

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.4.053:621.383.51

В. А. ДЗЕНЗЕРСКИЙ¹, А. Б. ГНИЛЕНКО², С. В. ПЛАКСИН³, Л. М. ПОГОРЕЛАЯ^{4*},
Ю. В. ШКИЛЬ⁵

¹Институт транспортных систем и технологий НАН Украины, ул. Писаржевского, 5, Днипро, Украина, 49005, тел.+38 (056) 370 22 03, эл. почта vad@westa-inter.com, ORCID 0000-0002-5504-4524

²Институт транспортных систем и технологий НАН Украины, ул. Писаржевского, 5, Днипро, Украина, 49005, тел. +38 (056) 370 21 82, эл. почта gnilenko@ua.fm, ORCID 0000-0002-1380-1195

³Институт транспортных систем и технологий НАН Украины, ул. Писаржевского, 5, Днипро, Украина, 49005, тел. +38 (056) 370 21 82, эл. почта svp@westa-inter.com, ORCID 0000-0001-8302-0186

^{4*}Институт транспортных систем и технологий НАН Украины, ул. Писаржевского, 5, Днипро, Украина, 49005, тел. +38 (056) 370 21 82, эл. почта plm@westa-inter.com, ORCID 0000-0002-3718-0733

⁵Институт транспортных систем и технологий НАН Украины, ул. Писаржевского, 5, Днипро, Украина, 49005, тел. +38 (056) 370 21 82, эл. почта siv@westa-inter.com, ORCID 0000-0002-8684-5906

ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТРАНСПОРТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ И РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Цель. Основной целью исследования является совершенствование магнитолевитационной технологии с использованием электродинамического подвеса и обеспечение ее функционирования на основе экологически рациональных энергосистем. Это означает возможность создания на основе магнитолевитационной технологии транспортно-энергетической системы, использующей возобновляемые источники энергии (в частности, фотоэлектрические преобразователи) и подключенной к национальной/локальной энергосетям в качестве потребителя и производителя энергии одновременно. **Методика.** Проведенное исследование, анализ и обобщающие выводы базируются как на результатах работ по данной тематике, так и на собственных наработках авторов. При проведении исследований применялись методы системного анализа и компьютерного моделирования компонентов большой киберфизической транспортно-энергетической системы. **Результаты.** Разработаны физико-технические основы создания перспективной транспортно-энергетической системы, включающей высокоскоростной наземный транспорт на электродинамическом подвесе и распределенный фотоэлектрический энергокомплекс, адаптированный к особенностям работы данного вида транспорта и гарантирующий его надежное функционирование в любых погодных условиях. **Научная новизна.** Впервые обоснована возможность создания единого транспортного комплекса, объединяющего в себе скоростную магнитолевитационную систему и распределенную систему электропитания на основе солнечной энергии. Она одновременно является неотъемлемой частью прецизионной быстродействующей системы управления, работающей в режиме реального времени. **Практическая значимость.** Предложенное научно-техническое решение позволяет на основе возобновляемого источника энергии решить проблемы электропитания и управления высокоскоростным транспортом. А за счет включения распределенной системы электропитания в локальные интеллектуальные энергосистемы по технологии SMART-grid дает возможность оптимизировать энергопотребление территорий, по которым проходит магистраль высокоскоростного транспорта.

Ключевые слова: магнитолевитационный (МАГЛЕВ) транспорт; распределенная система электропитания; солнечная энергия; прецизионная быстродействующая система управления

