

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

НГО ДИНЬ ХИ

**МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ВЬЕТНАМА**

Специальность 25.00.30 - Метеорология, климатология, агрометеорология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ –
доктор физико-математических наук,
профессор ГАВРИЛОВ А.С.

Санкт-Петербург

2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 КЛИМАТ ВЬЕТНАМА И ОСОБЕННОСТИ РАССЕЯНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В АТМОСФЕРЕ.....	10
1.1 Физико-географическое положение Вьетнама.....	10
1.2 Климат Вьетнама.....	12
1.3 Основные характеристики атмосферы, влияющие на рассеяние радионуклидов	20
2 ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОМАСШТАБНОГО ОБТЕКАНИЯ РЕЛЬЕФА.....	34
2.1 Постановка вопроса.....	34
2.2 Основные уравнения	36
2.3 Численная схема	39
2.4 Общая схема учета рельефа	41
2.5 Постановка краевых условий	43
2.6 Выводы по разделу 2.....	46
3 ФОРМИРОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	47
3.1 Физико-географическая характеристика выбранной области для моделирования	47
3.2 Цифровая модель рельефа	52
3.3 Особенности задания краевых условий для моделирования атмосферы в окрестности площадки строительства АЭС Ниньтхуан 1	54
3.4 Моделирование типичных ситуаций	59
3.5 Моделирование экстремальных ситуаций	69
3.6 Выводы по разделу 3.....	77
4 РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА СТАТИСТИКИ ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ РАССЕЯНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ.....	79
4.1 Общая схема расчета статистики входных параметров модели рассеяния.....	79
4.2 Локальная статистика скорости и направления ветра	83

в приземном (приводном) слое	83
4.3 Локальная статистика вертикальной скорости ветра	93
4.4 Локальная статистика категорий устойчивости Пэскуилла-Гиффорда.....	101
4.5 Выводы по разделу 4.....	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	111
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ	113
Приложение А.....	117
Приложения Б.....	125
Приложения В	133
Приложения Г.....	141

ВВЕДЕНИЕ

Вьетнамская народная республика, как страна с выраженным экономическим ростом, сопровождающимся резким ростом потребления электроэнергии, как и многие другие страны региона (Китай, Бангладеш), не располагающие доступными углеводородными ресурсами, приступила в настоящее время к созданию собственной атомно-энергетической промышленности. В соответствии с документами, ратифицированными парламентом Вьетнама, в 2020 году запланировано начало строительства двух атомных электростанций (АЭС) с 4 реакторами суммарной мощностью более 4 гигаватт, что в ближайшее десятилетие даст мощный стимул развития промышленности на юге Вьетнама. Одна из этих АЭС планируется к проектированию и строительству российскими специалистами (АЭС Ниньтхуан-1), а вторая – японскими (АЭС Ниньтхуан-2). Обе АЭС предполагается разместить весьма компактно (на расстоянии около 20км) на побережье Южно-китайского моря в провинции Ниньтхуан на засушливой территории, по своим климатическим особенностям не вполне пригодной для ведения сельского хозяйства, а значит и малонаселенных.

Трудности этого процесса для развивающейся страны, находящейся к тому же, в тропической зоне, вполне очевидны. В первую очередь, это отсутствие в этом регионе достаточно густой наблюдательной сети (тем более – на малонаселенных территориях), а также наработанных методик гидрометеорологического обеспечения безопасности АЭС для тропической зоны. Для территории Вьетнама, представляющей собой сравнительно узкую полосу суши с горными хребтами вдоль побережья Южно-китайского моря, сюда добавляются еще и необходимость разработки упомянутых методик для территорий с выраженной пространственной неоднородностью. Тем более, это относится к площадке АЭС Ниньтхуан-1, для которой в зоне влияния АЭС (около 30км) присутствуют и невысокие (до 1 км) горы и холмы, а также береговая линия.

Условия распространения и рассеяния аварийного выброса в атмосфере характеризуются так называемыми «факторами разбавления и осаждения», представляющими собой величины интеграла концентрации радионуклидов и интенсивности их осаждения на поверхность при единичной мощности аварийного выброса.

