

Разработки Петербургского государственного университета путей сообщения в области нетрадиционной и возобновляемой энергетики



О. С. Валинский,
канд. техн. наук,
ректор Петербургского
государственного
университета путей
сообщения Императора
Александра I (ПГУПС),



К. К. Ким,
д-р техн. наук,
заведующий кафедрой
«Электротехника
и теплоэнергетика»
ПГУПС, член
Общественного совета
при Росжелдоре

В последние три года на кафедре «Электротехника и теплоэнергетика» ПГУПС разработаны оригинальные конструктивные решения в области нетрадиционной возобновляемой энергетики. Они касаются преобразования энергии светового излучения, сбраживания биомассы, водного потока и волн в электрическую энергию.

Если ранжировать нетрадиционные способы получения энергии из возобновляемых источников по целесообразности их использования, то, вероятно, они выстроятся в таком порядке:

- управляемая термоядерная энергетика (синтез);
- гелиоэнергетика;
- ветроэнергетика;
- водородная энергетика;
- нетрадиционная гидроэнергетика;
- биоэнергетика;
- геотермальная энергетика;
- прочие (грозовая, гравитационная, криоэнергетика и т.п.).

Наиболее перспективная альтернатива традиционной энергетике — управляе-

мый термоядерный синтез, так как большинство перечисленных видов нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НВИЭ), по мнению академика П. Л. Капицы, характеризуются малыми значениям мощности, которую можно получить с единицы поверхности [1]. Под мощностью понимается произведение двух параметров: плотности энергии и скорости ее передачи.

По причинам научного, технического, политического, климатического, экологического и иного характера из известных видов НВИЭ нет ни одного, который в ближайшем будущем реально заменил бы ископаемое топливо. Особенно это касается сферы централизованной энергетике. Для малой же (децентрализованной) энергетики в настоящее время намечаются некоторые перспективы.

Кафедра «Электротехника и теплоэнергетика» ПГУПС занимается исследованиями в области нетрадиционной и возобновляемой энергетики с 2020 г. За это время были предложены и разработаны (до степени, определяемой возможностями отраслевого высшего учебного заведения) несколько оригинальных конструкций гелиоветрогенераторов, биогазовых установок, беспилотных летательных аппаратов (мультикоптеров) с использованием гибких солнечных панелей, волновых и прибойных электрогенерирующих устройств и др. Новизна разработок подтверждена пятью евразийскими и тринадцатью российскими патентами. Остановимся на некоторых из них.



Рис. 1. Концепт гелиоветрогенератора

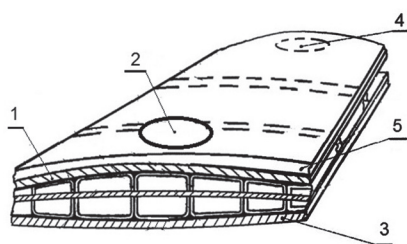


Рис. 2. Эскиз лопасти гелиоветрогенератора:
1 — лицевая сторона; 2 — входное отверстие;
3 — тыльная сторона; 4 — выходное отверстие;
5 — солнечная панель

Гелиоветрогенераторы

Данные энергогенерирующие устройства предполагается использовать в основном в децентрализованной системе электроснабжения, в районах, не связанных с Единой энергетической системой России. Также их можно использовать в качестве дополнительного источника электропитания на подстанциях, разумеется, в сочетании с накопителями энергии.

Известно, что эффективность генерирования электрической энергии кремниевыми солнечными панелями зависит от их температурного режима. Оптимальное значение температуры — около 25 °С. При превышении этого значения выходное напряжение панели начинает снижаться. Решить эту проблему можно либо используя вместо кремния другие материалы, например арсенид галлия (если абстрагироваться от его высокой стоимости), либо принудительно охлаждая солнечные панели.

В нашей разработке использован второй подход [2]. Для его реализации солнечные панели размещали на лопастях ветрогенератора (рис. 1). Благодаря вращению лопастей интенсивность охлаждения панелей увеличивалась.

Генерируемую панелями электрическую энергию можно использовать для питания системы возбуждения электрического генератора, размещенного в гондоле (если используется генератор синхронного типа), или через систему скользящего токосъема отдавать внешнему потребителю.

Следует отметить, что из-за дополнительного использования энергии солнечного излучения предложенный гелиоветрогенератор имеет лучшие энергетические характеристики по сравнению с обычным ветрогенератором.

Данная разработка предназначена для системы электроснабжения Крымского моста, поэтому при проектирова-

