УДК 620.91

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА И ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ «УМНОГО ДЕРЕВА», ОБЪЕДИНЯЮЩЕГО АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА АШХАБАДА

Гуйжов В.Г., Агабаев Р.М., Башимов Б.О.

Преподаватели, Политехническая средняя профессиональная школа Министерства Связи Туркменистана, г. Ашхабад, Туркменистан.

Аннотация: В статье рассматриваются инженерный проект и математическое обоснование гибридной конструкции «Умное дерево» (Smart Tree), объединяющей альтернативные источники энергии (солнце, ветер, дождь) в единую инновационную систему с учетом гидрометеорологических и региональных особенностей города Ашхабада. Для обеспечения стабильной работы накопителей энергии в резко континентальном и экстремально жарком летнем климате Ашхабада предложено новое инженерное решение – размещение аккумуляторных батарей под землей. На основе расчета суточного энергетического баланса системы научно доказана 100-процентная автономность установки.

Ключевые слова: альтернативная энергия, гибридная система, солнечная панель, ветряная турбина с вертикальной осью, пьезоэлектрический элемент, батарея LiFePO4, умный город, экологическая эффективность.

Abstract: The article discusses the engineering design and mathematical justification of the "Smart Tree" hybrid structure, which integrates alternative energy sources (solar, wind, rain) into a single innovative system, taking into account the hydrometeorological and regional features of the city of Ashgabat. To ensure the stable operation of energy storage devices in the sharply continental and extremely hot summer climate of Ashgabat, a new engineering solution is proposed: placing the storage batteries underground. Based on the calculation of the daily energy balance of the system, 100% autonomy of the installation has been scientifically proven.

Keywords: alternative energy, hybrid system, solar panel, vertical axis wind turbine, piezoelectric element, LiFePO4 battery, smart city, environmental efficiency.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время внедрение инновационных концепций «умного города» (Smart City) и «зеленых» технологий в мире и в Туркменистане является одним из приоритетных направлений государственной политики. Важной задачей в обеспечении устойчивого развития столицы выступает использование экологически чистых, возобновляемых источников энергии.

По своим региональным характеристикам город Ашхабад обладает высокой солнечной радиацией (более 300 ясных дней в году) и постоянными ветровыми потоками. В городских парках и местах массового отдыха населения возникает потребность в создании автономных конструкций для зарядки мобильных устройств и обеспечения бесплатного доступа к интернету (Wi-Fi). В данной научной статье анализируются инженерные и научные основы гибридной установки «Умное дерево» высотой и шириной 5 метров, объединяющей силы природы.

1. Анализ гидрометеорологических условий региона

Природные условия города Ашхабада исключительно благоприятны для проектирования гибридных альтернативных систем:

- **Солнечный потенциал:** Количество эффективных солнечных часов в регионе составляет в среднем 5,2–5,5 часа в сутки, что позволяет солнечным панелям выступать основным источником генерации.
- **Ветровой режим:** Горно-долинные ветры Копетдага дуют круглосуточно со средней скоростью 2–5 м/с. Это создает оптимальную аэродинамическую среду для ветрогенераторов с вертикальной осью вращения.
- **Осадки и пыль:** Из-за засушливости климата в парковых зонах наблюдается повышенная запыленность. Редкие дожди используются для выработки микротоков с помощью инновационных пьезо-листьев, а также для естественного очищения поверхности солнечных панелей от пыли.

2. Инженерная конструкция установки «Умное дерево»

В качестве механической основы конструкции выбрана стальная опора (ствол) диаметром 150–200 мм с толщиной стенки 8 мм. Она выдерживает высокие ветровые нагрузки (парусность) и защищает внутреннюю кабельную разводку. Установка крепится к подземному железобетонному фундаменту размером 1,2×1,2×1,4 метра при помощи усиленных анкеров.