Согласно требованиям Международного Агентства по Атомной Энергии (МАГАТЭ) NS-G-3.2 (раздел 2) [1] и российских нормативных документов (п. 5.4 НП-032-01 [2]) оценка радиационной обстановки при проектных и запроектных авариях на АЭС должна выполняться для наименее благоприятных метеорологических условий, характерных для района размещения АЭС.

Понятие «неблагоприятные метеорологические условия» подразумевает в этом случае определение на различных расстояниях от АЭС максимальных значений факторов разбавления и осаждения с процентной обеспеченностью до 99.5 %. Получение статистических характеристик столь высокого уровня обеспеченности (так называемых «редких событий»), требует, в свою очередь, наличия весьма длительных наблюдений (5-8 лет) на площадке АЭС, которые, однако, на стадии проектирования по понятным причинам отсутствуют. Именно поэтому расчетные (прогностические) методы оценки подобных величин становятся единственно возможными.

Для расчета факторов метеорологического разбавления примеси широкое распространение на практике в силу своей простоты и прозрачности получила Гауссова модель атмосферной диффузии с формулами Смита-Хоскера и Бриггса для параметров атмосферной диффузии как функций расстояния от источника и категории устойчивости атмосферы по классификации Пэскуилла – Гиффорда. Данная модель рекомендована для практического применения всеми международными организациями, включая Всемирную метеорологическую организацию (ВМО), Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), Научный комитет по действию атомной радиации (НКДАР) ООН, Всемирную организацию здравоохранения (ВОЗ) для расстояний не более 30 км от источника.

Описание различных модификаций этой модели содержится в нормативных документах «Руководство МАГАТЭ по безопасности № 50-SG-S3» [3], МХО ИАЭ НТД 38.220.56-84 [4, 5], в методических указаниях МПА-98 [6]. Алгоритмы такого рода модификаций реализованы в программных средствах (ПС) «ДОЗА_М» (НИЦ «Курчатовский институт») [7], «ВЫБРОС 3.1» (АО «ГНЦ РФ-ФЭИ») [8], «SULTAN» (АО «ВНИИАЭС») [9], «GENGAUS» («ГНЦ ИБФ»), а также в зарубежных программных средствах «GENII» [10], «PACE», «COSIMA», «AIDA» [11] и «BSAVVL version 2.3h» (Fennovoima, Финляндия).

Между тем, использование такого рода моделей над неоднородной подстилающей поверхностью требует значительного расширения перечня исходных параметров атмосферы и учета их пространственной неоднородности. В связи с невозможностью получения подобной информации на стадии проектных исследований, возникает необходимость их расчета с использованием тех или иных 3D гидротермодинамических моделей атмосферы.

Общей целью работы является разработка и апробация трехмерной гидротермодинамической модели нижней тропосферы над поверхностью со сложной орографией и наличием раздела «суша-море» (на примере зоны влияния АЭС Ниньтхуан-1), а также приложение этой модели для оценки локальных статистических характеристик атмосферы, определяющих условия переноса и рассеяния радионуклидов от выбросов АЭС.

Исходя из общей цели, в работе решались следующие задачи:

- обоснование принципиальных возможностей применения современных методов моделирования атмосферного пограничного слоя (АПС), отработанных для умеренной зоны, к тропической зоне Вьетнама;
- разработка метода описания применительно к 3D моделям рельефа произвольной конфигурации;
- разработка и верификация данного метода в 3D численной модели на основе сопоставления результатов моделирования с натурным экспериментом по продувкам упрощенных форм рельефа в аэродинамической трубе;
- реализация разработанного метода применительно к комбинированной 3D гидротермодинамической численной модели нижней тропосферы над поверхностью с произвольной конфигурацией рельефа, береговой черты, а также характеристик шероховатости подстилающей поверхности;
- проведение комплекса численных экспериментов применительно к территории зоны влияния АЭС Ниньтхуан-1 для оценки чувствительности результатов расчета для типичных погодных ситуаций к учету рельефа и бризовой циркуляции на формирование характеристик атмосферы, определяющих условия рассеяния радионуклидов;
- разработка метода пересчета известных статистических характеристик поля ветра на уровне 850гПа (по данным архива реанализа атмосферных процессов) в неизвестные из наблюдений статистические характеристики поля ветра, вертикальной

скорости и характеристик устойчивости в зоне распространения облака аварийного выброса АЭС.

