

# Альтернативные источники энергии

УДК 622.7.002.5(06)

DOI: 10.14529/power210305

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЗВЕНЬЕВ МЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДОРОЖНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА

Ю.М. Ляшенко, А.В. Прудий

Шахтинский автодорожный институт (филиал) Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова, г. Шахты, Россия

В настоящее время для энергосбережения применяются альтернативные источники электроэнергии, которые позволяют автономно питать электроприемники. Одним из решений альтернативного получения электрической энергии для освещения и электроснабжения электроприемников малой мощности является применение дорожных энергетических установок в виде искусственной дорожной неровности с электромеханическим генератором, преобразующим энергию движения автомобиля в электрическую. В данной статье рассматривается конструкция разрабатываемой дорожной энергетической установки с ползуно-коромысловым механизмом преобразования поступательного движения во вращательное. Проведено исследование влияния движения звеньев механизма преобразователя воздействующего усилия на функционирование генератора дорожной энергетической установки, проведен анализ работы механизма при различных длинах шатуна с заданными требуемыми критериями по скорости и габаритным показателям механизма. Было определено влияние длины шатуна на траекторию движения и скорость перемещения коромысла. Анализ показал, что заданным требованиям удовлетворяют длины шатуна, равные 100 и 150 мм, обеспечивающие рабочий участок с равномерным нарастанием скорости движения коромысла. Для дальнейших исследований механизма был принят шатун длиной 100 мм, так как он позволяет реализовать установку с уменьшенными габаритами.

*Ключевые слова:* автомобильная дорога, автомобильный транспорт, дорожная энергетическая установка, ползуно-коромысловый механизм преобразователя движения, генерирование электрической энергии.

### Введение

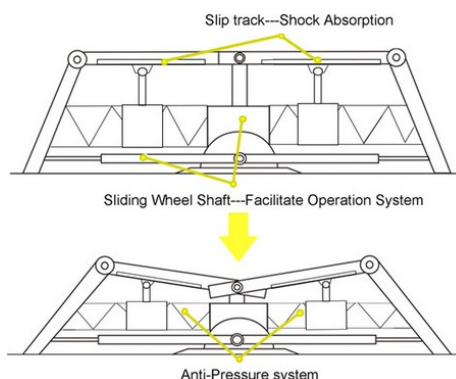
Мировое потребление энергии растет. Хотя традиционные производства и сервисы становятся все более энергоэффективными, рост населения планеты и появление новых сервисов приводит к увеличению общего энергопотребления. В 2015 году мировое энергопотребление составило 20,76 трлн кВт·ч по данным Международного энергетического агентства, прогноз на 2030 год – 33,4 трлн кВт·ч, а к 2050-му – до 41,3 трлн кВт·ч [1].

С другой стороны, в мире наметилась тенденция перехода на альтернативные источники электрической энергии. Поэтому создание и усовершенствование существующих механизмов и устройств на основе альтернативных источников энергии является темой весьма актуальной.

Одним из таких источников электрической энергии являются дорожные энергетические установки (ДЭУ), выполненные в виде искусственной дорожной неровности с генератором электрической энергии, представленной на рис. 1.



а)



б)

Рис. 1. Электрогенерирующая искусственная дорожная неровность

## Альтернативные источники энергии

Данные энергетические установки преобразуют кинетическую энергию движущегося автомобиля в электрическую энергию. Например, через перекресток двух центральных улиц г. Шахты (с численностью населения 250 тыс. чел.) – улицы Советской и проспекта Победы Революции за сутки проезжает 50 581 машина. Энергетический потенциал перекрестка оценивается как

$$E_p = 2m_a g h n, \quad (1)$$

где  $m_a = 2$  т – средняя масса легкового автомобиля;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $h = 0,07$  м – ход искусственной дорожной неровности;  $n = 50\,581$  шт. – количество проехавших через перекресток автомобилей за сутки.

Расчет показал, что за год от движения автомобилей через центральный перекресток г. Шахты можно получить 50 151 МДж энергии для дальнейшего преобразования в электрическую, которая позволит обеспечить освещение перекрестка и электроснабжение светофоров.

### Постановка задачи

Для получения электроэнергии от движущегося транспорта учеными России и зарубежья разработаны и исследуются конструкции дорожных энергетических установок, работа которых основана на следующих принципах [2–10]:

- пьезоэлектрические преобразователи;
- электромагнитные преобразователи;
- механические преобразователи.