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Введение

Усовершенствование транспортных и энергетических технологий в XXI веке должно следовать принципам устойчивого развития, что предполагает, с одной стороны, ограничение энергопотребления транспортными системами с одновременным уменьшением их негативного воздействия на экосистемы территорий, а с другой стороны – удовлетворение потребности социума в сокращении времени, затрачиваемого на перемещения людей и товаров. Проблематичность достижения указанной цели в рамках традиционных транспортных и энергетических технологий кажется очевидной – энергозатраты транспортных систем превышают треть потребляемой энергии, а наиболее быстрый вид транспорта – воздушный, – является одним из ведущих загрязнителей атмосферы. Одним из перспективных путей решения данной проблемы представляется объединение в единой системе технологий возобновляемых источников энергии и магнитолевитационного транспорта. Указанное выше объединение может привести к положительному синергетическому эффекту при решении актуальной задачи создания высокоскоростного наземного транспорта на основе экологически рациональных энергосистем, которая, к тому же, входит в число приоритетов Рамочных Программ Евросоюза в области науки и технологий [10]. В разработке таких транспортных систем с магнитной левитацией (МАГЛЕВ) активно участвуют ученые передовых стран, в том числе и Украины [4]. Проблемами возобновляемой энергетики занимается целый ряд институтов и предприятий в Украине: Институт электродинамики НАН Украины, Институт возобновляемой энергетики НАН Украины, завод «Преобразователь» (г. Запорожье), КБ «Конкорд» (г. Днепр), Институт проблем энергосбережения НАН Украины, КБ «Южное», Институт общей энергетики НАН Украины, а также ряд зарубежных исследовательских центров, посвятивших множество публикаций проблеме построения электротехнических комплексов на возобновляемых источниках энергии [11, 13, 14]. Необходимость таких разработок в Украине продиктована не только проблемой энергонезависимости страны, но и более глобальной

проблемой – опасностью нарушить термодинамический баланс планеты.

Цель

Целью исследования является совершенствование магнитолевитационной технологии на электродинамическом подвесе и обеспечение ее функционирования на основе экологически рациональных энергосистем. Это означает возможность создания на основе магнитолевитационной технологии транспортно-энергетической системы, использующей возобновляемые источники энергии (в частности, фотоэлектрические преобразователи) и подключенной к национальной/локальной энергосетям в качестве потребителя и производителя энергии одновременно.

Рассматриваемая концепция «дороги-электростанции» представляет собой магнитолевитационную транспортную магистраль (рис. 1) с энергообеспечением от солнечной электростанции, размещенной вдоль боковых поверхностей путепровода (см. вставку внизу слева).

Методика

По классификации академика Петра Капицы предлагаемая разработка является примером комплексной научной проблемы, касающейся трех взаимопроникающих технологий: магнитолевитационного транспорта, фотоэлектрического преобразования и фазометрической радионавигации, и для достижения поставленной цели требует системного подхода. Поэтому в качестве методологического инструментария при проведении исследований использовались методы системного анализа, методы декомпозиции и системного анализа, компьютерного моделирования, а также расчетно-статистические методы.

Результаты

Принципиальная осуществимость предложенной концепции энерготранспортной системы следует из приемлемого соотношения между мощностью потока солнечного излучения, достигающего поверхности земли, и энергией, необходимой для работы как самого линейного синхронного электродвигателя, так и других

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

подсистем МАГЛЕВА. При расчете распределенной вдоль МАГЛЕВ-трассы солнечной электростанции исходили из полученного ранее энергетического баланса [1], согласно которому для работы тягово-левитационной системы требуется энергия порядка 123 Вт·ч/т·км/. Она может быть обеспечена путем размещения вдоль каждого погонного метра МАГЛЕВ-магистрали фотоэлектрических панелей, вырабатывающих электроэнергию порядка 157 Вт·ч. Расчет энергии, производимой фотоэлектриче-

скими панелями, подробно описанный в [9], с учетом коэффициента полезного действия современных преобразователей солнечного излучения в электроэнергию и погодноклиматических факторов, показал, что для обеспечения суточного энергопотребления погонного метра дороги необходимо разместить на том же метре пути как минимум 4–5 м² горизонтально ориентированных солнечных панелей.



Рис. 1. МАГЛЕВ-магистраль на фоне атласа инсоляции Украины

Fig. 1. MAGLEV-guideway at the background of insolation atlas of Ukraine

На втором этапе исследований было доказано выполнение баланса между потреблением энергии МАГЛЕВ-транспортом и энергией, производимой фотоэлектрическими панелями, вдоль всей проектируемой магнитолевитационной транспортной магистрали (рис. 1). Прогноз уровней энергообеспеченности разрабатываемой всеукраинской МАГЛЕВ-трассы был осуществлен путем систематизации, анализа и численной обработки статистических данных, полученных от спутниковых изображений поверхности Земли. Крупнейшие базы данных, предоставляющие значения уровня энергии падающего потока солнечного излучения (инсоляции) в открытый доступ, принадлежат американским и западноевропейским организациям. Однако различие технических средств и