Методической основой диссертационного исследования послужили современные требования по безопасности АЭС, достижения в области физики атмосферного пограничного слоя и численного моделирования атмосферных процессов.

Методологической основой диссертационного исследования послужили труды российских и зарубежных ученых как в области обеспечения безопасности ядерных объектов (Пэскуилл, Гиффорд), так и в области физики атмосферного пограничного слоя (А.С. Монин, А.М. Яглом, Дж.А. Бузингер, Дж.К. Вингаард, Р.Дж. Лэм, С.Р. Ханна, Д.Л. Лайхтман, С.С. Зилитинкевич, Б.Г. Вагер, А.С. Гаврилов) и численного моделирования (Г.И. Марчук, Р. Роуч, А. Алоян).

Исходные данные для расчетов сведения о рельефе подстилающей поверхности, климатические характеристики температуры воздуха и воды по данным ближайшей метеостанции, а также данных реанализа атмосферных процессов на стандартных изобарических поверхностях за период 2009 – 2015 гг.

Научная новизна работы обусловлена следующим:

- впервые, на основании изучения точности выполнимости геострофического соотношения, выявлен нижний предел широты местности в тропической зоне применительно к Вьетнаму, где структура АПС еще сохраняет свойства умеренной зоны;
- впервые предложен, программно реализован и верифицирован метод построения цифровой модели рельефа для неоднородностей произвольной конфигурации, пригодный для учета рельефа в 3D гидротермодинамической модели;
- впервые предложен и реализован метод получения статистических характеристик поля ветра и категории устойчивости приземного слоя (ПС) с использованием 3D гидродинамической модели в условиях выраженной пространственной неоднородности подстилающей поверхности только на основе доступных архивов данных реанализа атмосферных процессов на изобарических поверхностях 925,850 и 700 гПа (без данных метеостанции).

Практическая значимость работы заключается в следующем:

На основе разработанных и верифицированных алгоритмов расчета удастся решать проектные задачи получения обеспеченных статистических характеристик поля ветра и категорий устойчивости как на площадке строительства АЭС, так и на прилегающей территории, на которых предварительные метеорологические наблюдения отсутствуют. Проведенные исследования позволят обеспечить получение требуемых нормативными документами максимальных значений факторов разбавления/осаждения радионуклидов высоких уровней обеспеченности (до 99.5 %) от аварийных выбросов АЭС.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты разработки и верификации метода построения цифровой модели рельефа для расчета трехмерной структуры полей ветра и температуры над орографически неоднородными поверхностями в прибрежной зоне;
- результаты обработки данных численных экспериментов применительно к территории зоны влияния АЭС Ниньтхуан-1 по оценке их чувствительности к учету рельефа и бризовой циркуляции на формирование характеристик атмосферы, определяющих условия рассеяния радионуклидов;
- результаты пересчета с помощью модели известных статистических характеристик поля ветра на уровне 850 гПа (по данным архива реанализа атмосферных процессов) в неизвестные из наблюдений статистические характеристики скорости и направления ветра, вертикальной скорости и характеристик устойчивости в зоне распространения облака аварийного выброса АЭС.

Достоверность результатов определяется использованием современных методов численного моделирования атмосферных процессов, а также результатами верификации на экспериментальном материале.

Апробация результатов. Материалы диссертации докладывались на Итоговых сессиях Ученого Совета РГГМУ в 2014 и 2015 годах, а также научных семинарах кафедры МКОА РГГМУ.

Публикации. По теме диссертации имеется 4 публикации, в том числе 3 работы – в рецензируемых журналах из Перечня ВАК.