Анализ литературных источников показывает, что наибольшее количество публикаций посвящено дорожным энергетическим установкам с механическим преобразователем внешнего воздействия, который выполняется в виде зубчатого сектора и зубчатого колеса, соединенного посредством приводного вала через обгонную муфту с электрическим генератором, как представлено на рис. 2.

Основными недостатками таких дорожных энергетических установок является низкая нагрузочная способность зубчатой кинематической пары преобразователя движения, поскольку усилия в ней передаются через возникающие в местах соприкосновения зубьев под воздействием нагрузок малые контактные площадки, и повышенные удельные давления на линии контакта зубьев, что в процессе эксплуатации ведет к износу контактирующих поверхностей и выкрашиванию материала. При этом зубчатой кинематической парой предъявляются относительно высокие требования к точности изготовления и монтажа, что существенно влияет на себестоимость производимой энергии.

Авторами предлагается конструкция дорожной энергетической установки с ползунно-коромысловым преобразователем движения нажимной платформы [11]. В предлагаемой дорожной энергетической установке, изображенной на рис. 3, нажимная платформа 1 соединена со штоком 2. Шток снабжен пружиной 3, возвращающей платформу 1 в исходное положение после снятия с нее

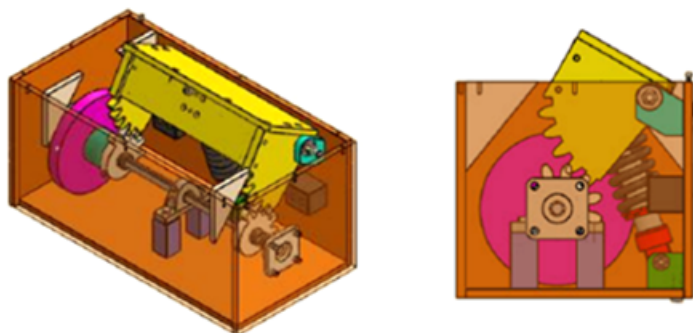


Рис. 2. Преобразователь движения в виде зубчатого сектора и зубчатого колеса

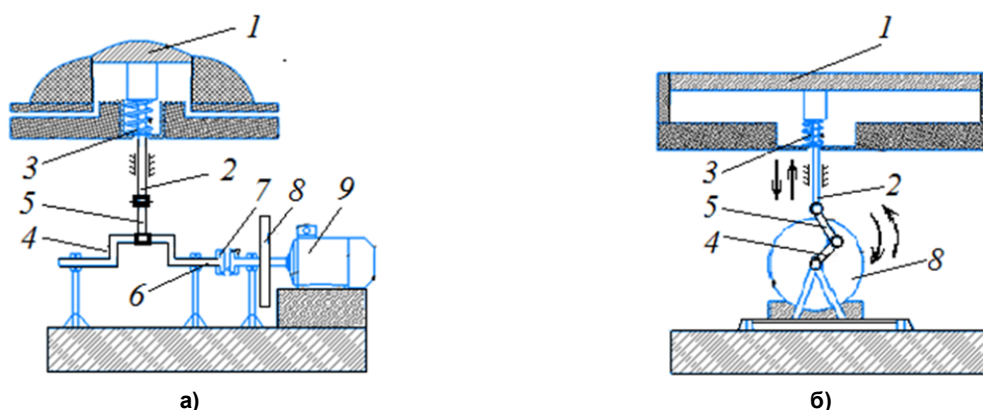


Рис. 3. Дорожная энергетическая установка: а – конструктивная схема вид спереди; б – конструктивная схема вид сбоку

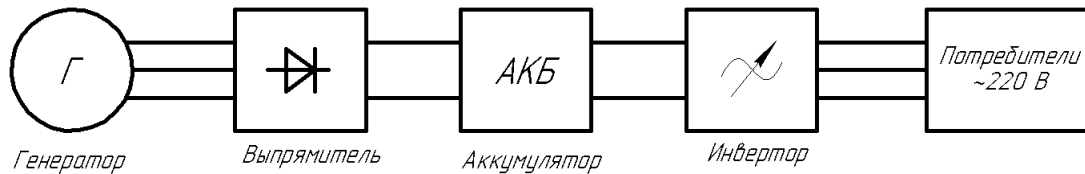


Рис. 4. Схема передачи электрической энергии от дорожной энергетической установки к потребителям

нагрузки. Механизм преобразования движения выполняется в виде вращающейся кинематической пары звеньев коромысло 4 и ползун 5. Ползун 5 шарнирно связывается с подпружиненным штоком 2, а коромысло 4 жестко соединяется с приводным валом 6 механизма преобразования движения 3. Приводной вал 6 через обгонную муфту 7 связан с маховиком 8 и электрическим генератором 9.