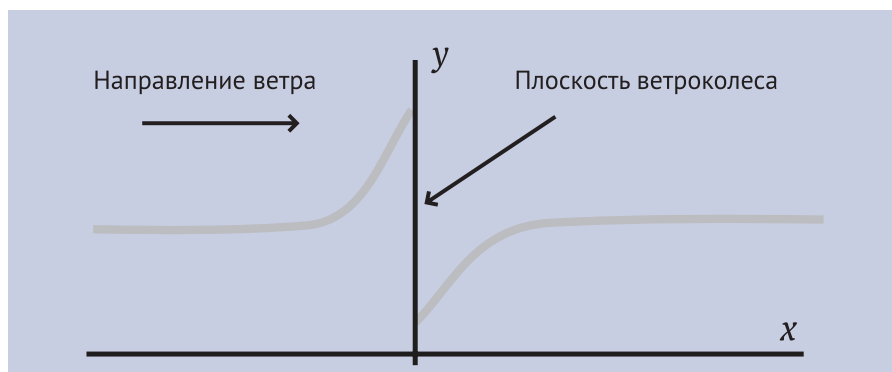


Рис. 3. Эпюра давления

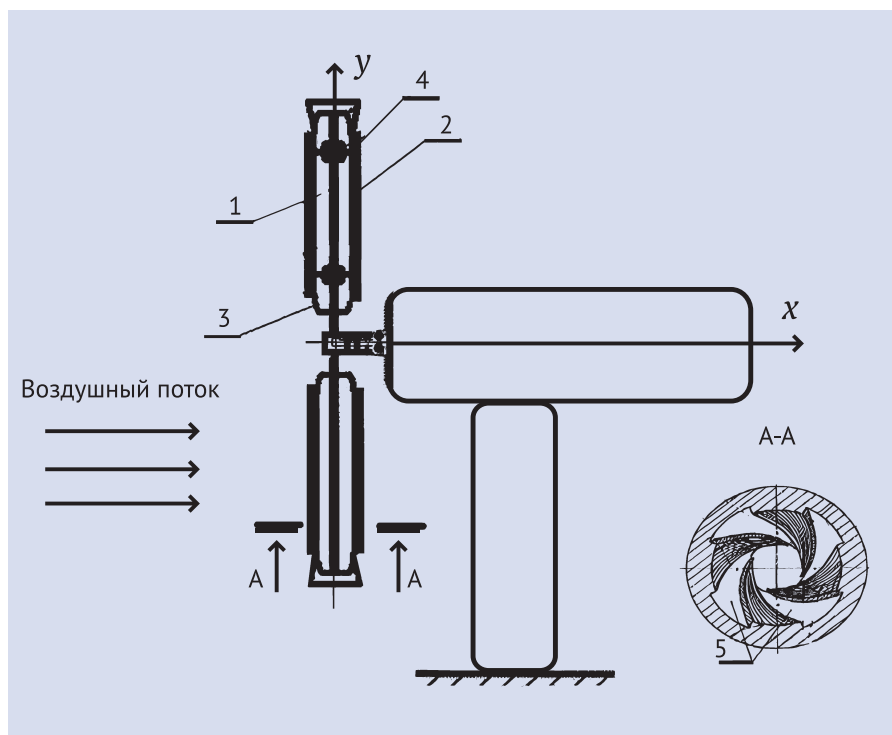


Рис. 4. Гелиоветрогенератор с использованием эффекта Магнуса: 1 — цилиндр; 2 — солнечная панель;
3 — нижний торец цилиндра; 4 — выходной дефлектор; 5 — винтовые нарезки

нии учитывались уровень солнечной инсоляции и скорость ветров, характерные для района Керченского пролива.

Исследования подтвердили чрезмерный нагрев неподвижных солнечных панелей в большую часть суток с мая по октябрь. Максимальная температура составляла 60 °С. Вращение лопастей, как показали расчеты в среде COMSOL Multiphysics, позволило понизить температуру панелей (максимально на 15 °С), однако кардинально вопрос перегрева не решило. Это можно объяснить малыми скоростями ветров (~5 м/с) в данном районе. Поэтому для усиления эффекта охлаждения панелей была предложена конструкция с полыми лопастями (рис. 2) [3]. У основания лопасти на ее лицевой стороне 1 (на которую набегает воздушный поток) выполнено входное отверстие 2, а на тыльной стороне 3

концевой части лопасти — выходное отверстие 4. Благодаря этим отверстиям и разности давлений перед и за ветровым колесом часть воздушного потока засасывается в полость лопасти (рис. 3), который охлаждает тыльную сторону солнечной панели 5, в результате чего повышается эффективность охлаждения всей панели.

Моделирование в среде SolidWorks-FlowSimulation показало, что максимальная скорость потока воздуха внутри лопасти, снабженной концевым дефлектором, достигает 2 м/с, при этом температура солнечных панелей снижается максимум на 20 °С.

Очередной модификацией стала конструкция гелиоветрогенератора, в которой лопасти выполнены в виде полых вращающихся цилиндров 1 (рис. 4), на боковых поверхностях которых закре-

