

УКД 336.645.1

Н. Г. Уразова

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,
Иркутск, e-mail: urazova_nina@mail.ru

Д. А. Жукова

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,
Иркутск, e-mail: zhukova008@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ПРОЕКТОВ

Ключевые слова: проектное финансирование, транспортная инфраструктура, эксплуатационные расходы, обогрев дорожного полотна, термоэлектричество, эффект Зеебека.

В статье рассмотрены основные аспекты финансирования инфраструктурных проектов, особенно актуальные в период реализации масштабных национальных программ. Основное внимание в статье авторы акцентируют на возможных эффектах внедрения технологии эффекта Зеебека при строительстве автодорог. Для достижения целей исследования рассмотрены физические основы термоэлектрических явлений на примере эффекта Зеебека. Дан обзор ключевых понятий и терминов, используемых в изучении термоэлектрических явлений, а также дана краткая историческая информация о появлении эффекта Зеебека. Произведен анализ устройства и принципа действия термоэлектрического преобразователя. Авторы дают обобщенную характеристику о затратах на установку и применение данной технологии, а также рассматривают возможность появления экономического эффекта. В ходе произведенных расчетов, авторы приходят к заключению о том, что применение технологии эффекта Зеебека в дорожной индустрии может иметь экспоненциальный рост в будущем.

N. G. Urazova

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: urazova_nina@mail.ru

D. A. Zhukova

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: zhukova008@mail.ru

FEATURES OF FINANCING INFRASTRUCTURE PROJECTS

Keywords: project financing, transport infrastructure, operating costs, heating of the roadway, thermoelectricity, Seebeck effect.

The article discusses the main aspects of financing infrastructure projects, especially relevant during the implementation of large-scale national programs. The authors focus on the possible effects of the introduction of the Seebeck effect technology in the construction of highways. To achieve the objectives of the study, the physical foundations of thermoelectric phenomena are considered on the example of the Seebeck effect. An overview of the key concepts and terms used in the study of thermoelectric phenomena is given, as well as brief historical information about the appearance of the Seebeck effect. The analysis of the device and the principle of operation of the thermoelectric converter is carried out. The authors give a generalized description of the costs of installing and using this technology, and also consider the possibility of an economic effect. In the course of the calculations, the authors come to the conclusion that the application of the Seebeck effect technology in the road industry may have exponential growth in the future.

Введение

Одним из направлений развития транспортной инфраструктуры России, заложенным в комплексном плане модернизации и расширения магистральной инфраструктуры (КПМИ) [1], является повышение качества коммуникаций между центрами экономического роста. В рамках этого проекта запланировано строительство 12 транспортных обходов крупных городов (в том числе вокруг г. Усолье-Сибирское Иркут-

ской области) и значительно улучшение качества строительства и эксплуатации автомобильных дорог. До 2024 года планируется осуществить строительство и реконструкцию участков автодорог федерального значения общей протяженностью свыше 1 800 километров. Подобное внимание к развитию транспортной инфраструктуры не случайно: она считается важной базовой отраслью экономики страны, от развития транспортной сферы зависит экономическое

благополучие государства. На реализацию этого комплекса мероприятий запланировано выделение свыше 7 трлн рублей [2]. Несмотря на это, отметим, что объем недофинансирования ремонта и содержания дорожной отрасли в России составляет 1,2% ВВП в год и наша страна находится на 48 месте в мире по показателю общедоступности и качества транспортной инфраструктуры [3]. При этом очевидно, что реализовать все требуемые инфраструктурные проекты за счет бюджетных средств достаточно сложно, ввиду их капиталоемкости, комплексности и долгосрочности. Отметим, что несмотря на проблемы определения экономической эффективности финансирования инфраструктурных проектов, подавляющее большинство исследований, направленных на определение степени влияния развития инфраструктуры на экономический рост страны, подтверждают высокую их эффективность [4].