Принцип работы предлагаемой дорожной энергетической установки следующий: при наезде автомобиля на платформу 1 последняя под воздействием веса автотранспорта начинает перемещаться вниз, воздействуя на шарнирно соединенный с ней шток 2 и сжимая пружину 3. Шток 2 опускается вниз и приводит в действие ползун 5. Ползун 5 приводит во вращательное движение коромысло 4, которое, совершая неполный оборот вокруг оси, вращает приводной вал 6 и через обгонную муфту 7 приводит во вращение маховик 8 и электрический генератор 9. При этом происходит выработка электроэнергии. Наличие маховика 9 позволяет аккумулировать энергию от веса автомобиля и повысить эффективность дорожной энергетической установки.

При съезде автомобиля с платформы 1 последняя под воздействием силы сжатия пружины 3 поднимается вверх. Вместе с платформой 1 поднимается вверх шток 2, возвращая в исходное положение звенья механизма преобразования движения – ползун 5 и коромысло 4. В процессе этого коромысло 4 вращает приводной вал 6 в обратную сторону, а маховик 8 и электрический генератор 9 продолжают вращаться в первоначальном направлении, так как они связаны с приводным валом 6 через обгонную муфту 7.

В процессе вращения маховика, механически связанного с валом ротора генератора, возникает вращающееся электромагнитное поле, вследствие чего в обмотке статора возникает переменный электрический ток, который через выпрямитель поступает на аккумуляторную батарею. Электрическая энергия с аккумулятора через инвертор передается потребителям – на светофоры и электрическое освещение участка дороги (рис. 4).

Предлагаемая дорожная энергетическая установка выгодно отличается от существующих аналогов тем, что исполнение преобразователя воздействующего усилия в виде ползунно-коромыслового механизма существенно упрощает конструкцию установки путем перехода от высшей зубчатой кинематической пары звеньев к низшей вращающейся кинематической паре «шатун – ко-

ромысло», что снижает общую стоимость конструкции и увеличивает наработку звеньев на отказ.

На начальном этапе выбора конструктивных параметров дорожной энергетической установки выполнено исследование влияния движения звеньев ползунно-коромыслового механизма преобразователя воздействующего усилия на функционирование генератора с учетом следующих ограничений.

1. Минимизация габаритных показателей энергетической установки в тоннеле дорожного полотна:

$$R + L + H \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $R$  – длина коромысла преобразователя ДЭУ;  $L$  – длина шатуна преобразователя ДЭУ;  $H$  – ход ползуна (штока) преобразователя ДЭУ.

2. Накапливание энергии маховиком происходит в момент движения ползуна (штока) передачей крутящего момента от выходного вала преобразователя маховику при равенстве угловых скоростей:

$$\omega_{\text{пр}} = \omega_{\text{мах}}, \quad (3)$$

где  $\omega_{\text{пр}}$  – угловая скорость вращения приводного вала преобразователя движения,  $\omega_{\text{мах}}$  – угловая скорость вращения маховика.

### Теоретическая часть

Результатом практической реализации морфологического синтеза явилась разработанная конструкция дорожной энергетической установки с ползунно-коромысловым механизмом преобразователя воздействующего усилия.

В рамках исследования движения звеньев ползунно-коромыслового механизма преобразователя воздействующего усилия, схема которого изображена на рис. 5, для определения положения звеньев и траекторий его точек, а также определения скоростей и ускорений разных точек и звеньев по заданному закону движения ведущего звена – ползуна – разработана математическая модель  $\varphi_k = f(\Delta_H)$ , устанавливающая функциональную зависимость между углом поворота коромысла  $\varphi_k$  и ходом ползуна  $\Delta_H$ .

Угол поворота коромысла  $\varphi_k$  определяется как обратная тригонометрическая функция, выражающая в треугольнике  $OAA_1$  зависимость  $\varphi_k$  от длин сторон  $OA_1$  и  $OA$ .

