

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РОСГИДРОМЕТ)

КЛИМАТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР РОСГИДРОМЕТА



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ИМ. А. И. ВОЕЙКОВА»



МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
по расчету специализированных климатических характеристик
для обслуживания различных отраслей экономики

Энергетика

Санкт Петербург
2022

УДК 551.58
ББК 26.237
М 54

М 54 **Методические рекомендации по расчету специализированных климатических характеристик для обслуживания различных отраслей экономики. Энергетика.** – Саратов: Амирит, 2022. – 106 с.

ISBN 978-5-00207-015-2

Авторы: Кобышева Н. В., Стадник В. В., Ключева М. В.,
Акентьева Е. М., Разова Е. Н., Фасолько Д. В., Задворных В. А.

Общее методическое руководство осуществлялось
д-ром геогр. наук, профессором Н. В. Кобышевой,
редактирование канд. геогр. наук М. В. Ключевой,
канд. геогр. наук В. В. Стадник

Рецензенты: канд. геогр. наук В. И. Кондратюк (ФГБУ «ГГО»),
канд. геогр. наук А. А. Петерс (СПб ГКУ ЦИОГД)

В методических рекомендациях рассматриваются методы расчета специализированных характеристик, позволяющих ориентироваться в вопросах использования климатических данных и предоставления климатической продукции для энергетической отрасли экономики при решении наиболее актуальных прикладных задач.

Приводятся реестры задач пользователей и климатическая информация (индексы) для энергетической отрасли экономики со ссылками на нормативные документы, в которых содержатся либо значения этих индексов, рассчитанные для станций государственной наблюдательной сети Росгидромета, либо указания на необходимость их использования.

УДК 551.58
ББК 26.237

© Федеральное государственное бюджетное
учреждение «Главная геофизическая
обсерватория им. А. И. Воейкова», 2022

ISBN 978-5-00207-015-2



Подписано в печать 25.05.2022 г. Формат 60×84 1/16. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 6,16. Тираж 150 экз. Заказ № 1907-22.

Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами
в ООО «Амирит», 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 88.

Тел.: 8-800-700-86-33 | (845-2) 24-86-33 | E-mail: zakaz@amirit.ru. Сайт: amirit.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Общие положения.....	5
2 Нормативные ссылки.....	5
3 Методы расчета специализированной климатической информации для энергетической отрасли экономики.....	5
3.1 Разведка и добыча топлива.....	5
3.2 Транспортировка топлива.....	6
3.3 Тепловые и атомные электростанции.....	11
3.3.1 Климатические характеристики для выбора площадки размещения ТЭС и АЭС.....	11
3.3.2 Климатические характеристики для площадок размещения ТЭС и АЭС с водохранилищами-охладителями, градирнями и брызгальными бассейнами.....	14
3.3.3 Расчетные аэрологические характеристики для оценки условий атмосферной диффузии в районе размещения ТЭС и АЭС.....	22
3.3.4 Опасные условия при эксплуатации ТЭС и АЭС.....	28
3.4 Возобновляемые источники энергии.....	33
3.4.1 Солнечная энергетика.....	33
3.4.2 Ветровая энергетика.....	45
3.5 Воздушные линии электропередачи и линии связи.....	51
3.5.1 Ветровые и гололедные нагрузки.....	52
3.5.2 Атмосферные перенапряжения.....	63
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	66
ПРИЛОЖЕНИЕ. Реестр основных задач пользователей и климатическая информация для энергетической отрасли экономики.....	70

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие Методические рекомендации посвящены методам расчета специализированных характеристик, которые широко используются при решении наиболее актуальных прикладных задач энергетики, являющейся одной из стратегически важных отраслей экономики. Надежное функционирование отрасли — важный фактор успешного экономического развития страны, во многом определяющий ее энергетическую безопасность.

Энергетическая отрасль характеризуется большим разнообразием инфраструктуры, каждая составляющая которой является климатозависимой, что делает получение специализированных климатических параметров, предназначенных для учета при проектировании, строительстве и эксплуатации, чрезвычайно важным. Специфика энергетики заключается в том, что продукцию этой отрасли практически невозможно накапливать и сохранять, поэтому потребности в энергии должны быть спрогнозированы и учтены заранее, а также оценены экологические последствия деятельности объектов энергетики.

Описание вероятностно-статистических методов расчета базовых климатических параметров и методов формирования исходных климатических рядов в данной части Методических рекомендаций не приводится, поскольку эти вопросы подробно изложены в опубликованных в 2017 г. методических рекомендациях по расчету специализированных климатических характеристик для обслуживания строительной и транспортной отраслей [1].

Материалы Методических рекомендаций позволят климатологам УГМС ориентироваться в вопросах специализированного обслуживания основных направлений энергетики: добыча и транспортировка топливных ресурсов, производство (ТЭС, АЭС, ВИЭ) и передача энергии (ЛЭП и ЛС).

1 Общие положения

Настоящие Методические рекомендации устанавливают общие положения и основные требования к организации и методологии климатических расчетов и получению специализированных климатических показателей, учитываемых при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов энергетической инфраструктуры.

2 Нормативные ссылки

В настоящих Методических рекомендациях приводится Реестр задач для энергетической отрасли экономики, решаемых на основе и с учетом климатических показателей с указаниями их нормативной принадлежности (Приложение).

3 Методы расчета специализированной климатической информации для энергетической отрасли экономики

3.1 Разведка и добыча топлива

Основные запасы нефти и газа в России сосредоточены на территории, расположенной севернее 60–64° с. ш., т. е. в основном в Арктической зоне, характеризующейся сложными климатическими условиями.

На работы по разведке нефти и газа и разведочное бурение оказывают влияние неблагоприятные условия погоды, усложняющие работы на открытом воздухе. В частности, это метеорологические опасные явления (ОЯ): сильный ветер, особенно при отрицательной температуре воздуха, сильная метель, туман, ливень, обильный снегопад, гололедица на дорогах. Эти явления затрудняют и повышают стоимость работы, а некоторые из них приводят к ее прекращению.

Одной из основных причин аварий во всей инфраструктуре нефтегазовой отрасли, особенно на буровых скважинах, является таяние вечной мерзлоты в связи с потеплением климата, приводящее к деформации грунтов.

На территории северной части России наиболее значительное потепление происходит в марте [6], поэтому данные о термическом режиме воздуха и почвы в этот месяц представляют наибольший интерес. Основными климатическими показателями служат: средняя многолетняя месячная, средняя месячная максимальная и средняя месячная минимальная температура марта. Необходимо также располагать климатической информацией о глубине оттаивания почвы и распределении температуры почвы по глубине.

В районах нефтегазовых промыслов возведены и функционируют буровые установки высотой 30–40 м. Для обеспечения их нормальной работы необходимо учитывать специализированную климатическую информацию для высотных сооружений, в частности: ветровые, гололедные и гололедно-ветровые нагрузки. Расчет ветровых (ветровой напор) и гололедных нагрузок приведен в первой части Методических рекомендаций [1].

Кроме того, бурение и другие работы на буровых установках запрещаются при грозах, поэтому важными специализированными характеристиками являются повторяемость гроз и молниевых разрядов.

3.2 Транспортировка топлива

Транспортировка продукции нефтегазового комплекса осуществляется по магистральным трубопроводам. С помощью магистрального трубопроводного транспорта перемещается 100 % добываемого газа, около 95 % добываемой нефти, более 50 % производимой продукции нефтепереработки.

Магистральные трубопроводы, как правило, прокладывают под землей. Глубина заложения, отсчитываемая от верхнего края трубы, зависит от диаметра трубопровода, характеристики грунтов, теплового режима на уровне заложения, глубины промерзания (оттаивания) грунта. В исключительных случаях трубопроводы могут быть проложены на поверхности в насыпи (наземно) или на опорах (надземно). Такие прокладки допускаются в пустынях, горах, болотах, на вечномёрзлых и неустойчивых грунтах, на переходах через естественные и искусственные препятствия [2].

Наиболее важными специализированными параметрами, определяющими воздействие климатических условий на трубопроводы, являются таяние вечной мерзлоты и показатели теплового режима на уровне заложения трубопровода. Низкая температура грунта, значительная изменчивость температуры во времени и неравномерность ее распределения вдоль трубопровода вызывают термическое напряжение труб, что ведет к гофрированию труб и образованию свищей. Чем больше диаметр трубы, тем меньше опасность такого рода аварий.

Серьезной проблемой, возникающей в процессе функционирования трубопроводов, являются температурные градиенты по сечению трубопровода и его длине. Так, например, значительное число аварий и повреждений промысловых трубопроводов Самотлорского месторождения приходится на летнее время (56 % аварий нефтегазопроводов и 48 % водоводов системы поддержания пластового давления). Большинство таких аварий вызвано максимальными перепадами температур по сечению трубопровода, которые наблюдаются в это время года. В летний период верхняя образующая поверхность наземных нефтегазопроводов нагревается до 40–45 °С, в то время как нижняя часть имеет температуру 31–37 °С. В этих условиях возникают

локальные напряжения, которые могут значительно превысить предел прочности материала труб.

В условиях многолетней мерзлоты деформация трубопроводов может быть вызвана морозным пучением грунта. При этом газопроводы подземного заложения неравномерно смещаются в вертикальной плоскости, что создает изгибные деформации относительно оси трубопровода. В зимнее время замерзание гидратного соединения углеводорода с водой может создавать пробки в трубопроводах.

При проектировании магистральных трубопроводов очень важна информация о глубине промерзания почвы под естественным покровом.

Сезонное промерзание начинается после перехода температуры поверхности грунта через 0°C в область отрицательных значений и достигает максимальной глубины в конце холодного периода.

Глубину сезонного промерзания грунта определяют для:

- расчета нормативной глубины сезонного промерзания;
- определения глубины заложения и выбора типа фундаментов зданий и сооружений;
- определения глубины заложения и выбора типа фундаментов для опор магистральных трубопроводов при одиночной прокладке и прокладке для транспортирования в технических коридорах;
- разработки мероприятий, исключающих возможность возникновения и развития в промерзающих грунтах процессов морозного пучения и растрескивания, вследствие которых развиваются недопустимые деформации оснований и фундаментов;
- разработки мероприятий по охране окружающей среды осваиваемых территорий.

Зависимость глубины сезонного промерзания почвы от суммы отрицательных температур воздуха за холодный период года лежит

в основе расчета нормативной глубины сезонного промерзания грунтов, приведенного в [3].

Нормативная глубина сезонного промерзания грунта (м) определяется по теплотехническим свойствам почвы. Для районов, где глубина промерзания не превышает 2,5 м, ее нормативное значение рассчитывается по формуле (3.1):

$$d = d_0 \cdot M^{1/2}, \quad (3.1)$$

где M — безразмерный коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за зимний период в данном районе, принимаемый по [4], а при отсутствии в этом документе данных для конкретного пункта или района строительства — по результатам наблюдений гидрометеорологической станции, находящейся в условиях, аналогичных с районом строительства;

d_0 — величина, принимаемая равной для: суглинков и глин — 0,23 м; супесей, песков мелких и пылеватых — 0,28 м; песков гравелистых, крупных и средней крупности — 0,30 м; крупнообломочных грунтов — 0,34 м. Значение d_0 для грунтов неоднородного сложения определяют как среднее взвешенное в пределах глубины промерзания.

Нормативная глубина промерзания грунта в районах, где $d > 2,5$ м, а также в горных районах (где резко изменяются рельеф местности, инженерно-геологические и климатические условия), должна определяться теплотехническим расчетом в соответствии с требованиями [5].

Снежный покров препятствует промерзанию почвы. Глубина промерзания зависит от высоты снежного покрова и продолжительности его залегания.

Позднее установление снежного покрова способствует большему промерзанию почвы: в первую половину зимы интенсивность промерзания почвы наибольшая, а установление снежного покрова этому процессу препятствует.

Возможную глубину промерзания почвы под снежным покровом оценивают по глубине нулевой изотермы (см). Положение нулевой изотермы рассчитывают по показаниям вытяжных термометров путем интерполяции соседних глубин, на одной из которых температура положительная, на другой — отрицательная.

Максимальную сезонную глубину грунта с нулевой температурой определяют в целях:

- установления глубины заложения трубопроводов (нефте-, газо-, водопроводов и т. п.) при подземной прокладке и прокладке в насыпи;

- разработки конструктивных решений и мероприятий, удовлетворяющих требованиям морозоустойчивости и исключающих возможность появления недопустимых деформаций земляного полотна и дорожного покрытия.

Выбор метода непосредственного измерения максимальной сезонной глубины нулевой изотермы или метода расчета нормативной глубины сезонного промерзания следует осуществлять с учетом литологического состава грунта и решаемой инженерной задачи.

Для южных районов РФ, где промерзание почвы в отдельные годы наблюдается короткое время и на небольших глубинах, важно учитывать продолжительность безморозного периода на поверхности почвы. В климатическом справочнике [6] приводятся средние и крайние (самые ранние и самые поздние) даты первого заморозка осенью и последнего заморозка весной по показаниям минимального термометра на поверхности оголенного участка почвы. Крайние даты заморозков выбираются непосредственно по данным наблюдений.

Средние даты заморозков получают осреднением ежегодных дат в пределах рассматриваемого периода.

Безморозным называется период от последнего заморозка весной до первого заморозка осенью. Средняя продолжительность безморозного периода на поверхности почвы определяется числом дней между средними датами последнего заморозка весной и первого осенью. Безморозный период на поверхности почвы короче, чем в воздухе: по сравнению с заморозками в приземном слое атмосферы заморозки на поверхности почвы появляются, как правило, раньше, а заканчиваются позже.

На появление заморозков большое влияние оказывает тип и механический состав почвы. На тяжелых суглинистых и глинистых почвах, а также на торфяниках весенние заморозки обычно прекращаются позднее, чем на более легких песчаных и супесчаных почвах; осенью на легких почвах заморозки начинаются раньше, чем на тяжелых.

3.3 Тепловые и атомные электростанции

3.3.1 Климатические характеристики для выбора площадки размещения тепловых и атомных электростанций

Тепловые (ТЭС) и атомные (АЭС) электростанции являются предприятиями, зависящими от метеорологических условий на всех этапах своего существования. Для их проектирования, строительства и эксплуатации необходимы текущие и климатические данные, а также характеристики диффузии приземного и пограничного слоев атмосферы, оценки загрязнения воздуха в пунктах и на площадках нахождения или планируемого размещения ТЭС и АЭС.

Для атомной энергетики актуальна проблема подбора репрезентативных метеорологических и аэрологических станций,

данные которых будут учитываться при проектировании и функционировании объекта.

Если проектируемая АЭС будет расположена в условиях однородного рельефа, обычно используются данные наблюдений ближайших метеорологических и аэрологических станций.

Если строительство объекта предполагается в условиях неоднородного рельефа, например недалеко от крупного водоема, и в этом районе нет репрезентативных пунктов наблюдения, то для получения исходной информации необходима организация метеорологических и аэрологических наблюдений. Продолжительность наблюдений на временной гидрометеорологической станции должна быть достаточной для определения достоверных корреляционных связей изучаемых характеристик с данными опорных станций-аналогов. Метеорологические наблюдения на временных метеорологических станциях должны проводиться не менее одного года, а специальные наблюдения, отсутствующие на опорных стационарных станциях, при необходимости могут продолжаться в течение всего периода изысканий и строительства АЭС.

В таблице 3.1 приводится перечень климатических характеристик, используемых при выборе места размещения ТЭС и АЭС [7].

