



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра Прикладной и системной экологии

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

**На тему** Перспективы и экологические аспекты ветроэнергетики в Санкт-Петербурге

**Исполнитель**

Иртюго Елизавета Владимировна

**Руководитель**

кандидат географических наук

Колесникова Евгения Владимировна

**«К защите допускаю»**

Заведующий кафедрой

кандидат географических наук, доцент

Алексеев Денис Константинович

«16» 06 2025 г.

Санкт-Петербург

2025

## Оглавление

Введение .....	3
Глава 1. Физико-географические особенности территории Санкт-Петербурга.....	6
1.1 Географическое положение и климат района исследования .....	6
1.2 Основные климатические риски региона .....	9
1.3 Социально-экономическое развитие региона и потребность в энергии .	10
1.4 Выводы .....	13
Глава 2. Использование альтернативной энергетики в Санкт-Петербурге ..	15
2.1 Проблема использования традиционной энергетики в СПб.....	15
2.2 Анализ возможности использования альтернативных источников энергии в Санкт-Петербурге .....	18
2.3 Развитие ветроэнергетики в Санкт-Петербурге .....	24
2.4 Выводы .....	27
Глава 3. Оценка ветрового потенциала СПб ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1 Методы расчета ветроэнергетических ресурсов .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2 Средняя многолетняя скорость ветра в Санкт-Петербурге (расчет числовых характеристик) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3 Максимальные скорости ветра в Санкт-Петербурге	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4 Функции распределения скорости ветра ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.6 Выводы .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Глава 4. Оценка экологических аспектов использования ветроэнергетики в Санкт-Петербурге .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1 Понятие экологических аспектов (по ISO) .	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2 Анализ основных аспектов и структурированное представление информации об этом .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3 Выводы .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Результаты и выводы .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Список используемой литературы .....	29
Приложение А .....	34

## Введение

В современном мире вопрос энергообеспечения остается актуальным и острым. На данный момент основными источниками энергии по-прежнему остаются традиционные уголь (доля от общего потребления энергии – 34%), нефть (36%) и газ (30%). Но их добыча влечет за собой ряд негативных последствий: ускоренное истощение природных ресурсов, выбросы большого количества углекислого газа, нанесение серьезного ущерба окружающей среде. Именно по этой причине человечество все чаще обращается к альтернативной энергетике. Одним из самых распространенных её источников является ветер.

*Актуальность* исследования обусловлена необходимостью перехода к источникам энергии, характеризующимся низким уровнем негативного воздействия на окружающую среду, что особенно важно в условиях крупного города с высокой антропогенной нагрузкой. Санкт-Петербург – развитый мегаполис с высоким уровнем энергопотребления, но потенциал ветроэнергетики здесь пока не используется.

*Цель* данной работы: оценить климатический потенциал территории Санкт-Петербурга для использования ветроэнергетики и дать характеристику её экологическим аспектам.

Для выполнения цели были поставлены следующие *задачи*:

1. Рассмотреть теоретический материал по теме исследования и дать физико-географическую характеристику территории Санкт-Петербурга.
2. Провести анализ используемых в Санкт-Петербурге ветрогенераторов.
3. Провести оценку ветрового потенциала Санкт-Петербурга.
4. Дать оценку экологических аспектов использования ветроэнергетики в Санкт-Петербурге.

Расчеты и построения выполнены с помощью программы Excel. Для оценки ветрового потенциала получены метеорологические данные с

метеостанции WMO 26063 (аэропорт Пулково, Санкт-Петербург), эксплуатируемой ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» под управлением Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации (Росгидромет) за период с 25 февраля 2005 года по 3 марта 2025 года. Измерения проводились ежедневно с интервалом в 3 часа, что составляет 8 наблюдений в сутки (в 00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 и 21:00 по местному времени). Для анализа использовались: данные о температуре воздуха (градусы Цельсия) на высоте 2 метра над поверхностью земли; направление ветра (румбы) на высоте 10-12 метров над земной поверхностью; скорости ветра на высоте 10–12 метров над земной поверхностью, осреднённой за 10-минутный период, непосредственно предшествовавший сроку наблюдения; максимальные значения порывов ветра за тот же 10-минутный период и за весь интервал между сроками наблюдений (в м/с) [28].

В рамках работы проведён анализ многолетних данных по скорости ветра в Санкт-Петербурге за период 2005–2025 годов. В рамках работы дана экологическая характеристика условий города, выявлены возможные ограничения и преимущества внедрения ветроэнергетических установок в городской среде. Также проведён анализ многолетних данных по скорости ветра в Санкт-Петербурге за период 2005–2025 годов. На основе этих данных рассчитаны статистические показатели (среднее значение, медиана, дисперсия, коэффициент вариации и др.), что позволило оценить стабильность и перспективность использования энергии ветра в регионе.

*Новизна* работы заключается в том, что проведена первая комплексная оценка климатического потенциала для использования ветроэнергетики в Санкт-Петербурге с учётом современных данных о скорости ветра и особенностей городского климата. В отличие от предыдущих исследований, акцент сделан не только на технических характеристиках, но и на экологических последствиях внедрения ветроэнергетики в мегаполисе.

*Личный вклад* в работу состоит в анализе архива данных о погоде Санкт-Петербурга за последние 20 лет. Это делалось для того, чтобы выявить наличие или отсутствие тенденций изменения скорости ветра и оценить перспективы установки ветровых турбин в городе. В работе проведено детальное описание географических и климатических условий Санкт-Петербурга для установки ВЭУ, а также проанализированы максимальные порывы ветра за каждый месяц. Также в работе рассмотрены экологические аспекты расположения ветроустановок в городе, это помогает заранее учитывать возможное влияние на окружающую среду.

*Практическая значимость* состоит в том, что результаты работы могут быть использованы для разработки более эффективных стратегий интеграции ветроэнергетики в энергетический баланс Санкт-Петербурга. Кроме того, они помогут учитывать экологические риски и выбирать более безопасные и подходящие места для установки турбин в городе. А также учесть все важные экологические аспекты до начала строительства.

## Глава 1. Физико-географические особенности территории Санкт-Петербурга

### *1.1 Географическое положение и климат района исследования*

Санкт-Петербург – город, расположенный на северо-западе Российской Федерации, в пределах Приневской низменности, на прилегающем к устью реки Невы побережье Невской губы Финского залива и на 42 островах Невской дельты, которые образованы 86 реками и каналами. На западе, через акваторию Батлийского залива, Санкт-Петербург географически сближен с Эстонией и Финляндией [1].

Также значимая для нашего исследования часть города — это остров Котлин, расположенный в Финском заливе. На его западной оконечности находится Кронштадт. Остров имеет почти равнинный рельеф и окружён морской акваторией, образующей широкие открытые пространства, что создаёт перспективы для использования прибрежных и водных территорий, например, для строительства прибрежных и офшорных ветропарков.

Средняя высота над уровнем моря в центральных районах Санкт-Петербурга составляет 1–5 метров.

Климат Петербурга переходный от умеренно-континентального к умеренно-морскому. Регион находится под постоянным влиянием атмосферных процессов, связанных с активной циклонической деятельностью. Это определяет высокую частоту смены воздушных масс. По данным из архива погоды со станции в Пулковском районе была построена Роза ветров с данными за последние 20 лет до 2025 года (рисунок 1.1.1). Видно, что в Петербурге преобладают ветра юго-западного и западного направлений. Они приносят влажный и относительно теплый (зимой) или прохладный (летом) воздух с Атлантики. Среднегодовая скорость ветра не является экстремально высокой, однако в осенне-зимний период, при прохождении активных циклонов, нередки случаи значительного усиления ветра, особенно на побережье Финского залива и открытых пространствах. Сильные западные ветры могут вызывать нагонные явления в устье Невы, приводящие к подъему уровня воды [3].