методик определения значений солнечной радиации на поверхности Земли приводит к достаточно значимым отличиям в данных. Поэтому очень важно выявить функцию распределения инсоляции по территории Украины. Прделанная авторами статистическая обработка имеющихся в открытом доступе на сайте NASA больших массивов метеорологических данных за период 35 лет позволила установить, что инсоляция наилучшим образом аппроксимируется функцией распределения Джонсона SB. Как показал расчет, солнечный потенциал Украины (см рис. 1) позволяет обеспечить полноценную работу всего электротехнического комплекса высокоскоростного МАГЛЕВ-транспорта, проектируемого через все областные центры Украины исключительно за счет

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

солнечной энергии. До сих пор в транспортной отрасли электроэнергия, полученная в результате преобразования солнечной энергии, использовалась в основном для электроснабжения инфраструктуры, например, для освещения вокзалов (г. Берлин).

Важно при этом, что переход на электропитание МАГЛЕВ-транспорта от распределенной вдоль трассы фотоэлектрической энергосистемы позволяет кардинально перестроить и саму систему управления движением МАГЛЕВ-поездов [7], в результате чего достигается значительное повышение точности позициониро-

вания поездов, движущихся с большими, до 500 км/час, скоростями. Полученное авторами решение запатентовано, опубликовано в специализированных журналах и докладывалось на ряде отечественных и зарубежных научных конференций по навигационным системам, высокоскоростному транспорту и возобновляемой энергетике.

Прецизионная система управления МАГЛЕВом с электропитанием от солнечной энергии в схематическом виде представлена на рис. 2.

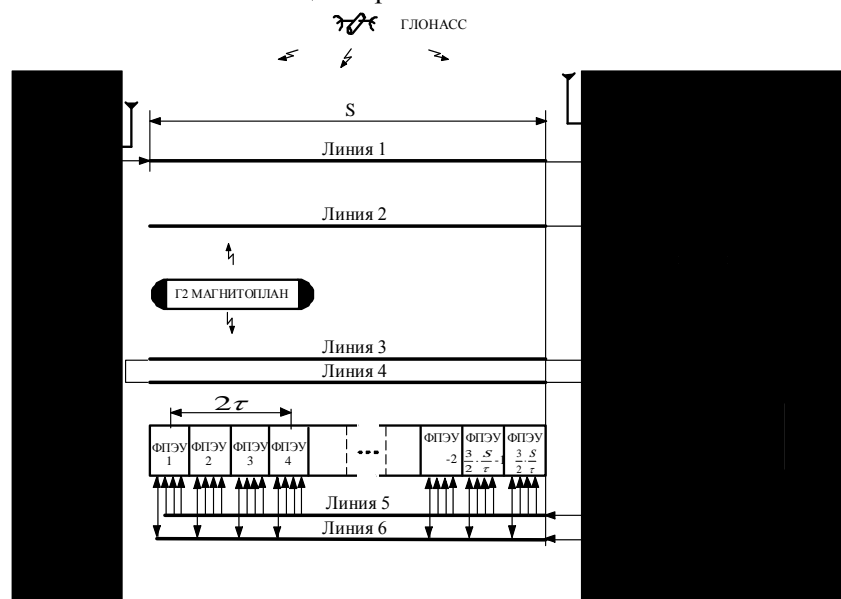


Рис. 2. Фазометрическая радионавигационная система управления движением магнитоплана

Fig. 2. Phase-metrical radio-navigational system of magnetoplan movement control

Важная роль при построении энергосистем на ВИЭ отводится накопителям электроэнергии, которые не только позволяют обеспечивать *автономность* энергоснабжения, но и вообще представляют собой ключевое звено в энергосистеме. Введение подсистемы накопления энергии позволило преодолеть препятствия на пути реализации предложенной концепции, связанные с характерной особенностью солнечного источника энергоснабжения – непостоянством генерируемой мощности. Однако следует отметить, что роль указанной неопределенности несколько преувеличена. Энергию ветра и солнца следует признать не только изменчивой, но и предсказуемой, так как имеется возможность достаточно точно прогнозировать,

насколько ветреной и солнечной будет погода в течение определенного срока, например, ближайших двух дней.

Такая подсистема, кроме обеспечения необходимых энергозатрат МАГЛЕВ-дороги, будучи включенной в локальные интеллектуальные энергосистемы (SMART-grid), может также создать ценный ресурс для оптимизации энергопотребления прилегающих к магистрали территорий.

