А., Костин В.Е., Орлов В.С., Паутов Д.Н., Поляков А.С., Шурупов А.В., 2021



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-720-733>

POWER SUPPLY OF ROAD INFRASTRUCTURE OBJECTS FROM ALTERNATIVE SOURCES

Ilya A. Anisimov¹, Vadim E. Kostin², Vladimir S. Orlov², Dmitry N. Pautov²,
Alexander S. Polyakov³, Alexey V. Shurupov⁴

¹ OOO Smart SI, Tyumen, Russian Federation

² OOO Zapsibenergoaudit, Tyumen, Russian Federation

³ Russian University of Transport, Moscow, Russian Federation

⁴ MosTransProekt State Budgetary Institution, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. To improve safety and reduce accidents, transport infrastructure facilities are equipped by the new additional light-signaling and lighting devices. The article discusses the electrification of transport infrastructure facilities, analyzes the options for implementing autonomous power supply of these facilities, and assesses the possibilities of using various types of generators on renewable energy sources.

Materials and methods. An experimental model of a generator based on alternative energy sources, built into a speed bump has been developed and manufactured.

Results. An assessment of the energy consumed by the light-signaling and lighting equipment of an unregulated pedestrian crossing and the electrical energy generated by an experimental model of a generator built into speed bump has been made.

Discussion and conclusions. An assessment of the efficiency of the developed generator, built into a speed bump, to provide electrical energy to the lighting equipment of an unregulated pedestrian crossing, was carried out, and the insufficient performance of the experimental sample was revealed. It is planned to solve these problems during the continuation of the study.

KEYWORDS: electric generator, speed bump, power supply of road infrastructure facilities

ACKNOWLEDGEMENTS. The authors would like to thank Stanislav O. Evstropov for his help in developing the control board, Denis A. Dedyukhin for his help in developing the mechanical part of an autonomous electric generator built into an artificial road roughness, Armen A. Voskanyan for help in carrying out field tests of an autonomous electric generator built into an artificial road roughness.

The article was submitted 11.10.2021; approved after reviewing 08.12.2021; accepted for publication 14.12.2021.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Anisimov I.A., Kostin V.E., Orlov V.S., Pautov D.N., Polyakov A.S., Shurupov A.V. Power supply of road infrastructure objects from alternative sources. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2021; 18 (6): 720-733. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-720-733>

© Anisimov I.A., Kostin V.E., Orlov V.S., Pautov D.N., Polyakov A.S., Shurupov A.V., 2021



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Для повышения безопасности дорожного движения и снижения аварийности происходит увеличение оснащённости дорог элементами дорожной инфраструктуры: камеры для фотовидеофиксации дорожных событий, подсветка пешеходных переходов, установка светофоров на пешеходных переходах, подсветка дорожных знаков, установка устройств, предупреждающих водителя о приближении пешехода к переходу, а пешехода – о приближении автомобиля. Внедрение этих устройств в перспективе должно позволить решить поставленные задачи, но все эти устройства в процессе работы используют электрическую энергию, поэтому требуют либо подключения к электрической сети, что не всегда возможно, либо автономного электроснабжения. Это поднимает актуальность разработок в области электрогенераторов малой мощности, размещаемых в непосредственной близости от дорожного полотна или непосредственно на нём.

Авторами было принято решение провести изучение мирового опыта в области разработок автономных генераторов, использующих как возобновляемые источники энергии, так и кинетическую энергию движущихся транспортных средств. Проведенный научно-патентный поиск выявил несколько типов электрических генераторов:

- использующие энергию солнца [1, 2, 3, 4];
- использующие энергию ветра [5];

– использующие энергию движущихся транспортных средств [6, 7, 8];

– комбинированные установки, объединяющие в своем составе несколько установок предыдущих типов [9, 10, 11, 12].

Установки, использующие энергию солнца, и часть установок, использующих энергию ветра, предполагают размещение на открытых пространствах, что существенно ограничивает область их применения. Снижение солнечной активности в зимний период также накладывает существенные ограничения на возможности их применения [13, 14, 15, 16].

Вторая часть установок, основанных на использовании энергии ветра, использует энергию быстро движущихся потоков транспортных средств, что ограничивает область их применения автомагистралями. Для решения задач энергообеспечения объектов дорожной инфраструктуры, связанных с повышением безопасности пешеходных переходов, в условиях плотной городской застройки указанные типы энергогенерирующих установок не подходят [13, 17]. Поэтому авторы обратили особое внимание на установки, использующие кинетическую энергию движущихся транспортных средств. Особый интерес вызвали генераторы, встраиваемые в искусственную дорожную неровность. Выделено три основных типа подобных установок:

- с механической передачей энергии на генератор¹ [18, 19];
- с передачей энергии на генератор через пневматическую систему² [18, 20];

¹ Патент на полезную модель № RU205403 U1 Российская Федерация, МПК F03G 7/08. Дорожная энергетическая установка : № 2021110180 : заявл. 12.04.2021 : опубл. 13.07.2021 / Ю.М. Ляшенко, А.В. Прудий, М.Н. Колесник.

Патент № 2379550 C2 Российская Федерация, МПК F03G 7/08. Дорожное энергетическое устройство : № 2007148399/06 : заявл. 24.12.2007 : опубл. 20.01.2010 / А.С. Алиев, Р.А. Алиев, Р.Г. Казимагомедов, Ш.А. Магомедов.

Патент № 2743232 C1 Российская Федерация, МПК H02K 7/06, F03G 7/08. Энергогенерирующий привод для искусственной дорожной неровности : № 2019140803 : заявл. 10.12.2019 : опубл. 16.02.2021 / В.А. Дмитриев.