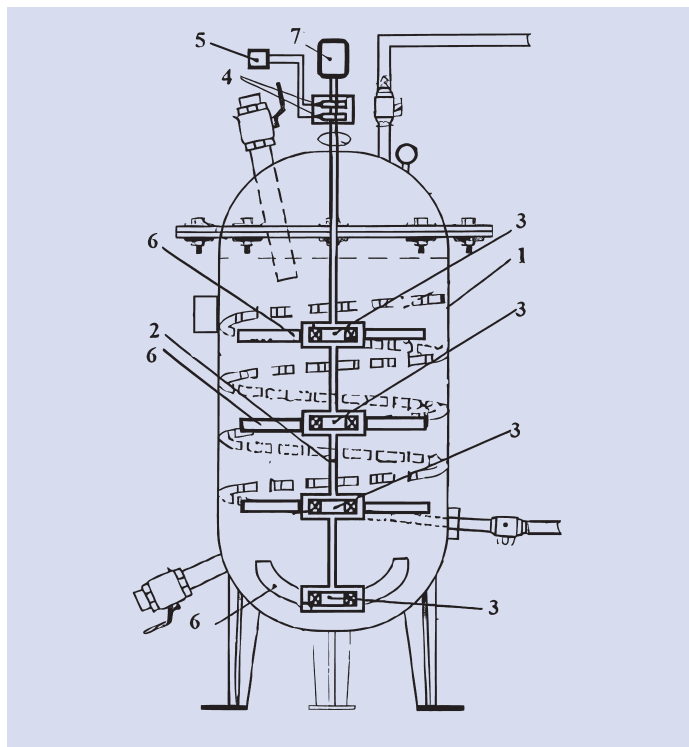


Рис. 5. Биогазовая установка с косвенным индукционным нагревом:
1 — метантенк; 2 — центральный вал; 3 — катушка-индуктор; 4 — узел скользящего токосъема; 5 — источник переменного напряжения; 6 — лопасть;
7 — приводной двигатель

плены солнечные панели 2 [4]. Благодаря такой конструкции величина генерируемой мощности мало зависит от ориентации лопастей по отношению к солнцу.

Нижние торцы 3 цилиндров открыты (для засасывания воздуха), верхние снабжены выходными дефлекторами 4. На внутренних боковых поверхностях цилиндров выполнены винтовые нарезки 5 для увеличения напора воздуха.

Благодаря использованию в конструкции эффекта Магнуса повышается скорость вращения цилиндрических лопастей, а следовательно — интенсивность охлаждения солнечных панелей.

Мировая практика эксплуатации мощных ветрогенераторов показывает, что из-за большого вертикального габарита и заостренной формы элементов конструкции в выступающие части ветрогенератора часто попадают молнии. Для предохранения композитного материала лопастей от разрушения при попадании молнии предложено использовать систему концевых лопастных молниеотводов, соединенных с мультикамерными разрядниками на гондоле. Это позволило оперативно погасить искровой разряд и таким образом увеличить срок службы лопасти [5].

Биогазовые установки

В отличие от большинства эксплуатируемых установок такого рода в разработках ПГУПС для поддержания оптимального температурного режима сбраживания биомассы в метантенке используется система косвенного индукционного нагрева. При этом нагревает и перемешивает биомассу один и тот же узел [6].

В установке (рис. 5) внутри цилиндрического метантенка 1 расположен полый центральный вертикальный вал 2 (с возможностью вращения вокруг его продольной оси), где по высоте регулярно расположены катушки-индукторы 3, обмотки которых с помощью узла скользящего токосъема 4 соединены с источником переменного напряжения 5 с частотой 50 Гц. Пе-

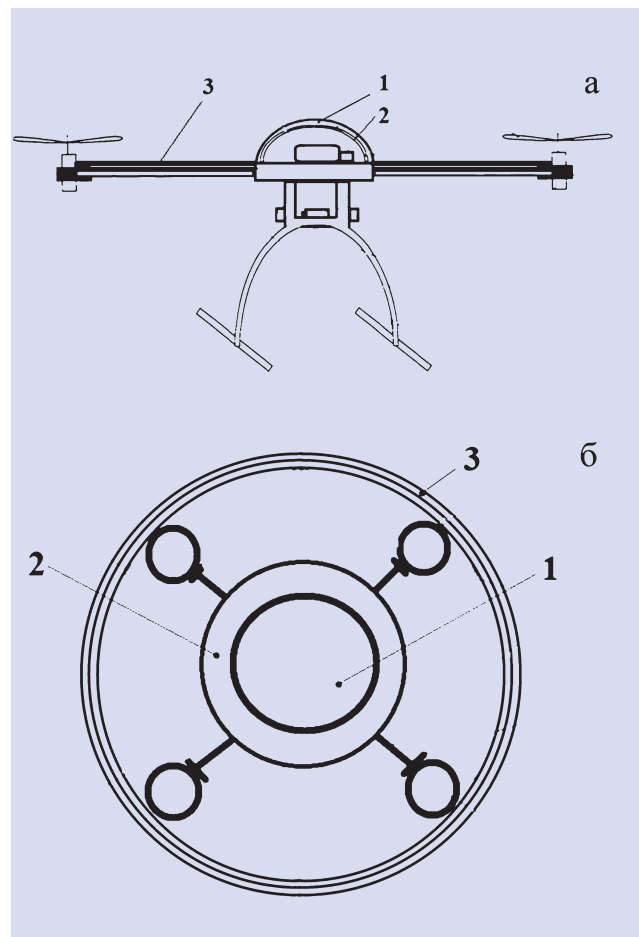


Рис. 6. Мультикоптер с солнечной панелью: а) вид сбоку; б) вид сверху со снятыми воздушными винтами: 1 — солнечная панель; 2 — центральная часть корпуса; 3 — кольцевая катушка