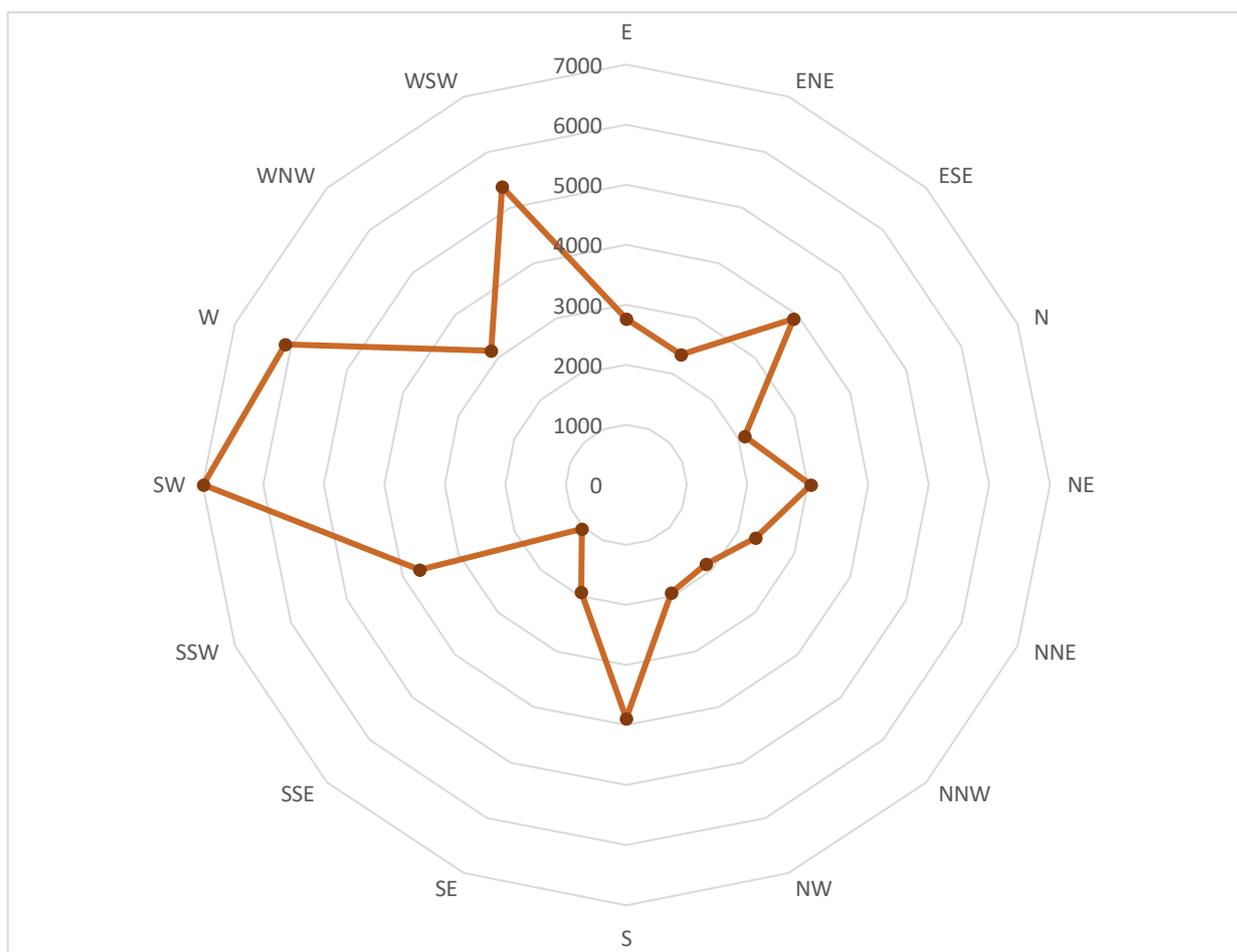


Рисунок 1.1.1 – Роза ветров по направлениям в процентах по гидрометеорологической станции Ломоносов

Максимальная скорость ветра в течение года наблюдается в периоды активной циклонической деятельности, которая наиболее выражена осенью и зимой. В это время атмосфера переживает наибольшие изменения, приводящие к усилению ветров. В июле и августе, наоборот, скорость ветра снижается, так как циклоническая активность ослабляется. Средние месячные значения скорости ветра в эти месяцы не превышают 2,4 м/с в осенне-зимний период и 1,8 м/с летом.

Для периода 1991–2020 гг. среднегодовая температура в Санкт-Петербурге составляла 6,3 °С, однако в период 2005–2025 гг., охваченном в рамках данного исследования, она повысилась до 6,9 °С. Это может свидетельствовать об общем потеплении климата региона, что важно учитывать при планировании

использования ветроэнергетики. Среднее многолетнее число дней в году, когда среднесуточная температура превышает  $0^{\circ}\text{C}$ , в Санкт-Петербурге составляет 246 дней, что указывает на продолжительный период с положительными температурами.

Средняя температура самого теплого месяца, июля, составляет около  $+18\dots+19^{\circ}\text{C}$  до 2020 года. С 2021 года, судя по данным архивов погоды средние температуры июля уже стабильно выше  $20^{\circ}\text{C}$ . Самым холодным месяцем в году на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области является февраль. Среднемесячная температура в этот период варьируется от  $-5,2^{\circ}\text{C}$  в западных районах (например, Кингисепп) до  $-8,3^{\circ}\text{C}$  в более восточных населённых пунктах, таких как Ефимовская и Винницы. Эти значения отражают общую закономерность понижения температур в направлении с запада на восток региона. Экстремально высокие температуры для региона редки, также как и сильные морозы зимой, что подтверждает морское влияние. Годовая амплитуда средних месячных температур относительно невелика для данных широт.

Распределение осадков в течение года достаточно равномерное, с небольшим максимумом в тёплый период (лето-начало осени). Среднегодовое количество осадков составляет порядка 650-700 мм. Осадки преимущественно связаны с циклонической деятельностью и выпадают в основном в виде дождя летом и снега зимой. Регион характеризуется большим числом дней с осадками и высокой относительной влажностью воздуха, среднегодовое значение которой достигает 75-80%.

В целом, климатические условия Санкт-Петербурга, обладая чертами морского и континентального климата, формируют специфическую среду с умеренными температурами, высокой влажностью, значительным количеством осадков и преобладанием западного переноса воздушных масс. Эти факторы, в особенности характеристики ветрового режима, имеют непосредственное значение при оценке потенциала и экологических аспектов развития ветроэнергетики на данной территории.

## *1.2 Основные климатические риски региона*

Погода в Санкт-Петербурге меняется очень часто. Иногда в течение одних суток мы можем наблюдать смену нескольких видов облачности и осадков. Сами эти смены можно назвать климатическим риском для региона, но также это влияет на сложность прогнозирования.

Начнем обзор опасных явлений природы с заморозок. Представляют опасность они – если происходят весной во время активной вегетации растений. Как правило, они связаны с проникновением холодных воздушных масс с северных и северо-восточных направлений. Ситуация усугубляется в ночное время, когда при ясной погоде и слабом ветре (или его полном отсутствии) усиливаются теплопотери за счёт радиационного охлаждения поверхности.