Угол поворота коромысла  $\varphi_k$  определяется как обратная тригонометрическая функция, выражающая в треугольнике  $OAA_1$  зависимость  $\varphi_k$  от длин сторон  $OA_1$  и  $OA$ :

$$\varphi_k = \arccos\left(\frac{OA_1}{OA}\right) = \arccos\left(\frac{OA_1}{R}\right). \quad (4)$$

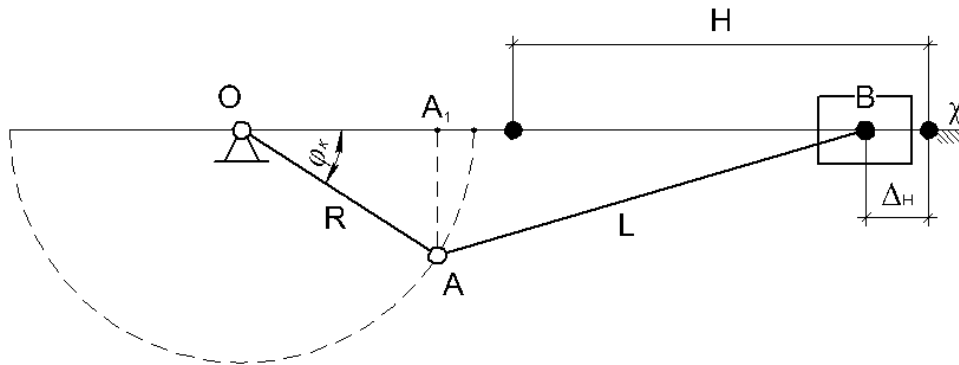


Рис. 5. Схема ползунно-коромыслового механизма:  $R$  – длина коромысла преобразователя ДЭУ;  $L$  – длина штока преобразователя ДЭУ;  $\varphi_k$  – угол поворота коромысла;  $\Delta_H$  – перемещение ползуна (штока) преобразователя ДЭУ;  $H$  – ход ползуна (штока) преобразователя ДЭУ

Величина аргумента  $OA_1$  определяется как зависимость от длин сторон прямоугольных треугольников  $OAA_1$  и  $BAA_1$ .

Устанавливаем соотношение между гипотенузами и катетами треугольников  $OAA_1$  и  $BAA_1$ , для чего использована теорема Пифагора:

$$OA^2 = (OA_1)^2 + (AA_1)^2; \quad (5)$$

$$BA^2 = (BA_1)^2 + (AA_1)^2. \quad (6)$$

В результате решения уравнений получена следующая формула:

$$(BA_1)^2 = BA^2 + (OA_1)^2 - OA^2. \quad (7)$$

Для решения уравнения с двумя неизвестными требуется дополнительно установить зависимость между искомыми величинами.

Из рассмотрения треугольников  $OAA_1$  и  $BAA_1$  имеем:

$$BA_1 = BA + OA - OA_1 - \Delta_H, \quad (8)$$

или

$$(BA_1)^2 = (BA + OA - OA_1 - \Delta_H)^2. \quad (9)$$

При решении составленных уравнений относительно аргумента  $OA_1$  используем формулу квадрата разности двух чисел:

$$OA_1 = \frac{(BA - AO - \Delta_H)^2 + OA^2 - BA^2}{2(BA + AO - \Delta_H)}. \quad (10)$$

Заменив в формуле обозначения длин сторон треугольников принятыми обозначениями длин звеньев ползунно-коромыслового механизма, имеем:

$$OA_1 = \frac{((L+R) - \Delta_H)^2 + R^2 - L^2}{2((L+R) - \Delta_H)} = \frac{0,5((L+R) - \Delta_H)^2 + R^2}{((L+R) - \Delta_H)} - \frac{L^2}{((L+R) - \Delta_H)}. \quad (11)$$

Функции  $\varphi_k = f(\Delta_H)$  удобно задавать в виде

$$\varphi_k = \arccos\left(\frac{K_1}{R}\right), \quad (12)$$

где

$$K_1 = 0,5\left(K_2 + \frac{R^2}{K_2} - \frac{L^2}{K_2}\right); \quad (13)$$

$$K_2 = R + L - \Delta_H. \quad (14)$$

На основании разработанной математической модели производится расчет угла поворота коромысла в зависимости от перемещения ползуна.

Исходя из полученных данных, производится построение планов положений ползунно-коромыслового механизма.

Взаимное расположение движущихся ползуна и коромысла постоянно меняется, но в каждый момент времени отдельные звенья занимают вполне определенное положение.