Реализация этих важнейших для развития страны планов продолжается и в настоящее время, несмотря на усиление санкционного давления. Одним из наиболее болезненных последствий введения экономических санкций для российских предприятий стало снижение доступности финансовых ресурсов, связанное со значительным снижением объема прямых инвестиций в Россию и ухудшением условий заимствований на внутреннем рынке. Возможности бизнеса по привлечению инвестиций в реализацию инфраструктурных проектов сегодня в большинстве случаев являются ограниченными, что отрицательно сказывается на уровне их деловой активности и в конечном итоге на темпах роста национальной экономики. Именно поэтому, исследование современных тенденций финансирования инфраструктурных проектов и определение возможных мер по повышению доступности для них инвестиционных ресурсов представляют актуальную задачу, чему посвящено значительное количество научных работ [5-7]. К тому же отметим благоприятное влияние финансирования инфраструктурных проектов на развитие региона: их реализация позволяет создавать новые рабочие места и за счет мультипликативного эффекта стимулирует развитие других отраслей экономики.

Экономическая сущность проектного финансирования заключается в комплексном подходе к оценке рисков проекта, в определении оптимальной суммы инвестиций и сроков участия инвесторов. Ком-

плексность и сложность реализации процесса финансирования подобных проектов заключается в необходимости построения эффективной модели финансирования, длительном сроке окупаемости проектов и учете рисков их реализации.

Проблемы проектного финансирования инфраструктурных проектов, связаны с одной стороны, с ограниченными финансовыми возможностями государства, а с другой – с резко сократившимися в настоящее время потенциальными источниками инвестиций, предлагаемыми финансовыми рынками. Одной из наиболее распространенных моделей финансирования новых инфраструктурных проектов является проектное финансирование. В условиях растущих потребностей в финансировании крупных инфраструктурных проектов, неудовлетворенности текущим качеством инфраструктуры и ограниченных финансовых ресурсов государственного бюджета именно проектное финансирование становится все более целесообразным инструментом, отвечающим интересам бизнеса и общества. Предпосылкой, оправдывающей необходимость использования проектного финансирования, является возможность использования его в проектах государственно-частного партнерства [8].

Среди задач национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» [9], особый интерес вызывает применение новых механизмов развития и эксплуатации дорожной сети и использования наилучших технологий и материалов. Решение этой задачи основывается на разработке инновационных технологий в области дорожного строительства.

Очевидно, что постоянное экономическое и социальное развитие страны невозможно без внедрения инноваций. Роль инноваций в современной экономике трудно переоценить, поскольку они являются главным фактором конкурентоспособности страны на мировом рынке. В бизнесе именно за счет инноваций производитель создает новый продукт, улучшает свое производство, минимизирует расходы.

В условиях ограниченности природных ресурсов, с одной стороны, и постоянно растущими человеческими потребностями с другой, рациональное использование электроэнергии вызывает особый интерес. В этой связи актуальность исследований возможности использования альтернативных источников энергии не подлежит сомнению.