В зимний период немало проблем жителям и коммунальным службам доставляют снегопады и гололед. Ощутимый вред наносится хозяйственной деятельности, автомобильному и железнодорожному транспорту. Сильные снегопады, как правило, наблюдаются при температуре воздуха от  $-14$  до  $+2$  °С, однако чаще всего они происходят в диапазоне от  $-8$  до  $0$  °С. В такие периоды скорость ветра почти всегда остаётся невысокой — не превышает 4 м/с, лишь изредка усиливаясь до 8 м/с. Гололед фиксируется при температуре воздуха вблизи  $0$  °С, особенно в условиях высокой влажности и слабого ветра. Он существенно влияет на проходимость на дорогах [5].

Штормовой ветер – природное явление, которое дает задуматься о возможности применения ветроэнергетики на территории Санкт-Петербурга, но несет проблемы для городских жителей. В своем исследовании «Причины падения деревьев в Санкт-Петербурге» Зимирева В.С. отмечает, что только за 2021 год зафиксировано 642 случая падений деревьев из-за усиленных порывов ветра до 22 м/с. Также это может влиять на движение транспорта, если деревья падают на проезжую часть, движение пешеходов, обрывы проводов, отключение электричества, повреждение крыш и окон [6].

Среди опасных природных явлений, наиболее актуальных для Санкт-Петербурга, особое место занимают наводнения. Они происходят редко, но

являются крайне разрешительными. Одним из самых разрушительных наводнений в истории Санкт-Петербурга стало наводнение 1824 года. Тогда уровень воды поднялся на 4,2 метра, и в городе пострадали тысячи домов. Ещё одно серьёзное наводнение произошло в 1924 году — вода достигла отметки 3,69 метра, были повреждены здания и городская инфраструктура.

С начала 2010-х годов благодаря строительству защитной дамбы частота наводнений заметно снизилась. Однако риск их возникновения по-прежнему сохраняется, особенно при сильных штормах в Финском заливе.

Однако помимо краткосрочных угроз, таких как наводнения, существует и долгосрочная опасность, связанная с повышением уровня Финского залива. Это явление обусловлено глобальным потеплением, которое приводит к таянию ледников и расширению воды в океанах. Несмотря на то, что на данный момент повышение уровня моря в регионе происходит медленно, в перспективе оно может привести к более частым и интенсивным наводнениям, а также к эрозии побережья и потере земельных участков, особенно в низменных районах города. Этот процесс в сочетании с уже существующими угрозами, такими как штормы и циклоны, создаёт дополнительные риски для инфраструктуры и жизни жителей Санкт-Петербурга [7].

### *1.3 Социально-экономическое развитие региона и потребность в энергии*

Санкт-Петербург – один из ведущих городов России по уровню развития. Это также крупный образовательный, промышленный, транспортный, туристический и культурный центр. В экономике страны он также играет ведущую роль, имея при этом большой человеческий капитал.

Вместе со всем миром Петербург также претерпевает изменения в сферах занятости населения. За последние годы к традиционным сферам вроде транспорта, судостроения, тяжелой промышленности присоединились ИТ, строительство и сфера услуг. Город остается, как и было заведено в прошлые века, крупным транспортным и логистическим центром связи с другими странами.

Также, по данным аналитического вестника Санкт-Петербурга, начиная с 2019 года число молодежи составляет стабильно минимум 20-25% от общей численности населения города. Хоть карантин 2020 года и повлиял на снижение количества студентов, в последние два года снова наблюдаются положительные тенденции. В связи с этим активно развиваются такие сферы как туризм, образование, инвестиции. Увеличивается число молодых специалистов и трудоспособного населения в целом [8].

Развитие экономики, увеличение численности населения, территориальное расширение – все это связано с потребностью города в энергии. Для жилых домов, транспорта, промышленных объектов и учреждений требуется стабильный доступ к электроэнергии, а их с каждым годом все больше. Следовательно, для создания стратегии развития энергетики на конкретной территории важно учитывать также долгосрочные перспективы расширения. В городе также имеются промышленные площадки – бывшие заводы, промзоны и т.д., пригодные для переоснащения под нужды ВИЭ.

На данный момент в городе и области преобладает традиционный сектор энергетики. В Санкт-Петербурге энергию получают из трех основных источников: АЭС (Ленинградская АЭС в Сосновом Бору), ТЭЦ ТГК-1 (Центральная, Северная, Юго-Западная и др.), ГЭС (Невская ГЭС). АЭС вырабатывает больше всего энергии (59,39% от остальных источников), но она относится к единой энергосистеме России, которая связывает станции, подстанции и потребителей по всей стране. То есть Петербург получает только часть этой энергии [9].

ТЭЦ же вырабатывает тепло в самом городе. Они расположены во многих районах, и энергия (электричество, горячая вода, отопление) идет локально к своему потребителю. ТЭЦ в Санкт-Петербурге работают на природном газе, он занимает 95% от всех остальных источников энергии. Это делает регион зависимым от внешних поставок [9].

Гидроэлектростанции не являются основными поставщиками электроэнергии, а скорее используются для регулирования частоты и

напряжения в системе. Так, ГЭС в Ленинградской области могут «подстраховывать» основных поставщиков в экстренных ситуациях. Например, быстро изменять мощность, тем самым подстраиваясь под изменение потребления электроэнергии. Или, если в какой-то момент потребление резко возрастает, (например, когда включаются крупные заводы), ГЭС может быстро увеличить выработку энергии, чтобы компенсировать этот всплеск. Также важный момент – поддержка частоты. В энергетических системах поддерживается частота (например, 50 Гц в России), и её нужно держать в стабильном диапазоне. Если частота начинает «плавать», ГЭС могут среагировать быстрее других типов станций. Чаще всего это происходит в моменты, когда вырабатывается больше энергии, чем нужно было. Поэтому, ГЭС также можно отнести к перспективному виду станций, который может помочь в оснащении энергией город [9].

На данный момент тепловая энергетика вполне справляется со своими функциями в масштабах города и области. Но останется ли это таковым, если посмотреть на перспективу? Как писали Федоров и Кривошеев в своей работе «Безуглеродная энергетика как возможное направление развития энергетики региона Санкт-Петербург - Ленинградская область»: "Согласно прогнозу социально-экономического развития Санкт-Петербурга на период до 2035 года ожидается рост населения города до 6,7 млн человек. При обеспеченности общей жилой площадью в 35 кв.м на человека и уровне потребления энергетических ресурсов в многоквартирных домах около 32 кг у.т./кв. м в год потребление тепловой энергии оценивается в 7,4 Гкал на человека. При сохранении темпов роста потребления электроэнергии 1–2 % в год оно может достичь 63–73 ТВт·ч через 50–60 лет." [10]. По данным Комитета по топливно-энергетическому комплексу Санкт-Петербурга, совокупное потребление электроэнергии в городе на данный момент составляет порядка 35–40 ТВт·ч в год.

Данный прогноз дает задуматься о развитии вспомогательного сектора энергетики, такого как альтернативные источники энергии. Прогноз роста потребления энергии в регионе говорит об увеличении численности населения и

улучшению жилищных условий. Все это также коррелирует с основными пунктами стратегии устойчивого развития, принятой в 2015 году на конференции ООН в Нью-Йорке. То есть внедрение альтернативной энергии в том числе связано с улучшением условий жизни, если мы хотим соответствовать нуждам экологической повестки.

#### 1.4 Выводы

Город находится на равнинной местности, имеет развитую речную сеть и доступ к Балтийскому морю. Эти особенности, наряду с умеренно-холодным влажным климатом, определяют потенциал и ограничения внедрения ветроэнергетики, такие как наличие пространства для установки ветрогенераторов, штормовые ветры для их работы, но также холодный климат и ограничения водного пространства в связи с передвижением транспорта.

Климат города характеризуется преобладанием стабильных западных и юго-западных ветров, высокой облачностью, частыми осадками и невысокой инсоляцией. Это ограничивает применение солнечной энергетики. Но использования ветроэнергетики остается возможным из-за ветрового режима.