Патент № US4238687 United States, МПК F03G7/08, H02K7/1853. Highway turbine : №965177 : заявл. 30.11.1978, опубл. 09.12.1980 / Santiago Martinez

Патент № US8123431 United States, МПК E01F13/123, E01C9/00, F03G7/08, H02K7/1853, H02K7/06. Road-based electricity generator : № US13/108295 : заявл. 16.05.2011 : опубл. 28.02.2012 / Ron Chen, Zichron Ya'acov

Патент № WO1999066202A1 Slovakia, МПК F03G7/08. A method and a device for transformation and use of excessive kinetic and potential energy in deceleration/braking of moving bodies for production of electric power : № PCT/SK1998/000007 : заявл. 23.06.1998 : опубл. 23.12.1998 / Miroslav Remeta

Патент № US6204568B1 United States, МПК F04B33/00. Traffic-based energy conversion system: № 297251 : заявл. 16.09.1999 : опубл. 20.03.2001 / John Runner

² Патент № US1771200 United States, МПК F04B35/00. Traffic air compressor : № 402210 : заявл. 24.10.1929 : опубл. 22.07.1930 / Akers Oscar Balard

Патент № US2471673 United States, МПК F04B33/00. Weight-operated air pump : № 632527 : заявл. 03.12.1945 : опубл. 31.05.1949 / Charles Cote

Патент № US4173431 United States, МПК F04B 9/02; F04B 35/00. Road vehicle-actuated air compressor and system therefor : № 869780 : заявл. 16.01.1978 : опубл. 06.11.1979 / Roland L. Smith

• с выработкой электрической энергии пьезоэлементами³ [21, 22, 23, 24, 25].

Использование генераторов на пьезоэлементах ограничено их низким КПД и высокой стоимостью. Изготовление генераторов с пневматической передачей ограничивает значительные изгибающие нагрузки, изгибающие шток и сам поршень, приводящие к нарушению соосности, увеличению износа и ускоренному выходу генератора из строя. Поэтому в качестве основной схемы разрабатываемого устройства был выбран вариант с механической передачей энергии на генератор.

Однако все предполагаемые прототипы обладали рядом существенных недостатков. В патентах RU205403 «Дорожная энергетическая установка», US4238687 «Дорожный генератор», US8123431 «Дорожный электрический генератор» устройство предполагает нарушение целостности дорожного полотна и установку генератора в специальное помещение под дорогой, что на практике сложно реализуется и требует существенных затрат. Аналогично и в патенте RU2379550 «Дорожное энергетическое устройство», но в нем к необходимости создания помещения под дорогой добавляется общая сложность конструкции. Устройство

из патента RU2743232 «Энергогенерирующий привод для искусственной дорожной неровности» лишено указанных выше недостатков, так как размещается над дорожным полотном, но его установка без доработки невозможна вследствие ряда причин: нарушение действующих нормативов в связи с размещением непредусмотренных устройств на дорожном полотне, низкая надежность конструкции, снижение видимости и уменьшение тротуарного полотна, а также низкая антивандальная стойкость по причине размещения генератора над поверхностью земли. Авторами было принято решение на основе этих изделий разработать собственное устройство для проверки технической возможности изготовления подобного генератора, а также опытного определения возможных энергетических характеристик подобной установки на натурной модели.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Функциональная схема разработанного устройства представлена на рисунке 1, фотоизображение образца, установленного на экспериментальной площадке, приведено на рисунке 2.

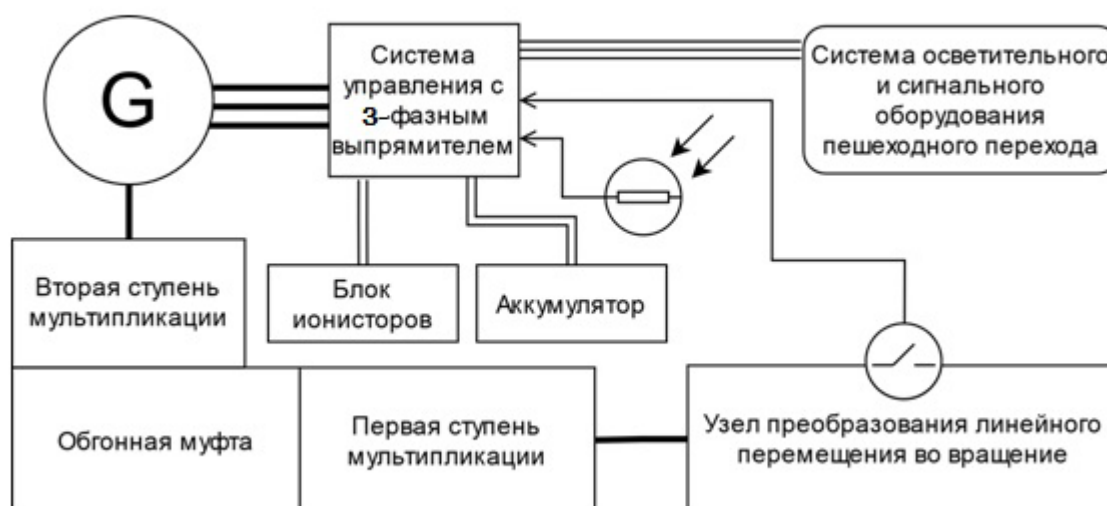


Рисунок 1 – Функциональная схема устройства

Figure 1 - Functional diagram of the device

³ Патент на полезную модель № 189058 U1 Российская Федерация, МПК F03G 7/08, H01M 10/60. Мобильный электромеханический генератор энергии : № 2019100133 : заявл. 09.01.2019 : опубл. 07.05.2019 / Д.С. Букатов.