Для повышения эффективности энергосистем на возобновляемых источниках энергии, в частности солнечных, авторами был проведен цикл исследований, направленных на улучшение характеристик компонентов энергосистем и сбалансированности систем в целом. В частно-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

сти, было осуществлено компьютерное моделирование солнечных модулей перспективных конструкций по методике, описанной в [6, 12].

Было показано [8], что для упрощения требований к монтажу солнечных батарей под строго определенным углом к горизонту следует использовать солнечные батареи на основе аморфного кремния, которые, к тому же, имеют еще ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с фотоэлектрическими преобразователями на основе кристаллического или поликристаллического кремния. Тонкопленочные солнечные батареи на аморфном кремнии, обладая меньшей температурной и угловой чувствительностью и повышенной эффективностью работы в рассеянном свете, обеспечивают годовую выработку электроэнергии на 15–20 % выше по сравнению с модулями из монокристаллического кремния, размещенными на больших площадях при одинаковых установленных мощностях и одинаковых условиях эксплуатации. Общая установленная мощность солнечной электростанции вдоль разрабатываемой МАГЛЕВ-трассы составляет около 1 ГВт.

Широкое внедрение тонкопленочных солнечных батарей на аморфном кремнии на энергетический рынок предполагается с 2030 года, когда будет построено достаточное количество фабрик по их производству. Естественно, представляет большой интерес запуск в Украине собственного серийного производства солнечных модулей. Проект такой фабрики, рассчитанный на производство в г. Днепр фотоэлектрических модулей производительностью 35 МВт т/год, разработан учеными нашего Института совместно со специалистами МНПК «ВЕСТА». Этот проект предполагает привлечение транснациональной инжиниринговой фирмы «M+W Group» со штаб-квартирой в Штутгарте (ФРГ), имеющей опыт строительства производственных комплексов модульного типа.

Осуществление этого проекта могло бы стать толчком для роста всей экономики Украины, так как повлекло бы за собой развитие смежных отраслей (например, получение газа силана, являющегося сырьем для производства фотомодулей, на Запорожском заводе «Полупроводник»), а также расширение производства

электротехнических компонентов и, конечно же, создание новых рабочих мест.

Перспективным направлением в развитии предлагаемой энерготранспортной системы «МАГЛЕВ-дорога – солнечная электростанция» является подключение к ней орбитального фрагмента, передающего преобразованную в СВЧ-луч солнечную энергию с орбитальной платформы на земную поверхность. Использование солнечных космических электростанций (СКЭС), вследствие выноса их за пределы земной атмосферы [2], признано действенным способом повышения стабильности энергопоступления.

При существующем развитии космических технологий сооружение СКЭС потребует весьма затратной инфраструктуры по созданию и поддержанию космической системы в эксплуатации. Однако, с учетом последних достижений в физике полупроводников и радиофизике и с применением единой элементной базы СКЭС на основе полупроводниковых технологий и микроэлектроники сверхвысоких частот (СВЧ), можно значительно уменьшить вес и размеры устройств, выводимых на орбиту, и тем самым снизить стоимость такой разработки. С этих позиций весьма привлекательным выглядит применение в качестве малогабаритных генераторов СВЧ-колебаний твердотельных диодов Ганна как основных компонентов СКЭС для преобразования постоянного тока в высокочастотные колебания с последующей передачей энергии на Землю по микроволновому лучу.

Одним из вариантов усовершенствования конструкции диодов Ганна является применение катодов, *инжектирующих* «горячие» электроны в пролетную область. В ходе проведенного исследования с использованием компьютерного моделирования было установлено, что в качестве такого инжектора может быть использована многослойная *InAlGaAs*-структура, образующая барьер, соответствующий энергетическому интервалу междолинного перехода.

Важным элементом космического фрагмента поставки энергии активному МАГЛЕВ-путепроводу является электродинамическая система для излучения и фокусировки микроволнового луча, результаты моделирования которой приведены на рис. 3.