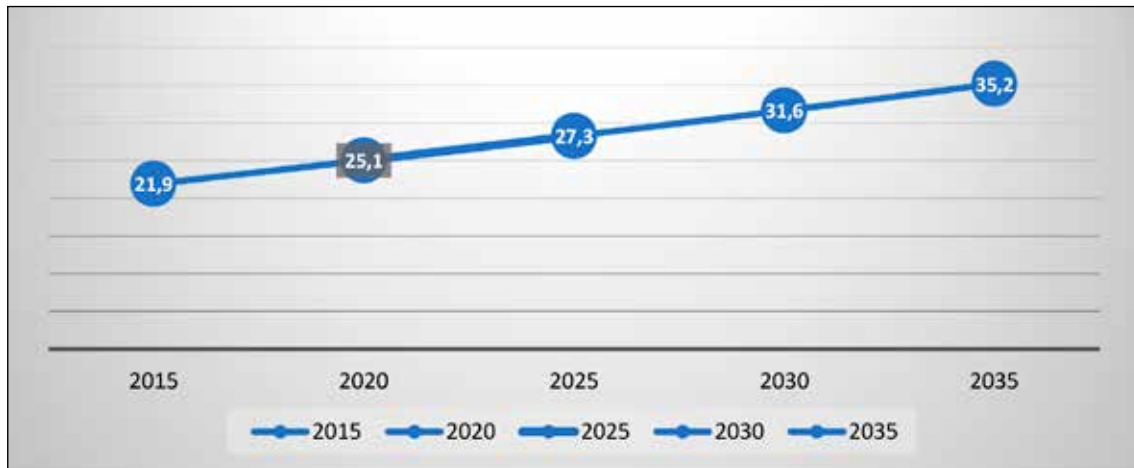


Рис. 1. Динамика потребления электричества в мире до 2035 года в млрд кВт*ч [10]

Рассматриваемый в данной работе принцип использования эффекта Зеебека для обогрева дорожного полотна позволят снизить потребление энергетических ресурсов, а также дает возможность их пополнения.

Динамика потребления электрической энергии в мире представлена на рисунке 1.

Анализируя столь динамичный рост потребления электрической энергии (исходя из рисунка 1), можно сделать следующий вывод: значительное энергопотребление, которое проявилось в современной экономике в последние десятилетия и ожидается в ближайшем будущем, несомненно, требует реализации масштабных и сложных решений, в том числе и принципиально новых подходов ко всей организации энергетики.

При этом особую актуальность приобретает развитие альтернативной энергетики. Альтернативные источники энергии – это природные неисчерпаемые ресурсы, которые вырабатываются естественным образом. К ним относятся солнечная энергия, ветроэнергетика, гидроэнергия, волновая энергетика, энергия приливов и отливов, гидро-термальная энергия, биотопливо и другие. К преимуществам данной энергетики относятся: доступность, экологичность, а также экономия, поскольку полученная с их помощью энергия имеет низкую себестоимость.

Одним из перспективных и инновационных направлений развития альтернативных источников электроэнергии является производство термоэлектрических преобразователей источников энергии, которые основаны на явлении Зеебека. На сегодняшний день

представляет интерес альтернативный способ получения электроэнергии через эффект электромагнитной индукции, которая предполагает появление электрического тока в проводнике под действием переменного магнитного поля [11]. Однако существует еще один способ получения данного вида энергии в условиях перепада температур. Данный эффект и называется эффектом Зеебека.

Совокупность физических явлений, связанных с переносом электрического тока и тепла в металлах и полупроводниках называется термоэлектрическим явлением. Это явление прямого преобразования теплоты в электричество в твердых и жидких проводниках, а также обратные явления прямого нагревания и охлаждения спаев двух проводников проходящим током. К термоэлектрическим явлениям относятся эффект Зеебека, эффект Пелатье и эффект Томсона.

Еще в 1797 году итальянский физик А. Вольта обнаружил, что при контакте двух твердых материалов в области контакта появляется разность потенциалов. Данное явление получило название контактной разности [12]. Это означает, что зона соприкосновения разнородных материалов обладает электродвижущей силой (ЭДС), которая способна привести к появлению тока в замкнутой цепи. Исходя из этого, если соединить в одну цепь два материала, то на каждом из них появится ЭДС, которая будет одинакова по модулю, но противоположна по знаку. Это объясняет, почему не возникает никакого тока. Причиной появления электродвижущей силой является разный

уровень Ферми (энергии валентных состояний электронов) в разных материалах. При соприкосновении последних уровень Ферми выравнивается. Данный процесс происходит за счет перехода электронов через контакт, что и приводит к появлению ЭДС. Величина ЭДС является незначительной, порядка нескольких десятых вольт.