Личный вклад автора. Личный вклад автора состоит в формулировке задач работы, разработке и практической реализации позиций, выносимых на защиту,

тестировании и верификации расчетных моделей, а также проведении комплекса расчетов.

1 КЛИМАТ ВЬЕТНАМА И ОСОБЕННОСТИ РАССЕЯНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В АТМОСФЕРЕ

1.1 Физико-географическое положение Вьетнама

Вьетнам – государство, находящееся на полуострове Индокитай юго-восточной Азии, имеет протяженную территорию. Территория Вьетнам расположена с $8^{\circ}30'$ до $23^{\circ}22'$ северной широты и с $102^{\circ}10'$ до $109^{\circ}21'$ восточной долготы. Восточная, южная и южно-западная части Вьетнама омываются Южно-китайским морем, на севере Вьетнам граничит с Китаем, на западе – с Лаосом. Вьетнам имеет 3260 км длины побережья от района Монгкая на севере до района Хатиена на западно-южной части страны (рисунок 1.1).

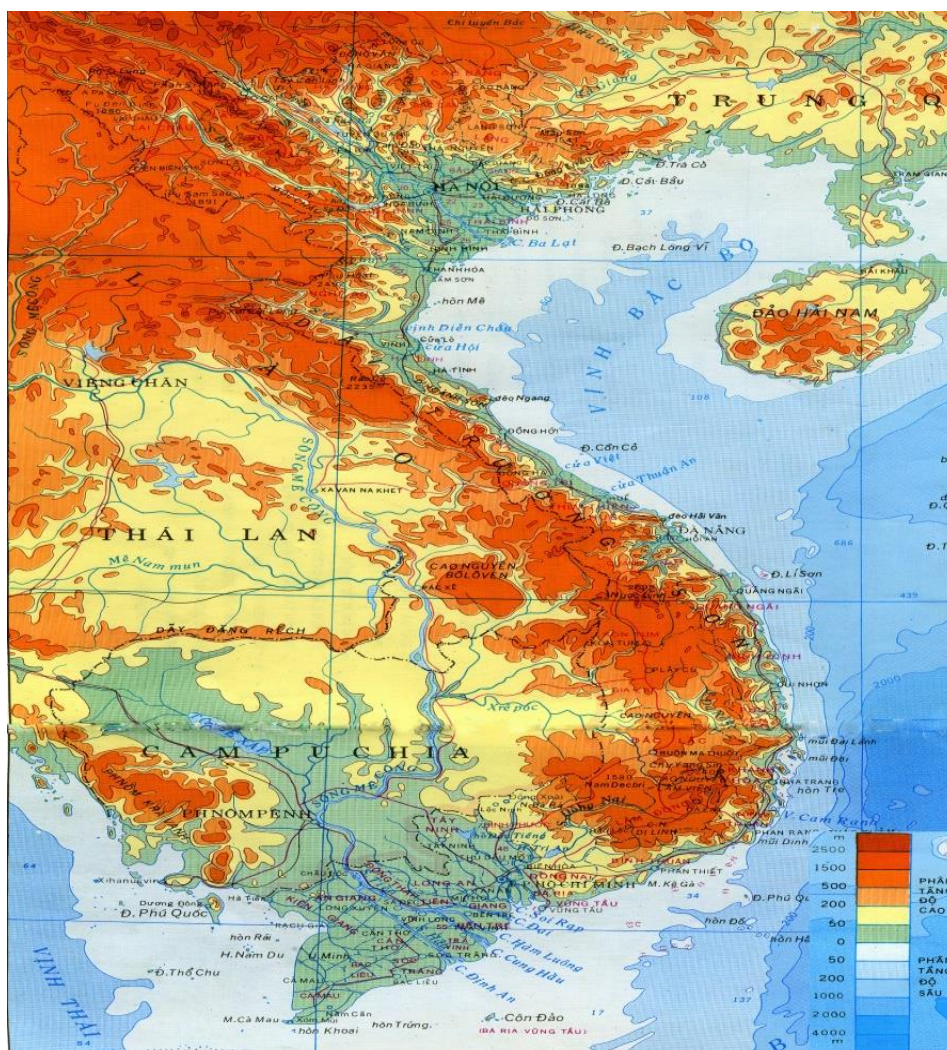


Рисунок 1.1 – Физико-географическая карта Вьетнама [13].