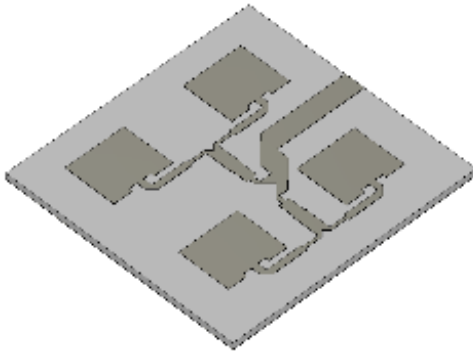
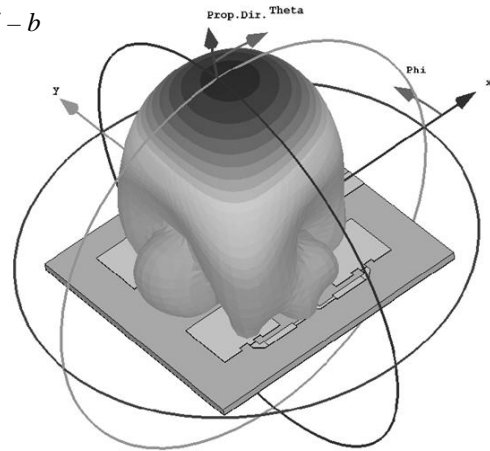
a – a*б – б*

Рис. 3. Моделирование электродинамической системы для излучения и фокусировки микроволнового луча: *a* – базовый элемент микрополосной антенной решетки; *б* – трехмерная диаграмма антенной решетки

Fig. 3. The modelling of the electrodynamic system for the radiation and focusing of microwave beam: *a* – base element of microstrip antenna array; *b* – three-dimensional diagram of antenna array directivity

Моделирование осуществлялось с использованием программного пакета CST Microwave Studio. Зависимость общей эффективности от частоты резонансного характера, с максимумом 93,2 % вблизи частоты 95 ГГц, является следствием того, что элементы согласования схемы настроены именно на эту рабочую частоту. Выбор такой рабочей частоты определяется тем, что она лежит в середине второго атмосферного окна прозрачности, и это позволяет обеспечить минимальные потери мощности при прохождении энергетического луча через земную атмосферу.

После трансляции потребует своего решения задача обратного преобразования энергии принятого наземной ректенной микроволнового луча в ток промышленной частоты. С этой целью было разработано соответствующее устройство преобразования СВЧ-энергии в переменный ток, использующее явление внешнего отрицательного дифференциального сопротивления, проявляющегося в объемных полупроводниковых структурах в сильных электрических полях [5].

Для повышения предельного уровня принимаемой мощности возможно параллельное соединение модулей-преобразователей (причем, во избежание переотражения излучения СВЧ-мощности от не полностью согласованной с волноводной линией полупроводникового элемента преобразователь может быть построен по

мостовой схеме) [3]. При этом мостовая схема позволяет преобразовать в тепло ту часть СВЧ-мощности, которая не участвует в преобразовании в ток промышленной частоты, благодаря чему возможно полное использование СВЧ-мощности, поступающей с орбитальной фото-СВЧ-энергоустановки. Следовательно, можем считать, что обоснован новый подход к разработке элементной базы СКЭС – на основе единых по своей природе полупроводниковых технологий и микроэлектроники сверхвысоких частот.

В результате проведенных исследований изучены особенности работы магнитолевитационного транспорта на электродинамическом подвесе и разработаны физико-технические основы создания единого комплекса – «МАГЛЕВ-дорога – распределенная фотоэлектрическая система».

Научная новизна и практическая значимость

Эти результаты позволяют впервые обеспечить всепогодное гарантированное электропитание МАГЛЕВ-магистрали на основе солнечной электростанции, которая, будучи при этом подключенной к локальным интеллектуальным энергосистемам по технологии SMART-grid, позволяет еще и оптимизировать энергопотребление прилежащих к высокоскоростной магистрали территорий.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Выводы

Таким образом, можем сделать обобщающий вывод о том, что цель работы достигнута и эти результаты, в совокупности с разработанным ранее учеными ИТСТ НАН Украины «Трансмаг» во взаимодействии со специалистами Международной научно-промышленной корпорации «ВЕСТА» (г. Днепр) проектом се-