Построение плана начинается с изображения по заданным координатам неподвижных звеньев и направляющих [12]. Затем изображается положение ползуна в изменившихся координатах. После этого определяется положение коромысла. Для определения траектории движения коромысла строится несколько последовательных планов механизма.

### Практическая часть

Используя разработанную математическую модель, произведем вычисления для следующих условий: длина коромысла  $R = 50$  мм, перемещение штока  $\Delta_H = 100$  мм, длина штока  $L = 50, 100$  и  $150$  мм.

Результаты расчета приведены в таблице.

Исходя из данных в таблице, построим планы положений ползунно-коромыслового механизма.

Полученные планы положений изображены на рис. 6: а – при размере штока 50 мм, б – при размере штока 100 мм, в – при размере штока 150 мм.

На основании полученных планов положений строятся графики движения коромысла за полный цикл при различных размерах штока, представленные на рис. 7.

Анализ планов положений и график движения коромысла показывает, что равноускоренное дви-

жение коромысла наблюдается на участке  $b_3 - b_9$  вне зависимости от размера шатуна.

При размере шатуна  $L = 50$  мм (рис. 6а), при достижении точки  $b_{10}$  возникает зона неопределённости, то есть при движении ползуна от точки  $a_9$  до точки  $a_{10}$  невозможно предсказать поведение коромысла. В этот момент достижения ползуном точки  $a_{10}$  коромысло может находиться в

одной из точек зоны неопределённости: либо  $b_{10}^I$ , либо  $b_{10}^V$ .

При размерах шатуна  $L = 100$  мм и  $L = 150$  мм (рис. 6б, в) зона неопределённости, установленная в механизме с размером шатуна  $L = 50$  мм, отсутствует. Также при таких размерах шатуна траектория движения коромысла отличается незначительно, поэтому, исходя из условия  $R + L + H \rightarrow \min$ ,

Значение угла поворота коромысла  $\varphi_k$  в функции величины перемещения ползуна  $\Delta_H$

Перемещение ползуна		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Длина шатуна	50	0,0	25,8	36,9	45,6	53,1	60,0	66,4	72,5	78,5	84,3	180,0
	100	0,0	30,2	43,7	54,9	65,3	75,5	86,2	97,9	111,8	130,5	180,0
	150	0,0	32,1	46,5	58,4	69,5	80,4	91,6	103,8	117,8	135,9	180,0