Система генерации и потребления электроэнергии включает следующие компоненты:

- Солнечные ветви: 7 гибких монокристаллических солнечных панелей мощностью по 100 Вт каждая (общая мощность — 700 Вт, 24 В).
- Ветряная турбина: Ветрогенератор с вертикальной осью вращения (VAWT) мощностью 500 Вт, расположенный на вершине конструкции (класс защиты IP66).
- Динамические листья: Тонкие лепестки с пьезоэлектрическими (PVDF) и трибоэлектрическими (TENG) элементами, генерирующие микротоки при вибрации от ветра и ударах капель дождя.
- Система накопления энергии: Аккумуляторная батарея LiFePO4 (24 В, 100 А·ч) емкостью 2,4 кВт·ч.

Чтобы предотвратить перегрев и выход из строя электроники и аккумуляторов в условиях экстремальной летней жары Ашхабада (+45...+50 °C), батарейный блок размещен под землей на глубине 1,2 метра в герметичном теплоизолированном термобоксе. Данное инженерное решение позволяет продлить срок службы оборудования до 10 лет.

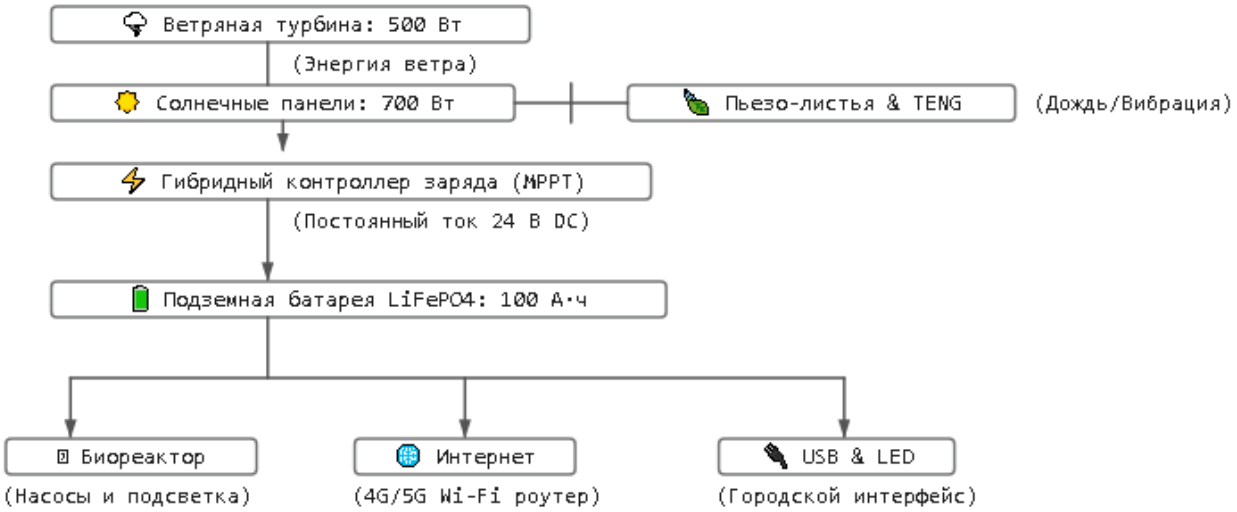


Рис.1. Схема инженерной конструкции установки «Умное дерево»

3. Расчет суточного энергетического баланса (Ашхабад)

Расчет выполнен на основе среднесуточных показателей солнечной радиации (5,3 часа эффективного солнца), горно-долинных ветров Копетдага (средняя скорость 3,5 м/с) и работы накопителя **LiFePO4 24 В / 100 А·ч (2400 Вт·ч)**.