рийного производства в Украине солнечных батарей на основе аморфного кремния производительностью 35 МВт/год, открывают возможности к осуществлению в Украине межотраслевого инновационного проекта общенационального масштаба по созданию высокоскоростных наземных транспортных коридоров на экологически рациональных энергосистемах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бочаров, В. И. Транспорт на сверхпроводящих магнитах / В. И. Бочаров, И. В. Салли, В. А. Дзензерский. – Ростов-на-Дону : Изд-во Рост. ун-та, 1988. – 152 с.
2. Ванке, В. А. СВЧ-электроника – перспективы в космической энергетике // *Электроника: наука, технология, бизнес*. – 2007. – № 5. – С. 98–102.
3. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы : учеб. пособие для высш. учеб. заведений / И. С. Гоноровский, М. П. Демин. – Москва : Сов. радио, 1994. – 479 с.
4. Мямлин, С. В. Прогресс транспорта – залог развития национальной экономики / С. В. Мямлин // *Наука та прогрес транспорту*. – 2013. – № 1 (43). – С. 7–12. doi: 10.15802/stp2013/9786.
5. Пат. 92531 Україна, МПК (2009) H 01 Q 1/24 (2006.01), H 01 Q 21/06 (2006.01), H 01 P 1/00, H 03 B 9/00, H 01 L 35/00. Пристрій перетворення НВЧ енергії в змінний струм промислової частоти / Дзензерський В. О., Соколовський І. І., Бровкін Ю. М., Кравченко О. В., Плаксін С. В., Погоріла Л. М.; заявник та патентовласник Ін-т трансп. систем і технологій нац. акад. наук України «Трансмаг». – № a200815171 ; заявл. 29.12.2008 ; опубл. 10.11.2010, Бюл. № 21. – 1 с.
6. Польский, Б. С. Численное моделирование полупроводниковых приборов / Б. С. Польский. – Рига : Зинатне, 1986. – 168 с.
7. Системы управления и энергообеспечения магнитолевитирующего транспорта / В. А. Дзензерский, С. В. Плаксин, Л. М. Погорелая, В. Г. Толдаев, Ю. В. Шкиль. – Киев : Наук. думка, 2014. – 276 с.
8. Чопра, К. Тонкопленочные солнечные элементы : [пер. с англ.] / К. Чопра, С. Дас. – Москва : Мир, 1986. – 435 с.
9. Active Maglev guideway as electricity generating and distributing facility [Электронный ресурс] / V. A. Dzenzerskiy, N. M. Khachapuridze, S. V. Plaksin, V. G. Toldayev, Yu. V. Shkil // *Transport Research Arena (TRA) 5th Conference: Transport Solutions from Research to Deployment*. – Paris, 2014. – Режим доступа: <https://trid.trb.org/view/1327840>. – Загл. с экрана. – Проверено : 04.01.2018.
10. FP6 Instruments. Implementing the Priority. Thematic Areas of the Sixth Frame Program of European Community Research. – Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2002. – 14 p.
11. Integration of Renewable Energy Sources in future power systems: The role of storage / S. Weitemeyer, D. Kleinhans, T. Vogt, C. Agert // *Renewable Energy*. – 2015. – Vol. 75. – P. 14–20. doi: 10.1016/j.renene.2014.09.028.
12. Simulating Solar Cell Devices Using Silvaco TCAD // *Simulation Standard*. – 2008. – Vol. 18, No. 2. – P. 1–3.
13. Study of Photovoltaic Systems' Performances with Different Module Types / Z. Zarkov, L. Stoyanov, H. Kanchev, V. Milenov, V. Lazarov // *Materials Science Forum*. – 2016. – Vol. 856. – P. 279–284. doi: 10.4028/www.scientific.net/msf.856.279.
14. Suberu, M. Y. Energy storage systems for renewable energy power sector integration and mitigation of intermittency / M. Y. Suberu, M. W. Mustafa, N. Bashir // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2014. – Vol. 35. – P. 499–514. doi: 10.1016/j.rser.2014.04.009.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

В. О. ДЗЕНЗЕРСЬКИЙ¹, О. Б. ГНИЛЕНКО², С. В. ПЛАКСІН³, Л. М. ПОГОРІЛА^{4*},
Ю. В. ШКІЛЬ⁵

¹Інститут транспортних систем і технологій НАН України, вул. Писаржевського, 5, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (056) 370 22 03, ел. пошта vad@westa-inter.com, ORCID 0000-0002-5504-4524

²Інститут транспортних систем і технологій НАН України, вул. Писаржевського, 5, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38(056) 370 21 82, ел. пошта gnilenko@ua.fm, ORCID 0000-0002-1380-1195

³Інститут транспортних систем і технологій НАН України, вул. Писаржевського, 5, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (056) 370 21 82, ел. пошта svp@westa-inter.com, ORCID 0000-0001-8302-0186

^{4*}Інститут транспортних систем і технологій НАН України, вул. Писаржевського, 5, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (056) 370 21 82, ел. пошта plm@westa-inter.com, ORCID 0000-0002-3718-0733