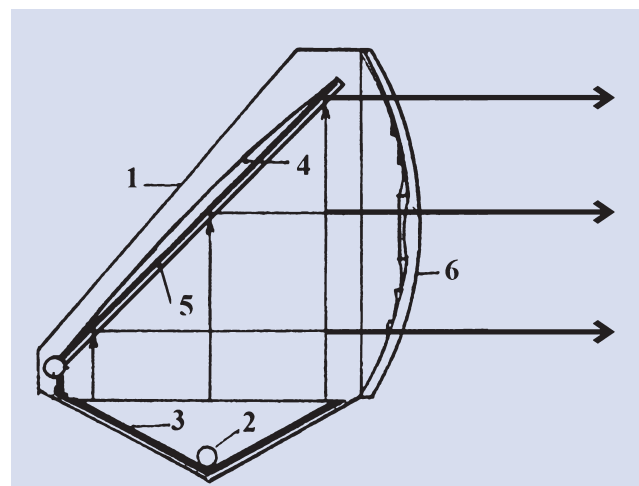


Рис. 7. Проектор с прозрачным фотоэлементом: 1 — корпус; 2 — лампа; 3 — отражатель; 4 — экран; 5 — фотогальванический элемент; 6 — рассеиватель

ремешивающие лопасти 6 на валу выполнены из электропроводящего материала.

Переменное электромагнитное поле, созданное токами в обмотках катушек-индукторов, индуцирует вихревые токи в лопастях. Нагретые лопасти передают свою теплоту биомассе, а их вращение с помощью приводного двигателя 7 обеспечивает равномерность ее нагрева.

В последующем катушки-индукторы были заменены на равномерно распределенную по длине вала и распо-

ложенную внутри него неподвижную многофазную обмотку. Данное решение позволило создать вращающееся магнитное поле, которое одновременно приводило в движение вал и нагревало лопасти на нем.

Чтобы облегчить начало вращения в плотной, еще не разогретой биомассе, предложено крепить лопасти к валу с помощью узлов, выполненных из материала с эффектом памяти формы, например из сплава титана и никеля с содержанием никеля 50,5%. Возможность поворота лопастей, величина которого автоматически изменяется в зависимости от температуры биомассы, а следовательно, от ее плотности, позволяет значительно снизить момент сопротивления в начале вращения [7].

Для экономии потребляемой электроэнергии и недопущения перегрева биомассы эксплуатация биогазовой установки предполагает периодическое отключение нагревателей (катушек индукторов) от источника электропитания. Как показали расчеты, чтобы поддерживать температуру сбраживаемой биомассы в диапазоне 56–60 °С, можно рекомендовать работу нагревателей в течение 4–6 часов с последующей паузой, не превышающей 8 часов.

Основанием для этого является тепловая инерция нагретой биомассы. Для увеличения длительности паузы и уменьшения энергопотребления днище метантенка изготавливалось полым, заполнялось теплоаккумулирующим материалом, например низкоплавким парафином из ряда $C_{17}H_{36}$ – $C_{20}H_{42}$ с температурой плавления от 16,7 до 36,7 °С [8]. Внутренняя полость центрального вертикального вала 2 также заполнялась теплоаккумулирующим материалом.

Использование энергии света

Гибкие солнечные панели для подзарядки аккумуляторных батарей мультикоптеров

Одной из проблем использования мультикоптеров для мониторинга состояния пути электрифицированного железнодорожного транспорта является малая продолжительность их непрерывного полета, которая определяется емкостью бортовой аккумуляторной батареи (АБ). Сейчас продолжительность непрерывного полета квадрокоптеров гражданского назначения, как правило, не превышает нескольких часов.

Для частичного решения этой проблемы было предложено в светлое время

суток использовать энергию солнечного излучения с помощью гибкой солнечной панели, размещенной в конструкции на базе мультикоптера Phantom 4 Pro+V2.0 с АБ Intelligent FlightBattery (емкость 5870 мА·ч, рабочее напряжение 15,2 В) (рис. 6).

Солнечная панель 1 закреплена сверху на центральной части 2 корпуса. Выводы панели через зарядное устройство соединены с АБ.

Помимо подзарядки АБ от солнечной панели данная конструкция позволяет заряжать АБ от внешнего электромагнитного поля, созданного тяговым током в контактном проводе [9]. Для этого по периметру мультикоптера установлена кольцевая катушка 3 с обмоткой, подсоединенной через зарядное устройство к АБ.

В данной разработке участвовали члены студенческого научного общества кафедры «Электротехника и теплоэнергетика» в рамках студенческого гранта ПГУПС.

Фотоэлектрические световые приборы

Для повышения эффективности использования и снижения ослепляющего действия прожекторов, используемых в локомотивах и передних вагонах электропоездов, была разработана конструкция, представленная на рис. 7 [10].

В нижней части корпуса 1 расположена оптическая пара, состоящая из электролампы 2 (накаливания или галогеновой) и отражателя 3. Внутри корпуса 1 на шарнире закреплен подвижный экран 4, на котором жестко закреплен прозрачный фотогальванический элемент 5, содержащий прозрачную подложку и первый активный материал, расположенный поверх подложки.

Первый активный материал имеет пик поглощения при длине волны приблизительно более 650 нанометров. Второй активный материал располагается поверх подложки, его пик поглощения — при длине волны за пределами спектра видимого света. Фотогальванический элемент также содержит прозрачный катод и прозрачный анод.

