

Список использованных источников

1. Желязко, В. И. Эколого-мелиоративные основы орошения земель стоками свиноводческих комплексов в условиях техногенного загрязнения агроландшафта. Автореферат дис....докт. с.-х. н.: 06.01.02. – Минск, 2005. – 45 с.
2. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический сборник : – Минск : Национальный статистический комитете Республики Беларусь, 2020. – 370 с.
3. Государственная программа сохранения и использования мелиорированных земель на 2011–2015 гг. утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 31.08.2010 № 1262. – Минск, 2010. – 20 с.
4. Закон Республики Беларусь «О мелиорации земель» № 423-3 от 23 июля 2008 г.: принят Палатой представителей 24 июня 2008 г. : одобр. Советом Респ. 28 июня 2008 г. – Минск, 2008.
5. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 гг. // Постановление Совета Министров Республики Беларусь, от 11 марта 2016. – № 196.

УДК 351.814.11

ОПТИМАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРЯНЫХ МИКРОУСТАНОВОК ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АЭРОПОРТОВ

К. О. Мешик

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
kmeshyk@gmail.com

Аннотация

В данном исследовании произведена оценка потенциального применения альтернативных энергоресурсов для электроснабжения аэропорта Шереметьево (г. Химки, Московская область, Российская Федерация). Представлены результаты технико-экономического обоснования использования ветроэнергетических технологий.

Ключевые слова: энергосбережение, возобновляемая энергетика, ветряные микроустановки, аэропорт, воздушная струя.

OPTIMUM USE OF MICRO-WIND TURBINES FOR POWER SUPPLY OF AIRPORTS

К. О. Meshyk

Abstract

In this article assessed the potential use of alternative energy resources for the power supply of the Sheremetevo airport (Khimki, Moscow region, Russian Federa-

tion). The results of a feasibility study for the use of wind energy technologies are presented.

Keywords: energy saving, renewable energy, micro-wind turbines, airport, air jet.

Введение. В современном мире необходимость использования возобновляемых энергоресурсов устанавливается исходя из принципов эколого-экономической рационализации добычи и потребления энергии из традиционных источников, актуальность которой напрямую связана с тенденцией постоянного увеличения количественного состава населения планеты, что неизбежно приводит к динамическому росту общих энергетических нужд [1].

Традиционная энергетическая система предполагает использование природных невозобновляемых ресурсов с целью производства энергии, что обуславливает необходимость предотвращения и замедления их закономерного исчерпания в долгосрочной перспективе. Особую значимость для контроля и предотвращения обозначенной проблемы имеют процессы по снижению истощения мировых запасов углеводородов, а также общей тенденции развития техногенеза. Приоритетным направлением в рамках ее решения является развитие альтернативной энергетической системы, степень глобализации которой возрастет с каждым годом [2].

Ветроэнергетика является одним из ключевых направлений эксплуатации возобновляемого энергетического потенциала. В основе добычи энергии ветра лежит использование кинетических возмущений со стороны перемещаемых воздушных масс с целью тепловой и электрической генерации. Объемная часть энергетического потенциала в годовом периоде для планеты Земля составляет 26,7 млрд тонн условного топлива.

На сегодняшний момент лидером рынка возобновляемых энергоресурсов по установленной мощности является Китай, на долю которого приходится 29,9% от общемирового объема в 2019 году (см. рисунок 1) [3]. Помимо этого, КНР является самым крупным участником рынка сырья и материалов, необходимых для создания ветряных энергоустановок и фотоэлектрических модулей: кремния, стекла, стали, меди, редкоземельных металлов. Согласно данным ежегодного статистического сборника Национального энергетического управления Китая, в 2020 году установленная мощность ветряных энергоресурсов, используемых в рамках производства электроэнергии, выросла на 71 670 МВт [4]. Это превышает общемировой объем развития в рамках данного направления, который по данным Глобального совета по ветроэнергетике составил 60 400 МВт суммарно для всех остальных государств [5].