⁵Інститут транспортних систем і технологій НАН України, вул. Писаржевського, 5, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (056) 370 21 82, ел. пошта siv@westa-inter.com, ORCID 0000-0002-8684-5906

ПЕРСПЕКТИВНА ТРАНСПОРТНО-ЕНЕРГЕТИЧНА СИСТЕМА НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЦІЇ МАГНІТОЛЕВІТАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОЗПОДІЛЕНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Мета. Основною метою дослідження є вдосконалення магнітолевітаційної технології з використанням електродинамічного підвісу та забезпечення її функціонування на основі екологічно раціональних енергосистем. Це означає можливість створення на основі магнітолевітаційної технології транспортно-енергетичної системи, що використовує відновлювані джерела енергії (зокрема, фотоелектричні перетворювачі) та підключена до національної/локальної енергомереж як споживач і виробник енергії одночасно. **Методика.** Проведене дослідження, аналіз та узагальнюючі висновки базуються як на результатах робіт із даної тематики, так і на власних напрацюваннях авторів. При проведенні досліджень застосовувалися методи системного аналізу та комп'ютерного моделювання компонентів великої кіберфізичної транспортно-енергетичної системи. **Результати.** Розроблені фізико-технічні основи створення перспективної транспортно-енергетичної системи, яка включає високошвидкісний наземний транспорт на електродинамічному підвісі та розподілений фотоелектричний енергокомплекс, адаптований до особливостей роботи даного виду транспорту і гарантуючий його надійне функціонування в будь-яких погодних умовах. **Наукова новизна.** Вперше обґрунтована можливість створення єдиного транспортного комплексу, об'єднуючого в собі швидкісну магнітолевітаційну систему та розподілену систему електроживлення на основі сонячної енергії. Вона одночасно є невід'ємною частиною прецизійної швидкодійної системи управління, що працює у режимі реального часу. **Практична значимість.** Запропоноване науково-технічне рішення дозволяє на основі відновлюваного джерела енергії розв'язати проблеми електроживлення та управління високошвидкісним транспортом. А за рахунок включення розподіленої системи електроживлення в локальні інтелектуальні енергосистеми за технологією SMART-grid дає можливість оптимізувати енергоспоживання територій, по яких проходить магістраль високошвидкісного транспорту.

Ключові слова: магнітолевітаційний (МАГЛЕВ) транспорт; розподілена система електроживлення; сонячна енергія; прецизійна швидкодійна система управління

V. O. DZENZERSKIY¹, A. B. GNILENKO², S. V. PLAKSIN³, L. M. POGORELAYA^{4*},
Y. V. SHKIL⁵

¹Institute of Transport Systems and Technologies of NAS of Ukraine, Pisargevskiy St., 5, Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 370 22 03, e-mail vad@westa-inter.com, ORCID 0000-0002-5504-4524

²Institute of Transport Systems and Technologies of NAS of Ukraine, Pisargevskiy St., 5, Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 370 21 82, e-mail gnilenko@ua.fm, ORCID 0000-0002-1380-1195

³Institute of Transport Systems and Technologies of NAS of Ukraine, Pisargevskiy St., 5, Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 370 21 82, e-mail svp@westa-inter.com, ORCID 0000-0001-8302-0186

^{4*}Institute of Transport Systems and Technologies of NAS of Ukraine, Pisargevskiy St., 5, Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 370 21 82, e-mail plm@westa-inter.com, ORCID 0000-0002-3718-0733

⁵Institute of Transport Systems and Technologies of NAS of Ukraine, Pisargevskiy St., 5, Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 370 21 82, e-mail siv@westa-inter.com, ORCID 0000-0002-8684-5906