В Санкт-Петербурге средняя многолетняя скорость ветра составляет 3,1 м/с. Максимальные средние месячные значения наблюдаются в марте (до 4,5 м/с), минимальные — в июле (около 2,4 м/с).

Также были рассмотрены возможные климатические риски: сильные ветры, штормы и наводнения. При проектировании ветрогенераторов важно учитывать риск затопления, чтобы обеспечить их устойчивость и защиту конструкций. Штормы и сильные ветры в определённых пределах полезны для ветряков — при таких условиях выработка энергии может быть максимальной. Но при слишком высокой скорости ветра (выше 25 м/с) турбины отключаются, чтобы избежать поломок. Поэтому при строительстве важно учитывать не только средние, но и экстремальные ветровые нагрузки. На данный момент в Петербурге максимальные порывы скорости ветра достигают лишь 22-23 м/с,

поэтому данный пункт не должен стать проблемной частью работы. Подобные скорости фиксируются очень редко.

Санкт-Петербург представляет собой один из крупнейших индустриальных, научных и транспортных центров России с высоким уровнем энергопотребления. К 2035 году прогнозируется рост энергопотребления в Санкт-Петербурге до 37–41 млрд кВт·ч. Но и имеет хорошую ресурсную базу для внедрения новых технологий: развитая энергосистема, промышленные площадки для переоснащения под нужны ВИЭ, водные ресурсы.

В 2022 году энергопотребление Санкт-Петербурга составило 32,1 млрд кВт·ч. Выработка электроэнергии в городе при этом покрывает около 60% потребности, это свидетельствует о выраженном энергетическом дефиците. Основной объём недостающей энергии компенсируется за счёт перетоков из Ленинградской области, в первую очередь с Ленинградской АЭС. В таких условиях развитие альтернативных источников энергии, в частности ветроэнергетики, может стать одним из решений для повышения энергетической автономности региона.

## Глава 2. Использование альтернативной энергетики в Санкт-Петербурге

В настоящее время традиционные источники энергии продолжают занимать лидирующие позиции по использованию во всем мире. У них, несомненно, есть плюсы, такие как надежность и эффективность. Но в последнее время в игру все активно входят альтернативные варианты получения энергии. Времена меняются, и чтобы понять, в какую сторону двигаться человечеству в отношении получения тепла и энергии, требуется подробно рассмотреть плюсы и минусы использования и применения того и другого вида энергетики.

### *2.1 Проблема использования традиционной энергетики в СПб*

Санкт-Петербург – город миллионник с плотной застройкой, развитой промышленностью и обширной территорией. Для обеспечения жизни такого города требуется огромное количество энергии. В данный момент времени город целиком зависит от традиционных источников энергии, в частности от тепловых электростанций, которые используют природный газ, уголь и мазут. Природные ресурсы, такие как газ, поступают в город по трубопроводам из других регионов (из ЯНАО, Ханты-Мансийской АО и т.д.), что создаёт определённые сложности в использовании системы. Также нужно учитывать, что в Санкт-Петербурге, как в любом северном городе, достаточно длительный отопительный сезон. Но традиционная энергетика имеет свои сложности в применении.

На территории города функционируют 15 тепловых электростанций общей установленной мощностью 4532,8 МВт, которые в 2020 году произвели 20 063 млн кВт·ч электроэнергии. В системе теплоснабжения работают 13 теплоэлектроцентралей и более 1600 котельных, включая 276 котельных, находящихся в ведении АО «Топливо-энергетический комплекс Санкт-Петербурга», которые обеспечивают теплом около 3 миллионов жителей города. Тепловые электростанции, такие как Южная ТЭЦ и Центральная ТЭЦ, играют важную роль в обеспечении энергоснабжения различных районов Санкт-Петербурга. Южная ТЭЦ, являясь самой мощной электростанцией города,

обеспечивает тепловой и электрической энергией промышленные предприятия, жилые и общественные здания южной части города, включая Фрунзенский, Колпинский, Пушкинский и Московский районы. Центральная ТЭЦ обеспечивает энергоснабжение Центрального, Невского, Фрунзенского, Московского и Адмиралтейского районов города. Таким образом, на основе данных администрации Санкт-Петербурга, можно утверждать, что традиционная энергетика остается надежной основой энергобаланса в регионе [11].

Но все же есть слабые места использования исключительно тепловой энергетики. В ее основе лежит сжигание ископаемых видов топлива, а значит может быть оказано значительное влияние на здоровье людей и состояние окружающей среды. Согласно исследованиям, основными загрязнителями являются выбросы углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ), диоксида серы ( $\text{SO}_2$ ) и твердых частиц, которые образуются при работе тепловых электростанций (ТЭС). ТЭС потребляют много кислорода, выбрасывают газы, влагу и твердые частицы. Это может загрязнять не только атмосферу, но гидросферу и литосферу. Кроме того, выбросы ТЭС включают радиоактивные изотопы, которые могут накапливаться в окружающей среде и оказывать длительное воздействие на экосистемы и здоровье населения. При сжигании топлива в процессе работы ТЭС выделяются такие побочные продукты, как тяжелые металлы, в том числе ртуть, и радиоактивные изотопы. Эти вещества, хоть и в малых количествах, накапливаются в экосистеме, что может привести к долгосрочным экологическим последствиям [12-13].

В основе работы большинства ТЭС лежит сжигание ископаемого топлива – угля, нефти и природного газа. Эти ресурсы относятся к невозобновляемым: их запасы истощаются, а процесс воспроизводства занимает геологические эпохи. Когда запасы начнут истощаться, начнется и рост стоимости добычи, переработки и электроэнергии в целом, что скажется на экономике региона. На ближайшие годы запасы России позволяют продолжать использовать традиционную энергетику как основной источник энергии, но в таком случае мы

отходим от соблюдения принципов устойчивого развития. Также в статье «Оценка экономической эффективности модернизации энергетического оборудования» отмечается, что значительная часть оборудования на электростанциях России выработала свой ресурс, что приводит к снижению эффективности и увеличению эксплуатационных расходов [14].

Традиционная энергетика Санкт-Петербурга основана преимущественно на сжигании ископаемого топлива, что приводит к выбросам загрязняющих веществ – углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ), сернистого газа ( $\text{SO}_2$ ) и твердых частиц. Эти выбросы ухудшают качество воздуха, способствуют образованию смога и кислотных дождей, оказывают негативное влияние на здоровье населения и состояние экосистем.

Из-за того, что традиционная энергетика работает в основном на ископаемом топливе, она сильно зависит от внешних условий. Например, если возникают проблемы с поставками угля или газа, это сразу влияет на работу станций. Перебои в логистике, рост цен или санкции – все это может привести к сбоям в энергоснабжении и подорожанию электроэнергии.

К тому же, доставка топлива на дальние расстояния – это всегда риск: от поломок транспорта до плохой погоды. А если оборудование на станциях старое, его сложнее быстро адаптировать под меняющиеся условия. Поэтому важно не полагаться только на один источник энергии. Нужно развивать альтернативные варианты: солнечную, ветровую, может, и другие. Это сделает энергетику более устойчивой и безопасной.

Говорить о дешевизне или дороговизне энергии при использовании традиционной энергетики сложно, так как существует система перекрестного субсидирования. Это значит, что часть расходов на электроэнергию для населения покрывается за счёт более высоких тарифов для бизнеса. Такая система искажает реальные цены, увеличивает затраты предприятий, делает

рынок менее прозрачным и ограничивает возможности для инвестиций в развитие энергетической инфраструктуры.