Первый активный материал содержит по меньшей мере один из материалов — фталоцианиновый, порфириновый или нафталоцианиновый краситель. Второй активный слой — углерод-60 (C60) или нанотрубки. Первый и второй активные материалы сконфигурированы для применения с гибкими герметизирующими

слоями. Прозрачный фотогальванический элемент 5 соединен с бортовой электрической сетью.

Напротив подвижного экрана 4 в корпусе 1 находится рассеиватель 6. Сектор поворота подвижного экрана задается ограничителем. Стрелками показано направление светового потока.

Электролампа при включении создает световой поток, который формируется отражателем и направляется в сторону подвижного экрана. Поток проходит через прозрачный фотогальванический элемент, генерирующий электрическую энергию, которая поступает (рекуперируется) в бортовую электрическую сеть. При необходимости перехода с дальнего света на ближний изменяется положение экрана относительно светового потока, созданного лампой и отражателем. Это позволяет посылать световой поток в желательном направлении, т. е. предотвращать ослепление водителя движущего навстречу транспортного средства.

Использование водородных топливных элементов

В связи с развитием технологии производства водородных топливных элементов и электрохимических генераторов (ЭХГ) на их основе интерес представляет идея создания вагона-электростанции, в которой используются два вида источников энергии: дизель-генераторные агрегаты с синхронными генераторами (СГ) стандартного исполнения и альтернативный источник энергии — ЭХГ на базе водородного топливного элемента, КПД которого достигает 55–60% (при использовании схемы питания водород — кислород из воздуха). Это позволит сделать работу вагона-электростанции более экономичной, менее шумной и использовать его не только в составе пассажирских поездов на электрифицированных и неэлектрифицированных участках, но и в составе ремонтно-восстановительных поездов даже при выполнении работ в тоннелях.

Мощность производимых в настоящее время ЭХГ достигает сотни киловатт и соизмерима с мощностью дизель-генераторов (Д-СГ) вагонов-электростанций (см. таблицу).

Простейший вариант энергосистемы, когда в состав канала с ЭХГ входит лишь обязательный преобразователь — инвертор напряжения (ИН), показан на рис. 8 [11].

Параллельная работа двух разнородных источников энергии обуславливает

Основные параметры модулей ЭХГ некоторых мировых производителей

Параметр	Siemens	Ballard*	Heliocentrics
Тип ЭХГ	BZM120	HD6	HyPMHD-65
Мощность, кВт	120	75	65
Напряжение, В	208–243	230–365	218–305
КПД, %	58	60	55
Масса, кг	900	350	321
Рабочая температура, °C	80	63	65

* Производитель допускает последовательное соединение двух модулей ЭХГ для получения суммарной мощности 150 кВт при напряжении 465–730 В.

возникновение проблем, решению которых были посвящены исследования сотрудников университета.

Было выявлено, что регулирование активной и реактивной мощности на выходе энергетического канала с ЭХГ возможно в широком диапазоне за счет изменения коэффициента модуляции и начальной фазы задающего воздействия инвертора напряжения. При этом предложенная система управления обеспечивает удовлетворительное быстродействие и качество переходных процессов в энергосистеме во всем диапазоне мощностей.

Трехуровневый инвертор напряжения с векторной широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) позволяет обеспечить необходимое качество напряжения на распределительном щите (РЩ) вагона-электростанции при весьма высоком КПД энергетического канала с ЭХГ во всем диапазоне мощностей.

Возможны различные варианты структурного исполнения энергетического канала с ЭХГ (канал А) и инвертором напряжения. Выбор в пользу того или иного варианта зависит от соотношения напряжения ЭХГ и номинального напряжения на РЩ, а также от требований к обратимости и габаритам преобразователя.

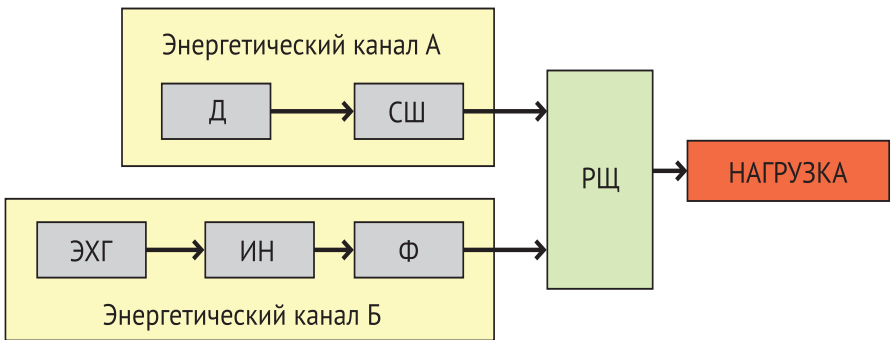


Рис. 8. Схема электропитания с использованием электрохимического генератора: Д — дизель; СГ — синхронный генератор; ЭХГ — электрохимический генератор; ИН — инвертор напряжения; Ф — фильтр; РЩ — распределительный щит

Нетрадиционные решения использования энергии водных потоков и волн

Водосточная система

Описываемая система разработана в рамках программы энергосбережения для уменьшения величины электрической энергии, потребляемой зданием из внешней сети, посредством преобразования кинетической энергии движущейся воды в водосточных трубах в электрическую энергию [12].