Спустя 24 года после обнаружения Вольтом контактной разности потенциалов в 1821 году эстонско-немецких физик Томас Зеебек провел один любопытный эксперимент: он соединил между собой две пластины, которые были изготовлены из разных материалов (висмут и медь) в замкнутый контур, а рядом с ними расположил магнитную стрелку. В этом случае никакого тока не возникало. Однако, стоило ученому нагреть один из контактов двух металлов, как магнитная стрелка начала поворачиваться. В итоге ученый решил, что два материала (медь и висмут) поляризуются по-разному в результате действия тепла, поэтому определил открытый эффект как термомагнитный, а не термоэлектрический. Уже позже датский ученый Ханс Эрстед дал правильное объяснение открытому Зеебеком эффекту, назвав его термоэлектрическим процессом [13].

Эффект Зеебека – это процесс возникновения электрического тока в замкнутом контуре, состоящий из разных металлов, контакты между которыми поддерживаются при разной температуре. Данное явление основывается в создание термопары, которая состоит из двух разнородных материалов. Материалы отличаются друг от друга, вследствие чего возникает напряжение между нагретым проводником термопары и не нагретым проводником. Данное напряжение прямо пропорционально разности их температурных значений.

От материалов проводников и от их температур зависит параметр возникающей электродвижущей силы. Градиент температур в проводнике позволяет наблюдать явление по всей длине, при котором на нагретом конце электроны имеют большие скорости и энергии, чем на не нагретом. Появляющиеся электроны, направляются к холодному концу, где скапливается минусовой заряд. Заряд накапливается до того момента, пока отличие потенциалов не достигнет показателя, при котором электроны не начнут течь обратно, после чего потенциал придет в равновесие.

Эффект Зеебека находит широкое применение в повседневной жизни. На сегодняшний день устройства, работающие на основе эффекта Зеебека, используются в различных термоэлектрических датчиках, преобразователях тепла, в устройствах для перекачки газа и нефти, в отопительных устройствах, космических зондах, навигации паромов и кораблей.

Однако, самым популярным направлением использования явления Зеебека являются инструменты для измерения температуры, которые называются термопарами. Термопара (термоэлектрический преобразователь) – это устройство из пары проводников разнородных материалов, которые соединены на одном конце. Данные устройства применяют в научных исследованиях, в промышленности, медицине и других системах автоматики.

Одним из инновационных решений применения термопар, предлагаемых в настоящий момент, является применение технологии эффекта Зеебека при строительстве автодорог. Применение данной технологии в дорожном строительстве позволит избавиться от наледи в зимний период года, а также свести к минимуму использование реагентов.

Таким образом, цель исследования заключается в изучении эффективности внедрения технологии обогрева дорожного полотна с использованием эффекта Зеебека при реализации инфраструктурных проектов.

Материалы и методы исследования

В качестве материалов исследования в данной статье рассматриваются эффекты применения явления Зеебека в дорожном строительстве. Исследование производилось методами сравнительного анализа и статистической обработки информации.

Результаты исследования и их обсуждение

При реализации крупномасштабных инфраструктурных проектов особое значение приобретает не только объем их первоначального финансирования, но и дальнейшие расходы при эксплуатации объекта.

Вообще, мировая практика показывает, что обогрев дорожного полотна можно осуществлять разными методами. Сравнительная характеристика применяемых методов обогрева дорог представлена на рисунке 2.

| Метод обогрева дорожного покрытия | Обогрев за счет централизованного водоснабжения | Обогрев за счет нагревательного кабеля | Обогрев за счет термоэлектрических батарей | Обогрев за счет ИК панелей |
|-----------------------------------|--|--|---|--|
| Страна, город | Франция, Рюэй-Мальмезон | Россия, Иркутск | Россия, Иркутск | Россия, Иркутск |
| Технология метода | Трубы, установленные под дорожное покрытие, выступают в качестве теплообменника. Система подключена к центральному водоснабжению | Нагревательные кабели проложенные под асфальтом, либо же другим дорожным полотном. | Толстопленочные нагревательные элементы, установленный под дорожное покрытие, являются теплообменниками. Питание происходит от термоэлектрических батарей, за счет разницы температур (эффект Зеебека). | Экранированный низкотемпературный нагревательный элемент, установленный под дорожное покрытие, является теплообменником. |
| Участок | 1 м ² | 1 м ² | 1 м ² | 1 м ² |
| Затраты на установку | 127 333 руб. | 1 238 руб. | 3 500 руб. | 12 500 руб. |

Рис. 2. Сравнительная характеристика методов обогрева дорожного полотна.