Топография Вьетнама характеризуется снижением высоты гор с северо-запада на юго-восток и весьма разнообразна [12]. В том числе низкие и средневысотные горы занимают 3/4 части территории страны. Местность ниже 1000 м занимает до 85 % территории, а выше 2000 м - только 1%. Из-за большой протяженности территории с севера на юг и особенностей топографии территории можно разделить на три разных области.

Первая область расположена на северо-восточной части Вьетнама, где северо-восточная система гор окружает большую равнину низовья реки Хонга. Эта система гор образует сектор с четырьмя дугами – дуга реки Нгам, дуга Нганшон - Иенлак, дуга Бакшон и дуга Донгчьеу. Окружающие равнину горы препятствуют распространению северо-восточного муссона, который приходит в зимний период, дальше низовья реки Хонга. Для этого района характерна продолжительная холодная зима. Лето жаркое. По количеству выпадающих осадков можно выделить две зоны: одна зона с меньшим количеством осадков (1300 мм/год), так как горы закрывают поток воздуха с моря, вторая, расположенная у побережья моря, характеризуется значительным количеством осадков (2500 – 3000 мм/год).

Вторая область расположена в северо-западной, горной территории Вьетнама. Здесь Северо-западная и юго-восточная системы гор (хребты Хонгльеншон и хребты Чыонгшон, в которых находится самая высокая гора полуострова Индокитая – Фаншипан высотой 3143 м, препятствуют распространению северного муссона на эту территорию. Поэтому для этой области характерна теплая зима. Летом, хребты Хонгльеншон закрывают поток морского воздуха в северо-западную территорию. Таким образом, этот район имеет характерный континентально-тропический климат с маленьким количеством осадков (меньше 1000 мм/год).

Третья область находится в центральной горной территории Вьетнама. Здесь расположен хребет Чыонгшон, который начинается на территории Лаоса и закачивается на юге центральной территории Вьетнама (Чунгбо). Горы закрывают эту область от северо-восточного и северного муссонов. В итоге, на северной части хребта зимой выпадает большое количество осадков. Летом, этот хребет закрывает юго-западный муссон, приходящий с Бенгальского залива. На западных склонах хребта выпадают сильные осадки, а на восточных склонах - очень сухое, жаркое лето. И это является характерным климатом Чунгбо.

Четвертая область находится на юге Вьетнама. На севере этой области расположена система гор Хоаньшона и Батьма, которая закрывает эту область от северно-восточного муссона. И эта система гор является границей двух климатических зон. На севере - холодная зима и жаркое лето, а на юге нет зимы, температура мало колеблется и имеет высокое значение за весь год.

1.2 Климат Вьетнама

1.2.1 Факторы, играющие роль в формировании климата

1.2.1.1 Тепловой режим Вьетнама

Вьетнам находится в тропической зоне северного полушария, где большая высота солнца, и солнце два раза в год проходит через зенит. Поэтому территория Вьетнама получает огромное количество солнечной радиации. На севере Вьетнама суммарная радиация в год составляет 540-565 кДж/см²/год, а на юге – 520-540 кДж/см²/год [14]. Среднегодовая температура характерна для тропического климата.

Существует разница распределения температуры между югом и севером страны: На юге интервал времени между днями прохождения солнца через зенит достаточно большой. Поэтому ход температуры имеет вид хода температуры тропической зоны, то есть имеет два максимума при прохождении солнца через зенит. Распределение температуры между месяцами равномерное. Разность температуры между самым холодным и самым жарким месяцами примерно равна 3 °С. Отличия зимы и лета практически нет. На севере разница температуры между летом и зимой несколько больше. В году максимальная температура наблюдается в июле, а минимальная – в январе. Разница между зимой и летом достигает 5-10 °С.