Водосточная система содержит связанные друг с другом секции 1 (рис. 9), оснащенные в верхней части водоприемной воронкой, а в нижней — сливным отливом. Внутри секций 1 установлен пластиковый рукав 2, в котором жестко закреплен электрогенерирующий блок 3, выполненный в виде специального статора 4 вертикального асинхронного двигателя.

Конструкция статора показана на рис. 10. В пазах магнитопровода статора уложена первичная двухфазная или трехфазная электрическая обмотка 1, подключаемая к потребителю. Ноу-хау системы заключается в том, что в расточке статора расположен полый цилиндр 2, например, из алюминия, меди или силумина, на внешней боковой поверхности которого жестко закреплена цилиндрическая периодическая структура из по-

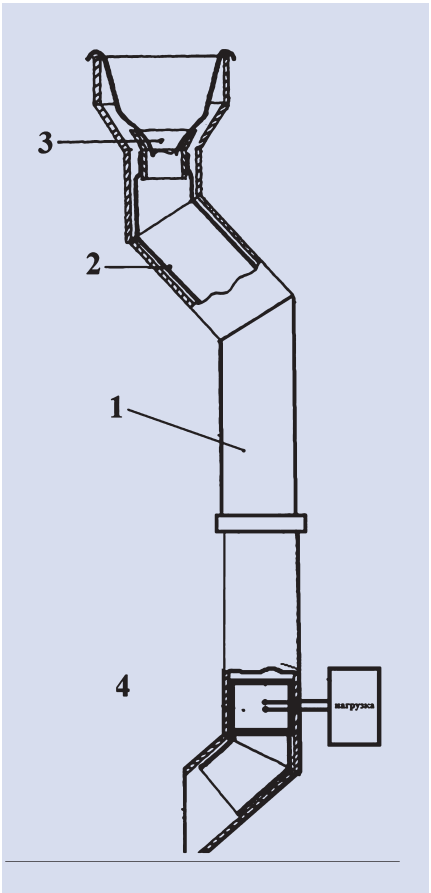


Рис. 9. Водосточная труба: 1 — секция; 2 — рукав; 3 — электрогенерирующий блок; 4 — статор

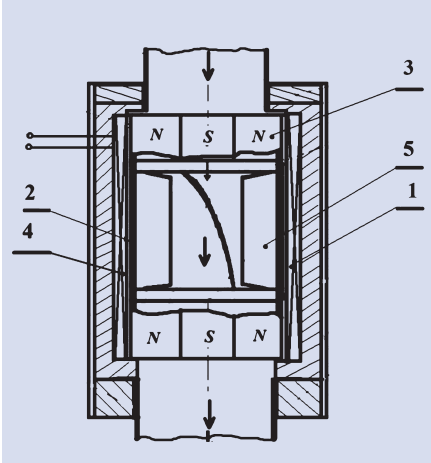


Рис. 10. Электрогенерирующий блок: 1 — первичная электрическая обмотка; 2 — цилиндр; 3 — полоса винила; 4 — теплоизолирующий элемент; 5 — лопасть

лос 3 радиально намагниченного винила чередующейся полярности.

Полый цилиндр и магнитопровод разделены дополнительным теплоизолирующим элементом 4 из композиционного антифрикционного неэлектропроводящего материала, выполняющего функцию радиально-упорного подшипника скольжения и составляющего единое целое с магнитопроводом и пер-

вичной обмоткой. Антифрикционный неэлектропроводящий материал включает компоненты, например фтортермопласт (тефлон, фторопласт), обеспечивающие коэффициент трения между соприкасающимися поверхностями неподвижного магнитопровода и вращающегося полого цилиндра при сухом ходе 0,14–0,15 и не более 0,01–0,02 при наличии воды.

На внутренней поверхности полого цилиндра сформированы и жестко связаны с ним напорные лопасти 5. Торцы статора закрыты кольцеобразными крышками. Стрелками показано направление движения воды.

При атмосферных осадках вода с крыши улавливается водоприемной воронкой и по пластиковому рукаву попадает в электрогенерирующий блок, в котором воздействует на напорные лопасти. В результате полый цилиндр, несущий цилиндрическую периодическую структуру из полос радиально намагниченного винила, начинает вращаться. Магнитное поле, созданное этими полосами, пересекает проводники первичной электрической обмотки, и в последней индуцируется электродвижущая сила. В результате ее действия по цепи, состоящей из первичной обмотки и потребителя, начинает протекать электрический ток.

Электрогенерирующий блок выполняется съемным (на зимний период), его расположение в трубе определяется с учетом вандализационности. Для высотных зданий возможно расположение нескольких блоков в одной водосточной трубе.

Для оценки порядка величины энергосбережения в результате использования данной системы выполнен предварительный расчет применительно к жилому фонду г. Санкт-Петербурга. По официальным данным, жилой фонд Санкт-Петербурга в 2017 г. составлял 18045 зданий общей площадью 126 540 039 кв. м. Предполагалось, что здания имеют плоские крыши. Для всего жилого фонда СПб экономия годовой электроэнергии составила $2,6 \times 10^{11}$ Вт с.