Таблица 3.1

**Климатические характеристики,
используемые при выборе места размещения ТЭС и АЭС**

Параметр	Характеристика
Солнечная радиация	Месячные и годовые суммы прямой, отраженной, суммарной радиации и радиационного баланса (МДж/м ²), продолжительность солнечного сияния (ч)
Температура воздуха	Среднемесячные и среднегодовые значения, абсолютные максимумы и минимумы, температура воздуха наиболее холодных суток и пятидневки обеспеченностью 0,92 и 0,98, расчетные максимальные

Параметр	Характеристика
Температура почвы и грунта	и минимальные температуры воздуха различной обеспеченности, в том числе 0,01 %, продолжительность и средняя температура периодов со среднесуточной температурой не ниже 0 °С и 8 °С Средние и экстремальные температуры на стандартных глубинах, средние и экстремальные глубины нулевой изотермы (см)
Влажность воздуха	Парциальное давление водяного пара, дефицит насыщения (гПа), средняя относительная влажность воздуха, в том числе в наиболее жаркое время самого теплого и самого холодного месяцев (%), среднее число дней с относительной влажностью не менее 80 % и с относительной влажностью не более 30 %
Осадки	Средние месячные и годовые суммы, годовые суммы различной обеспеченности, в том числе 0,01 %, наблюдаемые и расчетные максимумы за сутки, за 1 ч, за 20, 10 и 5 мин заданной обеспеченности, в том числе 0,01 %; внутригодовое распределение осадков для характерных лет, в том числе для года 97 % обеспеченности (мм)
Ливни	Среднее значение интенсивности (мм/мин) и повторяемости (%) ливней, достигающих 30 мм/ч и более; суммы осадков, превышающих 50 мм за 12 ч (мм)
Снежный покров	Средние и наибольшие декадные высоты снежного покрова (см), расчетное значение ежегодного максимального содержания воды в снеге (кг/м ³) обеспеченностью 0,01 %, средняя высота снежного покрова при количестве твердых осадков, превышающем 20 мм за 24 ч (см)
Испарение	Месячные и годовые суммы испарения с водной поверхности и суши (мм), внутригодовое распределение испарения для характерных лет, в том числе для года 97 % обеспеченности
Атмосферное давление	Среднемесечные, максимальные и минимальные значения давления, а также минимальное давление (гПа) при ураганах

Параметр	Характеристика
Ветровой режим	Повторяемость направлений ветра по 16 румбам и штилей (%), расчетные максимальные скорости ветра различной обеспеченности, в том числе 0,01 % (м/с), среднее и наибольшее число дней в году с ветром более или равным 6, 8, 10 и 15 м/с, повторяемость штилей и слабых ветров до 2 м/с за холодный период и год, повторяемость различных градаций скорости ветра (%)
Неблагоприятные метеорологические явления	Туманы, грозы, град, гололед, метели и др., их средняя продолжительность (ч) и повторяемость (%) по месяцам, сезонам и за год, объем снеготранспорта (м ³ /м) за зиму с максимальной продолжительностью метелей, повторяемость (%) туманов, гроз, града, гололеда, метелей различной продолжительности
Смерчопасность территории	Оценка вероятности возникновения смерчей, расчетная максимальная горизонтальная скорость вращательного движения стенки смерча, перепад давления между периферией и центром воронки
Ураган (тайфун)	Вероятность прохождения и расчетные характеристики вероятного максимального урагана (тайфуна)
Пыльная буря, пыльная мгла	Оценка средней и наибольшей повторяемости (%) и продолжительности (ч), средней концентрации пыли на различных высотах до 40 м при ветре разных направлений

Примечание: Перечисленные в таблице 3.1 параметры входят в состав расчетных характеристик, необходимых для выбора площадки размещения АЭС, в соответствии с СППНАЭ-87 (п. 4.13.10.5 п. 4.1).

3.3.2 Климатические характеристики для площадок размещения ТЭС и АЭС с водохранилищами-охладителями, градирнями и брызгальными бассейнами

При составлении климатической характеристики площадки размещения ТЭС или АЭС необходима дополнительная

климатическая информация для принятия проектных решений по системам технического водоснабжения.

Техническое водоснабжение тепловых электростанций осуществляется и проектируется по прямоточной и оборотной схемам с использованием естественных или наливных водоемов-охладителей, градирен и брызгальных устройств. Для атомных электростанций, как правило, техническое водоснабжение осуществляется по оборотной схеме с наливными водоемами-охладителями и, соответственно, с применением градирен и брызгальных устройств.

При расчетах систем технического водоснабжения используются комплексные климатические параметры, включающие различные сочетания температуры и влажности воздуха (таблица 3.2).

Таблица 3.2

**Специализированные комплексные климатические характеристики
для расчетов технического водоснабжения**

Назначение информации	Комплекс характеристик
<i>Общая</i> Для расчетов водоснабжения	Предельные значения относительной влажности воздуха (%), соответствующие абсолютным и расчетным (обеспеченностью 0,01 %) максимумам и минимумам температуры воздуха Суточный ход температуры (°C) и влажности воздуха (%) в течение жарких суток расчетной обеспеченности Температура воздуха, более высокие значения которой в средний по термическим условиям год составляют менее 220 и 400 ч в году (°C), и соответствующая ей относительная влажность (%) Средние температуры воздуха (°C) самой жаркой и самой холодной пятидневки (обеспеченностью 0,98 и 0,92) и соответствующая им относительная влажность (%) Средняя температура воздуха в 15 ч по местному времени самого жаркого и самого холодного

Назначение информации	Комплекс характеристик
<i>Дополнительная</i>	месяцев (°C) и соответствующая этим температурам относительная влажность (%)
При проектировании градирен	Кривые повторяемости средней суточной температуры воздуха и связи температуры воздуха со средневзвешенной влажностью за «неблагоприятный» (неотопительный) период для лет обеспеченностью 10 и 50 %; совмещенные хронологические графики суточных значений температуры и относительной влажности; суточный ход скорости ветра в течение «неблагоприятного» периода; предельные значения относительной влажности воздуха (%) при температуре выше 20 °C для тех же лет; максимальные среднедекадные и среднемесечные температуры воды водоема, используемого для подпитки градирен; хронологический график средней суточной температуры воды водоема для тех же лет
При проектировании водохранилищ-охладителей	Характеристика самой жаркой декады года 10 % обеспеченности по средней температуре «неблагоприятного» (неотопительного) периода: средние суточные, средние и предельные за декаду значения температуры (°C) и влажности воздуха (%), средней суточной температуры воды водоема-аналога (°C), суточный ход скорости ветра (м/с), облачности (балл), осадков (мм)
При проектировании брызгальных бассейнов	Характеристика самой жаркой пятидневки года 10 % обеспеченности по средней температуре «неблагоприятного» периода: среднесуточные, средние и предельные за пятидневку значения температуры (°C), влажности воздуха (гПа), общей и нижней облачности (балл), осадков (мм), скорости ветра (м/с) на высотах 2 и 10 м, суточный ход скорости ветра и облачности

Расчет температурно-влажностных параметров атмосферного воздуха

В технологические расчеты проектирования градиен включаются параметры, рассчитываемые по средней суточной температуре воздуха по сухому и влажному термометрам (или относительной влажности воздуха), полученные по многолетним наблюдениям при обеспеченности 90–99 % (ранжирование ряда от минимума к максимуму) за летний период (июнь, июль, август).

Обеспеченности 99 % соответствует продолжительность периода сохранения температуры или влажности в течение одного дня, обеспеченности 95 % — 5 дней и обеспеченности 90 % — 10 дней в году.

Для упрощения построения интегральных кривых длительности стояния температур можно воспользоваться в программе Excel надстройкой «Анализ данных» (расположен во вкладке «Данные»; если команда «Анализ данных» недоступна, необходимо загрузить надстройку «Пакет анализа»), выбрав в ней инструмент «Гистограмма», который применяется для вычисления выборочных и интегральных частот попадания данных в указанные интервалы значений (рисунок 3.1). При этом рассчитываются числа попаданий для заданного диапазона ячеек (карманов). Внутри пакета следует установить галочки «Интегральный процент» и «Вывод графика». Карманы задаются самостоятельно с любым интервалом. Для температуры воздуха рекомендуется задавать диапазон 2 °С. На выходе получается таблица и график для представления и дальнейшего использования (рисунок 3.2). Этот пакет удобен для обработки больших массивов данных.

Кривые длительности стояния температуры по влажному термометру и относительной влажности строятся аналогично. В данном случае все эти характеристики рассчитываются самостоятельно, независимо друг от друга.

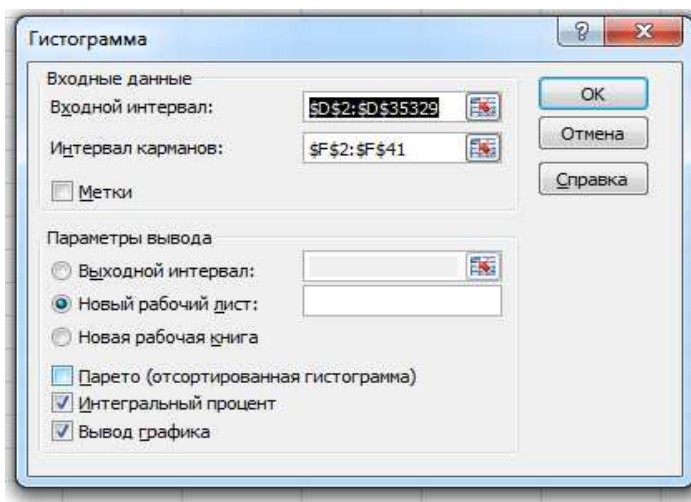


Рисунок 3.1 – Инструмент «Гистограмма» в пакете «Анализ данных»

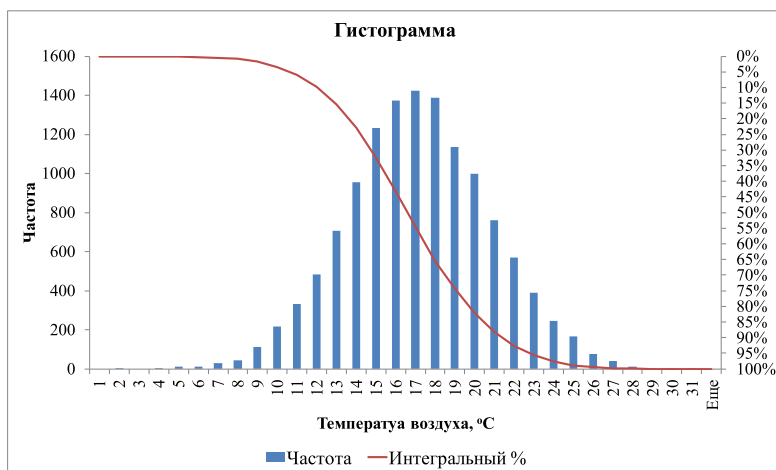


Рисунок 3.2 – Пример распределения летних средних суточных температур. Санкт-Петербург, 1966–2019 гг.

Однако существуют задачи, требующие совместного распределения, например, температуры и влажности воздуха или параметров, необходимых для расчетов и проектирования систем холодоснабжения и кондиционирования воздуха жилых, общественных и производственных зданий (температуры и энтальпии, температуры и влагосодержания). В этом случае необходим расчет комплекса указанных характеристик.

Удельная энтальпия h (кДж/кг) определяется по формуле:

$$h = t + \frac{d}{1000} \cdot (2501 + 1,86 \cdot t), \quad (3.2)$$

где t — температура, °С;

d — влагосодержание, г/кг.

Абсолютное влагосодержание d (г/кг) рассчитывалось по формуле:

$$d = 622 \cdot P_s / (P_0 - P_s), \quad (3.3)$$

где P_s — парциальное давление водяного пара, гПа;

P_0 — давление атмосферного воздуха, гПа.

При проектировании ТЭС и АЭС учитываются характеристики температурно-влажностного комплекса за период, определяемый как разность между числом дней в году и продолжительностью отопительного периода в днях (в нормативных документах носит название «неблагоприятный»). За этот период для каждого срока наблюдений выбираются синхронные значения температуры и влажности воздуха (энтальпии, влагосодержания) за весь расчетный период. При построении комплекса удобно использовать инструмент Excel «Сводная таблица» и ее функцию во вкладке «Параметры» «Группировка по выделенному» (таблица 3.3).

Таблица 3.3

Пример расчета температурно-влажностного комплекса суточных значений температуры воздуха и относительной влажности. Санкт-Петербург, 1966–2019 гг.

Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %													Сумма по температуре нарастающим итогами	Повторя- емость, %	Среднезве- шенная влажность	
	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60	61-65	66-70	71-75	76-80	81-85	86-90	91-95	96-100				
7				2						1				3		0,1	61
8					1	4	2	1	2		2			12	15	0,3	56
9					1	1	5	6	1	2	1		1	32	47	1,1	58
10	2	1	3	7	3	11	13	15	12	7	8	1	1	84	131	3,0	52
11		3	3	10	7	24	26	16	14	16	4	1		124	255	5,8	54
12	1	3	6	10	7	29	36	25	23	19	6			165	420	9,5	56
13		3	4	18	18	29	53	37	39	38	14		1	254	674	15,3	53
14		3	11	22	27	42	41	62	56	22	11	1	3	301	975	22,1	58
15	1	13	24	48	61	72	72	61	43	13	3	4		415	1390	31,5	56
16	1	8	15	21	41	67	93	105	72	39	18	4		484	1874	42,4	58
17	1	4	16	34	58	67	105	89	82	38	14			508	2382	53,9	59
18	3	5	14	38	59	93	106	95	71	34	9			527	2909	65,9	60
19	6	6	22	35	50	77	93	75	37	15	2			418	3327	75,3	61
20	1	9	16	32	43	66	65	66	33	4	1			336	3663	82,9	63
21	5	5	10	24	36	65	53	31	14	5				248	3911	88,6	61
22	1	5	12	25	36	40	39	22	10	1				191	4102	92,9	61
23	2	7	11	23	32	29	20	6	5					135	4237	95,9	59
24	3	5	3	16	21	21	9	4						82	4319	97,8	58
25	1	3	5	13	10	7	3							42	4361	98,8	55
26		4		6	10	4	2							26	4387	99,3	56
27		2	5	5	4	3								19	4406	99,8	53
28	1			1	1									3	4409	99,8	49
29			3	1	1									5	4414	100,0	51
30		2												2	4416	100,0	43
Сумма по влажности	29	79	173	368	518	745	832	728	538	283	103	10	10				
Сумма по влажности с нарастающим итогами	29	108	281	649	1167	1912	2744	3472	4010	4293	4396	4406	4416				
Повторяемость, %	0,7	2,4	6,4	14,7	26,4	43,3	62,1	78,6	90,8	97,2	99,5	99,8	100,0				

Для каждой градации температуры рассчитывается среднее значение влажности (как среднее взвешенное):

$$\bar{R} = \frac{\sum_1^k R_i n_i}{n_k}, \quad (3.4)$$

где R_i — средняя взвешенная для каждого интервала температуры относительная влажность;

n_i — число случаев в i -интервале;

n_k — общее число случаев температуры в k -интервале попаданий значений относительной влажности;

k — число интервалов по температуре.

По данным таблиц комплекса можно построить график интегрального распределения температуры воздуха (аналог рисунка 3.2) и график связи между температурой и средневзвешенной относительной влажностью воздуха.

Оценка испарения и испаряемости

Выбор метода расчета испарения зависит от поставленной задачи, наличия исходных данных и требуемой точности результатов расчета.

Годовую сумму испарения с водной поверхности (или испаряемость) можно ориентировочно получить при суммировании месячных сумм испарения E_m (мм), вычисленных по эмпирической формуле Иванова [8]:

$$E_m = 0,0018 \cdot (25 + t)^2 \cdot (100 - f), \quad (3.5)$$

где t — средняя месячная температура воздуха в рассматриваемом регионе, °С;

f — средняя месячная относительная влажность воздуха, %.

Для расчета испарения с водоема, расположенного на равнинной территории, в разработанном Республиканским гидрометеорологи-

ческим центром Республики Беларусь нормативном документе [9] приводится формула:

$$E_0 = 0,14n(e_0 - e_{200})(1 + 0,72 u_{200}), \quad (3.6)$$

где e_0 — среднее значение максимальной упругости водяного пара, вычисленное по температуре поверхности воды в водоеме, гПа;

e_{200} — среднее значение упругости водяного пара над водоемом на высоте 200 см, гПа;

u_{200} — средняя скорость ветра над водоемом на высоте 200 см, м/с;

n — число суток в календарном месяце, а в начале и конце безледоставного периода — соответствующее число суток от даты вскрытия до конца данного месяца и от начала последнего месяца безледоставного периода до даты замерзания водоема.

Максимальная упругость водяного пара, скорость ветра принимаются средними за месяц (или неполный месяц) и осредняются для всех точек наблюдения над акваторией водоема.

При расчете средних многолетних величин испарения значения гидрометеорологических параметров осредняются за весь период наблюдений для каждого месяца. При отсутствии наблюдений над акваторией водоема максимальная упругость водяного пара, абсолютная влажность воздуха, скорость ветра рассчитывается по наблюдениям ближайших к водоему пунктов наблюдений (ПН).

3.3.3 Расчетные аэрологические характеристики для оценки условий атмосферной диффузии в районе размещения ТЭС и АЭС

Из техногенных воздействий, возможных при эксплуатации тепловых и атомных электростанций, особое значение имеет распространение вредных веществ в окружающем пространстве. В связи с этим при разработке комплекса защитных

и профилактических мероприятий необходимо учитывать информацию о метеорологических параметрах, непосредственно влияющих на этот процесс. Для решения экологических задач в энергетике особый интерес представляет профиль скорости ветра и коэффициент турбулентной диффузии, которые, в свою очередь, зависят от рельефа местности. В частности, атомные станции обычно строятся вблизи водоемов в низинах, а жилые массивы чаще располагаются на возвышенностях, поэтому при ветре со стороны предприятий в атмосферном воздухе жилых кварталов создаются значительные концентрации вредных веществ. В пониженных формах рельефа воздух застаивается, что также приводит к усилению опасности загрязнения.

Под влиянием неровностей местности изменяется турбулентный обмен, который характеризуется коэффициентом турбулентной диффузии.

Перечень специализированных аэроклиматических характеристик, необходимых для расчета атмосферной диффузии, приведен в таблице 3.4 [7].