Рисунок 2 – Опытный образец на экспериментальной площадке

Figure 2 – A prototype at the pilot site

Опытный образец генератора, встраиваемого в искусственную дорожную неровность, состоит из следующих элементов:

- подиума для размещения ИДН с генераторной установкой;
- ИДН-500 с вырезом для установки площадки нажатия;
- преобразователя поступательного движения во вращательное;
- двух цепных передач;
- промежуточного вала с обгонной муфтой;
- электрического генератора;
- свинцово-кислотного аккумулятора;
- платы управления зарядом аккумулятора и системой сигнального и осветительного оборудования пешеходного перехода;
- зарядно-балансирующей платы с блоком ионисторов (промежуточный накопитель);
- датчиков (освещенности и геркона);
- двух разъёмов для подключения осветительной, светоиндикаторной или звуковой аппаратуры мощностью до 8 Вт, рассчитанной на напряжение 12 В.

При нажатии на рабочий механизм устройства происходит преобразование поступа-

тельного движения площадки нажатия во вращательное движение первичного вала цепной передачи, который через обгонную муфту передает вращательное движение на электрический генератор, питающий первичный накопитель электрической энергии. В качестве первичного накопителя электрической энергии используется батарея из пяти ионисторов (суперконденсаторов), размещенная на зарядно-балансирующей плате.

При достижении на первичном накопителе электрической энергии напряжения в 3,7 В через DC/DC преобразователь начинается процесс подзарядки основного накопителя. В качестве основного накопителя электрической энергии используется необслуживаемая свинцово-кислотная аккумуляторная батарея напряжением 12 В, емкостью 7,2 А·ч. Для предотвращения заряда ионисторов и аккумуляторной батареи повышенным напряжением при достижении напряжения 14 В на батарее ионисторов происходит отключение генератора. Вторая ступень защиты представляет собой балансирующую плату, защищающую ионисторы от напряжения свыше 3 В, сброс избыточной мощности производится на резисторы.

Плата управления имеет два выхода 12 В для подключения потребителей мощностью до 8 Вт и два режима работы:

- питание светильника мощностью 6,5 Вт, который включается на 4 сек при проезде автомобилем искусственной дорожной неровности в условиях недостаточной освещенности окружающего пространства;
- питание односекционного желтого светофора типа Т7, обозначающего подъезд к пешеходному переходу, с выдачей однополярного импульсного пульсирующего сигнала с частотой 1 Гц.

Произведем оценку энергии, вырабатываемой образцом генератора в различных режимах. Для этого произведем серию измерений напряжения на промежуточном накопителе (батареи ионисторов) при нажатии на площадку в различных режимах.

Энергия заряженного конденсатора определяется по формуле

$$W = \frac{C \cdot U^2}{2}, \quad (1)$$

где C – ёмкость батареи конденсаторов, Ф;

U – напряжение на батарее конденсаторов, В.

Тогда энергия серии нажатий определится по формуле

$$W = \frac{C \cdot (U_n^2 - U_{n-1}^2)}{2}, \quad (2)$$

где U_n – напряжение на батарее конденсаторов после серии нажатий, В;

U_{n-1} – напряжение на батарее конденсаторов до серии нажатий, В.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На первом этапе исследований воздействие на площадку нажатия осуществляется исследователями в ручном режиме с силой от 850 до 950 Н сериями по 6 нажатий, с замерами напряжения на батарее ионисторов, начиная с полностью разряженного накопителя и заканчивая напряжением 9 В. Отметка в 9 В была достигнута после 40 серий из 6 нажатий, результаты измерений напряжения на батарее ионисторов и результаты расчета выработанной электрической энергии в графической форме представлены на рисунках 3, 4, 5.

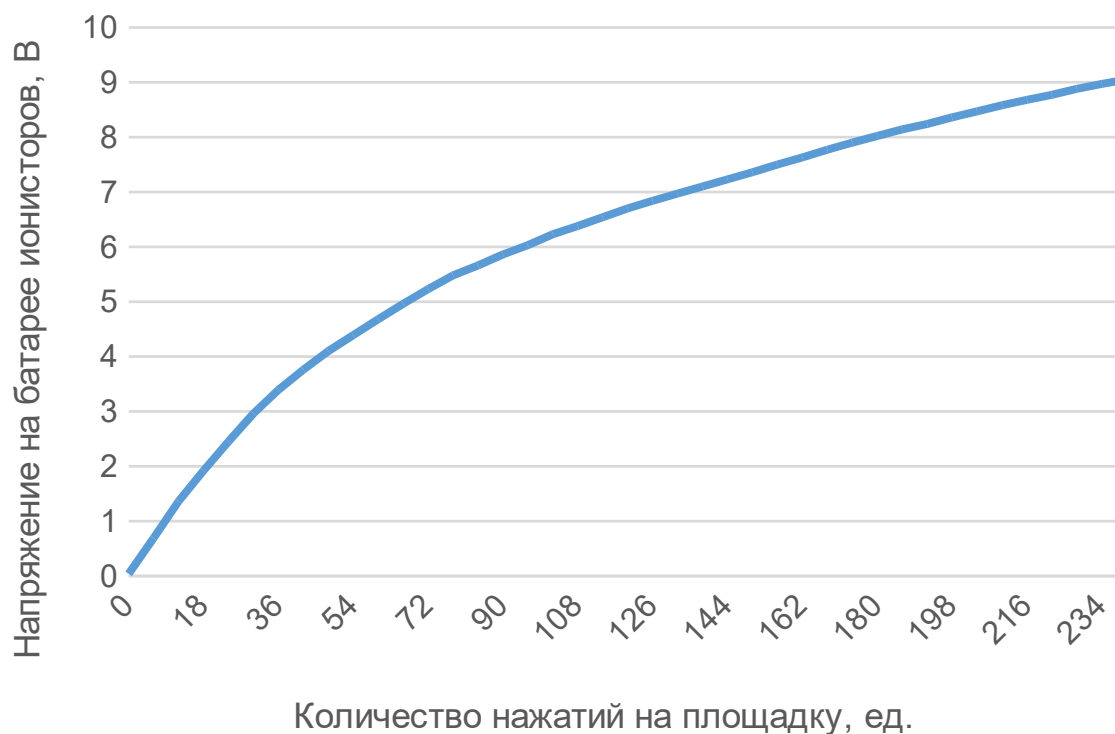


Рисунок 3 – Изменение напряжения на батарее ионисторов

Figure 3 – Voltage variation on the ioniser battery



Рисунок 4 – Энергия, получаемая с одного нажатия при различном уровне заряда на батарее ионисторов