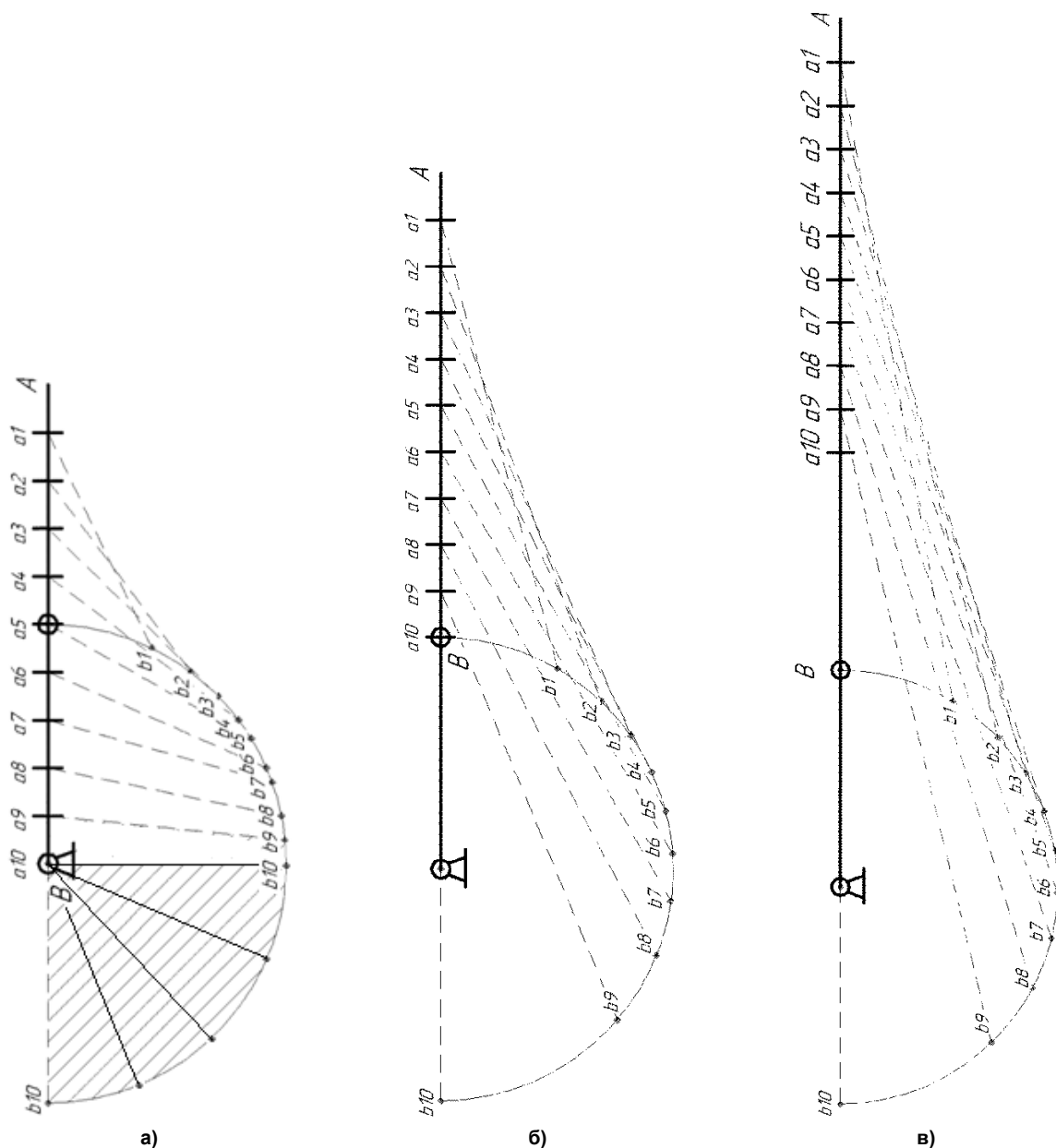


Рис. 6. План положений ползунно-коромыслового механизма:  
 а – длина шатуна 50 мм; б – длина шатуна 100 мм; в – длина шатуна 150 мм

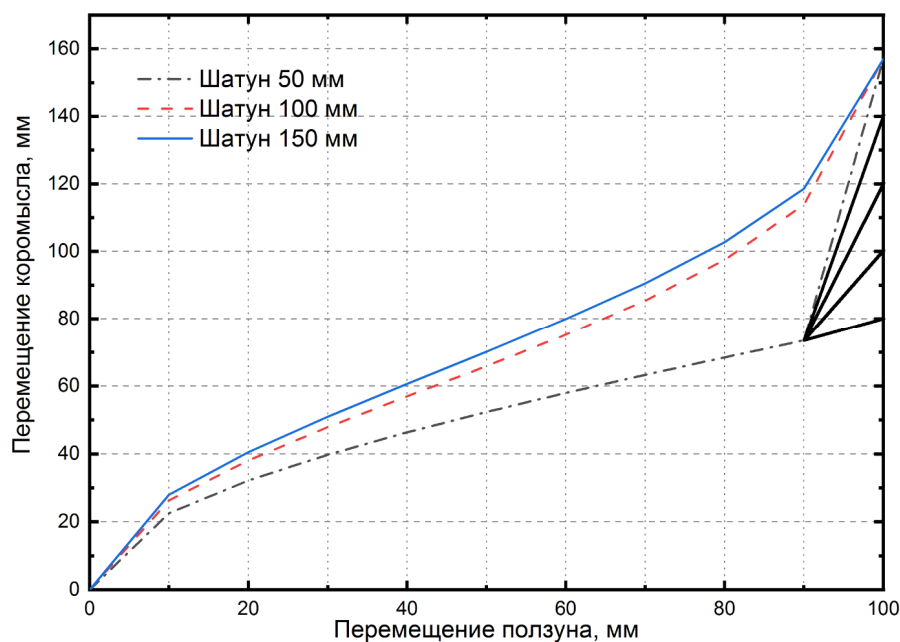


Рис. 7. Графики движения коромысла за полный цикл при размерах шатуна 50, 100 и 150 мм

для дальнейшего исследования дорожной энергетической установки принимается ползунно-коромысловый механизм со следующими соотношениями длин звеньев:

$$L = 1,43 \cdot H; R = 0,71 \cdot H; \varphi_{k0} = 54,9^\circ.$$

### Заключение

1. Для генерирования электрической энергии при движении автомобиля через искусственную неровность предложена дорожная энергетическая установка, выгодно отличающаяся от существующих аналогов тем, что исполнение преобразователя возмездствующего усилия в виде ползунно-коромыслового механизма существенно упрощает конструкцию установки и увеличивает ее наработку на отказ за счет применения звеньев низшей вращающейся кинематической пары «шатун – коромысло».