Таблица 3.4

**Специализированные расчетные аэрологические характеристики
района строительства ТЭС и АЭС**

Параметр	Характеристика
Скорость ветра	Средняя скалярная скорость, модуль и направление среднего результирующего ветра на высотах 0, 100, 200, 300, 500, 1000, 2000 м (по сезонам и за год для 4 сроков суток и независимо от сроков)
Штиль	Повторяемость штилей на высотах 100 и 200 м (по сезонам и за год)
Направление ветра	Розы ветров (повторяемость направлений ветра по 16 румбам) на высотах 100 и 200 м (по сезонам и за год) Средние скорости ветра по 16 румбам на высотах 100 и 200 м (по сезонам и за год)

Параметр	Характеристика
Градиент температуры	Средние значения вертикального градиента температуры в слоях 0–300, 0–600 и 0–900 м (по сезонам и за год)
Инверсия	Повторяемости и средние значения мощности и интенсивности приземных инверсий (по сезонам и за год) Повторяемость и средние значения мощности и интенсивности приподнятых инверсий в слое 0–2 км (по сезонам и за год)
Слой перемешивания	Средняя высота слоя перемешивания (по сезонам и за год)
Устойчивость атмосферы	Повторяемость категорий устойчивости атмосферы по сезонам и за год в различные часы суток

Средняя скалярная скорость ветра на каждом уровне независимо от сроков вычисляется без учета направления как статистическое среднее из значений индивидуальных модулей вектора ветра.

Модуль и направление результирующего ветра V_r в физической системе координат определяются по сумме значений компонентов вектора ветра (правило сложения векторов):

$$u_r = \sum_i u_i, \quad v_r = \sum_i v_i, \quad V_r = \sqrt{u_r^2 + v_r^2}, \quad (3.7)$$

$$D_r = \arctg(v_r/u_r).$$

Связь углов D_r и D определяется известными соотношениями.

Модули зональной и меридиональной составляющих скорости ветра рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned} u &= -V \sin(D), \\ v &= -V \cos(D), \end{aligned} \quad (3.8)$$

где D — угол направления ветра в радианах, отсчитываемый от направления на север по часовой стрелке (географическая система координат);

u — зональный компонент (направлен на восток);

v — меридиональный компонент (направлен на север).

Повторяемость направлений ветра на стандартных высотах рассчитывается в 16-румбовой системе без учета штилей, при этом середина первого румба соответствует северному направлению, ширина румбов — $22,5^\circ$ (таблица 3.5).

Таблица 3.5

Направление ветра в румбах и градусах

Румб	Середина градации, град.	Обозначение направления	Румб	Середина градации, град.	Обозначение направления
1	0	С	9	180	Ю
2	22,5	ССВ	10	202,5	ЮЮЗ
3	45	СВ	11	225	ЮЗ
4	67,5	ВСВ	12	247,5	ЗЮЗ
5	90	В	13	270	З
6	112,5	ВЮВ	14	292,5	ЗСЗ
7	135	ЮВ	15	315	СЗ
8	157,5	ЮЮВ	16	337,5	ССЗ

Штили и слабые ветры. К штилям относят случаи, когда скорость ветра не превышает порог чувствительности датчиков анеморумбометров (то есть ниже $0,5\text{--}0,7$ м/с). На метеорологической сети Росгидромета скорость ветра фиксируется с точностью до целых.

При проектировании атомных станций и других сооружений отдельно выделяются случаи со скоростью ветра $1 \leq U < 2$ м/с (штилевые ситуации).

Для штилей и штилевых ситуаций определяют повторяемость. Повторяемость штилей и штилевых ситуаций (в процентах) рассчитывается как отношение числа таких случаев к общему количеству наблюдений за рассматриваемый период (месяц, сезон и год по срокам наблюдений или независимо от сроков). При нормировании повторяемостей направлений ветра количество штилей вычитается из общего количества случаев наблюдений.

Вертикальный градиент температуры (Γ) в слое атмосферы 100 м характеризует степень термической устойчивости атмосферы и численно равен разности между температурой на нижней и верхней границе рассматриваемого 100-метрового слоя. Отрицательные значения Γ (например, $-1\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$) соответствуют инверсионному распределению температуры воздуха, нулевые — изотермическому, положительные ($+1\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$) — неустойчивому состоянию атмосферы.

Инверсия — повышение температуры с высотой. Инверсия называется приземной, если повышение температуры начинается от подстилающей поверхности, и приподнятой, если температура повышается с некоторой высоты. К инверсиям относят также изотермические атмосферные слои, в которых температура воздуха с высотой не меняется ($\Gamma = 0$).

Инверсии характеризуются:

- мощностью — толщиной слоя с инверсионным или изотермическим распределением температуры;
- интенсивностью — разностью температуры воздуха на нижней и верхней границах атмосферного слоя с инверсионным распределением температуры, включая изотермии;
- средней и максимальной непрерывной продолжительностью;
- повторяемостью — отношением количества случаев с инверсиями к общему количеству случаев наблюдения в массиве исходных данных (за месяц, сезон, год).

Высота основания приподнятой инверсии — высота нижней границы инверсии над подстилающей поверхностью.

Высота нижней границы приподнятой инверсии ограничивает конвективный подъем примеси. В условиях сильного турбулентного перемешивания примеси быстро рассеиваются во всем слое под инверсией; при слабом ветре в подинверсионном слое реализуются условия «задымления», способствующие накоплению примеси в нижних слоях атмосферы.

Слой перемешивания

При нейтральной и неустойчивой стратификации атмосферы большая часть примесей, поступающих от источника загрязнения, рассеивается и переносится в слое перемешивания. При наличии данных аэрологического зондирования высота слоя перемешивания может быть определена по нижнему основанию приподнятой инверсии температуры или по уровню, на котором градиент температуры Γ не превышает $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$.

Если по результатам зондирования верхнюю границу слоя перемешивания выделить не удастся или во всем слое наблюдается инверсионное распределение температуры, то срок наблюдения (случай) пропускается.

Для характеристики устойчивости пограничного слоя атмосферы часто используют классификации, основанные на информации, полученной на метеорологических станциях. Одной из них является классификация Паскуилла–Гиффорда, в которой состояние устойчивости атмосферы в зависимости от градиента температуры в слое 20–120 м и скорости ветра на уровне ветроизмерительного прибора описывается 6 классами (таблица 3.6) [10]:

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| А — сильная неустойчивость; | Д — безразличное состояние; |
| В — умеренная неустойчивость; | Е — слабая устойчивость; |
| С — слабая неустойчивость; | Ф — сильная устойчивость. |

Таблица 3.6

**Классы устойчивости атмосферы по вертикальному градиенту
температуры воздуха и скорости ветра**

U_0 , м/с	Градиент температуры в слое 20–120 м						
	$\Gamma \geq 1,5$	$1,4 \geq \Gamma \geq 1,2$	$1,1 \geq \Gamma \geq 0,9$	$0,8 \geq \Gamma \geq 0,7$	$0,6 \geq \Gamma \geq 0$	$-0,1 \geq \Gamma \geq -2,0$	$\Gamma \leq -2,0$
$U_0 < 1$	A	A	B	C	D	F	F
$1 \leq U_0 < 2$	A	B	B	C	D	F	F
$2 \leq U_0 < 3$	A	B	C	D	D	E	F
$3 \leq U_0 < 5$	B	B	C	D	D	D	E
$5 \leq U_0 < 7$	C	C	D	D	D	D	E
$7 \leq U_0$	D	D	D	D	D	D	D

3.3.4 Опасные условия при эксплуатации ТЭС и АЭС

Для обеспечения безопасности ТЭС и АЭС на окружающей их территории необходимо отслеживать экстремальные значения метеорологических величин и редких метеорологических явлений. Экстремальные годовые значения метеорологических величин являются случайными переменными, которые могут быть описаны распределениями вероятностей. Среди них наиболее часто используются обобщенное распределение, распределения Фишера–Типпета I типа (Гумбеля), II типа (Фреше) и III типа (Вейбулла) [7]. Для ТЭС и АЭС устанавливаются три степени опасности процессов, явлений и факторов природного и техногенного происхождения по последствиям воздействия на окружающую среду [11]:

– I степень — особо опасный процесс (величина, явление, фактор), характеризующийся максимально возможными для данного вида процесса значениями параметров и характеристик в заданном интервале времени и сопровождающийся природными и/или техногенными катастрофами;

– II степень — опасный процесс (величина, явление, фактор), характеризующийся достаточно высокими (но не выше, чем

известное максимальное значение для данного вида процесса) значениями параметров и характеристик в заданном интервале времени и сопровождающийся ощутимыми последствиями для окружающей природной среды и объектов;

– III степень — не представляющий опасности процесс (величина, явление, фактор), характеризующийся низкими значениями параметров и характеристик в заданном интервале времени и не сопровождающийся ощутимыми последствиями для окружающей природной среды и объектов.

Опасность процессов, явлений и факторов природного и техногенного происхождения, выявленных в районе и на площадке размещения объекта, должна определяться на основании сопоставления расчетных параметров воздействий (интенсивности и частоты) с установленными для них предельными значениями, приведенными в таблице 3.7.

Максимальные значения параметров гидрометеорологических величин, процессов и явлений должны определяться для периода времени 10 000 лет.

Площадки АЭС/ТЭС в зависимости от степени опасности процессов, явлений и факторов внешних воздействий, происходящих на них, относят к одному из трех классов оценки (А, Б, В):

– класс А — площадки, на которых отсутствуют внешние воздействия I и II степеней опасности;

– класс Б — площадки, на которых отсутствуют внешние воздействия I степени опасности;

– класс В — площадки, на которых имеются внешние воздействия I, II и III степеней опасности.

В районе расположения АЭС и ТЭС неблагоприятные метеословия могут приводить к формированию высоких уровней загрязнения, оказывающих негативное влияние на человека и окружающую среду.

Таблица 3.7
Классификация степеней опасности метеорологических явлений и факторов природного происхождения

Процесс, явление, фактор	Возможное воздействие на площадку объекта	Предельная граница параметра, согласно которому осуществляется классификация степени опасности	Степень опасности по последствиям воздействия на окружающую среду
Смерч	Ветровой напор на здания и сооружения; нагрузки от перепада давления между внутренним и наружным воздухом; разрушения от летящих предметов, увлеченных и переносимых смерчем; вынос воды из технологических водоемов-охладителей	Максимальная горизонтальная скорость вращательного движения стенки смерча ≥ 50 м/с, класс интенсивности смерча F2 и выше; перепад давления ≥ 3 кПа, длина пути ≥ 15 км, ширина пути ≥ 50 м	I
		Максимальная горизонтальная скорость вращательного движения стенки смерча < 50 , но > 7 м/с, класс интенсивности смерча F1, перепад давления < 3 кПа, длина пути < 15 км, ширина пути < 50 , но > 16 м	II
		Максимальная горизонтальная скорость вращательного движения стенки смерча ≤ 7 м/с, класс интенсивности смерча F0, перепад давления ≤ 1 кПа; длина пути $\leq 1,6$ км, ширина пути ≤ 16 м	III

Процесс, явление, фактор	Возможное воздействие на площадку объекта	Предельная граница параметра, согласно которому осуществляется классификация степени опасности	Степень опасности по последствиям воздействия на окружающую среду
Ветер	Ветровой напор	Скорость ветра ≥ 35 м/с	I
		Скорость ветра < 35 , но ≥ 7 м/с	II
		Скорость ветра < 7 м/с	III
Тропический циклон (тайфун)	Ветровой напор на здания и сооружения; ливневые осадки	Высота слоя осадков ≥ 30 мм/ч; скорость ветра ≥ 35 м/с	I
		Высота слоя осадков ≥ 50 мм за 12 ч (в селеопасных районах — 30 мм и более за 12 ч и менее)	I
		Высота слоя осадков < 50 , но > 30 мм за 12 ч и менее	II
Осадки	Затопление площадки размещения	Высота слоя осадков < 30 мм за 12 ч и менее	III
		Высота слоя осадков ≥ 20 мм/ч за 12 ч и менее	II
		Высота слоя осадков ≥ 20 мм/ч за 12 ч и менее	II
Экстремальные снегопады	Занос снегом подъездных путей, площадок, линий связи и др.	Высота слоя осадков ≥ 20 мм/ч за 12 ч и менее	II
Экстремальные снегозапасы	Снеговые нагрузки на кровлю зданий и сооружений	Высота слоя определяется расчетом	II
Температура воздуха	Температурные нагрузки на здания, сооружения, сети и пр.	Максимальные значения положительных и отрицательных температур, их перепады и температурные градиенты (расчет)	II
Лавина	Динамическое давление снега;	Глубина вертикального расчленения	I

Процесс, явление, фактор	Возможное воздействие на площадку объекта	Предельная граница параметра, согласно которому осуществляется классификация степени опасности	Степень опасности по последствиям воздействия на окружающую среду
снежная	воздушная ударная волна (ВУВ)	рельефа 500–1000 м; средняя максимальная высота слоя снега 70–100 см	II
	Динамическое давление снега	Глубина вертикального расчленения рельефа 500 м и менее; средняя максимальная высота слоя снега < 70 см	
Гололед	Разрушение опор линий связи и электроснабжения, отказ систем связи, электроснабжения вследствие покрытия их льдом, изморозью	Толщина стенки гололеда > 25 мм	I
	Утяжеление конструкций сооружений вследствие покрытия их льдом, изморозью	Толщина стенки гололеда > 3 мм	
		Толщина стенки гололеда ≤ 3 мм	
Удар молнии	Воздействие электрического разряда на здания, сооружения, сети, оборудование	Определяются расчетом с учетом грозовой опасности региона и напряженности поля	II

Для оценки влияния опасных, в том числе радиоактивных, выбросов и сбросов в пределах зоны размещения АЭС/ТЭС должны быть исследованы условия рассеяния примесей в атмосфере. На атмосферную диффузию влияют: ветер, штили, приподнятые инверсии, стратификация и степень устойчивости атмосферы, температура воздуха, осадки (по их типам), туманы. Штиль и слабый ветер со скоростью менее 2 м/с, инверсии температуры и туманы с повторяемостью каждого явления более 40 % за год и 60 % в течение холодного периода года (среднесуточная температура воздуха менее +8 °С), как и опасные метеорологические явления, относятся к условиям, ограничивающим безопасную эксплуатацию АЭС.

3.4 Возобновляемые источники энергии

3.4.1 Солнечная энергетика

Суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность

Общее представление о природном солнечном потенциале региона дают опубликованные в [12] карты распределения по территории России средних многолетних значений солнечной радиации. В [13] приведено районирование территории России по природному потенциалу и выделены наиболее перспективные районы для использования энергии солнца, расположенные южнее 50° с. ш. Один из них занимает территорию Приморского края, южную часть Хабаровского края и Амурской области, юго-восток Забайкалья, другой располагается в южной части Европейской территории России.

Основными характеристиками солнечных энергетических ресурсов в заданном пункте или районе являются продолжительность солнечного сияния и количество суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность. Сеть пунктов метеорологических наблюдений, на которых определяется

продолжительность солнечного сияния, сравнительно плотная в отличие от актинометрической сети, на которой измеряются потоки солнечной радиации. В связи с этим целесообразно рассмотреть некоторые методы получения данных о солнечной радиации в пункте, где нет наблюдений и невозможно их получить по близлежащим станциям. Наиболее распространены способы расчета суммарной солнечной радиации косвенным путем по продолжительности солнечного сияния и количеству облаков [14].

Классическая формула Ангстрема основана на линейной зависимости между относительным солнечным сиянием и относительной величиной суммарной радиации:

$$Q = Q_0 \cdot (a + b \cdot SS/SS_0), \quad (3.9)$$

где SS_0 — максимальное число часов солнечного сияния (возможное в изучаемом месте), SS — фактическое число часов солнечного сияния;

Q_0 — суммарная радиация при безоблачном небе, Q — суммарная радиация при действительных условиях облачности;

a и b — эмпирические коэффициенты: коэффициент a характеризует долю пропущенной облаками радиации, коэффициент b — долю задержанной.

Значения коэффициентов определяются по корреляционной зависимости между Q/Q_0 и SS/SS_0 на основе данных параллельных наблюдений продолжительности солнечного сияния и солнечной радиации.

Расчет месячных сумм суммарной радиации по данным о количестве облаков может быть выполнен по формуле, предложенной Т. Г. Берлянд [14]:

$$\sum Q = \sum Q_0 [1 - (a - bn)n], \quad (3.10)$$

где Q_0 — возможная суммарная радиация;

n — количество общей облачности в долях единицы;

a и b — эмпирические коэффициенты.

Параметр b принимается постоянным при всех условиях и равен 0,38. Параметр a зависит от широты и физико-географических условий района и вычисляется по рядам параллельных наблюдений за суммарной радиацией и облачностью.

При оценке солнечного потенциала потребителю кроме средних значений важно иметь представление о суточном поступлении солнечной радиации в безоблачные (максимальные значения) и пасмурные (минимальные значения) дни. В таблице 3.8 приведены максимальные и минимальные суточные суммы суммарной радиации, осредненные по широтам для центральных месяцев сезонов [15].