Figure 4 – Energy obtained from a single pressure at different charge levels on a battery of ionists

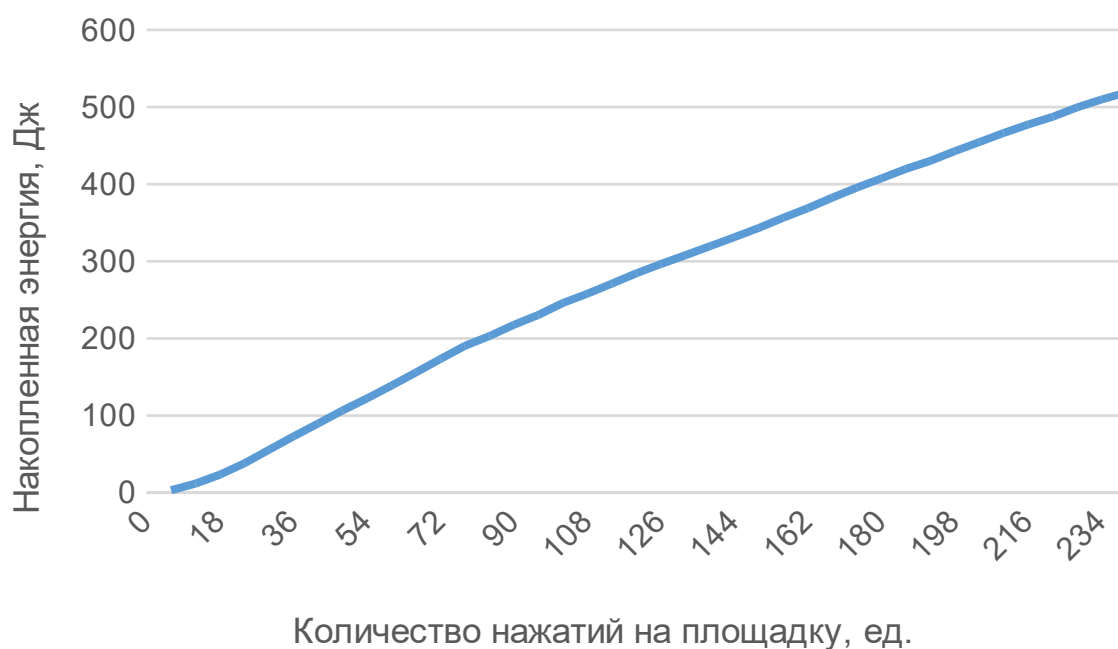


Рисунок 5 – Накопление энергии на батарее ионисторов

Figure 5 – Energy storage on a battery of ionists

Из графика, представленного на рисунке 4, можно сделать вывод: при низком значении напряжения на ионисторах (до 2 В) большая часть энергии, вырабатываемой генератором, тратится на нагрев его обмоток. В связи с этим исключим из дальнейших расчётов выработку энергии ионисторами на напряжении до 2 В. Важно отметить, что в нормальном режиме работы системы напряжение на ионисторах не опустится ниже отметки в 3 В. Тогда среднее значение вырабатываемой энергии от одного нажатия на педаль составит

$$W = \frac{W_{19} + W_{20} + \dots + W_{240}}{222} = 13,34 \text{ Дж.} \quad (3)$$

Важно отметить, что при этом максимальное значение вырабатываемой генератором энергии приходится на диапазон напряжений

от 3 В до 5 В. Однако максимальная эффективность преобразователя напряжения, отвечающего за заряд основного накопителя, наблюдается в диапазоне от 6 В до 9 В. Поэтому на втором этапе исследований выработку электрической энергии будем оценивать в этом диапазоне.

На втором этапе экспериментального исследования произведем оценку энергии, вырабатываемой экспериментальным образцом генератора при проезде автомобиля. В эксперименте приняли участие два автомобиля: Volvo S60 и Mercedes-Benz Smart. Измерения выполним аналогичным образом с некоторыми отличиями: серии производятся по два нажатия (при наезде передним и задним колесом автомобиля) с фиксацией параметров до и после проезда. Результаты измерений и расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1
Изменение напряжения на батарее ионисторов при проезде автомобиля

Table 1
Variation of voltage on a battery of ionists while driving a car

	Напряжение, В		Энергия, Дж	
	в начале	в конце	в опыте	среднее
Volvo XC70	6,47	6,58	54,5	54,3
	6,51	6,62	54,9	
	6,67	6,78	56,2	
	6,7	6,81	56,5	
	6,81	6,91	52,1	
	6,85	6,95	52,4	
	6,95	7,07	63,9	
	7,12	7,22	54,5	
	7,19	7,29	55,0	
	7,35	7,44	50,6	
	7,45	7,54	51,3	
	7,52	7,61	51,7	
	7,64	7,73	52,6	
Smart	6,56	6,65	45,2	45,1
	6,59	6,68	45,4	
	6,61	6,72	55,7	
	7,05	7,12	37,7	
	7,27	7,35	44,4	
	7,41	7,49	45,3	
	7,58	7,66	46,3	
	7,7	7,77	41,2	

Среднее значение выработки электрической энергии генератором от проезда автомобиля составило 49,7 Дж, за одно нажатие на площадку – 24,85 Дж.