1.2.1.2 Особенность атмосферной циркуляции

На территории Вьетнама существует два типа циркуляции – это пассатная, характерная для тропической зоны, и муссонная.

Пассатная циркуляция северного полушария формируется южнее центральной области высокого давления субтропической зоны (30° – 35° с. ш. Тихого океана). Но влияние пассатной циркуляции не постоянное за счет влияния центров муссонной

циркуляции. При пассатной циркуляции погода во Вьетнаме неустойчивая с облачностью и дождями.

Муссонная циркуляция северо-восточной Азии – циркуляция, которая охватывает азиатскую часть России (восточная часть), Японию, Северную Корею, Китай, Индокитай. Зимой холодный и сухой ветер полярной зоны направляет с центра высокого давления Сибири в центр низкого давления Суматра (Индонезия). На территории Вьетнама, муссон северо-восточной Азии модифицируется за счет прохождения через континентальную территорию Китая или через Южно-Китайское море. Различают два типа модифицированного полярного воздуха во Вьетнаме:

- модифицированный полярный воздух, проходящий через континентальную территорию Китая, влияет в начальное время зимы с октября до декабря с северного направления; так как воздух проходит через континентальную территорию, он становится холодным и сухим, при этом формируется холодная сухая погода на севере страны.

- модифицированный полярный воздух, проходящий через Южно-Китайское море, приходит на территорию Вьетнама с северо-восточного направления; поскольку воздух проходит над поверхностью моря, он несет с собой водяной пар и становится теплым, влажным, формируется облачная погода с туманом и изморосью. Обычно это влияние приходит с января до марта.

Муссонная циркуляция южной Азии – эта циркуляция охватывает западную Азию, Пакистан, Шри-Ланку, Индию, Мьянму, Малайзию, Таиланд, Индокитай. Зимой муссон направлен из центра высокого давления на территории Казахстана на юг, при этом никак не влияет на климат Вьетнама.

Летом ветер направлен из центра высокого давления Бенгальского залива (Индийский океан) на континентальную территорию Индия – Мьянма. Теперь эта территория является центром низкого давления, и ветер направлен по южному и юго-западному направлению до территории Вьетнама. По характеру, воздух является тропическим, влажным воздухом теплого моря. До территории Вьетнама воздух уже модифицируется за счет прохождения над территорией Таиланда, Лаоса, Камбоджи. Особенно при прохождении через хребет Чыонгшон (в центральной части страны на западной границе) воздух станет очень сухим и жарким. За счет эффекта фена, на склоне западной части хребта Чыонгшона идет сильная дождь, а на восточном склоне противоположно – сухая и жаркая погода побережья центральной части страны Чунгбо.

В дни развития муссона южной Азии влажность воздуха снижает до 70%, а температура превышает 35 °C [17].

Муссонная циркуляция юго-восточной Азии влияет на территории Филиппин, Малайзии и Южно-Китайского моря.

Во Вьетнаме этот муссон проявляется с высокой вероятностью в жаркий сезон с июня до сентября. Эта воздушная масса является тропическим воздухом, направляющимся с южного полушария через экватор по юго-восточному направлению. Ветер направлен от центра высокого давления субтропической зоны южного полушария (максимум в Таити) в центр низкого давления Индия – Мьянма. Пассатная циркуляция южного полушария при этом модифицируется таким образом, что воздух проходит через экватор и Южно-Китайское море в направлении Вьетнама. По характеру этот муссон несет с собой тропический, морской воздух, поэтому он имеет высокую влажность и высокую температуру, при этом формируется жаркая, влажная и дождливая погода. С этим муссоном территорию Вьетнама иногда достигают тропические циклоны, возникающие над Тихим океаном.

Муссон восточной Азии формируется в мае на севере с вероятностью 10 – 12 %, и в июне на юге с вероятностью 20 – 30 %. В июле вероятность появления этого муссона возрастает преимущественным на севере.