Таблица 3.8

Средние максимумы и средние минимумы суточных сумм суммарной радиации при средних условиях облачности (МДж/м²)

Средние максимумы				
φ° с. ш.	I	IV	VII	X
<i>Европейская территория России</i>				
46	8,6	25,1	29,9	15,7
50	6,7	24,1	29,3	13,6
54	5,0	23,3	28,8	11,7
58	3,4	22,2	28,3	9,4
62	1,7	21,4	28,0	7,5
66	0,8	20,6	27,8	5,2
<i>Сибирь, Дальний Восток</i>				
46	9,3	25,4	28,8	15,9
50	7,3	34,7	28,8	14,0
54	5,5	23,9	28,8	12,2
58	3,9	23,5	28,8	10,4
62	2,4	22,9	28,8	8,5
66	1,1	22,1	28,9	6,8

Продолжение таблицы 3.8

Средние минимумы							
φ° с. ш.	I		IV		VII		X
Европейская территория России							
46	1,2		3,9		11,0		2,4
50	1,0		3,4		7,6		1,6
54	0,8		3,4		6,3		1,1
58	0,4		3,3		5,8		0,7
62	0,2		3,4		5,7		0,5
66	0,1		3,9		5,7		0,3
Сибирь, Дальний Восток							
46	2,4		4,0		4,3		2,1
50	1,8	2,3*	4,4		4,1		1,8
54	1,3	1,6**	5,0	6,9**	3,9	5,9**	1,7 2,4*
58	0,9		5,7	7,3**	3,7	5,9**	1,3 2,1*
62	0,4		6,5	8,1**	3,2	5,9**	1,1 1,9*
66	0,1		7,1	9,4**	3,1	5,7**	0,9

Примечание: * — юг Хабаровского края и Забайкалье; ** — Забайкалье, Якутия.

На практике большая и малая гелиоэнергетика в значительной мере ограничена низким и неравномерным (во времени) поступлением солнечной радиации на приемники гелиоустановок.

Для успешного решения многих задач, связанных с размещением и эксплуатацией гелиоэнергетических объектов, необходима информация об изменчивости поступления солнечной радиации во времени и пространстве.

Изменчивость дневных, месячных и годовых сумм солнечной радиации оценивается средним квадратическим отклонением (σ) и коэффициентом вариации ($\sigma/\bar{x}$).

Коэффициент вариации месячных сумм характеризует их изменчивость от года к году, а суточных сумм — ото дня ко дню. Изменчивость суточных сумм во временном ряду включает в себя колебания радиации внутри месяца каждого года, обусловленные

сменой синоптических процессов, и колебания от года к году, связанные с изменением преобладающих форм общей циркуляции (см. таблицу 3.9). Межгодовая изменчивость составляет в общей изменчивости всего 10–20 %.

Наибольшая изменчивость суммарной радиации, как суточных, так и месячных сумм, имеет место зимой и осенью, наименьшая — летом.

Таблица 3.9

Коэффициенты вариации суточных (дневных) и месячных сумм суммарной радиации (%) для центральных месяцев сезона

φ° с. ш.	I	IV	VII	X
<i>Суточные суммы</i>				
60–68°	60–70	40–50	35–40	65–70
50–60° при $\lambda < 50^\circ$ в. д.	45–60	40–45	35–40	50–65
50–60° при $\lambda > 50^\circ$ в. д.	35–40	30–35	30–35	45–50
<i>Месячные суммы</i>				
60–68°	30–50	10–20	10–20	20–30
50–60°	15–25	10–20	10–15	15–25

Разномасштабная временная изменчивость солнечной радиации по-разному учитывается в гелиоэнергетических расчетах. Изменение радиации в течение дня в зависимости от суточного хода облачности влияет на производительность установки и на прерывистость отдачи производимой энергии. Изменение сумм радиации и произведенной энергии в течение месяца определяет эффективность использования установленной мощности гелиоустановок и необходимое длительное их регулирование за счет создания аккумулирующих устройств или резервных источников энергии. Годовой ход солнечной радиации позволяет судить о режимах работы гелиоустановок в течение года и общей ее энергообеспеченности.

Пространственную изменчивость радиации важно знать при определении значений радиации в пунктах, где нет актинометрических наблюдений. Пространственная изменчивость радиации существенно зависит от рассматриваемого временного масштаба. Пространственная изменчивость срочных (мгновенных) значений радиации на небольших расстояниях имеет такой же порядок, как и изменения в ряду ее значений между отдельными днями, то есть временная изменчивость. В связи с этим в условиях существующей наземной сети оценка пространственной изменчивости может быть дана для сумм радиации с временным осреднением не менее суток.

Согласно выполненным исследованиям [14], данные о солнечной радиации, полученные на актинометрической станции, можно распространять на другие пункты, расположенные в пределах расстояния 50–100 км с однородными условиями подстилающей поверхности. Для больших расстояний необходимо производить интерполяцию между близлежащими станциями.

Суммарная солнечная радиация, поступающая на наклонные поверхности

Для оценки реального поступления солнечной энергии на плоскость гелиоприемника необходимо определить количество солнечной радиации, поступающей на наклонные поверхности. По этим данным с использованием теплофизических характеристик фотоэлектрического генератора или солнечного коллектора может быть определена удельная годовая энергосвязка. Поступление суммарной радиации на приемную поверхность гелиоприемника является характеристикой гелиопотенциала и на начальном этапе разработки характеризует целесообразность и эффективность применения той или иной гелиоустановки в данной местности.

Для практического использования наибольший интерес представляют данные о суммарной солнечной радиации,

поступающей на поверхности различной ориентации: следящую за Солнцем, южную, ориентируемую каждый месяц на оптимальный угол, на две неподвижные поверхности — с углом наклона, оптимальным для года в целом, и с углом, равным широте места пункта наблюдений. Оптимальные углы наклона поверхности во все месяцы года увеличиваются с юга на север. Наибольшие углы ($65\text{--}85^\circ$) характерны для декабря–января, наименьшие ($5\text{--}20^\circ$) — для июня–июля [16].

Коэффициенты пересчета средних за месяц суточных сумм суммарной радиации на наклонные поверхности для трех широтных зон приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.10

Коэффициенты пересчета средних за месяц суточных сумм суммарной радиации с горизонтальной поверхности на наклонную

Следящая за солнцем поверхность												
φ° с.ш.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
60	3,12	2,70	2,00	1,64	1,48	1,47	1,48	1,50	1,65	1,83	2,75	3,30
50	2,50	2,07	1,69	1,42	1,38	1,36	1,39	1,45	1,62	1,70	2,04	2,48
40	1,96	1,70	1,48	1,35	1,32	1,30	1,33	1,43	1,56	1,65	1,92	2,02
φ° с.ш.	Европейская часть РФ					Забайкалье, Дальний Восток						
	I	II	XI	XII	I	II	X	XI	XII			
60	2,50	2,18	2,09	2,50	3,75	3,00	2,45	3,84	4,66			
50	2,00	1,75	1,71	1,87	2,93	2,50	2,05	2,74	3,25			
Поверхность, ориентируемая каждый месяц на оптимальный угол												
φ° с.ш.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
60	2,95	2,35	1,68	1,26	1,07	1,02	1,04	1,12	1,34	1,60	2,55	3,15
50	2,46	1,85	1,32	1,15	1,04	1,02	1,02	1,09	1,30	1,55	1,96	2,20
40	1,74	1,45	1,19	1,10	1,00	1,00	1,00	1,05	1,20	1,45	1,75	1,82

Продолжение таблицы 3.10

Поверхность, ориентируемая каждый месяц на оптимальный угол

φ° с.ш.	Европейская часть РФ				Забайкалье, Дальний Восток				
	I	II	XI	XII	I	II	X	XI	XII
60	2,50	1,96	2,00	–	3,25	2,60	2,10	3,32	4,04
50	1,92	1,55	1,56	1,75	2,90	2,10	1,70	2,45	2,90

Неподвижная поверхность с углом наклона оптимальным для года
($\alpha = \text{ОУ}_{\text{год}}$)

φ° с.ш.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
60	2,25	2,03	1,57	1,25	1,05	0,95	0,98	1,07	1,33	1,59	2,12	2,68
50	1,88	1,65	1,30	1,13	1,00	0,93	0,98	1,05	1,26	1,46	1,85	1,99
40	1,55	1,40	1,15	1,05	0,96	0,92	0,94	1,00	1,18	1,40	1,55	1,60

φ° с.ш.	Европейская часть РФ				Забайкалье, Дальний Восток					
	I	II	XI	XII	I	II	III	X	XI	XII
60	1,95	1,69	1,73	2,00	2,68	2,30	1,80	1,95	3,06	3,50
50	1,60	1,45	1,50	1,57	2,35	1,93	1,47	1,60	2,15	2,40

Неподвижная поверхность с углом наклона равным широте места
($\alpha = \varphi$)

φ° с.ш.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
60	2,78	2,23	1,66	1,24	0,95	0,81	0,85	1,02	1,30	1,68	2,40	2,70
50	2,08	1,74	1,31	1,09	0,95	0,85	0,86	1,01	1,26	1,50	1,93	2,00
40	1,65	1,41	1,19	1,04	0,94	0,86	0,91	1,00	1,20	1,43	1,62	1,69

φ° с.ш.	Европейская часть РФ				Забайкалье, Дальний Восток					
	I	II	XI	XII	I	II	III	X	XI	XII
60	2,45	1,90	1,98	2,30	3,11	2,57	1,88	2,07	3,07	3,40
50	1,75	1,53	1,54	1,68	2,48	2,00	1,48	1,75	2,17	2,53

Оценки выработки электрической и тепловой энергии солнечными установками

Методы расчета количества возможной выработки электрической и тепловой энергии с помощью отечественных средств преобразования солнечной энергии, которая прямо зависит от количества солнечной радиации, поступающей на наклонную поверхность, изложены в работах [13, 16].

Количество *электрической энергии*, получаемое с помощью фотоэлектрического генератора (ФГ), зависит от количества солнечной радиации, поступающей на наклонную поверхность. Средняя энергосовыработка $\overline{W}_\phi$ за определенный период может быть рассчитана по формуле:

$$\overline{W}_\phi = \overline{\eta}_\phi \cdot \overline{W}_c, \quad (3.11)$$

где $\overline{\eta}_\phi$ — средний КПД фотоэлектрического генератора;

$\overline{W}_c$ — средняя сумма суммарной солнечной радиации, поступающей на поверхность ФГ.

Для корректности оценки необходимо учитывать влияние климатических факторов на КПД фотопреобразователей [16]. Годовую энергосовыработку целесообразно определять на основе осредненных месячных значений энергии, которые вычисляются по формуле:

$$\overline{W}_\phi = \overline{W}_c \cdot \eta_0 \cdot [1 + \beta(\overline{T}_0 - \overline{T}_\phi)] \cdot \left(1 + \gamma \ln \frac{\overline{E}}{E_0}\right), \quad (3.12)$$

где η_0 — КПД фотоэлектрического генератора, определенный при стандартных условиях (оптическая масса атмосферы 1,5, интенсивность облучения $E_0 = 1000 \text{ Вт/м}^2$, температура фотопреобразователей $T_0 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$);

β — коэффициент, учитывающий влияние на КПД фотогенератора отклонения рабочей равновесной температуры фотопреобразователей от стандартной;

$\overline{T}_{\phi} = \overline{T}_B + \alpha \frac{\overline{E}}{E_0}$ — расчетная для данного месяца температура преобразователей;

$\overline{T}_B$ — средняя многолетняя дневная температура воздуха, определяемая по среднечасовым значениям от восхода до захода солнца, исключая первый час после восхода и последний перед заходом;

γ — коэффициент, учитывающий влияние на КПД фотогенератора отклонения интенсивности облучения фотогенератора от стандартной;

$\overline{E} = \frac{\overline{W_c}}{t_{\text{дн}} - 2}$ — расчетная для данного месяца облученность поверхности фотогенератора;

$\overline{W}_c$ — средняя суточная сумма суммарной радиации, поступающая на поверхность фотогенератора с заданным углом наклона;

$t_{\text{дн}}$ — средняя для данного месяца продолжительность дня;

α — коэффициент, учитывающий нагрев фотопреобразователей солнечной энергией.

Для фотоэлектрических модулей наземного применения, выпускаемых отечественной промышленностью, типовые значения коэффициентов составляют: $\alpha = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\beta = 0,005 \text{ (}^{\circ}\text{C)}^{-1}$, $\gamma = 0,07$.

Годовую выработку электрической энергии следует определять на основе осредненных месячных значений энергии.

Расчеты показали, что при КПД фотогенератора 15 % в южных районах России, особенно в Забайкалье, на юге Хабаровского края и в Приморье, при использовании системы со слежением за солнцем удельная выработка электрической энергии (с 1 м^2 фотогенератора) за год составляет более 300 кВтч/м^2 , при неподвижной системе гелиоприемника — более 250 кВтч/м^2 [13]. Как было отмечено, районы, где удельная годовая выработка электрической энергии

составляет не менее $200 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$, можно считать благоприятными для преобразования солнечной энергии в электрическую.

Выработка *тепловой энергии* плоским солнечным коллектором определяется по формуле (3.13) [17]:

$$E = F_R \cdot A [Q_\alpha \cdot (\tau\alpha) - U_L \cdot B(T_0 - T_B)], \quad (3.13)$$

где F_R — коэффициент отвода тепла;

A — площадь коллектора, м^2 ;

Q_α — среднесуточный приход суммарной радиации на наклонную поверхность коллектора, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

$(\tau \cdot \alpha)$ — оптический КПД коллектора (τ — пропускательная способность прозрачных покрытий для солнечной радиации, α — поглощательная способность пластины коллектора для солнечной радиации);

U_L — полный коэффициент тепловых потерь, $\text{Вт}/(\text{м}^2) \cdot ^\circ\text{C}$;

B — продолжительность облучения наклонной поверхности коллектора в течение дня, принятая равной $t_{\text{дн}} - 2 \text{ ч}$ ($t_{\text{дн}}$ — время от захода до восхода солнца);

T_0 — температура воды на входе в коллектор, равная $18 ^\circ\text{C}$;

T_B — дневная температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$.

При расчетах могут быть использованы характеристики одного из отечественных коллекторов:

$$A_1 = 0,62 \text{ м}^2, \quad F_R = 0,94, \quad \tau\alpha = 0,75, \quad U_R = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2) \cdot ^\circ\text{C}.$$

Существующие методы расчета солнечных систем [13, 17] позволяют на основе использования климатической информации и с учетом характеристик применяемого оборудования определять такие важные параметры, как:

f — коэффициент замещения нагрузки (доля солнечной энергии в покрытии нагрузки) за некоторый рассматриваемый период времени;

q — удельная теплопроизводительность установки за этот период, отнесенная к 1 м^2 площади солнечных коллекторов в установке;

A — площадь солнечных коллекторов в установке.

Коэффициент замещения нагрузки для работающей в теплую половину года системы солнечного коллектора с жидким теплоносителем без теплообменника определяется с помощью так называемого f -метода [17] и рассчитывается по упрощенной эмпирической формуле, в которую входят два безразмерных комплекса, учитывающих климатические данные:

$$X = A \cdot F_R U_L (100 - T) (\Delta t / L), \quad (3.14)$$

$$Y = A \cdot F_R (\tau \alpha) Q_\alpha N / L, \quad (3.15)$$

где T — среднемесячная дневная температура воздуха, °C;

Δt — число секунд в месяце;

L — тепловая нагрузка за рассматриваемый период, Дж;

Q_α — среднемесячный дневной приход радиации на наклонную поверхность коллектора, Дж/м²;

N — число дней в месяце.

Тепловая нагрузка горячего водоснабжения определяется по формуле:

$$L_w = N \cdot p \cdot 100 \cdot (T_h - T_0) \rho \cdot C_p, \quad (3.16)$$

где p — количество людей, обеспечиваемых горячей водой;

T_h — температура горячей воды на выходе (+60 °C);

T_0 — температура воды на входе (+18 °C);

ρ — плотность воды, 1 кг/л;

C_p — теплоемкость воды, равная 4190 Дж/(кг·°C).

Как показали выполненные в качестве примера расчеты коэффициента замещения нагрузки горячего водоснабжения жилых зданий, установка из семи стандартных модулей (6 м^2) для четырех человек в Амурской области может покрыть нагрузку горячего водоснабжения за сезон (с мая по сентябрь) на 80–85 %.

3.4.2 Ветровая энергетика

Состав климатической информации для обоснования схем размещения и проектирования ВЭУ

Климатическая информация для обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок подразделяется на три группы. К первой относятся общие метеорологические параметры и климатические характеристики, используемые на начальном этапе оценки теоретического ветроэнергетического потенциала:

- средняя многолетняя за период не менее 25 лет скорость ветра (за год и по месяцам);
- амплитуда суточного хода скорости ветра по сезонам года;
- распределение (повторяемость) скорости ветра по градациям;
- вертикальный профиль средней скорости ветра;
- плотность воздуха;
- интенсивность турбулентности ветрового потока (определяется как отношение стандарта пульсации скорости ветра к средней скорости $\sigma_u/\bar{u}$).