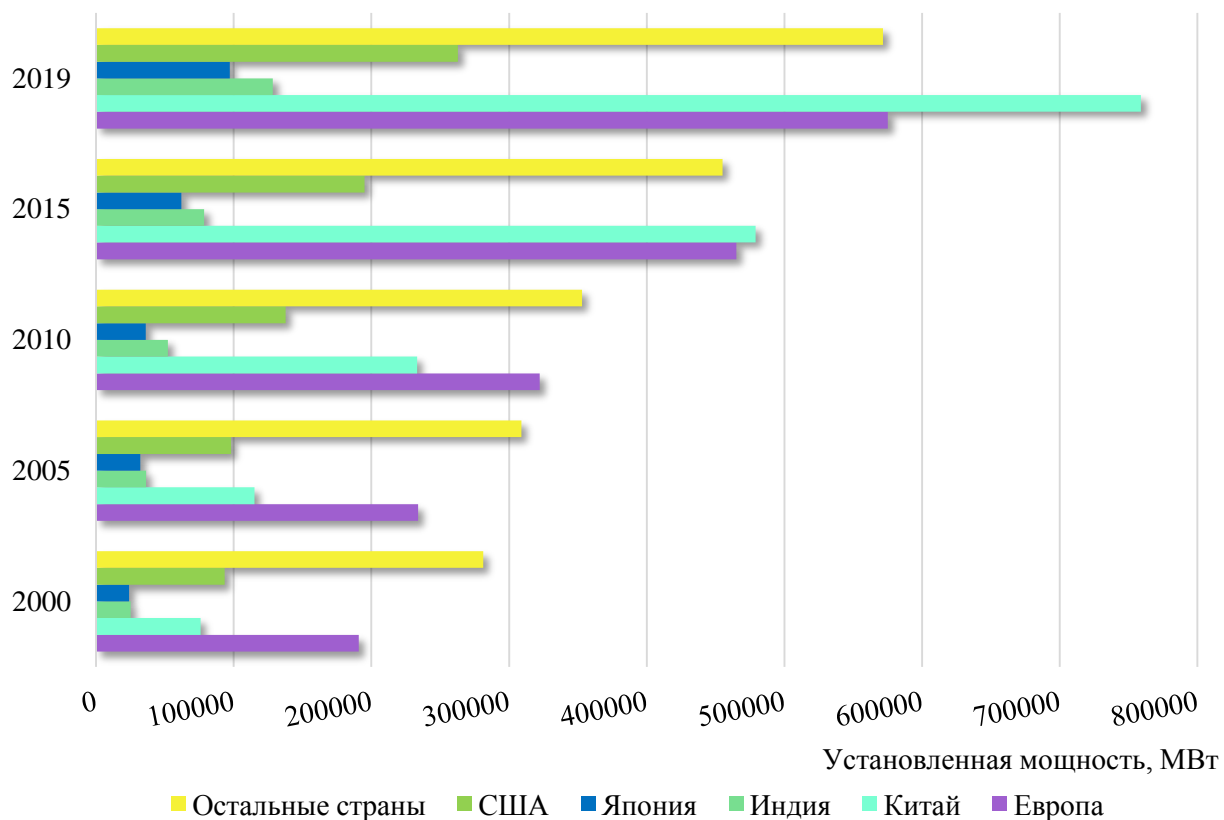


Рисунок 1 – Мировое распределение установленной мощности возобновляемых энергоресурсов

К концу 2020 года в Китае показатель производства электроэнергии за счет ветроэнергетики составил 281 500 МВт, что вносит определяющий вклад в развитие сферы, темпы роста которой закономерно возрастают в ежегодном периоде [4].

Одним из достаточно перспективных мест распределения ветроэнергетических установок являются аэропорты. Это связано с интенсивностью и частотой возмущений воздушных масс. Современная общемировая практика внедрения оборудования ветроэнергетики в систему электроснабжения аэропортов постоянно расширяется. Сегодня ветроэнергетические установки находятся в режиме активной эксплуатации в рамках следующих аэропортов: Аэропорт Сеймур (SEGS), Эквадор; Международный аэропорт Логан (BOS), США; Международный аэропорт Гонолулу (HNL), США; Аэропорт Мартас-Винъярд (MVY), США; Международный аэропорт Миннеаполис/Сент-Пол имени Уолда и Чемберлена (MSP), США; Детройтский столичный аэропорт округа Уэйн (DTW), США; Международный аэропорт Берлингтон (BTV), США; Аэропорт Восточный Мидландс (EMA), Великобритания и другие.

Применение ветровой нагрузки для производства электроэнергии реализовано при помощи габаритных турбин, функциональные возможности которых позволяют эффективно преобразовывать нелокализованные воздушные потоки. Данный подход предполагает использование суммарных возмущений воздушной среды, где влияние производимых авиаперелетов лишь формирует общий ветровой фон. Экономическая целесообразность данной методики также обу-

славливается незначительной удаленностью от электропотребителя, в качестве которого выступает аэропорт.