Сравнение затрат на развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и традиционных тепловых электростанций (ТЭС) показывает, что, несмотря на более высокие начальные инвестиции в ВИЭ, их эксплуатационные расходы значительно ниже. Это делает их более экономически эффективными в долгосрочной перспективе [15].

Исследования, проведённые экспертами Сколково и РАНХиГС, показывают, что при оптимистичном сценарии развития ВИЭ к 2035 году стоимость электроэнергии от ветроэнергетики может снизиться до 1,5 руб./кВт·ч, а от солнечной энергетики до 1,8 руб./кВт·ч. Это сопоставимо или даже ниже стоимости электроэнергии от традиционных источников, таких как газовые и угольные электростанции [15].

Традиционная энергетика сегодня обеспечивает стабильное энергоснабжение Санкт-Петербурга, однако её зависимость от невозобновляемых ресурсов и внешних поставок создаёт определённые риски. Кроме того, работа тепловых электростанций оказывает негативное воздействие на окружающую среду и здоровье населения. В долгосрочной перспективе поддерживать такую модель становится всё сложнее и дороже. Поэтому развитие возобновляемых источников энергии, таких как ветровая и солнечная энергетика, представляется важным шагом для повышения устойчивости и экологической безопасности энергетической системы города

## *2.2 Анализ возможности использования альтернативных источников энергии в Санкт-Петербурге*

В условиях нарастающих экологических и экономических вызовов всё большее внимание привлекают альтернативные источники энергии. Рассмотрим статистику применения ВИЭ в России и ее изменения.

В 2000 годы использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в России находилось на начальной стадии развития. По данным Международного энергетического агентства (IEA), доля возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в общем энергобалансе страны составляла менее 1%. Основным видом ВИЭ, используемым в тот период, была гидроэнергетика, которая обеспечивала выработку электроэнергии на крупных гидроэлектростанциях. Солнечная, ветровая, геотермальная энергия и биомасса фактически не использовались из-за отсутствия необходимых технологий и инфраструктуры. На рисунке 2.2.1 ниже мы можем посмотреть соотношение всех видов топлива и энергии в России, начиная с 1990 года по 2022 год [16].

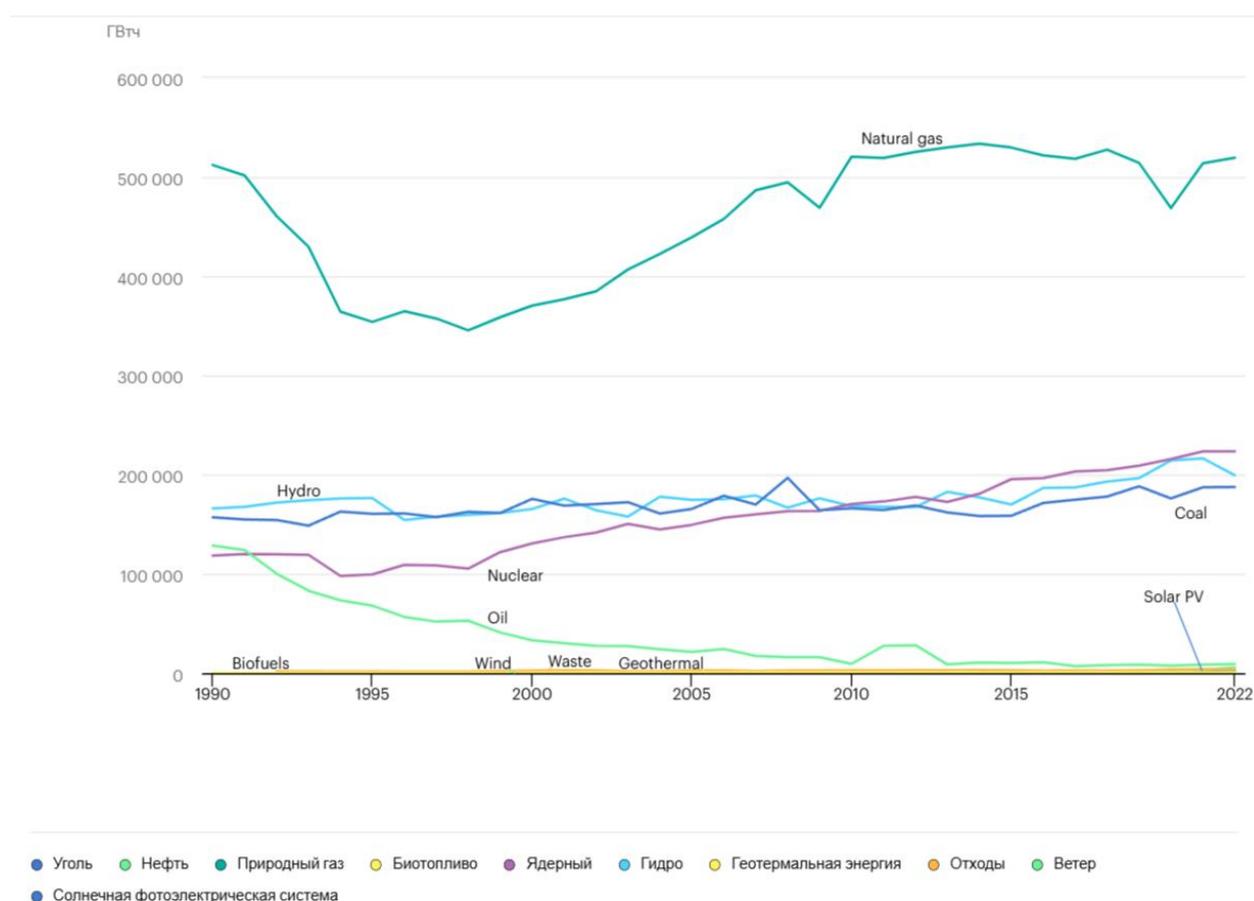


Рисунок 2.2.1 - Производство электроэнергии по источникам, Российская Федерация, 1990–2022 гг. [16]

Мы видим, что гидроэнергетика является стабильным игроком на рынке еще с 1990 года, хоть и претерпевает некоторые скачки. Самую незначительную долю в структуре производства электроэнергии России занимают биотопливо, геотермальная энергия и отходы. Линии на графике, соответствующие этим источникам, практически незаметны. Они находятся у самого низа, и даже на протяжении последних десятилетий не демонстрируют выраженного роста. Производство электроэнергии из отходов в России пока остаётся на довольно низком уровне. На графике видно, что есть небольшой рост, но он незначительный. В масштабах всей энергетики этот источник почти незаметен. Примерно такая же ситуация с геотермальной энергией – график идёт почти по прямой, без заметных скачков. Это связано с тем, что такие станции есть только в отдельных регионах, где есть подходящие природные условия – в основном на Камчатке и Курильских островах.

Что касается биотоплива, то его на графике практически не видно. Вероятно, объёмы настолько малы, что не оказывают большого влияния на выработку электроэнергии. Возможно, биотопливо чаще используется не в электроэнергетике, а, например, в транспорте или для отопления. Солнечная энергетика долгое время практически не участвовала в выработке электроэнергии. На графике её линия остаётся у нуля вплоть до примерно 2014 года. После этого начинается рост, который постепенно ускоряется, но по сравнению с ветром он всё же остаётся более плавным и умеренным.

Ветроэнергетика – один из немногих источников, где действительно видно ощутимый рост. До середины 2010-х годов её вклад был почти незаметен, но затем начинается довольно стремительный подъём. Особенно заметен скачок в последние годы, что, скорее всего, связано с запуском новых ветряных станций и государственной поддержкой в этой сфере. Если в 2016 году совокупная установленная мощность всех ветряных электростанций в стране составляла лишь около 16 МВт, то уже к 2020 году этот показатель увеличился до 970 МВт,

а к концу 2023 года до около 2,2 ГВт. Таким образом, за семь лет рост составил более 13 600%.