На основе этих характеристик можно определить удельную мощность ветрового потока — показателя теоретического потенциала энергии ветра, рассчитываемого с учетом всего диапазона фактически наблюдаемых скоростей ветра.

Ко второй группе относятся специализированные климатические характеристики, с помощью которых можно выбрать оптимальные

режимы работы ВЭУ, т. е. характеристики для оценки реальных ветроэнергетических ресурсов. К ним относятся:

- суммарная (интегральная) повторяемость диапазона рабочих скоростей, т. е. когда ВЭУ вырабатывает электроэнергию;
- повторяемость диапазона скоростей, когда ВЭУ работает в режиме номинальной мощности (диапазон номинального режима);
- повторяемость энергетических затиший, т. е. скорости ветра ниже определенного уровня (u_0), когда электроэнергия ВЭУ не вырабатывается;
- повторяемость диапазона «буревых» (опасных) скоростей, когда ВЭУ отключается во избежание поломки лопастей (выработка электроэнергии также равна нулю);
- непрерывная продолжительность диапазона рабочих скоростей, диапазона номинального режима, энергетических затиший.

К третьей группе относятся характеристики для расчета конструкций ВЭУ на прочность и устойчивость (воздействие ветра), включающие:

- расчетное ветровое давление (ветровой напор) и его изменение по высоте сооружения;
- интенсивность турбулентности и коэффициент порывистости ветра $k = u_{\max}/\bar{u}$;
- ускорение ветра в порыве;
- расчетные экстремальные значения гололедно-изморозевых отложений на поверхности опор и лопастей ВЭУ.

Для оценки фона ветрового режима должны использоваться пункты наблюдений открытого местоположения [21].

Период регулярных наблюдений за ветром на станции должен быть не менее 25 лет, что обеспечивает надежность статистических оценок параметров скорости ветра.

Место размещения автономных ВЭУ и ВЭС должно характеризоваться уровнем средней годовой скорости ветра на высоте

10 м над постилающей поверхностью $U > 5$ м/с, относительной продолжительностью диапазона рабочих скоростей ветра (9–25 м/с) не менее 0,4 в течение сезона (коэффициент использования), небольшой повторяемостью энергетических затиший. Для большинства ВЭУ период времени, когда $U \leq 5$ м/с, составляет не более 20–30 %. Дополнительное требование — отсутствие или незначительная повторяемость ураганных ветров ($U > 33$ м/с), малое число буревых периодов ($U > 20$ м/с).

Условия для размещения ВЭУ благоприятны, если коэффициент вариации среднемесячной скорости ветра $c_v \leq 0,5$ и весьма благоприятны при $c_v < 0,3$.

Основу исходной информации для определения климатических характеристик ветроэнергоресурсов составляют материалы регулярных наблюдений за ветром на метеорологической сети Росгидромета.

При использовании данных многолетних рядов наблюдений следует иметь в виду, что они могут быть статистически неоднородными. Одной из причин появления неоднородности является изменение количества сроков наблюдений [18, 19, 20].

Вторая причина неоднородности вызвана сменой ветроизмерительных приборов и переходом в 1960-х годах от 2-х к 10-минутному осреднению.

Отметим, что для ветроэнергетиков полезным источником данных о ветровом режиме являются материалы судовых наблюдений на прибрежных участках акваторий морей и водоемов, хранящиеся в фондах УГМС и ВНИИГМИ—МЦД. Указанные данные привязаны, как правило, к судоходным трассам на акваториях, где размещение автономных ВЭУ представляется перспективным.

Определение удельной мощности ветрового потока

Для оценки природно-климатического ветроэнергетического потенциала пользуются значением средней годовой удельной мощности ветрового потока (N), проходящего через единицу площади ветроколеса, перпендикулярного направлению ветра в единицу времени [21]. Природно-климатический потенциал энергии ветра (удельная мощность) N имеет размерность Вт/м² и определяется выражением:

$$N = \rho \cdot u^3 \quad \text{или} \quad N = 0,613 \cdot u^3, \quad (3.17)$$

где ρ — плотность воздуха для стандартной атмосферы (1,226 кг/м³);
 u — скорость ветра, м/с.

Из уравнения (3.17) следует, что удельная мощность ветрового потока, пропорциональная кубу скорости ветра, значительно возрастает даже при небольшом усилении ветра. Например, при усилении скорости ветра в 2 раза мощность ВЭУ возрастает в 8 раз. Отсюда следует, что для оценки мощности ветроустановок и количества вырабатываемой ими энергии необходима надежная информация о повторяемости различных скоростей ветра в предполагаемом районе их установки на уровне оси ветроколеса.

Зависимость удельной мощности ветрового потока от куба скорости ветра не позволяет точно оценивать среднюю за какой-либо отрезок времени (месяц, год) удельную мощность, зная только среднюю скорость ветра. Поэтому среднюю удельную мощность следует рассчитывать как:

$$\bar{N} = 0,5\bar{\rho} \int_0^{\infty} f(u) \cdot v^3 d(u), \quad (3.18)$$

где $f(u)$ — дифференциальная функция распределения скорости ветра.

Приведенный интеграл можно заменить интегральной суммой:

$$\bar{\rho}[P(u_1) \cdot u_1^3 + P(u_2) \cdot u_2^3 + \dots + P(u_n) \cdot u_n^3], \quad (3.19)$$

где $u_{1,2,3\dots n}$ — значения скоростей ветра для середины градаций;

$P(u_{1,2,3\dots n})$ — повторяемость градаций.

При использовании этих данных в качестве u_n берется значение скорости ветра для середины градации.

Информация о средних месячных и годовых скоростях ветра, распределении скорости ветра по градациям за многолетний период содержится в Научно-прикладном справочнике «Климат России» [6]. В указанном справочнике многие регионы, особенно азиатская часть России, недостаточно освещены данными о повторяемости различных градаций скорости ветра. В этом случае указанный выше показатель рассчитывается с использованием исходных метеорологических рядов.

Пример распределения климатических характеристик по градациям ветра и расчет удельной мощности приведен в таблице 3.11.

Таблица 3.11

Удельная мощность ветрового потока для конкретных градаций скорости, Вт/м² (м. Шепелевский)

Параметр	Градации скорости ветра u , м/с										Итого
	0–1	2–3	4–5	6–7	8–9	10–11	12–13	14–15	16–17	18–20	
n	32	183	326	485	524	401	193	73	24	9	2250
$f(u)$	1,4	8,1	14,5	21,6	23,3	17,8	8,6	3,2	1,1	0,4	100
$N_{e(\text{град})}$, Вт/м ²	0	1	11	45	104	145	119	66	33	17	541

Удельная мощность ветрового потока для конкретных градаций скорости $N_{e(\text{град})}$ рассчитывается по формуле:

$$N_{e(\text{град})} = \frac{0,613u^3 f(u)}{100}, \quad (3.20)$$

где $f(u)$ — дифференциальная повторяемость скорости ветра по грациям.

Наиболее точно по сравнению с другими теоретическими распределениями в диапазоне скорости ветра 4–20 м/с данная функция аппроксимируется распределением Вейбулла–Гудрича для условий равнинной местности [27]:

$$f(u) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{u}{\beta}\right)^{\gamma-1} \exp \left[-\left(\frac{u}{\beta}\right)^{\gamma} \right], \quad (3.21)$$

где β и γ — параметры распределения, связанные со средним значением и σ .

Принимаемую в расчет мощность определяют по верхней границе градации. Если же размер градации скорости ветра превышает 2 м/с, то значение скорости берется по середине градации с округлением до целых в большую сторону.

Удельная мощность ветрового потока может оцениваться с помощью формулы:

$$N_e = \frac{1}{2\rho\beta^3 \Gamma\left(\frac{3}{\gamma} + 1\right)}, \quad (3.22)$$

где $\Gamma\left(\frac{3}{\gamma} + 1\right)$ — гамма-функция.

Как видно из формулы, мощность потока в значительной степени определяется параметром β , который зависит от математического ожидания нормы скорости ветра $\bar{u}$:

$$\beta = \frac{\bar{u}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right)}. \quad (3.23)$$

Математическое ожидание (средневзвешенное значение) представляет собой сумму произведений значений скорости ветра на их вероятность P_i :

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1, \quad (3.24)$$

$$\bar{u} = \sum_{i=1}^n u_i P_i. \quad (3.25)$$

Параметры распределения Вейбулла связаны со средней скоростью ветра и ее средним квадратическим отклонением, а значит и с коэффициентом вариации (таблица 3.12).

Таблица 3.12

γ	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
v/β	1,00	0,96	0,94	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,89	0,89	0,89
σ_v/v	1,00	0,91	0,83	0,78	0,73	0,68	0,64	0,61	0,58	0,56	0,53

Таким образом, зная σ_v и v , можно получить значения β и γ .

Методы расчета эксплуатационных показателей ветроэнергетических установок (производительность ВЭУ, время работы и простоев, выработка ВЭУ) в данных Методических указаниях не рассматриваются, поскольку эти вопросы подробно изложены в [22].

3.5 Воздушные линии электропередачи и линии связи

Воздушные линии электропередачи (ЛЭП) и линии связи (ЛС) подвержены воздействиям атмосферных процессов и явлений.

Учет климатических воздействий при расчете нормативных параметров при проектировании и эксплуатации ЛЭП и ЛС

обеспечивает надежность их работы. Недоучет климатических нагрузок может приводить к аварийным ситуациям на ЛЭП, и, как следствие, к перерыву в электроснабжении потребителей.

Механические нагрузки на провода и опоры определяются прежде всего скоростью ветра, гололедно-изморозевыми отложениями, отложениями мокрого снега, а также грозовой деятельностью.

3.5.1 Ветровые и гололедные нагрузки

К основным климатическим нагрузкам, действующим на конструкции воздушных линий (ВЛ), относятся ветровая, гололедная и ветровая нагрузка при гололеде, которые рассчитываются по значениям климатических характеристик (скорость ветра, толщина стенки гололеда, скорость ветра при гололеде) требуемой вероятности превышения.

Основными нормативными документами для учета гололедных и ветровых нагрузок при проектировании являются ПУЭ-7 [23] и СП «Нагрузки и воздействия» [24], в которых нормативные климатические нагрузки определяются на основании карт районирования по различным климатическим параметрам или по данным наблюдений метеостанций.

Согласно этим документам принят период повторяемости нормативных климатических нагрузок 1 раз в 25 лет для ПУЭ-7 и 1 раз в 5 лет (гололедная нагрузка) и 50 лет (ветровая нагрузка) для СП «Нагрузки и воздействия».

Основным нормативным документом, в котором содержатся требования к определению климатических нагрузок при проектировании и эксплуатации ВЛ, является ПУЭ-7. В нем расчетные климатические нагрузки определяются путем введения коэффициентов к нормативным нагрузкам: регионального,

по ответственности, по надежности, по условиям работы. Методика получения этих коэффициентов приведена в [32].

Нормативные и расчетные климатические нагрузки в соответствии с ПУЭ-7 являются нагрузками для конкретной точки ВЛ.

Линия электропередачи представляет собой протяженный в пространстве объект, нагрузки которого изменяются как по времени, так и по длине. Период повторяемости и число случаев превышения климатических нагрузок для ВЛ в целом будет отличаться от периода повторяемости и числа случаев превышения для каждой конкретной точки.

Определение расчетных нагрузок для ВЛ выполняется в два этапа: на первом определяются климатические нагрузки в точке, на втором — вероятность непревышения климатических нагрузок для ВЛ в целом [23–25].

Для определения климатических характеристик в точке с различной вероятностью их непревышения составляются ряды максимальных за год (для ветровой нагрузки) или сезон (для гололедной и гололедно-ветровой нагрузок) значений метеорологических элементов (скорость ветра, толщина стенки гололеда, скорость ветра при гололеде), которые ранжируются в порядке возрастания. Для каждого члена ранжированного ряда определяется накопленная вероятность. Эмпирическая функция распределения климатических характеристик $F'(x)$ принимает вид, в котором случайная величина x_i меньше некоторого значения климатической характеристики x :

$$F(x) = m/(n + 1), \quad (3.26)$$

где m — порядковый номер ранжированного ряда;

n — число членов ряда.

Следующим этапом определяются статистические параметры ряда значений климатических характеристик x : среднее значение

климатической характеристики, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации. Для аппроксимации эмпирических интегральных функций распределения максимальных за год величин климатических характеристик используется первое предельное распределение Гумбеля:

$$F(x) = e^{-e^{-a(x-\beta)}}, \quad (3.27)$$

где $F(x)$ — вероятность непревышения данной величины климатических характеристик x ;

a, β — параметры распределения.

Подробно порядок расчета климатических характеристик с различной вероятностью непревышения изложен в Методических рекомендациях по расчету специализированных климатических характеристик для обслуживания различных отраслей экономики [1]. Для получения достоверных климатических параметров должны использоваться ряды наблюдений продолжительностью не менее 30 лет, приведенные к однородному виду.

Ветровая нагрузка

Основой для определения ветровой нагрузки на ВЛ является максимальная за год скорость ветра с 10-минутным интервалом осреднения на высоте 10 м над поверхностью земли.

Данные наблюдений, используемые для расчета, должны быть однородными. Нарушение однородности рядов наблюдений за скоростью ветра может возникнуть вследствие:

- смены типа ветроизмерительного прибора;
- изменения числа сроков наблюдений;
- защищенности ветроизмерительного прибора.

Для приведения скорости ветра, измеренной по флюгеру с интервалом осреднения 2 мин, к скорости ветра по анеморумбометру с интервалом осреднения 10 мин используется формула:

$$U_a = 0,88 U_\phi , \quad (3.28)$$

где U_a — скорость ветра по анеморумбометру с интервалом осреднения 10 мин;

U_ϕ — скорость ветра по флюгеру с интервалом осреднения 2 мин. При скорости ветра по флюгеру менее 10 м/с величина анемометрической скорости ветра U_a равна U_ϕ . Восстановление однородности ряда значений максимальных за год скоростей ветра, выбранных по данным с разными сроками наблюдений (4 или 8), осуществляется путем введения коэффициента на непрерывность наблюдений K_H (таблица 3.13) [25].

Таблица 3.13

Коэффициенты на непрерывность наблюдений за скоростью ветра K_H

Скорость ветра, м/с	4–7		8–11		12–15		16–19		20–27		28 и более	
Число сроков наблюдений	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8
K_H	1,4	1,8	1,25	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05

Для приведения данных к условиям открытой территории (к типу местности В) используется формула:

$$U = U'_a \cdot K_i , \quad (3.29)$$

где U — скорость ветра, приведенная к условиям открытой территории, м/с;

U'_a — скорость ветра по данным наблюдений, м/с;

K_i — коэффициент, характеризующий влияние защищенности ветроизмерительного прибора (таблицы 3.14 и 3.15) [25].

Таблица 3.14

Классификация типов местности [25]

Тип местности	Характеристика местности
A	Большие водные пространства, плоские прибрежные территории, плоские равнины
B	Открытая территория с редкими препятствиями, например степи или сельхозугодия с редкими насаждениями и строениями
C	Территории со значительным количеством небольших препятствий. Отдельные строения и деревья превышают высоту ветроизмерительного прибора
D	Населенные территории или территории с большим количеством высоких насаждений. Ветроизмерительный прибор со всех сторон закрыт зданиями или деревьями

Таблица 3.15

Коэффициент защищенности K_i

Тип местности	Коэффициент защищенности K_i
A	0,92
B	1,00
C	1,17
D	1,49

Примечание: Коэффициент K_i получен с использованием рекомендаций СИГРЕ (Международного совета по большим электрическим системам высокого напряжения) [28].

Согласно [23, 25], нормативная ветровая нагрузка на провода и тросы с требуемой вероятностью непревышения P_w , H , действующая перпендикулярно проводу (тросу), определяется по формуле:

$$P_w = a_w K_l K_w C_x W F \sin^2 \varphi, \quad (3.30)$$

где a_w — коэффициент, учитывающий неравномерность ветрового давления по пролету ВЛ, принимается в соответствии с таблицей 3.16;

K_l — коэффициент, учитывающий влияние длины пролета на ветровую нагрузку, принимается в соответствии с таблицей 3.17;

K_w — коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте в зависимости от типа местности, определяется по таблице 3.18 [23];

C_x — коэффициент лобового сопротивления, принимаемый равным: 1,1 — для проводов и тросов диаметром 20 мм и более, 1,2 — для проводов и тросов диаметром менее 20 мм;

W — ветровое давление с вероятностью непревышения 0,96 принимается по таблице 3.19 в соответствии с картой районирования территории РФ по ветровому давлению, приведенной в ПУЭ-7, или определяется по данным обработки максимальных скоростей ветра по формуле (3.31):

$$W = U^2 / 1,6 ; \quad (3.31)$$

F — площадь продольного диаметрального сечения провода (троса), m^2 , определяется по формуле (3.32):

$$F = d \cdot l \cdot 10^{-3} , \quad (3.32)$$

где d — диаметр провода, мм; l — длина ветрового пролета, м;

φ — угол между направлением ветра и осью ВЛ.