В рамках текущего исследования выполняется оценка потенциала использования энергии ветра в пространственных пределах взлетно-посадочных полос с целью преобразования возмущений воздушной среды, вызываемых высокоскоростными передвижениями летательных аппаратов. В качестве объекта исследования был выбран аэропорт Шереметьево (г. Химки, Московская область, Российская Федерация). Выборка аэропорта осуществлялась по количественному составу авиаперелетов в рамках установленного временного периода, а также отсутствию эксплуатируемых ветроэнергетических систем для объективной оценки полезной эффективности внедрения. С целью преобразования местного ветроэнергетического потенциала предполагается использование ветряных микроустановок, расположенных количественно и ориентационно в эффективном ключе. Реализация их размещения обуславливается эффективностью преобразования, соблюдением условий выполнения безопасной полетной деятельности в рамках ВПП.

Материалы и методы. Разработана модель, описывающая поведение возмущений воздушной среды в околоземном пространстве аэропорта Шереметьево. Произведена оценка факторов влияния на распределение воздушной струи со стороны летательного аппарата для идентификации наиболее целесообразного размещения ветряных микроустановок с анализом допустимого количественного состава. Выполнено калькулирование и сравнительный анализ энергетических показателей аэропорта Шереметьево до и после внедрения в систему электроснабжения ветроэнергетических установок.

Результаты и обсуждение. В рамках исследования используются фактические данные энергетического состояния аэропорта Шереметьево, полученные во временных пределах 2020 года [6]. Основные критерии, которые характеризуют необходимые объемы электропотребления, отображены в таблице 1.

Таблица 1 – Объем установленной мощности аэропорта Шереметьево в 2020 г.

Месяц	Макс. мощность, МВт	Факт. потребленная мощность, МВт	Резерв. мощность, МВт
Январь	30,51	27,74	2,77
Февраль	30,51	27,76	2,75
Март	30,51	25,98	4,54
Апрель	30,51	15,67	14,84
Май	30,51	13,12	17,40
Июнь	30,51	15,54	14,97
Июль	30,51	19,82	10,70
Август	30,51	22,39	8,12
Сентябрь	30,51	20,54	9,97
Октябрь	30,51	20,87	9,64
Ноябрь	32,98	19,91	13,07
Декабрь	32,98	21,89	11,09

Резкий скачок падения фактически потребляемой мощности в рамках 2020 года на 47,3% от максимального показателя наблюдался в связи с активной фазой развития эпидемиологической обстановки в связи с COVID-19. Мощностные показатели энергопотребления напрямую взаимосвязаны с количественным составом взлетно-посадочных операций. По этим причинам в рамках исследования использовались данные до и после введения ограничительных мер.

Для детерминации потенциальных возможностей энергетической выработки с использованием ветряных микроустановок необходимо располагать данными о характере развития воздушной струи в локальных пределах взлетно-посадочной полосы, а также данными об общем ветровом режиме в пространственных пределах аэропорта. Для оценки последнего использовались данные архива метеорологических наблюдений метеоресурса Яндекс. Погода [7]. Построена околосемная модель распределения ветровой нагрузки с выделением ключевых параметров для расчета энергетического потенциала использования ветряных микроустановок. В качестве временного периода использовались данные средних скоростных показателей возмущений воздушной массы июля 2020 года (см. рисунок 2).

Согласно полученным результатам, наблюдаются перепады возмущений в пределах взлетно-посадочных полос, что связано с невозможностью объективного учета резких порывов со стороны летательного аппарата при помощи данных метеоресурса. Выполнена калькуляция параметров воздушной струи для турбовентиляторного двигателя Alliance GP7200 (см. таблицу 2). Для идентификации скорости испускания потока воспользуемся методом расчета производительности сопла [8].

Скорость струи турбовентиляторного двигателя определяется по следующей формуле

$$V_{вс} = \sqrt{2 \cdot C_{пд} \cdot T_c \cdot \eta_{тд} \cdot \left(1 - \left(\frac{1}{k_c} \right)^{\frac{m_c - 1}{m_c}} \right)}, \quad (1)$$

где $C_{пд}$ – удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/(кг·К); T_c – общая температура в сопле, К; $\eta_{тд}$ – коэффициент полезного действия турбовентиляторного двигателя, %; k_c – коэффициент учета степени давления в сопле; m_c – коэффициент отношения удельных теплоемкостей при постоянном давлении.



Рисунок 2 – Динамика возмущений воздушной среды в пределах взлетно-посадочных полос аэропорта Шереметьево (июль 2020 г.)