Теперь остановимся подробнее на анализе возможности использования альтернативных источников энергии в Санкт-Петербурге.

Солнечная энергетика является крайне перспективным направлением в современном мире. Хотя в Санкт-Петербурге есть определенные ограничения, такие как низкая продолжительность солнечного времени суток большую часть года, некоторые исследования говорят о том, что в качестве сезонной инициативы это может быть хорошее решение. По данным на 2024 год, мощность солнечных электростанций в России составляет около 2,5 ГВт, что значительно превышает показатели 2000 года, когда она составляла менее 0,01 ГВт. Это свидетельствует о быстром росте интереса к солнечной энергетике и её внедрению. Но Санкт-Петербург характеризуется ограниченным количеством солнечных дней и высоким уровнем облачности, это снижает эффективность традиционных солнечных панелей. Решением в данном случае могут стать достижения в области фотовольтаики. Современные солнечные панели делают возможным функционирование даже в условиях пониженной инсоляции и преобладания рассеянного солнечного излучения [17-18].

Даже в условиях низкой солнечной активности, характерной для Санкт-Петербурга, возможно эффективное применение солнечной энергетике. При правильной ориентации модулей особенно хорошо себя показывают монокристаллические панели и гибкие фотоэлементы, которые можно интегрировать в здания [19].

Однако технологический потенциал сам по себе не является гарантией успешного внедрения. Для создания устойчивой инфраструктуры распределённой генерации на базе солнечной энергии необходимо институциональное содействие со стороны органов государственной власти. К числу таких механизмов относятся фискальные и регуляторные меры

стимулирования, включая налоговые послабления, субсидирование капитальных затрат и разработку нормативной базы, способствующей привлечению частных и корпоративных инвестиций в сферу возобновляемых источников энергии [20].

Геотермальная энергетика в России применяется только в регионах с высоким геотермальным потенциалом, таких как Камчатский край. На Камчатке функционируют несколько геотермальных электростанций, включая Мутновскую ГеоЭС (установленная мощность 50 МВт), Верхне-Мутновскую ГеоЭС (12 МВт) и Паужетскую ГеоЭС (планируется увеличение мощности до 12 МВт). Хотя Петербург и нельзя назвать городом с высоким геотермальным потенциалом, технологии низкотемпературных геотермальных систем отопления могут быть успешно интегрированы в городскую инфраструктуру [21].

Про использование биомассы в Санкт-Петербурге нет достаточного количества данных, чтобы делать какие-либо выводы. Скорее всего, о ней пока можно говорить только в формате каких-то частных инициатив. Возможно, используется для отопления жилых или промышленных объектов. На данный момент подобные проекты ограничены локальными масштабами и не приобрели широкого распространения [22].

Гидроэнергетика в черте города также имеет довольно низкий потенциал. Все малые и крупные ГЭС находятся в Ленинградской области, в городе же только выстроена дамба, которая служит барьером и не имеет отношения к выработке энергии. Энергия приливов и отливов имеет теоретический потенциал для использования в Петербурге из-за его нахождения на побережье Финского залива. Но амплитуды данных явлений на данный момент слишком низкие, поэтому эти технологии пока не нашли широкого применения. Возможно, новые технологии в будущем позволят говорить об энергии приливов и отливов как о возможном источнике альтернативной энергии для региона.

Одним из самых перспективных направлений в альтернативной энергетике Санкт-Петербурга в его географических и погодных условиях является ветроэнергетика. В многочисленных исследованиях идет речь о том, что это многообещающее, но мало развитое направление для региона [9-11]. В ряду альтернативных источников энергии ни один не обладает выраженным преимуществом, однако большинство имеют ярко выраженные ограничения, например низкий уровень солнечной инсоляции из-за частой облачности, отсутствие выходов горячих подземных вод на поверхность или ограниченные объемы биомассы в городской среде. Ветроэнергетика же может быть рассмотрена для частного использования при условии грамотного выбора площадок и использования современных технологий даже с нынешними скоростями ветра в регионе.

Подводя итог, в России возобновляемая энергетика пока развивается неравномерно: гидроэнергетика уже давно занимает стабильное место, а солнечная и ветровая энергетика начали быстро расти только в последние годы. Для Санкт-Петербурга перспективными считаются ветроэнергетика и новые технологии в солнечной энергетике, несмотря на природные ограничения, такие как низкое количество солнечных дней и высокая облачность. Геотермальная энергия и биомасса пока мало развиты, а гидроэнергетика в самом городе почти не используется. Для успешного внедрения альтернативной энергетики необходима поддержка государства и развитие инфраструктуры.

В следующем разделе разберем ключевые условия и требования, необходимые для эффективного развития ветроэнергетики в Санкт-Петербурге. Эти факторы включают в себя оптимальные климатические и географические условия, наличие инфраструктуры для подключения к энергосетям, а также нормативно-правовые и экономические аспекты, влияющие на привлекательность ветровой энергетике для инвесторов и разработчиков.

### *2.3 Развитие ветроэнергетики в Санкт-Петербурге*

Несмотря на технологический потенциал и статус крупнейшего мегаполиса Северо-Запада, Санкт-Петербург по-прежнему не входит в число регионов с развитой ветроэнергетикой. Возможно, это обусловлено плотной городской застройкой и инфраструктурой, а возможно – отсутствием грамотно выстроенной стратегии по внедрению ВИЭ в энергетическую систему города. Конечно, немаловажным фактором является дороговизна создание ветряных парков, зачастую стоимость альтернативной энергии из-за этого приравнивается к традиционной. В этом разделе рассмотрены существующие инициативы, характеристика использования ветрогенераторов и возможные инициативы в черте Санкт-Петербурга.

На данный момент в городе существует два крупных проекта ветропарков от компании ООО «Ветропарк». Первый – ВЭС «Дамба» – предусматривает строительство ветропарка мощностью 125 МВт. Располагаться он должен вдоль комплекса защитных сооружений (КЗС) Санкт-Петербурга, с внутренней стороны дамбы — от площадки Горская до острова Котлин (рисунок 2.3.1). Планируется установить около 40 ветрогенераторов высотой до 100 метров каждый. По расчетам ветропарк должен закрыть потребность населения Кронштадта в электричестве. Сейчас находится на стадии реализации без сроков ввода в эксплуатацию [23-24].

Второй проект реализуется на территории Ленинградской области, но является важным объектом для рассмотрения из-за достаточно высоких мощностей. Реализация планируется в Волховском районе, недалеко от поселка Свирица. Мощность станции должна быть около 71,4 МВт, планируемая годовая выработка «зеленой» электроэнергии более 260 000 МВт·ч. Проект был официально представлен в 2022 году и одобрен губернатором Ленинградской области и генеральным директором ООО «Ветропарк». Изначально ввод в эксплуатацию планировался в 2024 году. Но в 2023 году сообщили о переносе

открытия на 2025 год из-за ухода иностранных покупателей «зеленой» энергии с российского рынка и разрыв отношений с зарубежными поставщиками оборудования, такими как Vestas, Enel и Fortum. Проект остается на стадии реализации [23].

На карте ниже примерно отмечены территории, занятые под постройку.