Достоинства и недостатки применения технологии эффекта Зеебека

| Достоинства | Недостатки |
|---|--|
| <p>Низкая стоимость эксплуатационных затрат при обслуживании дорожного полотна:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ сокращение использования противогололёдных реагентов ■ экономия на использовании электроэнергии ■ снижение затрат на ежегодный ремонт ■ повышение безопасности пешеходов на дороге | <ul style="list-style-type: none"> ■ Высокая стоимость монтажа и материалов. ■ Риски, присущие внедрению инновационного решения. |

Обогрев дорожного полотна за счет централизованного водоснабжения используется во Франции. Технология метода заключается в том, что трубы водоснабжения, установленные под дорожное покрытие, выступают в качестве теплообменника. Данная система подключается к централизованному водоснабжению. Применение данного метода является очень дорогим и сложным в монтаже.

Технология обогрева дорог за счет инфракрасных панелей также является дорогостоящей, сложной в обслуживании и малонадежной.

Применение технологии обогрева дорожного полотна за счет нагревательного кабеля является наиболее бюджетным методом, однако данная технология требует питания от городской электросети. С учетом роста стоимости на электроэнергию, применение данной технологии в будущем может повлечь существенный рост эксплуатационных затрат.

В основе применения технологии Зеебека в дорожном строительстве лежит преобраще-

зование тепловой энергии в электрическую. Нагревательный элемент будет питаться не от городской сети, а от термоэлектрической батареи, которая будет вырабатывать электрический ток за счет перепада температур между горячей и холодной сторонами дорожного покрытия. Это основано на прямом преобразовании тепловой энергии в электрическую на основе эффекта Зеебека. Стоимость затрат на установку данной системы на 1 м² с учетом затрат на оплату труда составляет примерно 3 500 руб/м².

Применение технологии эффекта Зеебека в дорожном строительстве имеет ряд преимуществ и недостатков, представленных в таблице.

Из таблицы видно, что существенным преимуществом применения данной технологии является экономия при эксплуатации дорожного полотна. Благодаря отопляемому таким образом дорожным покрытием, можно также значительно сократить затраты на использование противогололёдных реагентов. Например, за зиму в г. Иркутске

обрабатывают примерно 800 километров дорог. Исходя из средней стоимости антигололедного реагента 1500 рублей за 10 кг, примерные затраты на покупку реагентов составляют 50 000 000 рублей на 800 километров дорог или 6,25 рублей на 1 м². Также применение данной технологии позволит сократить затраты на ремонты автомобилей, поскольку использование реагентов пагубно влияет на металлические и лакокрасочные поверхности автомобилей.

Еще одним достоинством предлагаемого инновационного решения является независимость этой системы от городских электросетей. Благодаря тому, что оно основано на преобразовании тепловой энергии в электричество, появляется возможность автономной работы системы обогрева.

Кроме того, отапливаемое дорожное полотно позволит уменьшить затраты на уборку снега и ежегодный ремонт дорожного покрытия. При этом, применение технологии явления Зеебека в дорожной отрасли не сокращает количество рабочих мест, а помогает и облегчает работу сотрудников дорожных компаний.

Также внедрение технологии позволит обеспечить безопасность пешеходов на дорогах в зимнее время года, что может повлечь снижение затрат эксплуатирующих автодорогу компаний на компенсационные судебные выплаты.

Таким образом, внедрение технологии обогрева дорожного полотна с применением эффекта Зеебека в дорожное строительство позволит существенно снизить эксплуатационные затраты при осуществлении инфраструктурных проектов, что положительно сказывается на их инвестиционной привлекательности и может облегчить поиск финансовых ресурсов для их реализации. Отметим, что это имеет важное значение в условиях ограниченных возможностей финансирования крупномасштабных инфраструктурных проектов.