Таблица 2 – Результаты расчета воздушной струи для Alliance GP7200

Взлетная тяга, кН	Степень повышения давления	Соотношение тяги к массе, Н/кг	Скорость в точке взлета, м/с	Скорость воздушного потока в сопле, м/с
311	43,9	46,3	69,44	184,33

Полученный результат скорости выпуска является пиковым и закономерно снижается в процессе перемещения воздушной массы. Интенсивность уменьшения напрямую зависит от термодинамических параметров местной воздушной среды.

Для предопределения эффективности вводим модуль снижения полезной эксплуатации ввиду поправки на преодоление расстояния от сопла до воспринимающего элемента. Количественный состав микроветряных установок для аэропорта Шереметьево с тремя взлетно-посадочными полосами предполагается в количестве 36 единиц: по 12 на 3 ВПП с сохранением условий равноудаленности, захвата наибольшего расстояния от момента отрыва и разделения на половину для каждой из сторон.

В качестве воспринимающих элементов возмущений воздушной массы использовались ветряные микроустановки VE-micro [9]. Определяющим критерием подбора является сохранение условий безопасного ведения полетной деятельности. Предполагается размещение ветроустановок за пределами взлетно-посадочных полос, ширина каждой из которых составляет 60 м. Таким образом, учитывая отклонения турбовентиляторных двигателей от центральной оси ВПП на 9,6 м, расстояние до каждого воспринимающего элемента составит 22,4 м. При этом расстояние от края составляет 2 м, что обусловлено необходимостью организации коммуникаций электропередачи, вероятным укреплением стоек ветроустановок. Основные характеристики VE-micro отражены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики VE-micro

Показатель	Значение
Ось	Вертикальная
Высота	2 м
Диаметр	1 м
Ометаемая площадь	2 м ²
Вес	25 кг
Материал лопастей	AISI 6063, стекловолокно
Пусковая скорость ветра	0,3 м/с
Номинальная скорость ветра	8 м/с
Максимальная мощность при ветре	12 м/с
Выключение при скорости ветра	20 м/с
Максимально допустимая скорость ветра	40 м/с
Номинальные обороты генератора	300 об/мин
Номинальный шум	29 dBa
Диапазон температур электрогенератора	-30 °С до +50 °С
Номинальная мощность электрогенератора	250 Вт
Максимальная мощность электрогенератора	750 Вт
Выходное напряжение электрогенератора	12-100 В/48-250В

Располагая всеми необходимыми данными, модуль снижения эффективности выработки для расстояния 22,4 м принимаем 65,5 % от максимальной мощности [10]. Таким образом, пиковые значения выработки, сопровождаемые взлетно-посадочными операциями, составят 0,49 кВт·ч для единичного ветроэнергетического устройства. В остальные периоды времени предполагается околономинальная выработка – 0,18–0,2 кВт·ч.

В аэропорте Шереметьево было произведено 186383 взлетно-посадочных операций в 2020 году. В среднем ежедневно – 510 ВПО. В рамках текущего исследования 35,4 % суточной выработки электроэнергии ветряными микроустановками происходило при максимальной мощности преобразования, тогда как 64,6 % – при околономинальной мощности преобразования.

По результатам метеонаблюдений установлен повышенный ветровой режим в области ВПП 1–2. Принимаем к расчету 0,2 кВт мощности работы для единичной установки. В рамках ВПП 3 – 0,18 кВт.

Результаты расчета отображены в таблице 4.

Таблица 4 – Динамика выработки электроэнергии ветроустановками

	Макс. мощн. уст-ки, кВт	Околоном. мощн. уст-ки, кВт	ВПО, ч	Выработка уст-кой за сутки, кВт·ч	Кол-во уст-к, шт.	Суммарная выработка в сутки, МВт
ВПП 1	0,49	0,20	8,5	7,27	12	0,09
ВПП 2		0,20		7,27		0,09
ВПП 3		0,18		6,96		0,08
Итого					36	0,26

Также были получены показатели во временном периоде до и после возникновения эпидемиологической обстановки. В феврале 2020 года было произведено 27518 взлетно-посадочных операций. Суммарная выработка в месячном

периоде составила – 9,77 МВт. В апреле 2020 года было произведено 4280 взлетно-посадочных операций. Суммарная выработка в месячном периоде составила – 5,91 МВт. При этом себестоимость установок составляет примерно 1,954 млн RUB без учета необходимых комплектующих работ по соединению с системой электроснабжения аэропорта и монтажных работ.