На третьем этапе исследований производилась оценка потребности в электрической энергии осветительным и сигнальным оборудованием пешеходного перехода. Оценивались потребности для работы светофора типа Т7, предупреждающего водителя о приближении к пешеходному переходу, и светодиодного светильника, обеспечивающего освещение пе-

шеходного перехода. Для этого были измерены значения токов и напряжений на аккумуляторной батарее при включении оборудования.

Поскольку светильник, обеспечивающий дополнительное освещение пешеходного перехода, включается на ограниченное время при каждом проезде автомобиля в ночное время, то измерения произведены для одного цикла работы (4 сек). Для светофора типа Т7 оценку потребления проведем для промежутка времени в одну минуту. Результаты измерений и расчётов представим в таблице 2.

Таблица 2
Потребление электрической энергии оборудованием комплекса

Table 2
Electrical energy consumption of the complex equipment

Тип потребителя	Ток, А	Напряжение, В	Энергия, Дж	
			в опыте	среднее
Мигающий желтый светофор типа Т7 (1 мин)	0,30	13,2	73,2	73,2
	0,31	13,1	73,2	
	0,31	13	73,2	
Белый светодиодный светильник, обеспечивающий освещение пешеходного перехода (4 сек)	0,52	13,1	27,2	27,0
	0,53	13	27,6	
	0,51	12,9	26,3	

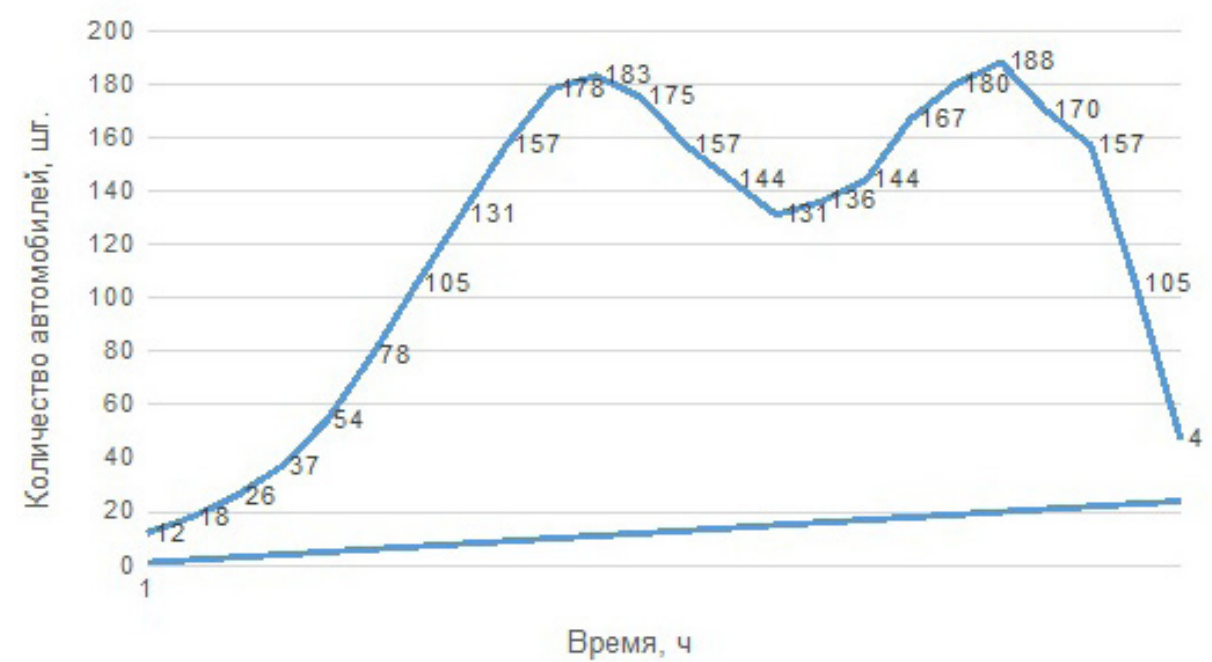


Рисунок 6 – Типовое распределение интенсивности движения в течение суток

Figure 6 - Typical intensity distribution of traffic during the day

Поскольку светосигнальная система, предупреждающая водителя о приближении к пешеходному переходу, работает непрерывно, умножим среднее минутное потребление системы на количество минут в сутках:

$$W = 73,2 \cdot 60 \cdot 24 = 105\,104 \text{ Дж} = 29,2 \text{ Вт} \cdot \text{ч} . \quad (4)$$

Для оценки затрат электрической энергии на работу светильника, обеспечивающего дополнительное освещение пешеходного перехода в ночное время при приближении автомобиля, зададимся минимальной продолжительностью светового дня. Для г. Москвы минимальная продолжительность светового дня составляет 7 ч. Соответственно, макси-

мальное время работы осветительного оборудования в ночном режиме – 17 ч. Зададимся интенсивностью движения автотранспортных средств на уровне 2880 машин в сутки (средняя интенсивность – 2 машины в минуту). В течение суток автомобильный поток распределяется неравномерно. Типовое распределение интенсивности движения на рисунке 6.

Произведем расчет потребности в электрической энергии, необходимой для питания дополнительного освещения пешеходного перехода, путём умножения энергии, потребляемой в одном цикле работы на количество машин в час. Результаты расчетов представим в таблице 3.

Таким образом, суммарный суточный расход электрической энергии на питание белого фонаря составляет 44 064 Дж (12,2 Вт·ч).