Таблица 3.16

Коэффициент a_w в зависимости от ветрового давления по пролету ВЛ

Ветровое давление, Па	400	500	580 и более
a_w	0,76	0,71	0,7

Таблица 3.17

Значения коэффициента K_l в зависимости от длины пролета

Длина пролета, м	50	100	150	250 и более
K_l	1,2	1,1	1,05	1,0

Промежуточные значения K_l и a_w определяются линейной интерполяцией.

Таблица 3.18

Изменение K_w по высоте в зависимости от типа местности [23]

Высота расположения приведенного центра тяжести проводов, тросов и средних точек зон конструкций опор ВЛ над поверхностью земли, м	K_w		
	А	В	С
до 15	1,00	0,65	0,40
20	1,25	0,85	0,55
40	1,50	1,10	0,80
60	1,70	1,30	1,00
80	1,85	1,45	1,15
100	2,00	1,60	1,25
150	2,25	1,90	1,55
200	2,45	2,10	1,80
250	2,65	2,30	2,00
300	2,75	2,50	2,20
350 и выше	2,75	2,75	2,35

Примечание: Типы местности (А, В, С) соответствуют определениям, приведенным в таблице 3.14.

Таблица 3.19

Ветровое давление и скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью земли с вероятностью непревышения 0,96 [23]

Район	Нормативное ветровое давление W_0 , Па (скорость ветра U_0 , м/с)
I	400 (25)
II	500 (29)
III	650 (32)
IV	800 (36)
V	1000 (40)
VI	1250 (45)
VII	1500 (49)
Особый	Выше 1500 (выше 49)

Гололедная нагрузка

Климатическим параметром гололедной нагрузки на ВЛ является нагрузка на провод диаметром 10 мм и высотой подвеса 10 м. Исходными данными для определения гололедных нагрузок являются вид, размеры и масса отложений, измеряемые на гололедном станке, направление и скорость ветра в начале обледенения, максимальная скорость и направление ветра в течение всего случая обледенения [26, 27].

При расчете нагрузок данные наблюдений за гололедно-изморозевыми отложениями приводятся к однородному виду.

Неоднородность в данных возникает вследствие:

- переноса метеоплощадки;
- изменения направления гололедонесущего потока по отношению к проводу гололедного станка.

Приведение данных наблюдений за гололедом к однородному виду подробно изложено в [25].

При расчете гололедных нагрузок выбираются случаи гололедно-изморозевых отложений, когда отмечался максимальный вес отложений на станке, и составляются временные ряды максимальных за год значений. Полученные данные приводятся к условиям стандартной ВЛ [27, 29].

На практике вместо массы гололеда используется эквивалентная толщина стенки гололеда — толщина гололедно-изморозевого отложения, приведенного к плотности $0,9 \text{ г/см}^3$ и цилиндрической форме на проводе диаметром 10 мм при высоте подвеса 10 м. Определение эквивалентной толщины стенки гололеда b_3 в зависимости от массы (веса) отложения P осуществляется по формуле (3.33):

$$b_3 = \left(\sqrt{\frac{P}{283}} + 0,25 - 0,5 \right) \cdot 10 \text{ (мм)}, \quad (3.33)$$

где P — вес гололедно-изморозевых отложений, приведенный к условиям стандартной ВЛ.

Более подробная методика расчета толщины стенки гололеда представлена в [1].

В соответствии с ПУЭ-7 линейная гололедная нагрузка на 1 м провода или троса P_r (Н/м) с требуемой вероятностью не превышения определяется по формуле:

$$P_r = \pi K_i K_d b_3 (d + K_i K_d b_3) \rho g 10^{-3}, \quad (3.34)$$

где K_i — коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки гололеда по высоте, принимаемый по таблице 3.20;

K_d — коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки гололеда в зависимости от диаметра провода, принимаемый по таблице 3.20;

b_3 — толщина стенки гололеда, принимаемая по таблице 3.21 в соответствии с картой районирования территории РФ по толщине стенки гололеда, приведенной в ПУЭ-7, или по формуле (3.33);

d — диаметр провода;

ρ — плотность льда, принимаемая равной $0,9 \text{ г/см}^3$;

g — ускорение свободного падения, принимаемое равным $9,8 \text{ м/с}^2$.

Ветровая нагрузка P_{wg} на провода и тросы при гололеде определяется по формуле:

$$P_{wg} = c_x \cdot W_r \cdot D \cdot 10^{-3}, \quad (3.35)$$

где c_x — коэффициент лобового сопротивления, принимаемый равным 1,1 для проводов и тросов диаметром 20 мм и более, 1,2 — для проводов и тросов диаметром менее 20 мм;

W_r — ветровое давление при гололеде (Па), определяется по формуле:

$$W_r = U_r^2 / 1,6 , \quad (3.36)$$

где U_r — максимальная скорость ветра при гололеде с требуемой вероятностью непревышения с осреднением за 10 мин на высоте 10 м над поверхностью земли, м/с;

D — диаметр гололедно-изморозевого отложения, приведенного к цилиндрической форме кругового сечения, который определяется по формуле:

$$D = K_D \cdot \sqrt{ac} , \quad (3.37)$$

где a и c — большой и малый диаметры отложения на проводе гололедного станка;

K_D — коэффициент перехода размеров гололедно-изморозевого отложения с провода гололедного станка на провода стандартной ВЛ (таблица 3.22).

Таблица 3.20

**Коэффициенты K_i и K_d , учитывающие изменение
толщины стенки гололеда [25]**

Высота расположения приведенного центра тяжести проводов, тросов и средних точек зон конструкций опор над поверхностью земли, м	Коэффициент K_i , учитывающий изменение толщины стенки гололеда по высоте над поверхностью земли	Диаметр провода (троса), мм	Коэффициент K_d , учитывающий изменение толщины стенки гололеда в зависимости от диаметра провода (троса)
25	1,0	10	1,0
30	1,4	20	0,9
50	1,6	30	0,8
70	1,8	50	0,7
100	2,0	70	0,6

Таблица 3.21

Толщина стенки гололеда для высоты 10 м над поверхностью земли на проводе диаметром 10 мм с вероятностью превышения 0,96 [25]

Гололедный район	Толщина стенки гололеда, мм	Нормативная толщина стенки гололеда, мм
I	до 10 вкл.	10
II	10,1–15,0	15
III	15,1–20,0	20
IV	20,1–25,0	25
V	25,1–30,0	30
VI	30,1–35,0	35
VII	35,1–40,0	40
Особый	40,1 и более	более 40

Таблица 3.22

Значения коэффициентов K_D

$a \cdot c, \text{мм}^2$	Скорость ветра, м/с		
	1,0–8,0	8,1–16,0	>16,0
≤ 50	2,50	2,65	2,80
51–100	2,15	2,45	2,65
101–200	2,00	2,30	2,50
201–800	1,85	2,15	2,35
> 800	1,70	2,05	2,25

Из всех случаев гололедно-изморозевых отложений за гололедный сезон в конкретном пункте наблюдений и за конкретный год выбирается только случай с максимальной ветровой нагрузкой при гололеде, выписывается величина нагрузки и величина максимальной скорости ветра и составляются временные ряды. Для аппроксимации ранжированных рядов используется распределение Гумбеля.

Изложенные выше расчеты климатических нагрузок относятся к одной точке местности (пункту наблюдений). Как было отмечено выше, линия электропередачи представляет собой протяженный объект, на котором климатические нагрузки изменяются независимо друг от друга как в пространстве (по длине ВЛ), так и во времени. Для повышения надежности ВЛ определять расчетные нагрузки необходимо с учетом ее длины. СИГРЭ [28] предлагает определять ветровые нагрузки с учетом длины ВЛ следующим образом:

- при длине ВЛ < 100 км климатические нагрузки принимаются согласно соответствующему уровню надежности ВЛ (фактически это нагрузки, принимаемые в точке по данным наблюдений метеостанции);

- при длине ВЛ > 100 км период повторения принятых климатических нагрузок должен быть увеличен пропорционально длине ВЛ для обеспечения требуемой надежности (так, например, для ВЛ протяженностью 1000 км климатические нагрузки должны быть приняты с повторяемостью в 10 раз выше изначально принятой для этого уровня надежности ВЛ).

Подробно способы расчета нагрузок на ВЛ с учетом ее длины изложены в [25].

3.5.2 Атмосферные перенапряжения

Атмосферным перенапряжением называют внезапное кратковременное повышение напряжения до значений, опасных для изоляции электроустановки, вызванное атмосферными явлениями.

Причинами атмосферного перенапряжения является грозовая деятельность. При ударах молнии в электроустановку или в непосредственной близости от нее может возникнуть перенапряжение, которое при отсутствии грозозащитных мероприятий приводит к нарушению эксплуатации ВЛ. Полностью защитить ВЛ от молниевых разрядов невозможно, поэтому при

проектировании необходимо учитывать число возможных грозовых отключений. Интенсивность грозовой деятельности оценивается по числу дней с грозами (повторяемости гроз) и их продолжительности.

Согласно ПУЭ-7, интенсивность грозовой деятельности должна определяться по картам районирования РФ по числу грозовых часов, по региональным картам или по данным метеостанций о среднегодовой продолжительности гроз.

Интенсивность грозовой деятельности также характеризуется числом ударов молний в год на 1 км^2 . Плотность ударов молний в землю N_g можно рассчитать по формуле [31]:

$$N_g = \frac{6,7 \cdot T_d}{100}, \quad (3.38)$$

где T_d — средняя продолжительность гроз (ч), определенная по картам интенсивности грозовой деятельности или по данным метеостанции.

При проектировании и сопоставлении расчетных и эксплуатационных показателей грозоупорности ВЛ рекомендуется использовать данные наблюдений за грозами на метеостанциях, наиболее близко расположенных к трассе ВЛ не менее чем за 30 лет [30].

Общее представление о продолжительности гроз дает карта районирования территории РФ по среднегодовой продолжительности гроз, приведенная в ПУЭ-7 [23].

При оценке продолжительности гроз вдоль трассы ВЛ необходимо учитывать неоднородность сети гидрометеорологических станций и удаленность отдельных станций от трассы на расстояние, превышающее радиус обнаружения грозы (порядка 15 км), т. е. условно относить отдельные участки трассы к зоне охвата ближайшей ГМС [30]. В пределах практических зон охвата ГМС

могут быть отдельные области, в которых интенсивность грозовой деятельности в силу местных условий заметно отличается от показателей, фиксируемых ближайшей ГМС. Правильная оценка интенсивности грозовой деятельности в таких случаях возможна только на основе специального анализа, учитывающего географические и климатические особенности местности, наличие крупных водоемов и рек. Такой анализ может оказаться полезным для выявления причин пониженной грозоупорности ВЛ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические рекомендации по расчету специализированных климатических характеристик для обслуживания различных отраслей экономики. Строительство. Транспорт / Кобышева Н. В. и др. – Санкт-Петербург : ГГО. – 2017. – 160 с.
2. СП 36.13330.2012 «СНиП 2.05.06-85* Магистральные трубопроводы». Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*.
3. СП 22.13330.2016 «СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений». Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.
4. СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология». Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*.
5. СП 25.13330.2020 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах». Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88.
6. Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]: ФГБУ «ВНИИГМИ—МЦД». – Обнинск. – 2018. – URL: <http://aisori.meteo.ru/>.
7. Основные требования по составу и объему изысканий и исследований при выборе пункта и площадки АС. СППНАЭ-87 п. 4.1. – Москва. – 2000.
8. Константинов А. Р. Испарение в природе. – Ленинград : Гидрометеиздат. – 1968. – 532 с.
9. ТКП 17.10-27-2010 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорологическая деятельность. Правила проведения наблюдений за испарением с водной поверхности и расчета испарения с поверхности водоемов. – URL: http://ecoinv.by/images/pdf/tkp_fond/_17.10-27-2010.pdf.
10. Замай С. С., Якубайлик О. Э. Модели оценки и прогноза загрязнения атмосферы промышленными выбросами в информационно-аналитической системе природоохранных служб

крупного города : учебное пособие. – Красноярск : Краснояр. гос. ун-т. – 1998. – 109 с.

11. НП-064-17 Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии. Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30 ноября 2017 года № 514. Дата актуализации 01.02.2020 г.

12. Атласы ветрового и солнечного климатов России / под ред. М. М. Борисенко, В. В. Стадник. – Санкт-Петербург : Изд-во ГГО им. А. И. Воейкова. – 1997. – 173 с.

13. Климатические факторы возобновляемых источников энергии / В. В. Елистратов [и др.]; под ред. В. В. Елистратова, Н. В. Кобышевой, Г. И. Сидоренко. – Санкт-Петербург : Наука. – 2010. – 235 с.

14. Пивоварова З. И., Стадник В. В. Климатические характеристики солнечной радиации как источника энергии на территории СССР : научно-справочное пособие / под ред. И. Д. Копанева. – Ленинград : Гидрометеиздат. – 1988. – 291 с.

15. Пивоварова З. И. Радиационные характеристики климата СССР / под ред. М. И. Будыко. – Ленинград : Гидрометеиздат. – 1977. – 335 с.

16. Стадник В. В., Разгоняев Ю. В. Оценка суммарного прихода суммарной радиации, поступающей на наклонные поверхности // Труды ГГО. – 2008. – Вып. 557. – С. 67–84.

17. Расчет систем солнечного теплоснабжения / У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи ; сокр. пер. с англ. Г. А. Гухман, С. И. Смирнова. – Москва: Энергоиздат. – 1982. – 79 с.

18. РД 52.04.666-2005 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 10. Инспекция гидрометеорологических

станций и постов. Часть I. Инспекция метеорологических наблюдений на станциях. – Санкт-Петербург : Гидрометеоиздат. – 2005. – 163 с.

19. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1. Метеорологические наблюдения на станциях. – Ленинград : Гидрометеоиздат. – 1985. – 301 с. (с Изменениями № 1 и № 2).

20. РД 52.04.614-2000 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 2. Обработка материалов метеорологических наблюдений. – Санкт-Петербург : Гидрометеоиздат. – 2001. – 119 с.

21. РД 52.04.275-89 Методические указания «Проведение изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов для обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок».

22. Рекомендации по определению климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов / Гл. геофиз. обсерватория им. А. И. Воейкова, НПО «Ветроэн». – Ленинград : Гидрометеоиздат. – 1989. – 80 с.

23. ПУЭ-7 Правила устройства электроустановок. Издание 7.

24. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.

25. СТО 56947007-29.240.057-2010 Методические указания по определению климатических нагрузок на ВЛ с учетом ее длины / ООО «ФСК ЕЭС». – 2010.

26. Луговой В. А., Тимашова Л. В., Черешнюк С. В. Учет климатических нагрузок на воздушные линии электропередачи // Энергия единой сети. – 2014. – № 3 (14) июнь–июль. – С. 31–40.

27. Рекомендации по расчету специализированных климатических характеристик / под ред. Н. В. Кобышевой. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат. – 1997. – 77 с.

28. Вероятностно-статистический подход к проектированию воздушных линий электропередачи // Брошюра СИГРЭ. – 1996. – № 109, декабрь.

29. СТО 56947007-29.240.057-2010 Методические указания по расчету климатических нагрузок в соответствии с ПУЭ-7 и построению карт климатического районирования / ООО «ФСК ЕЭС». – 2010.

30. РД 153-34.3-35.125-99 Руководство по защите электрических сетей 6–1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений.

31. СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.

32. СТО 56947007-29.240.056-2010 Методические указания по определению региональных коэффициентов при расчете климатических нагрузок / ООО «ФСК ЕЭС». – 2010.