2. Разработана математическая модель ползунно-коромыслового механизма, устанавливающая функциональную зависимость  $\varphi_k = f(\Delta_H)$  между углом поворота коромысла  $\varphi_k$  и ходом ползуна  $\Delta_H$  и позволяющая моделировать положения звеньев и траекторий его точек, а также определять скорости и ускорения разных точек и звеньев по заданному закону движения ведущего звена – ползуна.

3. Результатом исследования влияния движения звеньев механизма преобразователя возмездствующего усилия дорожной энергетической установки стало установленное соотношения длин звеньев механизма с ходом поршня, а также начального значения угла установки и конечного значения угла поворота коромысла.

### Литература

1. World Energy Outlook 2020 – Analysis – IEA. – <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020> (дата обращения: 01.07.2021).
2. Радкевич, М.В. Расчет некоторых параметров механического преобразователя энергии / М.В. Радкевич // *Universum: технические науки*. – 2017. – № 8 (41). – С. 17–19.
3. Шестакова, В.В. Искусственная дорожная неровность как альтернативный источник энергии / В.В. Шестакова, И.М. Кирпичникова // *Молодой исследователь: материалы 2-й научной выставки-конференции научно-технических и творческих работ студентов, Челябинск, 07–10 апреля 2015 года*. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2015. – С. 183–185.
4. Шестакова, В.В. Использование энергетического потенциала неровностей дорожного полотна / В.В. Шестакова, И.М. Кирпичникова // *Электроэнергетика глазами молодежи: труды VI международной научно-технической конференции, Иваново, 09–13 ноября 2015 года*. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2015. – С. 292–293.
5. Патент на изобретение № 2359152 Российская Федерация, МПК F 03G 7/08 (2006.01). Энергетическая установка / И.М. Абачараев, М. Абачараев, С.Ч. Кушиев. – № 2008108346/06; заявл. 03.03.2008; опубл. 20.06.2009. – Бюл. № 17.



6. Патент на полезную модель № ВУ 6891 U 2010.12.30 Республика Беларусь, МПК (2009) F 03G 7/00. Дорожная энергетическая установка / В.И. Говоровский, В.В. Бирич. – № и 20100487; заявл. 2010.05.24; опубл. 2010.12.30.

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

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

9. Okkeh, Y. Addressing the design stages of an underground energy harvesting system from the unconventional source of street moving vehicles / Y. Okkeh, B. Masoud, M.G. Batareseh // Energy and Sustainability in Small Developing Economies, ES2DE 2018 – Proceedings. – 2018. – P. 45–50. DOI: 10.1109/ES2DE.2018.8494297

10. A novel road energy harvesting system based on a spatial double V-shaped mechanism for near-zero-energy toll stations on expressways / M. Sun, W. Wang, P. Zheng et al. // Sensors and Actuators, A: Physical. – 2021. – P. 323.

11. Патент на полезную модель RU 205403 U1. МПК F03G 7/08 (2006.01). Дорожная энергетическая установка / Ю.М. Ляшенко, А.В. Прудий, М.Н. Колесник. – № 2021110180; заявл. 12.04.2021; опубл. 13.07.2021, Бюл. № 20.

12. Покровский, В.Б. Теория механизмов и машин / В.Б. Покровский, И.В. Троцкий. – [https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13707/1/Pokro-vsky\\_Troizky\\_TMM\\_2%2b.pdf](https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13707/1/Pokro-vsky_Troizky_TMM_2%2b.pdf) (дата обращения: 01.07.2021).

**Ляшенко Юрий Михайлович**, д-р техн. наук, профессор, кафедра «Транспортная безопасность и управление дорожной инфраструктурой», Шахтинский автодорожный институт (филиал) Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова, г. Шахты; lumdtn@yandex.ru.

**Прудий Алексей Васильевич**, старший преподаватель, кафедра «Транспортная безопасность и управление дорожной инфраструктурой Шахтинский автодорожный институт (филиал) Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова, г. Шахты; prudiy@yandex.ru.

Поступила в редакцию 2 июля 2021 г.