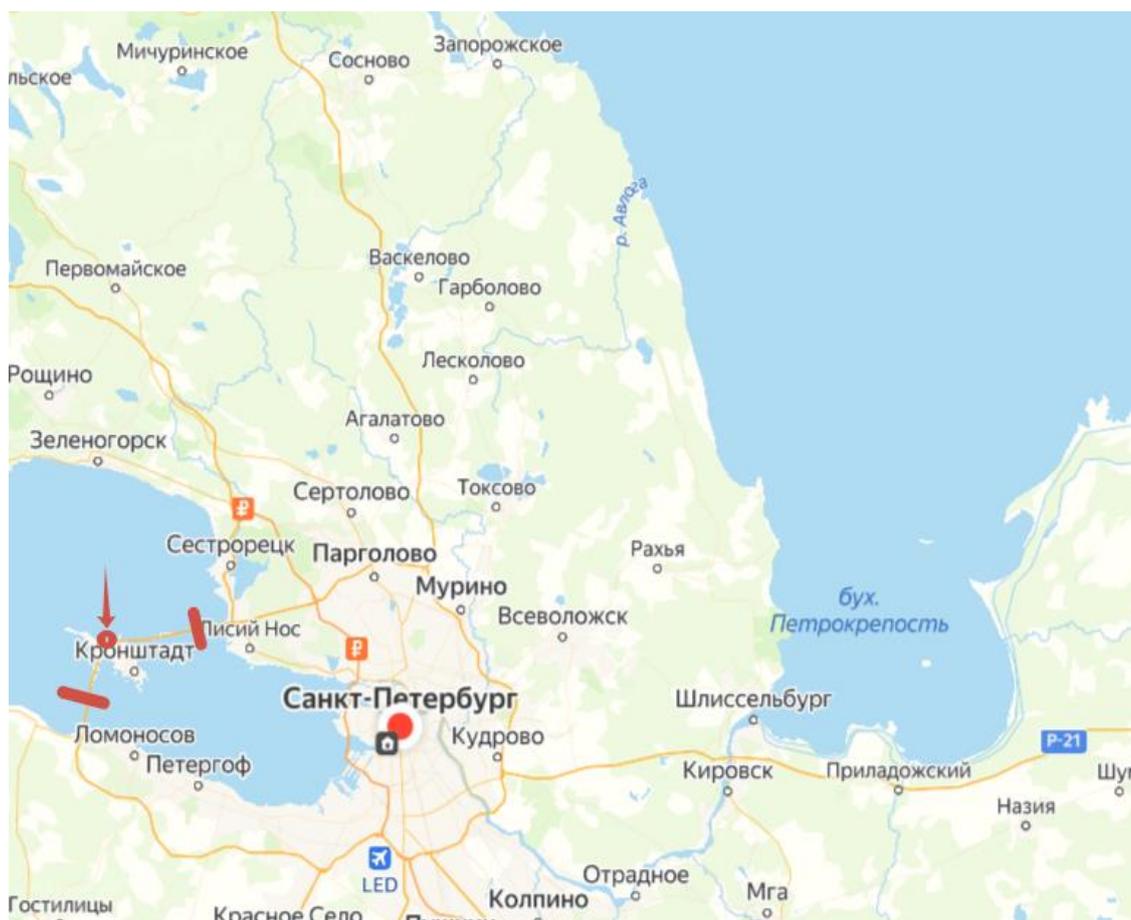


Рисунок 2.3.1 – Территориальное расположение существующих проектов ВЭС на территории Санкт-Петербурга

Для анализа возможности реализации большего количества проектов по ветроэнергетике в Санкт-Петербурге необходимо понять, какие значения и показатели стоит учитывать.

При создании электростанций ВЭУ, ВЭС, ВДЭС необходимо руководствоваться требованиями в соответствии с Градостроительным кодексом РФ, Федеральными законами «О техническом регулировании», «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», «Об отходах производства и потребления», законодательными и нормативными актами [26, 31-33].

Согласно требованиям стандартов проектирования ВЭС, для выбора площадки и обоснования технических решений необходимы данные о ветропотенциале, климатических условиях, экстремальных метеоявлениях, а также многолетние наблюдения о скорости и направлении ветра. Особое значение имеют значения скорости ветра на разных высотах, их обеспеченность, повторяемость и экстремумы. Эти параметры нужны, чтобы оценить эффективность будущей ВЭС и выбрать оптимальный тип установки [25].

Современные ветроустановки требуют определённых условий для эффективной работы. Большинство моделей начинают выработку энергии при скорости ветра от 3–4 м/с, а номинальная мощность достигается при 10–12 м/с. Высота размещения турбин варьируется от 80 до 120 м, а в частном использовании нужно, чтобы высота мачты была выше дома на 3-5 м. Для полноценной эксплуатации одной установки необходима площадь в среднем 0,25–0,5 км<sup>2</sup>, с учётом санитарных и аэродинамических зон. Стоимость оборудования зависит от типа ВЭУ и мощности, но в среднем составляет от 1,2 до 1,8 млн рублей за 1 кВт установленной мощности для промышленных установок [25].

В работе использованы многолетние данные скорости ветра на высоте 10–12 м. Это максимальные доступные значения в открытом доступе для Санкт-Петербурга. Рассчитана обеспеченность ветровых скоростей для оценки частоты ветров, пригодных для ВЭУ с минимальной рабочей скоростью около 3–5 м/с. Например, если скорость 5 м/с повторяется лишь 20% времени, а ниже

преобладает штиль, установка будет нерентабельной. В таких случаях оправдана либо установка более чувствительных турбин, либо пересмотр площадки.

Хотя крупные ВЭУ устанавливаются на высоте 80–100 м, данные с 10–12 м актуальны для анализа малых и частных установок на низких башнях. Полученные результаты дают предварительную оценку ветрового потенциала региона для таких систем.

В следующей главе рассчитаем часть данных показателей непосредственно для Санкт-Петербурга, определим методы расчета ветроэнергетических ресурсов и проанализируем возможность дальнейших проектов в этой области.

## 2.4 Выводы

В настоящее время энергетика Санкт-Петербурга в основном базируется на традиционных источниках энергии, в основном Ленинградская АЭС и тепловые электростанции в Ленинградской области. Это делает энергетическую систему уязвимой и менее маневренной.

Далее были рассмотрены возможности внедрения альтернативной энергетики, включая ветровую, солнечную, биогазовую и тепловую энергию. Установлено, что на территории Санкт-Петербурга в перспективе могут быть реализованы проекты по установке ветрогенераторов и солнечных панелей малой мощности. Но природные условия, а также инфраструктурные и экономические ограничения по-прежнему сдерживают развитие этих направлений.

Снижение использования традиционных энергоисточников и развитие возобновляемых технологий, таких как ветроэнергетика, будет способствовать уменьшению загрязнения воздуха и улучшению качества окружающей среды в Санкт-Петербурге. Это важный шаг к устойчивому развитию региона и сохранению здоровья жителей.



## Список используемой литературы

- 1) Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gov.spb.ru/helper/day/> (дата обращения: 01.04.2025).
- 2) Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=2> (дата обращения: 03.04.2025).
- 3) Мелешко В. П., Мещерская А. В., Хлебникова Е. И. Климат Санкт-Петербурга и его изменения. СПб.: ФГБУ «ГГО им. А. И. Воейкова», 2010. 275 с.
- 4) Перспективы развития ветроэнергетики в России [Электронный ресурс] // Санкт-Петербургский региональный центр по гидрометеорологии. URL: <http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=2> (дата обращения: 06.04.2025).
- 5) Климат Ленинграда / под ред. Ц. А. Швера, Е. В. Алтыкиса, Л. С. Евтеевой. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 246 с.
- 6) Зимирева В. С. Причины падения деревьев в Санкт-Петербурге // Актуальные вопросы лесного хозяйства: материалы VI междунар. молодеж. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 10–11 нояб. 2022 г.). СПб.: ООО «Реноме», 2022. С. 104–109.
- 7) Павловский А. А., Митина Ю. В. Возможные последствия повышения уровня Финского залива в XXI столетии для прибрежных территорий Санкт-Петербурга // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2012. С. 221–226.
- 8) Досуг и социальная активность молодежи в Санкт-Петербурге // Аналитический вестник. № 18. СПб.: СПб информационно-аналитический центр, 2023. С. 3.
- 9) Федоров М. П., Кривошеев М. В. Возможности формирования энергобаланса Северо-Запада России на основе местных ресурсов // Глобальная энергия. 2013. № 3. С. 31–41.
- 10) Федоров М. П., Кривошеев М. В. Безуглеродная энергетика как возможное направление развития энергетики региона Санкт-Петербург – Ленинградская область // Глобальная энергия. 2018. № 2. С. 10–22.