**РЕЕСТР
основных задач пользователей и климатическая информация
для энергетической отрасли**

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	<i>Добыча и транспортировка топлива</i>	
Проектирование новых и реконструируемых магистральных трубопроводов и ответвлений от них	Атмосферное давление, мм рт. ст. (гПа) Ветровая и снеговая нагрузка, Н/м и Н/м² Дата начала образования снежного покрова и его схода Время перехода температуры воздуха и грунта от положительных температур к отрицательным и обратно Высота снежного покрова, см Энергетическая освещенность солнечной радиацией, Вт/м² Нагрузка, вызываемая морозным растрескиванием грунта Скорость ветра, м/с Максимальная глубина и время промерзания грунта Количество осадков, мм/год, сезон Относительная влажность, % Продолжительность летнего периода, дни	ПУЭ-7 Правила устройства электроустановок. Издание 7; СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями № 1, 2); СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88 (с Изменениями № 1-4); СП 47.13330.2016 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	Температура воздуха (средняя, максимальная, минимальная), °С Температура почвы, °С Толщина слоя гололеда, мм	СП 86.13330.2014 Магистральные трубопроводы (пересмотр) актуализированного СНиП III-42-80* «Магистральные трубопроводы» (СП 86.13330.2012)) (с Изменениями № 1, 2)
Определение трансферта на закуску топлива	Начало и конец устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 8 °С Средняя продолжительность отопительного периода (ОП), дни Средняя температура воздуха ОП, °С	СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология». Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. Малявина Е. Г. Теплопотери здания: Справочное пособие. – М.: «АВОК-ПРЕСС», 2007. – 144 с; Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – Обнинск, 2018. URL: http://aisori.meteo.ru/

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
<i>Атомные электростанции, теплоэлектростанции</i>		
Выбор района строительства и эксплуатации атомной электростанции	Солнечная радиация: месячные и годовые суммы прямой, отраженной, суммарной радиации на горизонтальную поверхность и радиационного баланса Продолжительность солнечного сияния Температура воздуха: среднемесячная, среднегодовая, абсолютные максимум и минимум, температура воздуха наиболее холодных суток и 5-дневки обеспеченностью 0,92 и 0,98 Расчетные максимальные и минимальные температуры различной обеспеченности; продолжительность и средняя температура периодов со среднесуточной температурой 8 °С, 0 °С Температура почвы и грунта: средние и экстремальные температуры на стандартных глубинах, средние и экстремальные значения глубины проникновения температуры (0 °) в почву (см) Влажность воздуха: парциальное давление водяного пара, дефицит насыщения (гПа) Средняя относительная влажность воздуха по месяцам и за год и в наиболее жаркое время самого теплого и самого холодного месяцев (%)	Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / под общ. ред. С. К. Шойгу – М.: ДИК, 2010. – 696 с. Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – Обнинск, 2018. URL: http://aisori.meteo.ru/; РБ-021-14. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Основные рекомендации к разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 для блока атомной станции при инициирующих событиях, обусловленных внешними воздействиями природного и

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	Среднее число дней с относительной влажностью не менее 80 % и с наличием относительной влажности не более 30 % Осадки: средние месячные и годовые суммы осадков, годовые суммы осадков различной обеспеченности Наблюденные и расчетные максимумы осадков за сутки, за 1 час, за 20, 10 и 5 мин заданной обеспеченности Внутригодовое распределение осадков для характерных лет, мм Среднее значение интенсивности (мм/мин) и повторяемости (%) ливней, достигающих более 30 мм/ч, и сумм осадков, превышающих 50 мм за 12 ч Снежный покров: среднее и наибольшие декадные высоты снежного покрова, см Расчетное значение ежегодного максимального содержания воды в снеге (кг/м³) обеспеченностью 0,01 % Среднее значение высоты снежного покрова (см) при количестве твердых осадков, превышающем 20 мм за 24 ч Испарение (мм): месячные и годовые суммы испарения с водной поверхности и суши	техногенного происхождения» (Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору от 28 августа 2014 г. № 396) Руководство МАГАТЭ № NS-G-3.4. Учет метеорологических явлений при оценке площадок для атомных электростанций. Вена, 2005. Руководство по безопасности. РБ-022-01. «Рекомендации по оценке характеристик смерча для объектов использования атомной энергии» (утв. постановлением Госатомнадзора РФ от 28.12.2001 г. № 17) Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики /

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	Внутригодовое распределение испарения для характерных лет, мм Атмосферное давление: среднемесячные, максимальные и минимальные значения давления, минимальное давление при ураганах, гПа Ветровой режим: повторяемость направлений ветра по 16 румбам и штилей по месяцам и за год, % Расчетные максимальные скорости ветра различной обеспеченности, в т. ч. 0,01 %, м/с Среднее и наибольшее число дней в году с сильным ветром более или равным 6, 8, 10 и 15 м/с Средняя повторяемость штилей и слабых ветров до 2 м/с (%); повторяемость (%) различных градаций скорости ветра Неблагоприятные метеорологические явления: туманы, грозы, град, гололед, метели и др., их средняя продолжительность (ч) и повторяемость (%) по месяцам, сезонам и за год; объем снеготерянос за зиму с максимальной продолжительностью метелей (м³/м) Повторяемость туманов, гроз, града, гололеда, метелей различной продолжительности, % Смерчопасность территории	под ред. Н. В. Кобышевой - СПб. - 2008. - 336с. СП 14.13330.2014 «СНиП 11-7-81* Строительство в сейсмических районах» СП 18.13330.2019 «СНиП II-89-80* Генеральные планы промышленных предприятий» СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия»; СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями № 1, 2, 3); СП 47.13330.2016 «СП 11-103-97 Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства»; СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»; Справочник по опасным

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	Вероятность прохождения ураганов и расчетные характеристики вероятного максимального урагана Оценка средней и наибольшей повторяемости (%) и продолжительности (ч) пыльных бурь, пыльной мглы Средняя концентрация пыли на различных высотах при ветре разных направлений; содержание растворимых солей, хлоридов, сульфатов и нерастворимого остатка Распределение размеров частиц пыли во всех видах пыльных бурь	природным явлениям в республиках, краях и областях Российской Федерации / под ред. К. Ш. Хайруллина – СПб: Гидрометеиздат, 1997. – 587 с.; Основные требования по составу и объему изысканий и исследований при выборе пункта и площадки АС (п. 4.1 СППНАЭ-87)
Проведение аэрологических изысканий для выбора района строительства атомной станции	Ветер: средняя скалярная скорость, модуль и направление среднего результирующего вектора ветра; повторяемость направлений и средняя скорость ветра в 16 румбах Совместные повторяемости скоростей ветра в градациях и направлений в 16 румбах на разных уровнях Штили: повторяемость штилей Повторяемость мощности приземных штилевых слоев Средние значения мощности штилевых слоев Средние и максимальные значения непрерывной	Основные требования по составу и объему изысканий и исследований при выборе пункта и площадки АС (п. 4.1 СППНАЭ-87)

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	продолжительность штилей в градациях мощности приземных штилевых слоев Среднее значение высоты слоя перемешивания, м Инверсии: повторяемость приземных инверсий Повторяемость мощности приземных инверсий в градациях Среднее значение мощности приземных инверсий Повторяемость интенсивности приземных инверсий в градациях Среднее значение интенсивности приземных инверсий Средние и максимальные значения непрерывной продолжительности приземных инверсий в градациях мощности Повторяемость приподнятых инверсий, повторяемости нижней границы приподнятых инверсий на высотах Средняя высота нижней границы приподнятых инверсий Повторяемость мощности приподнятых инверсий в градациях; среднее значение мощности приподнятых инверсий; повторяемость интенсивности приподнятых инверсий в градациях; среднее значение интенсивности	

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	приподнятых инверсий; средние и максимальные значения непрерывной продолжительности приподнятых инверсий в градациях мощности Устойчивость атмосферы: повторяемость категорий устойчивости атмосферы, совместные повторяемости категорий устойчивости атмосферы, скоростей ветра в градациях и направлений в 16 румбах на разных уровнях	
Принятие предварительных проектных решений по системам технического водоснабжения, вентиляции	Предельные значения относительной влажности воздуха, соответствующие абсолютным и расчетным 0,01 % обеспеченности максимумам и минимумам температуры воздуха, % Суточный ход температуры и влажности воздуха в течение жарких суток расчетной обеспеченности Температура воздуха, более высокие значения которой в средний по термическим условиям год составляют менее 220 ч в году, и соответствующая ей относительная влажность Средние температуры воздуха самой жаркой и самой холодной пятидневки (обеспеченностью 0,98 и 0,92) и соответствующая им относительная влажность	Основные требования по составу и объему изысканий и исследований при выборе пункта и площадки АС (п. 4.1 СППНАЭ-87)

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	Средняя температура воздуха в 15 ч самого жаркого и самого холодного месяцев и соответствующая этим температурам относительная влажность	
Проектирование градирен	Кривые повторяемости температуры воздуха и связи температуры воздуха со средневзвешенной влажностью за неблагоприятный (неотопительный) период для лет обеспечения 10 и 50 % Совмещенные хронологические графики температуры и относительной влажности, суточный ход скорости ветра в течение неблагоприятного периода Предельные значения относительной влажности воздуха при температуре выше 20 °С (%) для тех же лет Максимальные среднедекадные и среднемесячные температуры воды водоема, используемого для подпитки градирен, хронологический график температуры воды водоема, для тех же лет	Основные требования по составу и объему изысканий и исследований при выборе пункта и площадки АС (п. 4.1 СППНАЭ-87)
Проектирование водохранилищ-охлаждающих	Характеристика самой жаркой декады года 10 % обеспеченности по средней температуре неблагоприятного периода:	Основные требования по составу и объему изысканий и исследований при выборе

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	– средние суточные, средние и предельные за декаду значения температуры и влажности воздуха – температуры воды водоема-аналога – суточный ход скорости ветра, облачности, осадков	пункта и площадки АС (п. 4.1 СППНАЭ-87)
Проектирование систем охлаждения отработанного теплоносителя (доведение его температуры до значения, необходимого для повторного цикла)	Нормативная глубина сезонного промерзания грунта, м + 0,5 м При отсутствии указанных данных о температуре и влажности воздуха за расчетную температуру следует принимать температуру воздуха обеспеченностью 0,95 при средней месячной относительной влажности не менее теплого месяца, определяемой по таблицам в СП 131.13330 Среднее и наибольшее число дней с обледенением, дни Средняя суточная температура воздуха обеспеченностью 5 % и соответствующая ей влажность	Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – Обнинск, 2018. URL: http://aisori.meteo.ru/; СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями № 1, 2, 3); СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»
Принятие планировочного	Интенсивность дождя продолжительностью 20 мин на 1 га данной местности при T = 1 год	Научно-прикладной справочник «Климат России»

Задачи пользователей	решения по размещению площадок складов угля, сланцев и торфа для теплоэлектростанций и их инженерной защите от неблагоприятных гидрометеорологических воздействий	Климатические показатели Преобладающее направление ветра Районирование территории по повторяемости пыльных бурь и обильных осадков Расчетная продолжительность дождей, мин Среднее и наибольшее число дней с грозой, дни Среднее количество дождей за год Сток атмосферных вод с поверхности склада Уклоны поверхности площадки склада не менее 3‰ Суточный максимум осадков, мм	Нормативные и литературные источники получения информации [Электронный ресурс]: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – Обнинск, 2018. URL: http://aisori.meteo.ru/; НТП 81. Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций; Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики / под ред. Н. В. Кобышевой – СПб. – 2008. – 336 с.; СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций; СП 18.13330.2019 «СНиП П-89-80* «Генеральные планы промышленных предприятий»; СП 32.13330.2019 «СНиП 2.04.03-85 Канализация.
----------------------	--	---	--

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
		Наружные сети и сооружения»; СП 90.13330.2012 «СНиП П-58-75 Электростанции тепловые»; СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»
Расчет освещенности при проектировании площадок строительства складских помещений теплоэлектростанции и котельных	Высота солнца над горизонтом, ° Классификация районов РФ по ресурсам светового климата Преобладающее направление ветра Среднее и наибольшее число дней с туманом, дни Суточный ход рассеянной и суммарной естественной освещенности горизонтальной поверхности, кВт/м² Число дней с пыльными бурями, дни	Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – Обнинск, 2018. URL: http://aisori.meteo.ru/; СП 52.13330.2011 «СНиП 23-05-95*Естественное и искусственное освещение»; СП 90.13330.2012 «СНиП П-58-75 Электростанции тепловые»; СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
Проектирование вентиляции и кондиционирования помещений топливно-подачи рабочей зоны теплоэлектростанции	Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее теплого месяца, % Средняя температура наружного воздуха в 13 ч наиболее теплого месяца	СП 90.13330.2012 «СНиП П-58-75 Электростанции тепловые»; СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»
Проектирование отопления и вентиляции в помещениях главного корпуса теплоэлектростанции	В теплый период года для расчета вентиляции следует принимать температуру по параметрам А (Р = 95 %) Параметры А и В включают в себя расчетную температуру воздуха, соответствующую ей энтальпию и скорость ветра	Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. – Л.: Гидрометеиздат, 1988; СП 60.13330.2016 «СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»; СП 90.13330.2012 «СНиП П-58-75 Электростанции тепловые»; СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
Расчет ограничений мощности электростанций	Средние многолетние значения относительной влажности воздуха, % Средние многолетние значения температуры воздуха, °C	РД 34.20.541-92 Методические указания по расчету нормативной рабочей мощности электростанций
Определение технических требований по климатическому исполнению автоматизированных систем контроля радиационной обстановки в районе размещения атомной электростанции	Верхнее рабочее значение атмосферного давления составляет 106,7 кПа (800 мм рт. ст.) Интенсивность (мм/ч) и продолжительность дождя (ч) Скорость ветра (верхнее предельное значение) 50 м/с Сочетания относительной влажности и температуры воздуха Средняя из ежегодных абсолютных максимумов температура воздуха Средняя из ежегодных абсолютных минимумов температура воздуха Средняя минимальная температура воздуха Температура почвы на глубине 1 м, °C	ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды» (с Изменениями № 1, 2, 3, 4, 5); Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – Обнинск, 2018. URL: http://aisori.meteo.ru/ ; Требования к оборудованию метеопостов для АСКРО

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
		согласуются с НПО «Тайфун»; СТО 1.1.1.01.001.0875-2013 «Оборудование автоматизированных систем контроля радиационной обстановки в районе размещения атомных электростанций»
Определение требований к построению, изложению, оформлению и содержанию радиоэкологического паспорта специализированного предприятия по обращению с радиоактивными отходами	Высота снежного покрова, м Глубина промерзания грунта, м Максимальная летняя, минимальная зимняя, среднемесячная зимнего и летнего периодов температуры воздуха, °С Максимальная скорость ветра, м/с Роза ветров Среднегодовое количество осадков, мм/год	ГОСТ Р 50888-96 Радиоэкологический паспорт специализированного предприятия по обращению с радиоактивными отходами. Основные положения
Определение требований к источникам	Относительная влажность воздуха 20–95 % Температура воздуха 0–55 °С	ГОСТ Р МЭК 61225-2011 Атомные станции. Системы контроля и управления,

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
переменного и постоянного тока для систем контроля и управления		важные для безопасности. Требования к электроснабжению
Определение требований по стойкости, прочности и устойчивости к внешним воздействующим факторам, соответствующим условиям эксплуатации аппаратуры, приборов, устройств и оборудования систем управления технологическими процессами атомных электростанций	Атмосферное давление, Па Иней, роса Интенсивность дождя или капель, мм/мин Относительная влажность, % Температура воздуха, °С	ГОСТ 25804.3-83 Аппаратура, приборы, устройства и оборудование систем управления технологическими процессами атомных электростанций. Требования по стойкости, прочности и устойчивости к внешним воздействующим факторам
Разработка, изготовление и эксплуатация систем, и входящих в них технических средств, предназначенных для контроля нейтронного	Атмосферное давление, кПа Относительная влажность, % Температура воздуха, °С	ГОСТ 27445-87 (СТ СЭВ 6633-89) Системы контроля нейтронного потока для управления и защиты ядерных реакторов. Общие технические требования (с Изменением № 1)

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
потока ядерных корпусных энергетических и исследовательских реакторов и критических сборок		
Определение требований стойкости стандартных образцов ядерных материалов к внешним климатическим воздействиям	Атмосферное давление от 95 до 105 кПа Относительная влажность до 98 % при температуре 40 °С Температура воздуха от минус 50°С до плюс 50 °С	ГОСТ 25926-90 (СТ СЭВ 3839-82) Источники ионизирующего излучения радионуклидные закрытые. Классы прочности и методы испытаний. Нормы степеней жесткости при климатических и механических воздействиях (с Изменением № 1); ГОСТ Р 52118-2003 Стандартные образцы ядерных материалов для радиационных мониторов. Общие технические требования и методы испытаний
Определение требований стойкости закрытых	Относительная влажность до 98 % при температуре 40 °С Температура воздуха от минус 50 °С до плюс 50 °С	ГОСТ 25926-90 (СТ СЭВ 3839-82) Источники ионизирующего излучения

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
радионуклидных источников α -, β -, γ -, рентгеновского и нейтронного излучений		радионуклидные закрытые. Классы прочности и методы испытаний. Нормы степеней жесткости при климатических и механических воздействиях (с Изменением № 1); ГОСТ Р 51873-2002 Источники ионизирующего излучения радионуклидные закрытые. Общие технические требования
Определение устойчивости блоков закрытых радионуклидных источников бета- и гамма-излучения	Относительная влажность 95 (± 3) % при температуре плюс 35 °С Температура воздуха от минус 50 °С до плюс 50 °С	ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды (с Изменениями № 1, 2, 3, 4, 5); ГОСТ 18324-73. Блоки источников ионизирующих