Таблица 3
Потребление электрической энергии осветительной установкой

Table 3
Electric power consumption of lighting installation

Время, ч	Количество машин, шт.			Потребление, Дж
	всего	светлое	темное	
1	12		12	324
2	18		18	486
3	26		26	702
4	37		37	999
5	54		54	1458
6	78		78	2106
7	105		105	2835
8	131		131	3537
9	157		157	4239
10	178	178		0
11	183	183		0
12	175	175		0
13	157	157		0
14	144	144		0
15	131	131		0
16	136	136		0
17	144	144		0
18	167		167	4509
19	180		180	4860
20	188		188	5076
21	170		170	4590
22	157		157	4239
23	105		105	2835
24	47		47	1269
Итого	2880	1248	1632	44064

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проезде одного автомобиля вырабатывается 49,7 Дж электрической энергии (см. таблицу 2). Соответственно в течение суток будет выработано и подано на первичный накопитель (батарею ионисторов):

$$49,7 \cdot 2880 = 143\,136 \text{ Дж} = 40 \text{ Вт} \cdot \text{ч}.$$

С учетом коэффициента полезного действия преобразователя постоянного тока, управляющего зарядом аккумуляторной батареи, равного 75%, после повышения напряжения с 4–11 В (на первичном накопителе) до 12–13 В (на аккумуляторной батарее) получим полезную энергию, подаваемую на основной накопитель (свинцово-кислотную аккумуляторную батарею) и потребителям

$$143\,136 \cdot 0,75 = 107\,352 \text{ Дж} = 30 \text{ Вт} \cdot \text{ч}.$$

Как видно из расчетов, электрическая энергия, в течение суток вырабатываемая генератором, встроенным в искусственную дорожную неровность, полностью покрывает потребление мигающего светофора Т7, равное 29,2 Вт·ч, или белого светодиодного фонаря мощностью 6,5 Вт, обеспечивающего дополнительное освещение пешеходного перехода, которое составляет 12,2 Вт·ч. Но этого недостаточно для питания обеих установок.

На основании этого можно сделать вывод о наличии технической возможности электропитания объектов транспортной инфраструктуры от автономного электрического генератора, встраиваемого в искусственную дорожную неровность и работающего непосредственно от проезжающего транспорта. Подобное устройство может быть использовано на автомобильных дорогах со средней интенсивностью движения на уровне 2 автомобилей в минуту на широте г. Москвы.

Проведенные исследования позволили сделать вывод о возможности применения разработанного генератора на территории г. Москвы и о необходимости улучшения конструкции устройства с целью увеличения на 25% вырабатываемой электрической энергии для покрытия всех потребностей устанавливаемого на нерегулируемых переходах светотехнического оборудования.

В настоящее время разработанное устройство проходит опытную эксплуатацию на базе ГБУ «МосТрансПроект» (г. Москва) для выявления «узких» мест в конструкции устройства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Patil S. et al. Energy Generation and Implementation of Power Floor (Pavegen) // *Energy*. 2019. 6(04).
2. The Renewable Energy In A Led Standalone Streetlight / D. Vitali, F. Garbuglia, V. D'alessandro, R. Ricci // *International Journal of Energy Production and Management*. 2017. 2(1): 118-128. – DOI 10.2495/EQ-V2-N1-118-129.
3. Рыжова А.С. Применение технологий с использованием солнечных элементов на автомобильном транспорте // *Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования*. 2016. Т. 3, № 2(5). С. 178–181. DOI 10.12737/20167.
4. Сычикова Я.А. Фотоэлектрические преобразователи энергии на основе наноструктурированных материалов для обеспечения энергоэффективности и энергосбережения // *Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования*. 2016. Т. 3, № 3(6). С. 67–71.
5. Hashem and M.H. Mohamed, "Aerodynamics Performance Enhancements of an H-rotor Darrieus Wind Turbine", (*Energy*), Vol.142, January 2018, pp. 531–545.
6. Wang C., Bairagi P., Ghatge R., Patil S. PNEUMATIC AND ELECTRIC ENERGY GENERATION USING SPRING BACK MECHANISM. – 2019. et al. Preparation and performance research of stacked piezoelectric energy-harvesting units for pavements // *Energy and Buildings*. – 2019. – Т. 183. – С. 581-591.
7. Zhang C. L. et al. Energy harvesting from a dynamic vibro-impact dielectric elastomer generator subjected to rotational excitations // *Nonlinear Dynamics*. – 2020. – Т. 102. – №. 3. – С. 1271-1284.
8. Bairagi P., Ghatge R., Patil S. Pneumatic and electric energy generation using spring back mechanism. – 2019.
9. Samrudhi Vaidya, "Design of the Hybrid Streetlight System using a Solar and Wind Turbine", (*International Journal of Engineering Research & Technology*, IJERT), Vol. 8, Issue 04, April 2019.
10. Om Singhal, Sakya Kanuparth, Shloka Hajare, Abhinav Vishwakarma, Kapil Dev, and Karan Kumar Shaw, "Design and optimization of standalone hybrid street light", AIP Conference Proceedings 2341, 020019 (2021) <https://doi.org/10.1063/5.0050165>
11. Wilson R. Nyembia, Simon Chinguwa, Innocent Mushanguri and Charles Mbohwa, "Optimization of the Design and Manufacture of a Solar-Wind Hybrid Street Light" (2nd International Conference on Sustainable Materials Processing and Manufacturing, SMPM 2019), ELSEVIER 285–290.
12. Nguyen V. C., Wang C. T., Hsieh Y. J. Electrification of Highway Transportation with Solar and Wind Energy // *Sustainability*. – 2021. – Т. 13. – №. 10. – С. 5456.