- 11) Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Санкт-Петербурга на 2021–2025 годы [Электронный ресурс] / Администрация Санкт-Петербурга. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ingen/shemy-razvitiya-inzhenerno-energeticheskogo-kompleksa/> (дата обращения: 16.04.2025).
- 12) Гордиенко В. А. и др. Сравнительный анализ радиоактивного загрязнения, создаваемого АЭС и ТЭС, работающими на угле [Электронный ресурс] // Вестник Московского университета. Сер. 3: Физика. Астрономия. 2012. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-radioaktivnogo-zagryazneniya-sozdavaemogo-aes-i-tes-rabotayuschimi-na-ugle> (дата обращения: 16.04.2025).
- 13) Молдагазыева Ж. Ы., Жакан А., Аргынбай А. Воздействие ТЭЦ на окружающую среду [Электронный ресурс] // Символ науки. 2021. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozdeystvie-tets-na-okruzhayuschuyu-sredu> (дата обращения: 16.04.2025).
- 14) Козьмина З. Ю. и др. Оценка экономической эффективности модернизации энергетического оборудования [Электронный ресурс] // Исследовано в России. 2003. № [уточнить]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-ekonomicheskoy-effektivnosti-modernizatsii-energeticheskogo-oborudovaniya> (дата обращения: 16.04.2025).
- 15) Альтернативная энергетика: перспективы развития рынка ВИЭ в России [Электронный ресурс] // Delprof.ru. 2023. URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/alternativnaya-energetika-perspektivy-razvitiya-rynka-vie-v-rossii/> (дата обращения: 16.04.2025).
- 16) International Energy Agency. Data and statistics [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics> (дата обращения: 16.04.2025).
- 17) ЦДУ ТЭК. ТЭК России. Вып. № 7, июль 2024 [Электронный ресурс] // Официальный сайт АО «Системный оператор ЕЭС». URL: [https://www.cdu.ru/tek\\_russia/issue/2024/7/1278/](https://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2024/7/1278/) (дата обращения: 18.04.2025).
- 18) Семакина А. А. Разработка технологий солнечной энергетики для архитектуры города Санкт-Петербург // Молодежная неделя науки ИПМЭиТ: сб. трудов

- всерос. студенч. науч.-учеб. конф. (Санкт-Петербург, 2–4 дек. 2021 г.). В 6 ч. Ч. 1. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. С. 66–69.
- 19) Ширяев А. Д., Крюков К. А. Оценка экономической эффективности работы фотоэлектрических установок на территории города Санкт-Петербурга // Оригинальные исследования. 2022. Т. 12, № 10. С. 246–252.
- 20) Савоскула В. А., Сергиенко О. И., Павлова А. С. Оценка эколого-экономической эффективности применения альтернативных источников энергии для достижения целей Климатической стратегии Санкт-Петербурга // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: IX Междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 13–15 нояб. 2019 г.): в 2 т. Т. 2. СПб.: СПбНИУ ИТМО, 2019. С. 265–269.
- 21) Семенович К. С. Правовое регулирование альтернативной энергетики в России // EESJ. 2020. № 5-4 (57). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovoe-regulirovanie-alternativnoy-energetiki-v-rossii> (дата обращения: 24.04.2025).
- 22) Газпромнефть-Марин Бункер провела первую в России заправку судна биотопливом [Электронный ресурс] // Топливная карта. URL: [https://www.toplivnaya-karta.ru/articles/gazpromneft\\_marin\\_bunker\\_provela\\_pervuyu\\_v\\_rossii\\_zapravku\\_sudna\\_bioplivom/](https://www.toplivnaya-karta.ru/articles/gazpromneft_marin_bunker_provela_pervuyu_v_rossii_zapravku_sudna_bioplivom/) (дата обращения: 24.04.2025).
- 23) Ветропарк WPP Дамба [Электронный ресурс] // Energybase. URL: <https://energybase.ru/power-plant/vetropark-wpp-damba#map> (дата обращения: 24.04.2025).
- 24) Медведева А. А. Актуальные тренды и проблемы развития ветрогенерации в Санкт-Петербурге и Ленинградской области // Индустрия 5.0, цифровая экономика и интеллектуальные экосистемы (ЭКОПРОМ-2021): сб. трудов IV Всерос. науч.-практ. конф. и XIX сетевой конф. с междунар. участием (Санкт-Петербург, 18–20 нояб. 2021 г.). СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. С. 265–268. DOI: 10.18720/LEP/2021.3/74.
- 25) СТО 70238424.27.100.059–2009. Ветроэлектростанции (ВЭС). Условия создания. Нормы и требования. М.: НП «ИНВЭЛ», 2009. 192 с.

- 26) Градостроительный кодекс Российской Федерации: федер. закон от 29 дек. 2004 г. № 190-ФЗ: в ред. от 26 дек. 2024 г. (с изм. и доп., вступ. в силу с 1 марта 2025 г.) // Собрание законодательства Рос. Федерации. — 2005. — № 1 (ч. 1). — Ст. 16.
- 27) ГОСТ Р ИСО 14001–2016. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению (ISO 14001:2015, IDT). Введ. 2017-03-01. М.: Стандартинформ, 2017.
- 28) Meteostat. Метеостанция 26063 – Санкт-Петербург [Электронный ресурс]. URL: <https://meteostat.net/en/station/26063?t=2025-04-22/2025-04-29> (дата обращения: 06.05.2025).
- 29) Рос Ветрогенератор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://spb.rosvetrogenerator.ru/> (дата обращения: 24.04.2025).
- 30) Российская Ассоциация Ветроиндустрии. Часто задаваемые вопросы [Электронный ресурс] // РАВИ. – URL: <https://rawi.ru/services/faq/> (дата обращения: 24.04.2025).
- 31) О техническом регулировании: Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ (в ред. от 26 декабря 2024 г.) // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2002. — № 52 (ч. I). — Ст. 5140.
- 32) О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения : федеральный закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. — 1999. — № 14. — Ст. 1650.
- 33) Об отходах производства и потребления : федеральный закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. — 1998. — № 26. — Ст. 3009.
- 34) Росатом Возобновляемая энергия. Ветроустановка 2,5 МВт [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://rosatom-renewables.ru/production/wey25/>. — Дата обращения: 05.06.2025.
- 35) База данных ветровых турбин [Электронный ресурс]. — URL: <https://ru.wind-turbine-models.com> (дата обращения: 09.06.2025).

36) ГОСТ Р ИСО 14001–2016. Системы экологического менеджмента. Требования с руководством по применению. — Введ. 2017-01-01. — М.: Стандартинформ, 2017. — 33 с.

# Приложение А

Подбор параметров  $C_s/C_v$  по закону распределения Пирсона III типа для ряда максимальных скоростей ветра, Санкт-Петербург, 2005–2025 гг.