Башенная градирня

Описанный выше энерогенерирующий блок был применен в системе электропитания башенной градирни (рис. 12) [13].

На верху градирни с помощью вертикальных стоек расположен конусообразный экран 1, по кромке основания которого закреплен винтообразный желоб 2. Его нижний конец присоединен к водоприемной воронке 3 водосливной трубы 4,



Рис. 11. Электрогенерирующий блок со снятыми торцевыми крышками

которая сообщается с водосборным бассейном 5. Внутри трубы установлен пластиковый рукав с электрогенерирующим блоком.

Воздушный поток, поступающий снизу вверх внутри градирни, насыщается парами воды и при встрече с внутренней поверхностью конусообразного экрана конденсируется на ней. Капли этого конденсата образуют поток, который стекает в винтообразный желоб. К нему добавляется поток, обусловленный внешними атмосферными осадками. Он попадает в пластиковый рукав вертикальной трубы и при движении по нему инициирует работу электрогенерирующего блока.

Волноэнергетическая установка

Серии взрывов в исключительных экономических зонах Дании и Швеции, в результате которых были разрушены обе нитки «Северного потока-1» и одна из двух нитей «Северного потока-2», в очередной раз подтвердили актуальность непрерывного воздушного и морского мониторинга сооружений такого рода. Функционирование следящих систем связано с необходимостью постоянного обеспечения электропитанием бортовых потребителей. Для этой цели на кафедре «Электротехника и теплоэнергетика» разработана автономная инерционная энергетическая установка (рис. 13) [14].

В отсеках герметичного корпуса 1 находятся радио- и видеоаппаратура, ста-

лизирующий балласт и стакан 2, внутри которого закреплены направляющая 3 и стержень 4. Последний может перемещаться относительно направляющей.

К верхнему концу стержня прикреплен ротор 5 с постоянными магнитами. Статор 6 располагается на внутренней поверхности стакана. Обмотка 7 статора через зарядное устройство соединена с аккумулятором 8, питающего радио- и видеоаппаратуру. Обмотка распределена по боковой поверхности стакана и размещена в пазах направляющей кругового движения, например, в виде направляющей качения (роликового или шарикового типа) или в виде направляющей скольжения.

Форма стакана — усеченный конус. Внутренняя полость корпуса заполнена трансмиссионным или моторным маслом (с вязкостью большей, чем у воды) до уровня его ватерлинии. К верхнему концу стержня прикреплен Г-образный захват 9, охватывающий направляющую и ротор с постоянными магнитами. Нижний конец стержня шарнирно связан с плавающей площадкой 10, имеющей устойчивую форму.

Во время качки корпус 1 со стаканом 2 совершает колебательные движения. Колеблется и масло в стакане, но из-за большей вязкости, чем вязкость воды, в которой находится корпус, амплитуда и частота колебаний масла меньше частоты колебаний воды. Причина этому — устойчивость формы плавающей площадки.

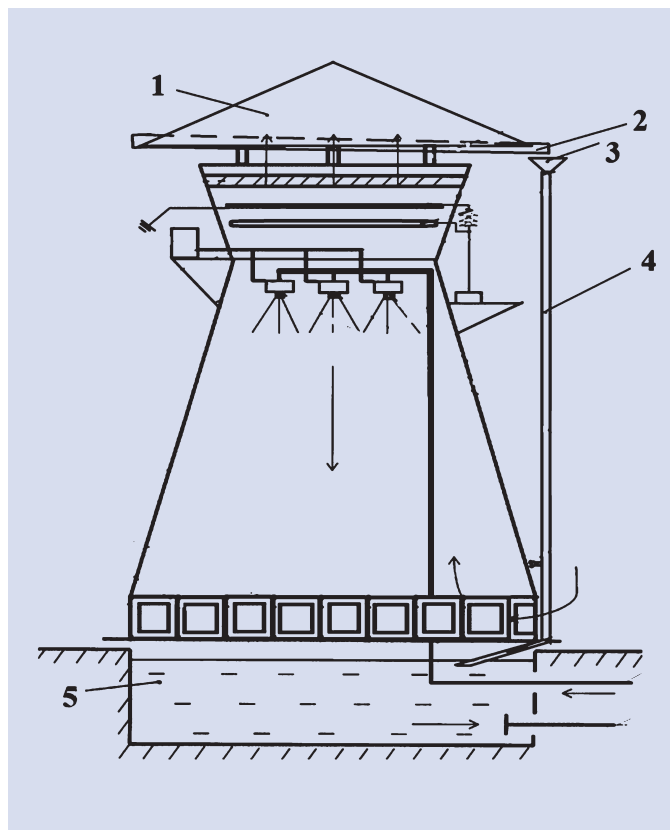


Рис. 12. Градирня: 1 — экран; 2 — желоб; 3 — воронка; 4 — труба; 5 — водосборный бассейн

В результате происходит движение ротора с постоянными магнитами относительно статорной обмотки. Г-образный захват обеспечивает необходимую величину зазора между ротором и обмоткой статора. Магнитное поле постоянных магнитов ротора индуцирует электродвижущую силу (ЭДС) в обмотке, что приводит к появлению зарядного тока. Круговая форма направляющей и шаровой шарнир на нижнем конце стержня обеспечивают генерирование ЭДС при любом направлении движения волн.