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
		излучений для релейных радионизотопных приборов. Общие технические условия (с Изменениями № 1, 2, 3)
Определение стратегии, технических требований и рекомендаций по управлению старением систем контроля и управления атомной станции и сопутствующего оборудования	Атмосферное давление, кПа Относительная влажность воздуха, % Экстремальные температуры воздуха, °C	ГОСТ Р МЭК 62342-2016 Атомные станции. Контроль и управление, важные для безопасности. Управление старением
Определение условий эксплуатации закрытых радионуклидных источников ионизирующего излучения	Атмосферное давление от 25 кПа до 500 кПа Относительная влажность, до 98 % при температуре 60 °C Температура воздуха от минус 60 °C до плюс 250 °C	ГОСТ Р 52241-2004 Источники ионизирующего излучения радионуклидные закрытые. Классы прочности и методы испытаний
Определение условий эксплуатации электрических вводов в защитной оболочке реактора ядерных энергетических	Температура воздуха от 15 до 60 °C	ГОСТ Р 52287-2004 (МЭК 60772-1983) Вводы электрические в структуре оболочки ядерных энергетических установок

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
установок Определение конструкции упаковки для транспортировки радиоактивного материала атомной электростанции в открытом транспортном средстве	Энергетическая освещенность солнечной радиацией в течение 12 ч/сут., Вт/м² Климатическое районирование Число дней с температурой воздуха $\geq$ плюс 38 °С, дни Число дней с температурой воздуха $\leq$ минус 40 °С, дни	Метеорологические базы данных Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – Обнинск, 2018. URL: http://aisori.meteo.ru/; НП-053-04 Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов; СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»
Определение условий транспортировки технических средств для автоматизированной системы контроля радиационного оборудования атомной электростанции	Относительная влажность воздуха 95 % и выше при температуре плюс 35 °С Средняя максимальная температура наружного воздуха плюс 50 °С и ниже Средняя минимальная температура наружного воздуха минус 50 °С и выше	Метеорологические базы данных Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – Обнинск, 2018. URL: http://aisori.meteo.ru/;

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
		СТО 1.1.1.01.001.0875-2013 Оборудование автоматизированных систем контроля радиационной обстановки в районе размещения атомных электростанций. Технические требования эксплуатирующей организации
Определение условий хранения газообразной смеси изотопов криптона	Температура воздуха от минус 70 до плюс 50 °C	ГОСТ 25057-81 (СТ СЭВ 2714-80) Криптон-85 газообразный. Технические условия
Определение условий хранения газоразрядных детекторов ионизирующих излучений	Относительная влажность $\leq 80\%$ Температура воздуха от 5 до 35 °C	ГОСТ 26995-86 Детекторы ионизационные газоразрядные. Технические условия (с Изменением № 1)
Определение условий хранения закрытых радионуклидных источников ионизирующего излучения	Относительная влажность до 98% при температуре 40 °C Температура воздуха от минус 50 до плюс 50 °C	ГОСТ 23649-79 Источники ионизирующего излучения радионуклидные закрытые. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение (с Изменениями № 1, 2, 3, 4)

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
Расчет показателей экономичности (расчет количества топлива, удельный расход топлива на отпуск электроэнергии и тепла и расход электроэнергии на собственные нужды) для теплоэлектроцентралей	Средняя температура отопительного периода, °С Средняя температура летнего периода, °С Температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, °С	СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»; СП ТЭС-2007 Свод правил по проектированию тепловых электрических станций; Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – Обнинск, 2018. URL: http://aisori.meteo.ru/
Выделение территории для ветроэнергетических установок с максимальной возможной продолжительностью энергоактивных скоростей ветра	<i>Ветроэнергетика</i> Средняя месячная и годовая скорость ветра, м/с Повторяемость (распределение) скоростей ветра по градациям Вертикальный профиль ветра в нижнем 500-метровом слое атмосферы Преобладающее направление ветра Распределение средней повторяемости (%) местных периодических ветров по территории (карта) Вертикальный профиль сильных порывов ветра ($u_n > 15$ м/с)	Метеорологические базы данных Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – Обнинск, 2018. URL: http://aisori.meteo.ru/ РД 52.04.275-89 Методические указания проведения изыскательских

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	Число дней со скоростью ветра более 5 м/с, дни Число дней со скоростью ветра более 9 м/с, дни	работ по оценке ветроэнергетических ресурсов для обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок; Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики / под ред. Н. В. Кобышевой. – СПб. – 2008. – 336 с.
Оценка потенциала энергии ветра для выбора оптимального режима работы ветроэнергетических установок	Амплитуда суточного хода средней скорости ветра, м/с Вертикальный профиль максимальной скорости ветра, м/с Вертикальный профиль средней скорости ветра, м/с Интенсивность турбулентности ветрового потока Преобладающее направление ветра Распределение скорости ветра по грациям Средняя месячная и годовая скорость ветра, м/с Суммарная (интегральная) повторяемость диапазона рабочих скоростей ветра	Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – Обнинск, 2018. URL: http://aisori.meteo.ru/ РД 52.04.275-89 Методические указания проведения изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов для обоснования схем размещения и проектирования

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	Повторяемость энергетических затиший, т. е. скорости ветра ниже определенного уровня (u_0), когда электроэнергия ВЭУ не вырабатывается Повторяемость диапазона «буревых» (опасных) скоростей, когда ВЭУ отключается во избежание поломки лопастей Непрерывная продолжительность диапазона рабочих скоростей, диапазона номинального режима, энергетических затиший	ветроэнергетических установок Микроклиматология и ее значение для сельского хозяйства / Е. Н. Романова, Г. И. Мосолова, И. А. Беренева. – Л.: Гидрометеиздат. – 1983. – 245 с.; Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики / под ред. Н. В. Кобышевой. – СПб. – 2008. – 336 с.; СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»
Оценка рисков ударов молний и грозových разрядов в ветроэнергетические установки	Атмосферное давление, Па Интенсивность осадков, мм/мин Число дней с грозой за год Относительная влажность, % Скорость ветра, м/с Среднегодовое число ударов молнии на	ГОСТ Р 51992-2011 (МЭК 61643-1:2005) Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные. Часть 1. Устройства защиты от импульсных перенапряжений

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	I кв. км поверхности земли Температура воздуха, °С Температура почвы на глубинах, °С	в низковольтных силовых распределительных системах. Технические требования и методы испытаний; ГОСТ Р 54418.24-2013 (МЭК 61400-24:2010) Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Часть 24. Молниезащита
Определение требований стойкости к внешним воздействующим факторам ветроэнергетических установок	Гололед, град, гроза, иней, песчаные бури предельная дальность видимости, роса Интенсивность осадков, мм/мин Относительная влажность, % Скорость ветра при двухминутном порыве не менее 50 м/с Температура воздуха, °С	ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов: Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды (с Изменениями № 1, 2, 3, 4, 5); ГОСТ Р 51991-2002 Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
		ветроэнергетические. Общие технические требования; ГОСТ Р 54418.1-2012 (МЭК 61400-1:2005) Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Часть 1. Технические требования; ГОСТ Р 54418.2-2014 (МЭК 61400-2:2006) Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Часть 2. Технические требования к малым ветроэнергетическим установкам; ГОСТ Р 54418.4-2013 Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Часть 4. Проектирование трансмиссий ветроустановок. Технические требования

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
Измерение выходных электрических характеристик отдельно взятых ветроэлектрической установки и проведение испытаний ветроэлектрических установок всех типов и размеров, работающих параллельно с энергетической системой	Абсолютная температура воздуха, усредненная за 10 мин, °С Давление воздуха, усредненное за 10 мин, Па Осадки, мм Относительная влажность, % Скорость ветра, м/с Средняя величина перепада давления, Па	ГОСТ 4401-81 Атмосфера стандартная. Параметры (с Изменением № 1); ГОСТ Р 54418.12.1-2011 (МЭК 61400-12-1:2005) Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Часть 12-1. Измерение мощности, вырабатываемой ветроэлектрическими установками; ГОСТ Р 54418.12.2-2013 Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Часть 12-2. Измерение показателей мощности ветроэнергетической установки с использованием анемометра, установленного на гондоле
Проверка показателей мощности ветроэлектрической	Атмосферное давление за 10-минутный интервал осреднения, Па Скорость ветра за 10-минутный интервал	ГОСТ Р 54418.12.3-2012 Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика. Установки

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
станции, общей производительности ветроэлектрической станции в зависимости от параметров ветра, измеренных в одной или нескольких точках	осреднения, м/с Стандартное отклонение направления и скорости ветра Температура воздуха за 10-минутный интервал осреднения, °С Тип и интенсивность осадков	ветроэнергетические. Часть 12-3. Методы испытаний для определения количества вырабатываемой электроэнергии
Проведение сертификации ветроэнергетических установок, предназначенных для размещения на суше и в прибрежной зоне	Атмосферное давление, Па Направление ветра Нормальный и экстремальный диапазоны температур, °С Относительная влажность воздуха, % Плотность воздуха, кг/м ³ Скорость ветра, м/с Солнечное излучение, Вт/м ²	ГОСТ Р 54418.22-2014 (МЭК 61400-22:2010) Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Часть 22. Оценочные испытания и сертификация
<i>Гелиоэнергетика</i>		
Выбор района строительства и эксплуатации гелиоэнергетических установок	Продолжительность солнечного сияния, ч Месячные и годовые суммы солнечной радиации, МДж/м ² Месячные и годовые суммы прямой солнечной радиации, МДж/м ² Энергетическая освещенность солнечной радиацией, Вт/м ² Среднегодовой балл общей облачности	ВСН 52-86/Госгражданстрой Установки солнечного горячего водоснабжения. Нормы проектирования; Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». –

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	Среднегодовой балл нижней облачности Число дней без солнца, дни; Снеговая нагрузка, Н/м² Температура воздуха, °С Ветровая нагрузка, Н/м	Обнинск, 2018. URL: http://aisori.meteo.ru/; Пивоварова З. И., Стадник В. В. Климатические характеристики солнечной радиации как источника энергии на территории СССР: Научн.-справ. пособие / под ред. И. Д. Копанева. – Л.: Гидрометеиздат. – 1988. – 291 с.; Климатические факторы возобновляемых источников энергии / Под редакцией В. В. Елистратова, Н. В. Кобышевой, Г. И. Сидоренко – СПб: Наука. – 2010. – 235 с.
Испытание плоских солнечных коллекторов с металлической поглощающей панелью, светопрозрачной верхней теплоизоляцией или без нее	Плотность потока солнечного излучения, Вт/м² Скорость ветра, м/с Температура воздуха, °С	ГОСТ Р 51596-2000 Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные. Методы испытаний

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
и жидкостным теплоносителем, применяемых в системах с естественной и принудительной циркуляцией теплоносителя		
Испытание систем солнечного теплоснабжения	Температура воздуха (°C): среднесуточная, абсолютный минимум, минимальная часовая, пиковая среднечасовая в течение 5-дневного периода, пиковая среднечасовая за все время наблюдения, средняя за 5 дней, в течение периода воздействия солнечного излучения, в течение периода отсутствия воздействия солнечного излучения Длительность воздействия солнечного излучения, ч Количество последовательных дней со среднесуточной температурой воздуха выше 0 °C Скорость ветра, м/с: максимальная скорость ветра, наименьшая среднечасовая за 5-дневный период, м/с Пиковое среднечасовое солнечное излучение на поверхности солнечного коллектора в течение 5 дней, Вт/м² Продолжительность светового дня, ч	ГОСТ Р 55616.2-2014 (ЕН 12976-2:2006) Возобновляемая энергетика. Установки солнечные термические и их компоненты. Системы, изготовленные в заводских условиях. Часть 2. Методы испытаний

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	Энергетическая освещенность солнечной радиацией, поступающей на поверхность солнечного коллектора, Вт/м² Солнечная радиация, поступающая на поверхность солнечного коллектора, МДж/м² / сутки Средняя за пять дней солнечная радиация, поступающая на поверхность солнечного коллектора, МДж/м² / сутки	
Испытание солнечных коллекторов на устойчивость к деградирующим агентам и факторам	Осадки, мм Скорость ветра, м/с Суммарная солнечная радиация, поступающая на плоскость коллектора, МДж/м² Энергетическая освещенность солнечной радиацией, поступающей на плоскость коллектора, Вт/м² Температура воздуха, °С	ГОСТ Р 55617.2-2013 (ЕН 12975-2:2006) Возобновляемая энергетика. Установки солнечные термические и их компоненты. Солнечные коллекторы. Часть 2. Методы испытаний
Определение условий хранения плоских солнечных коллекторов с металлической поглощающей панелью и жидкостным теплоносителем	Интенсивность выпадения жидких осадков, мм/мин Относительная влажность воздуха, % Энергетическая освещенность солнечной радиацией, Вт/м² Температура воздуха, °С	ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения,

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
		транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды
<i>Воздушные линии электропередачи и линии связи</i>		
Выбор конструкции воздушных линий электропередач	Климатические районы строительства Максимальная ветровая нагрузка при гололеде, кг/м² Максимальная скорость ветра с 10-минутным интервалом осреднения на высоте 10 м с повторяемостью 1 раз в 25 лет (1 раз в 50, 150, 500 лет), м/с Максимальная толщина стенки гололеда, расположенной на высоте 10 м над поверхностью земли, повторяемостью 1 раз в 25 лет (1 раз в 50, 150, 500 лет), мм Направление и скорость ветра в начале обледенения, максимальная скорость и направление ветра за случай обледенения (ТМ-5), м/с Нормативная глубина сезонного промерзания грунта, м (при выборе конструкции заземляющих устройств опор) Расчетная температура воздуха района строительства (температура наиболее холодной	ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. Издание 7 Раздел 2. Канализация электроэнергий. Климатические условия и нагрузки; СП 22.13330.2016 «СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений»; СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»; СТО 56947007- 29.240.057-2010 Методические указания по определению климатических нагрузок на ВЛ с учетом ее длины; СТО 56947007- 29.240.55.192-2014 Нормы технологического

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	пятидневки с обеспеченностью 0,92 и 0,98) Среднегодовая продолжительность гроз, ч	проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35–750 кВ
Определение марки и конструкции проводов	Макроклиматический район	ГОСТ 839-80 Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия; ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды
Определение участка воздушной линии электропередачи для оснащения установками плавки гололеда. Автоматизированный контроль температуры	Нормативное ветровое давление при гололеде, возможное 1 раз в 25 лет Продолжительность и повторяемость атмосферных явлений (изморозь, переохлажденный дождь, мокрый снег), ч Районирование территории по ветровому давлению, по среднегодовой продолжительности	Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – Обнинск, 2018. URL: http://aisori.meteo.ru/; СТО 56947007 -

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
проводов и тросов	гроз в часах, по толщине стенки гололеда, мм Среднегодовая температура минус 10 °С и ниже, температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 и 0,98, °С Толщина стенки гололеда 25 мм и более	29.240.55.192-2014 Нормы технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35–750 кВ; ПУЭ-7. Правила устройства электроустановок; СП 20.13330.2011 «СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия»; СТО 56947007-29.240.055-2010 «Методические указания по расчету климатических нагрузок в соответствии с ПУЭ-7 и построению карт климатического районирования»
Определение условий эксплуатации переносных заземлений	Относительная влажность 80 % при температуре 20 °С Температура воздуха от минус 45 до плюс 45 °С	ГОСТ Р 51853-2001 Заземления переносные для электроустановок. Общие технические условия
Определение способа маркировки, упаковки, транспортирования и хранения	Климатический район	ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
электротехнических изделий, кабельных изделий, грузов, транспортируемых в районы Крайнего Севера и труднодоступные районы		климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды; ГОСТ 15846-2002 Продукция, отправляемая в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение; ГОСТ 18690-2012 Кабели, провода, шнуры и кабельная арматура. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение (с Поправкой)
Определение требований к изготовлению, условиям эксплуатации, транспортирования, хранения силовых	Максимальная температура воздуха, °C Минимальная температура воздуха, °C Энергетическая освещенность солнечной радиацией, Вт/м²	ГОСТ 20.57.406-81 Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические.

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
кабелей с медными жилами		Методы испытаний (с Изменениями № 1–10); ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды; ГОСТ 16962.1-89 Изделия электротехнические. Методы испытаний на устойчивость к климатическим внешним воздействующим факторам; ГОСТ 24334-80 Кабели силовые для нестационарной прокладки. Общие технические требования (с Изменениями № 1, 2, 3) и (с Изменением № 1)
Определение условий эксплуатации,	Температура окружающего воздуха, °C Относительная влажность воздуха, %	ГОСТ 10348-80 Кабели монтажные многожилные

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
транспортирования и хранения монтажных многожильных кабелей с поливинилхлоридной изоляцией и оболочкой		с пластмассовой изоляцией. Технические условия (с Изменениями № 1, 2); ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды
Оценка условий атмосферных перенапряжений	Число дней с грозой, дни Продолжительность гроз, ч Карта годовой продолжительности гроз в часах для территории бывшего СССР	Руководство по защите электрических сетей 6–1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений РД 153-34.3-35.125-99 – СПб: ПЭИПК. – 1999; РД 34.21.122-87 Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений; ПУЭ-7. Правила устройства электроустановок