Выводы

Таким образом, анализируя вышеизложенное, можно сделать следующие выводы:

1. В ситуации динамично растущего потребления электроэнергии применение технологии эффекта Зеебека является очень выгодной альтернативой в развитии энергетики.
2. Производство термоэлектрических преобразователей источников энергии на основе явления Зеебека в дорожном строительстве позволяют сократить использование реагентов, снизить затраты на ремонты автомобилей и облегчить работы сотрудников дорожных компаний.
3. В будущем применение рассмотренного инновационного решения может иметь экспоненциальный рост.

Библиографический список

1. До конца 2024 года Росавтодор построит 12 обходов крупных городов. [Электронный ресурс]. URL: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9521> (дата обращения: 03.03.2023).
2. Росавтодор построит 12 обходов крупных городов до конца 2024 года. [Электронный ресурс]. URL: <https://trans.ru/news/rosavtodor-postroit-12-obhodov-krupnih-gorodov-do-kontsa-2024-goda> (дата обращения: 04.03.2023).
3. Развитие инфраструктуры современного города: социальные и экономические аспекты. [Электронный ресурс]. URL: <https://novainfo.ru/article/4078> (дата обращения: 10.03.2023).
4. Развитие инфраструктуры России: адаптация к современным вызовам. [Электронный ресурс]. URL: <https://roscongress.org/materials/razvitie-infrastruktury-rossii-adaptatsiya-k-sovremennym-vyzovam/> (дата обращения: 12.03.2023).
5. Актуальные способы финансирования инфраструктурных проектов. [Электронный ресурс]. URL: <https://ecfor.ru/wp-content/uploads/2019/02/aktualnye-sposoby-finansirovaniya-infrastrukturnyh-proektov.pdf> (дата обращения: 20.03.2023).
6. Инвестирование проектов дорожно-транспортной инфраструктуры: источники, динамика, проблемы. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/investirovanie-proektov-dorozhno-transportnoy-infrastruktury-istochniki-dinamika-problemy/viewer> (дата обращения: 20.03.2023).
7. Финансирование компаний в условиях замедления экономики и санкций. [Электронный ресурс]. URL: <http://elib.fa.ru/art2018/bv976.pdf/download/bv976.pdf> (дата обращения: 20.03.2023).

8. Статьи об инвестициях и инжиниринге. [Электронный ресурс]. URL: <https://esfccompany.com/articles/infrastruktura/finansirovanie-krupnykh-infrastrukturnykh-proektov-investitsionnye-kredity-dlya-stroitelstva> (дата обращения: 23.03.2023).
9. Приоритетный проект «Безопасные и качественные дороги». [Электронный ресурс]. URL: <https://strategy24.ru/rf/transport/projects/prioritetnyy-proyekt-bezopasnyye-i-kachestvennyye-dorogi> (дата обращения: 23.03.2023).
10. Можно ли использовать электричество разумнее? Энергия для мировой экономики. [Электронный ресурс]. URL: http://electroprivod.com/News2_85.aspx (дата обращения: 25.03.2023).
11. Способы получения электромагнитного поля. [Электронный ресурс]. URL: <https://molotokrus.ru/sposoby-polucheniya-elektromagnitnogo-polya/> (дата обращения: 26.03.2023).
12. Термоэлектрический эффект Зеебека: история, особенности и применение. [Электронный ресурс]. URL: <https://1ku.ru/obrazovanie/28802-termoelektricheskij-jeffekt-zeebeka-istorija-osobennosti-i-primenenie/> (дата обращения: 27.03.2023).
13. Эффект Зеебека. Работа и применение. Особенности и устройство. [Электронный ресурс]. URL: <https://telemento.ru/blog/effekt-zeebeka/> (дата обращения: 27.03.2023).