DOI: 10.14529/power210305

## RESEARCH INTO THE IMPACT OF ROAD POWER ENERGY SYSTEM MECHANICAL CONVERTER LINKS MOTION ON GENERATOR OPERATION

**Yu.M. Lyashenko**, lumdtn@yandex.ru,  
**A.V. Prudiy**, prudiy@yandex.ru

Shakhty Road Institute (branch) of South-Russian State Polytechnic University (NPI)  
named after M.I. Platov, Shakhty, Russian Federation

Currently, alternative energy sources are used to economize. They provide autonomous power supply for the electrical receivers. One of the solutions in the field of alternative generation for lighting and power supply to low-power electrical receivers is to use road power energy systems. It is integrated as speed breakers and has an electromechanical generator converting a car speed energy into electrical energy. The paper considers the developed road power energy system with a rocker rod gear used to convert the forward movement to rotational movement. The study concentrates on the influence the acting force converter mechanism links movement have on the operation of road power energy system generator. The paper analyzes the operation of mechanisms with various crank arm lengths with preset speed and size parameters. The influence of the crank arm length on the motion path and speed of rocker arm was determined. The analysis showed that the 100 and 150 mm crank arm lengths provide for the site with proportional speed rate of motion rocker arm. The 100 mm crank arm was selected for future research. It allows building a system with a minimal size possible.

*Keywords:* road, road transport, road electric power system, rocker rod gear of motion converter, generation of electric energy.

### References

1. *World Energy Outlook 2020 – Analysis – IEA*. Available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020> (accessed: 01.07.2021).
2. Radkevich M.V. [Calculation of some parameters of a mechanical energy converter]. *Universum: tekhnicheskie nauki* [Universum: technical sciences], 2017, no. 8 (41), pp. 17–19. (in Russ.)
3. Shestakova V.V., Kirpichnikova I.M. [Artificial road unevenness as an alternative source of energy]. *Molodoy issledovatel': Materialy 2-y nauchnoy vystavki-konferentsii nauchno-tekhnicheskikh i tvorcheskikh rabot studentov* [Materials of the 2nd scientific exhibition-conference of scientific, technical and creative works of students], 2015, pp. 183–185. (in Russ.)
4. Shestakova V.V., Kirpichnikova I.M. [The use of the energy potential of road irregularities]. *Elektro-energetika glazami molodezhi: trudy VI mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Electro-power engineering through the eyes of youth: proceedings of the VI international scientific and technical conference], 2015, pp. 292–293. (in Russ.)
5. Abacharaev I.M., Abacharaev M., Kushiev S.Ch. *Energeticheskaya ustanovka* [Power plant]. Patent RF, no. 2359152, 2009.
6. Govorovskiy V.I., Birich V.V. *Dorozhnaya energeticheskaya ustanovka* [Road power plant]. Patent BU, no. BY 6891 U 2010.12.30, 2010.
7. Azam A., Ahmed A., Hayat N., Ali S., Khan A.S., Murtaza G., Aslam T. 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
8. 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
9. Okkeh Y., Masoud B., Batarseh M.G. Addressing the design stages of an underground energy harvesting system from the unconventional source of street moving vehicles. *Paper presented at the Energy and Sustainability in Small Developing Economies, ES2DE 2018 – Proceedings*, 2018, pp. 45–50. DOI: 10.1109/ES2DE.2018.8494297
10. Sun M., Wang W., Zheng P., Luo D., Zhang Z. 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, p. 323.
11. Lyashenko Yu.M., Prudiy A.V., Kolesnik M.N. *Dorozhnaya energeticheskaya ustanovka* [Road power plant]. Patent RF, no. 205403 U1, 2021.
12. Pokrovskiy V.B., Troitskiy I.V. *Teoriya mekhanizmov i mashin* [Theory of mechanisms and machines]. Available at: [https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13707/1/Pokro-vsky\\_Troizky\\_TMM\\_2%2b.pdf](https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13707/1/Pokro-vsky_Troizky_TMM_2%2b.pdf) (accessed: 01.07.2021).

Received 2 July 2021

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Ляшенко, Ю.М. Исследование влияния движения звеньев механического преобразователя дорожной энергетической установки на функционирование генератора / Ю.М. Ляшенко, А.В. Прудий // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 41–48. DOI: 10.14529/power210305

### FOR CITATION

Lyashenko Yu.M., Prudiy A.V. Research into the Impact of Road Power Energy System Mechanical Converter Links Motion on Generator Operation. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2021, vol. 21, no. 3, pp. 41–48. (in Russ.) DOI: 10.14529/power210305