13. Burakova, A.D. Evaluation of the operation efficiency of solar panels in winter [Electronic source] / A.D.Burakova, L.N. Burakova, I.A. Anisimov and O.D. Burakova // IOP Conference Series: Earth Environmental Science - 2017 - Vol. 72 Article number 012022 - Access mode: DOI: 10.1088/1755-1315/72/1/012022
14. Coutu Jr R. A. et al. Testing Photovoltaic Pavers for Roadway Applications //Sustainability in Environment. – 2019.
15. Перспективы обеспечения автомобильных дорог альтернативными источниками электрической энергии и тепла / Я.В. Васильев, Е.В. Голов, Б.С. Доброборский, Е.Е. Медрес // Проблемы науки. 2017. № 4(17). С. 28–31.
16. Павлова А.И. Использование альтернативных источников энергии для освещения опасных участков автомобильных дорог // Молодой ученый. 2015. № 20(100). С. 58–61.
17. Буракова О.Д., Анисимов И.А. Снижение затрат на обустройство нерегулируемых пешеходных переходов, согласно типовых схем // Техника и технологии строительства. 2015. № 3(3). С. 8–14.
18. Duarte F., Ferreira A. Energy harvesting on road pavements: state of the art // Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Energy. – 2016. – Т. 169. – №. 2. – С. 79-90.
19. Ahmad S., Abdul Mujeeb M., Farooqi M. A. Energy harvesting from pavements and roadways: A comprehensive review of technologies, materials, and challenges //International Journal of Energy Research. – 2019. – Т. 43. – №. 6. – С. 1974-2015.
20. Castillo-García G. et al. Energy harvesting from vehicular traffic over speed bumps: a review / Castillo-García G. et al. // Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Energy. – 2018. – Т. 171. – №. 2. – С. 58-69.
21. Гриценко А., Никифоров В., Щеголева Т. Состояние и перспективы развития пьезоэлектрических генераторов // Компоненты и технологии. 2012. № 9(134). С. 63–68.
22. Некоторые перспективные конструкции пьезоэлектрических генераторов энергии / А. Чуприн, Р. Гаврилов, С. Генералов, С. Никифоров // Наноиндустрия. 2016. № 2(64). С. 48–57.
23. Никифоров В.Г., Дайнеко А.В., Гриценко А.Л. Состояние и перспективы развития пьезоэлектрических генераторов // Нано- и микросистемная техника. 2020. Т. 22, № 2. С. 102–111. DOI 10.17587/nmst.22.102-111.
24. Brenes A. et al. Maximum power point of piezoelectric energy harvesters: a review of optimality condition for electrical tuning // Smart materials and structures. – 2020. – Т. 29. – №. 3. – С. 033001.
25. Covaci C., Gontean A. Piezoelectric energy harvesting solutions: A review // Sensors. – 2020. – Т. 20. – No. 12. – С. 3512.
2. The Renewable Energy In A Led Standalone Streetlight / D. Vitali, F. Garbuglia, V. D'alessandro, R. Ricci // *International Journal of Energy Production and Management*. 2017. 2 (1): 118-128. – DOI 10.2495/EQ-V2-N1-118-129.
3. Ryzhova A.S. Primenenie tehnologij s ispol'zovaniem solnechnyh jelementov na avtomobil'nom transporte [Application of technology using solar cells in road transport] // *Alternative energy sources in the transport and technological complex: problems and prospects for rational use*. 2016. 3. 2 (5): 178-181. - DOI 10.12737 / 20167. (in Russian)
4. Sychikova Ya. A. Fotojelektricheskie preobrazovateli energii na osnove nanostrukturovannykh materialov dlja obespechenija jenergojeffektivnosti i jenergosberezhenija [Photoelectric energy converters based on nanostructured materials to ensure energy efficiency and energy saving] / Ya. A. Sychikova // *Alternative energy sources in the transport and technological complex: problems and prospects of rational use*. 2016. 3. 3 (6): 67-71. (in Russian)
5. Hashem and M.H. Mohamed, "Aerodynamics Performance Enhancements of an H-rotor Darrieus Wind Turbine", (*Energy*), January 2018. 142: 531–545.
6. Wang C. et al. Preparation and performance research of stacked piezoelectric energy-harvesting units for pavements // *Energy and Buildings*. 2019. 183: 581-591.
7. Zhang C. L. et al. Energy harvesting from a dynamic vibro-impact dielectric elastomer generator subjected to rotational excitations // *Nonlinear Dynamics*. 2020. 102(3): 1271-1284.
8. Bairagi P., Ghate R., Patil S. PNEUMATIC AND ELECTRIC ENERGY GENERATION USING SPRING BACK MECHANISM. 2019.
9. Samrudhi Vaidya, "Design of the Hybrid Streetlight System using a Solar and Wind Turbine", (*International Journal of Engineering Research & Technology, IJERT*), April 2019. 8, 04.
10. Om Singhal, Sakya Kanuparth, Shloka Hajare, Abhinav Vishwakarma, Kapil Dev, and Karan Kumar Shaw , "Design and optimization of standalone hybrid street light", AIP Conference Proceedings 2341, 020019 (2021) <https://doi.org/10.1063/5.0050165>
11. Wilson R. Nyembia, Simon Chinguwa, Innocent Mushanguri and Charles Mbohwa, "Optimization of the Design and Manufacture of a Solar-Wind Hybrid Street Light" (2nd International Conference on Sustainable Materials Processing and Manufacturing, SMPM 2019), ELSEVIER 285–290.
12. Nguyen V. C., Wang C. T., Hsieh Y. J. Electrification of Highway Transportation with Solar and Wind Energy // *Sustainability*. 2021. 13(10): 5456.
13. Burakova, A.D. Evaluation of the operation efficiency of solar panels in winter [Electronic source] / A.D.Burakova, L.N. Burakova, I.A. Anisimov and O.D. Burakova // IOP Conference Series: Earth Environmental Science 2017 72 Article number 012022 Access mode: DOI: 10.1088/1755-1315/72/1/012022
14. Coutu Jr R. A. et al. Testing Photovoltaic Pavers for Roadway Applications // *Sustainability in Environment*. 2019.