Таблица 1. Расчет суточного энергетического баланса гибридной установки «Умное дерево» в условиях города Ашхабада

Временной интервал	**Генерация: Солнце (700 Вт)**	**Генерация: Ветер (500 Вт) + Пьезо**	**Суммарный приход (Вт·ч)**	**Основные потребители (Wi-Fi, биореактор, USB, LED)**	**Расход энергии (Вт·ч)**	**Баланс за период (Вт·ч)**	**Уровень заряда АКБ**
00:00 – 06:00 (Ночь)	0 Вт	~65 Вт (горный бриз)	**390**	Wi-Fi роутер (15 Вт), LED-подсветка (20 Вт), аэрация биореактора (15 Вт)	**300**	**+90**	82 % → 86 %
06:00 – 12:00 (Утро)	~380 Вт	~45 Вт	**2 550**	Wi-Fi (15 Вт), насосы биореактора (25 Вт), утренняя зарядка USB (20 Вт)	**360**	**+2 190**	86 % → 100 %
12:00 – 18:00 (День)	~420 Вт	~50 Вт	**2 820**	Wi-Fi (15 Вт), биореактор и ионизатор (35 Вт), пиковая зарядка USB (40 Вт)	**540**	**+2 280**	100 % (буфер)
18:00 – 24:00 (Вечер)	0 Вт	~70 Вт (долинный ветер)	**420**	Wi-Fi (15 Вт), яркое парковое освещение LED (40 Вт), USB (30 Вт), биореактор (15 Вт)	**600**	**-180**	100 % → 92 %
ИТОГО ЗА СУТКИ	**~4 800 Вт·ч**	**~1 380 Вт·ч**	**6 180 Вт·ч**	**Все городские и экологические модули**	**1 800 Вт·ч**	**+4 380 Вт·ч**	**100% автономность**

Суточная выработка энергии (**6,18 кВт·ч**) более чем в 3 раза превышает суточное потребление (**1,8 кВт·ч**). Избыточный запас мощности гарантирует бесперебойную работу установки даже в пасмурные или безветренные дни в зимний период (резерв автономной работы от подземного аккумулятора без подзарядки составляет более 30 часов).

ВЫВОДЫ

В результате проведенной научно-исследовательской работы разработан инженерный проект гибридной конструкции «Умное дерево», полностью соответствующий экологическому, современному и инновационному облику города Ашхабада. Благодаря сочетанию трех источников энергии (Солнце + Ветер + Дождь) установка способна бесперебойно функционировать в любое время года и при любых погодных условиях.

Система работает исключительно на низковольтном напряжении (24 В), что делает ее абсолютно безопасной для жизни и здоровья людей. Кроме того, эксплуатация одной такой установки позволяет сократить выбросы углекислого газа (CO_2) в атмосферу на 650 кг в год, обеспечивая значительный экологический эффект.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бяшимов М., Сапаров А. Альтернативные источники энергии и перспективы их использования в условиях Туркменистана // Журнал «Наука». – 2021. – № 3.
2. Алтыев А., Мамедов Б. Возобновляемые источники энергии и климатические условия Туркменистана // Наука и техника в Туркменистане. — 2021. — № 3. – С. 45–52.
3. Маликова Г. Основы концепции «Умный город» (Smart City) и инновационного экологического дизайна. — Ашхабад: Ылым, 2023.
4. Twidell J., Weir T. Renewable Energy Resources. — Routledge, 2015.
5. Wang Z. L. Triboelectric Nanogenerators as a New Energy Technology // Advanced Materials. — 2014. — Vol. 26.
6. Sukenik A., Kaplan A. Bioreactors and Microalgae (*Chlorella vulgaris*) in Urban Ecology // Journal of Biotechnology and Eco-Engineering. — 2022. — Vol. 14. — P. 204–211.
7. Zhang L., Wang J. Vertical Axis Wind Turbines (VAWT) and Flexible Solar Panels Integration in Hybrid Urban Micro-grids // Renewable and Sustainable Energy Reviews. — 2024. — Vol. 88. — P. 112–125.
8. Smith R. Electrostatic Precipitation and Aeroionization for $PM_{2.5}$ Air Purification // Environmental Science & Technology. — 2023. — Vol. 56, No. 4. — P. 2110–2118.