Заключение

Таким образом, сказанное позволяет сделать следующие выводы.

1. Реальную альтернативу традиционной энергетике в будущем может составить управляемый термоядерный синтез, крупномасштабная реализация которого возможна только при коллективных усилиях развитых стран.

2. Из остальных известных нетрадиционных и возобновляемых видов энергетике, которые в настоящее время рассматриваются только как дополнение к традиционной энергетике (углеводородной, гидроэнергетики больших потоков, атомной), можно отметить гелио-, ветро- и биоэнергетику.

3. Гелио-, ветро-, биоэнергетику и др. целесообразно использовать для нужд малой (децентрализованной) энергетики.

4. В связи с отсутствием адресной законодательной базы относительно нетрадиционной и возобновляемой энергетики и ориентировкой (в основном) крупного бизнеса, энергетической и транспортной отраслей России на использование ископаемых углеводородов, а также учитывая уровень финансирования, возможности и состояние научной деятельности железнодорожных вузов и квалификацию профессорско-преподавательского состава, целесообразно все же продолжать работу по этой тематике, придавая ей инициативный характер с привлечением студенческих научных обществ.

Исследования мультикоптеров, предназначенных для мониторинга состояния пути электрифицированного железнодорожного транспорта, выполнялись в рамках научного проекта № 24-29-00159, гранта, предоставленного Российским научным фондом на 2024–2025 гг. по результатам конкурса 2023 г. «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами».

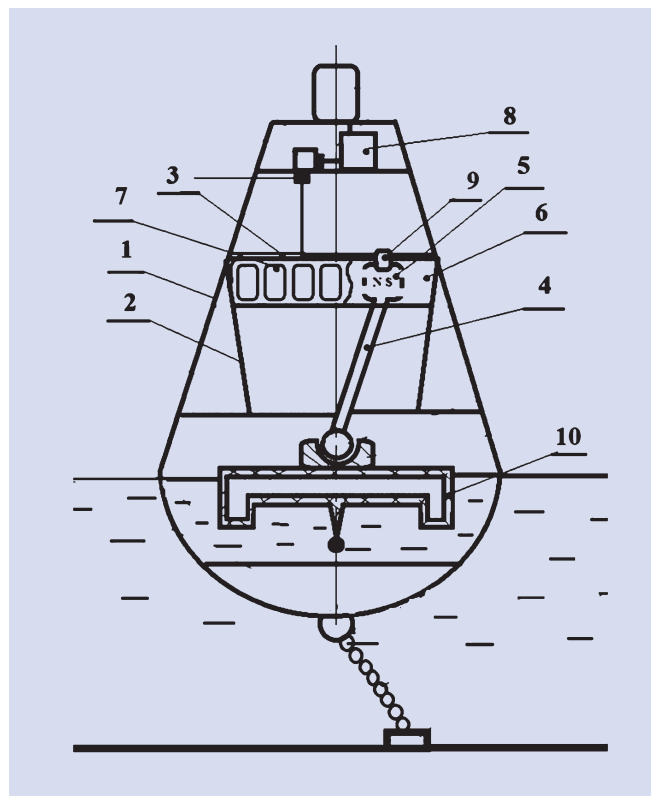


Рис. 13. Волноэнергетическая установка: 1 — корпус; 2 — стакан; 3 — направляющая; 4 — стержень; 5 — ротор; 6 — статор; 7 — обмотка статора; 8 — аккумулятор; 9 — захват; 10 — площадка

Источники

- Капица П.Л. Энергия и физика // Вестн. АН СССР. 1976. № 1. С. 34–43.
- Пат. № 197430. Ветрогенератор. Опубл. 24.04.2020. Б.И. № 12.
- Евразийский патент № 040487. Ветрогенератор. Дата выдачи 09.06.2022.
- Евразийский патент № 043562. Ветрогенератор. Дата выдачи 31.05.2023.
- Евразийский патент № 044737. Ветрогенератор. Дата выдачи 27.09.2023.
- Пат. № 2743584. Биогазовая установка. Опубл. 20.02.2021. Б.И. № 5.
- Пат. № 2804541. Биогазовая установка. Опубл. 02.10.2023. Б.И. № 28.
- Пат. № 218400. Биогазовая установка. Опубл. 25.05.2023. Б.И. № 15.
- Евразийский патент № 042897. Беспилотный летательный комплекс. Дата выдачи 31.03.2023.
- Пат. № 183834. Неослепляющая автомобильная фара. Опубл. 04.10.18. Б.И. № 28.
- Никитин В. В., Марикин А. Н., Третьяков А. В. Вагоны-электростанции с комбинированными энергоустановками // Электротехника. 2016. № 5. С. 25–31.
- Пат. № 2621251. Водосточная система. Опубл. 01.06.2017. Б.И. № 16.
- Пат. № 2689062. Башенная градирня. Опубл. 23.05.2019. Б.И. № 15.
- Пат. № 2677958. Навигационный буй. Опубл. 22.01.2019. Б.И. № 3.