Таким образом, внедрение ветряных микроустановок в обоснованном количественном составе способствует возмещению электрозатрат на 37,62% от общего объема годового потребления.

Заключение. Основные выводы о результатах исследования:

1. Количественный состав производимых взлетно-посадочных операций напрямую влияет на срок окупаемости решений энергосбережения с эксплуатацией ветряных микроустановок. В условиях пандемии показатели ВПО значительно уменьшились, что закономерно сказывается на актуализации внедрения предлагаемого подхода.

2. Пространственное расположение ветряных микроустановок обуславливается, исходя из взаимосочетания факторов эффективного преобразования и сохранения условий безопасного ведения полетной деятельности.

3. Выбранные ветроэнергетические установки имеют диапазон рабочих скоростей в пределах от 0,3 до 20 м/с. С целью качественного учета преобразования энергии необходимо располагать конкретными данными о развитии выпускаемой воздушной массы и полномерно учитывать влияние ветровой нагрузки.

4. По результатам калькуляции установлена возможность замещения 37,62% электропотребления ветряными микроустановками. Тариф на электроэнергию в рамках 2020 года для аэропорта Шереметьево составлял 2,92 RUB за кВт·ч. Всего на нужды электроснабжения потрачено 0,73 млн RUB за данный период. При условии внедрения ветроэнергетических энергосберегающих решений затраты на электропотребление составили бы на 0,28 млн RUB меньше. Срок окупаемости внедрения в данных условиях без учета дополнительных затрат составляет 6,98 лет при сроке эксплуатации до 25 лет.

Список цитированных источников

1. Международные тенденции в области возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс] / Deloitte Development LLC. – Режим доступа: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/energyresources/Russian/mezhdunarodnye-tendencii-v-oblasti-vozobnovlyaemyh-istochnikov-ehn-ergii.pdf>. – Дата доступа : 31.08.2021.
2. Кашкаров, А. П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции / А. П. Кашкаров. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 144 с.
3. Installed Capacity Trends [Электронный ресурс] / IRENA – International Renewable Energy Agency. – Режим доступа: <https://www.irena.org/>. – Дата доступа : 31.08.2021.
4. Статистические данные по национальной электроэнергетике за 2020 год [Электронный ресурс] / National Energy Administration (NEA) of China. – Режим доступа: http://www.nea.gov.cn/2021-01/20/c_139683739.htm. – Дата доступа : 31.08.2021.

5. Сайт Global Wind Energy Council – GWEC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gwec.net/>. – Дата доступа : 31.08.2021.
6. Сайт АО «Международный аэропорт Шереметьево» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.svo.aero/ru/main>. – Дата доступа : 31.08.2021.
7. Сайт Яндекс.Погода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yandex.by/pogoda/>. – Дата доступа : 31.08.2021.
8. Engine Thrust – Summary. Glenn Research Center [Электронный ресурс] / National Aeronautics and Space Administration. – Режим доступа: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/thsum.html>. – Дата доступа : 31.08.2021.
9. Ветрогенераторы [Электронный ресурс] / ИИК «Альтэнерго». – Режим доступа: <http://altenergo.biz/vetrogenerator/>. – Дата доступа : 31.08.2021.
10. Старченко, А. В. Применение микромасштабной метеорологической модели для исследования структуры течения над взлетно-посадочной полосой аэропорта / А. В. Старченко, Е. А. Данилкин, Р. Б. Нутерман, М. В. Терентьева // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2013. – № 5 (25). – С. 91–101.

УДК 621.311.243(476)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ГЕЛИОСИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ БЕЛАРУСИ)

***О. П. Мешик¹, К. О. Мешик¹, М. В. Борушко¹, В. А. Морозова¹,
Е. С. Саркынов², М. М. Мирзоев³***

¹ УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, omeshik@mail.ru

² Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан, sarkynov_e@mail.ru

³ Таджикский аграрный университет имени Шириншох Шотемур, Душанбе, Таджикистан

Аннотация

В работе оценивается целесообразность применения гелиосистем для территории Беларуси. Установлены суммарные значения поступлений солнечного излучения в идеальных климатических условиях при стационарном размещении гелиоустановки, а также с динамическим стремлением к ортогональному закреплению воспринимающей поверхности по отношению к центру солнечного диска на базе одноосевого и двухосевого регулирования. Сделаны выводы о роли географического положения эксплуатируемых гелиосистем.

Ключевые слова: гелиосистемы, установленная мощность, Беларусь, солнечное излучение, стационарное расположение, одноосевое регулирование, двухосевое регулирование.