REFERENCES

1. Patil S. et al. Energy Generation and Implementation of Power Floor (Pavegen) // *Energy*. 2019. 6. (04).

15. Perspektivy obespecheniya avtomobil'nyh dorog al'ternativnymi istochnikami jelektricheskoy jenerгии i tepla [Prospects for providing highways with alternative sources of electrical energy and heat] / Ya. V. Vasiliev, E.V. Golov, B.S. Dobroborskiy, E.E. Madras // *Problems of Science*. 2017. 4 (17): 28-31. (in Russian)
16. Pavlova, A.I. Ispol'zovanie al'ternativnyh istochnikov jenerгии dlya osveshheniya opasnyh uchastkov avtomobil'nyh dorog [Use of alternative energy sources to illuminate dangerous sections of highways] // *Young scientist*. 2015. 20 (100): 58-61. (in Russian)
17. Burakova, O.D. Snizhenie zatrat na obustroystvo nereguliruemym peshehodnyh perehodov, soglasno tipovyh shem [Reducing the cost of equipping unregulated pedestrian crossings] // *Engineering and construction technologies*. 2015. 3 (3): 8-14.
18. Duarte F., Ferreira A. Energy harvesting on road pavements: state of the art // *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Energy*. 2016. 169(2): 79-90.
19. Ahmad S., Abdul Mujeebu M., Farooqi M. A. Energy harvesting from pavements and roadways: A comprehensive review of technologies, materials, and challenges // *International Journal of Energy Research*. 2019. 43(6): 1974-2015.
20. Castillo-García G. et al. Energy harvesting from vehicular traffic over speed bumps: a review / Castillo-García G. et al. // *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Energy*. 2018. 171(2): 58-69.
21. Gritsenko, A. Sostojanie i perspektivy razvitiya p'ezojelektricheskikh generatorov [State and development prospects of piezoelectric generators] // *Components and technologies*. 2012. 9 (134): 63-68. (in Russian)
22. Nekotorye perspektivnye konstrukcii p'ezojelektricheskikh generatorov jenerгии [Some promising designs of piezoelectric power generators] / A. Chuprin, R. Gavrilov, S. Generalov, S. Nikiforov // *Nanoindustry*. 2016. 2 (64): 48-57. (in Russian)
23. Nikiforov, V. G. Sostojanie i perspektivy razvitiya p'ezojelektricheskikh generatorov [State and development prospects of piezoelectric generators] // *Nano and microsystem technology*. 2020. 22(2): 102-111. DOI 10.17587 / nmst.22.102-111. (in Russian)
24. Brenes A. et al. Maximum power point of piezoelectric energy harvesters: a review of optimality condition for electrical tuning // *Smart materials and structures*. 2020. 29(3): 033001.
25. Covaci C., Gontean A. Piezoelectric energy harvesting solutions: A review // *Sensors*. 2020. 20(12): 3512..

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Анисимов И.А. Постановка целей и задач исследования, выбор типа генератора, разработка основных проектных решений по механической части генератора.

Костин В.Е. Разработка электрической схемы и системы управления экспериментального образца электрического генератора.

Орлов В.С. Научно-патентный поиск, определение требуемых параметров элементов экспериментального образца генератора, определение фактических электрических характеристик экспериментального образца генератора и светотехнического оборудования.

Паутов Д.Н. Разработка программы и методики испытаний экспериментального образца генератора и светотехнического оборудования, проведение исследований.

Поляков А.С. Оценка потребностей электрической энергии светосигнальным и осветительным оборудованием нерегулируемого пешеходного перехода.

Шурупов А.В. Определение исходных требований к экспериментальному образцу электрического генератора, встраиваемого в искусственную дорожную неровность, верификация результатов исследования, проведение ресурсных испытаний.

AUTORS' CONTRIBUTION

Ilya A. Anisimov: setting the goals and objectives of the study, generator type selection, developing the main design solutions for the mechanical part of the generator

Vadim E. Kostin: development of an electrical circuit and a control system for an experimental model of an electric generator.

Vladimir S. Orlov: scientific and patent search, determination of the required parameters of the elements of the experimental sample of the generator, determination of the electrical characteristics of the experimental sample of the generator and lighting equipment.

Dmitry N. Pautov: development of a program and methodology for testing an experimental model of a generator and lighting equipment, research.

Aleksandr S. Polyakov: assessment of electricity requirements for light signal and lighting equipment for unregulated pedestrian crossing equipment

Aleksey V. Shurupov: determination of the initial requirements for an experimental model of an electric generator built into speed bump, verification of the research results.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Анисимов Илья Александрович – канд. техн. наук, доц., генеральный директор ООО «Смарт СИ».

Костин Вадим Евгеньевич – генеральный директор ООО «Запсибэнергоаудит».

Орлов Владимир Сергеевич – главный инженер ООО «Запсибэнергоаудит».

Паутов Дмитрий Николаевич – канд. техн. наук, доц., директор по развитию ООО «Запсибэнергоаудит».

Поляков Александр Сергеевич – канд. техн. наук, проф. кафедры «Высокоскоростные транспортные системы».

Шурупов Алексей Вячеславович – директор по качеству ГБУ «МосТрансПроект».

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Ilya A. Anisimov, Candidate of Technical Sciences, Docent, General Director of Smart SI LLC.

Vadim E. Kostin, General Director of Zapsibenergoaudit LLC.

Vladimir S. Orlov, Chief Engineer of Zapsibenergoaudit LLC.

Dmitry N. Pautov, Candidate of Technical Sciences, Docent, Development Director of Zapsibenergoaudit LLC

Alexander S. Polyakov, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of High-Speed Transport Systems, Russian University of Transport.

Alexey V. Shurupov, Quality Director, State-funded Budgetary Institution MosTransProekt.