PERSPECTIVE TRANSPORT-POWER SYSTEM BASED ON THE INTEGRATION OF MAGLEV-TECHNOLOGY AND DISTRIBUTED PHOTO-ELECTRIC STATION

Purpose. The research main purpose is the perfection of magnetolevitating technology on electrodynamic suspension and providing its functioning on the base of ecologically rational energy systems. It means creation of the MAGLEV transport-power system which uses renewable energy sources (in particular, photoelectric converters) and connected to national/local networks as an energy user and producer simultaneously. **Methodology.** Conducted research, analysis and summary conclusions are based both on the results of works on the given subject, and own works of authors. The methods of systems analysis and computer design of components of the large cyber-physical transport-power system were used during conducting research. **Findings.** The physical-technical foundations of conception of the perspective transport-power system, including high-speed ground vehicle on electrodynamic suspension and distributed photo-electric energy complex were developed. It adapts to the performance of the given transport type and guaranteeing its safe functioning in any weather terms. **Originality.** For the first time authors substantiated the possibility for creation of single transport complex uniting the speed magnetolevitating system and distributed power supply system on the base of sun energy. It is simultaneously the inalienable part of the precision fast-acting control system, working in the real-time mode. **Practical value.** The offered scientific-technical solution allows on the base of renewable energy source to solve the problems of power supply and a high-speed transport control. Due to the inclusion of the distributed power supply system into local intellectual networks on the SMART-grid technology it gives the possibility to optimize energy consumption of territories neighboring to high-speed way.

Keywords: magnetolevitating (MAGLEV) transport; distributed power supply system; sun energy; precision fast-acting control system

REFERENCES

1. Bocharov, V. I., Sally, I. V., & Dzenzerskiy, V. A. (1988). *Transport na sverkhprovodyashchikh magnitakh*. Rostov-on-Don: Izdatelstvo rostovskogo universiteta. (in Russian)
2. Vanke, V. A. (2007). Millimeter Wave Electronics. Prospects for Space Energy. *Electronics: Science, Technology, Business*, 5, 98-102. (in Russian)
3. Gonorovskiy, I. S., & Demin, M. P. (1994). *Radiotekhnicheskie tsepi i signaly: Uchebnoe posobie dlya vysshikh uchebnykh zavedeniy*. Moscow: Sovetskoe radio. (in Russian)
4. Myamlin, S. V. (2013). Transport progress as a pledge of national economy development. *Science and Transport Progress*, 1(43), 7-12. doi: 10.15802/stp2013/9786. (in Russian)
5. Dzenzerskiy, V. O., Sokolovskiy, I. I., Brovkin, Y. M., Kravchenko, O. V., Plaksin, S. V., & Pohorila, L. M. (2010). *UA Patent No. 92531*. Kyiv: Derzhavnyi departament intelektualnoi vlasnosti. (in Ukrainian)
6. Polskiy, B. S. (1986). *Chislennoe modelirovanie poluprovodnikovyykh priborov*. Riga: Zinatne. (in Russian)
7. Dzenzerskiy, V. A., Plaksin, S. V., Pogorelaya, L. M., Toldaev, V. G., & Shkil, Yu. V. (2014). *Sistemy upravleniya i energoobespecheniya magnetolevitiruyushchego transporta*. Kiev: Naukova dumka. (in Russian)
8. Chopra, K., & Das, S. (1986). *Tonkoplennochnye solnechnye elementy: Perevod s angliyskogo*. Moscow: Mir. (in Russian)
9. Dzenzerskiy, V. A., Khachapuridze N. M., Plaksin, S. V., Toldayev, V. G., & Shkil, Y. V. (2014). Active Maglev guideway as electricity generating and distributing facility. *Transport Research Arena (TRA) 5th Conference: Transport Solutions from Research to Deployment*. Retrived from <https://trid.trb.org/view/1327840>. (in English)
10. FP6 Instruments. Implementing the Priority (2002). *Thematic Areas of the Sixth Frame Program of European Community Research. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities*. (in English)
11. Weitemeyer, S., Kleinhans, D., Vogt, T., & Agert, C. (2015). Integration of Renewable Energy Sources in future power systems: The role of storage. *Renewable Energy*, 75, 14-20. doi: 10.1016/j.renene.2014.09.028. (in English)
12. Simulating Solar Cell Devices Using Silvaco TCAD (2008). *Simulation Standard*, 18(2), 1-3. (in English)
13. Zarkov, Z., Stoyanov, L., Kanchev, H., Milenov, V., & Lazarov, V. (2016). Study of Photovoltaic Systems' Performances with Different Module Types. *Materials Science Forum*, 856, 279-284. doi: 10.4028/www.scientific.net/msf.856.279. (in English)

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

14. Suberu, M. Y., Mustafa, M. W., & Bashir, N. (2014). Energy storage systems for renewable energy power sector integration and mitigation of intermittency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 499-514. doi: 10.1016/j.rser.2014.04.009. (in English)

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Г. К. Гетьманом (Украина)

Поступила в редколлегию: 09.10.2017

Принята к печати: 08.01.2018