При рассмотрении выше атмосферной циркуляции мы можем представить климат Вьетнама следующим образом.

В холодный сезон (зима) на климат влияет две основных воздушных массы – это пассатная северного полушария и модифицированная северный муссон (примерно до широты 180) , при этом пассатный перенос в более южных широтах периодически подавляется проникающим туда северным муссоном (чем южнее, тем реже), так что на самом юге Вьетнама в это время года доминирует пассатная циркуляция.

В летний (жаркий) сезон главными влияющими воздушными массами являются модифицированная тропическая воздушная масса, направляющаяся от Бенгальского залива, а также тропический воздух, который направляется от южного полушария через экватор и Южно-Китайское море. В значительно меньшей степени летом на территорию еще влияют другие воздушные массы: континентальный тропический воздух и пассатный перенос северного полушария.

Полярные фронты во Вьетнаме могут проявляться в любое время года на севере страны примерно до широты 18° . Вероятность появления полярных фронтов зимой или во время перехода сезонов очень большая. Полярные фронты приходят и приносят с собой холодный воздух вместо теплого воздуха. Они являются причиной быстрого снижения температуры на 10°C за 24 часа. Поэтому, относительная влажность очень быстро увеличивается (примерно на 30 – 40 %). В большинстве случаев прихода полярных фронтов образуются осадки. Количество и интенсивность осадков зависят от состояния атмосферы до прихода фронтов.

Тропические циклоны обычно проявляются летом. Среднегодовое количество тропических циклонов составляет 3,7 [15]. На севере страны бывают годы, когда тропические циклоны наблюдаются 6 раз, но также бывают годы отсутствия тропических циклонов. Влияние тропического циклона на севере значительно сильнее, чем на юге. Сезон штормов наступает раньше на севере и в центральной части, позднее на юге.

1.2.2 Анализ климата Вьетнама по данным некоторых метеостанций

Чтобы сделать анализ современного климата Вьетнама, мы получили данные некоторых метеостанций за период с 2009 года по 2014 году (с ресурса <http://rp5.ru>). По этим данным были получены результаты, представленные на рисунке 1.3.

Из рисунка видно, что среднемесячная температура (красная линия) – сравнительно высокая. Особенно это проявляется на юге, территория которого находится ближе к экватору, поэтому наблюдается два максимума (хотя второй максимум не очень хорошо выражен) в год. Кроме того, разница температуры месяцами с максимальным и минимальным значениями небольшая (примерно $3 - 5^{\circ}\text{C}$). На севере и на территории средней части страны (Чунгбо) наблюдается один максимум температуры. На этих территориях существует большая разница температуры (примерно $5 - 10^{\circ}\text{C}$) между самым холодным и самым жарким месяцами. Зимой из-за холодного и сухого северного ветра из центра высокого давления Сибири, на севере и на Чунгбо температура сильно снижается. В некоторые дни минимальная температура может снизить до $5 - 6^{\circ}\text{C}$, в горах даже около 0°C , и наблюдается в декабре и в январе.

По гистограммам среднемесячного количества осадков мы видим характерное свойство тропического климата – большое количество осадков, распределенное по двум основным сезонам. Сезон дождей начинается для каждой части страны не одинаково. На

севере сезон дождей начинается в мае и заканчивается в сентябре. Максимальное количество осадков наблюдается в июле. На Чунгбо сезон дождей начинается в сентябре и заканчивается в декабре. А на юге сезон дождей начинается в мае и заканчивается в ноябре. На Чунгбо количество осадков меньше, чем на других территориях страны. На этой территории эффект фена очень сильно работает в летнее время (с конца апреля до середины сентября). Этот эффект происходит из-за хребтов Чыонгшон (на западной части Чунгбо), Хоаньшона и Батьма (начинается с запада и заканчивается на восточной части южной Чунгбо).

Из рассмотрения розы ветров в различных областях Вьетнама можно сделать вывод, что на северо-востоке Вьетнама основными направлениями ветра являются юго-восточное и северо-западное, на востоке наблюдаются северо-восточное, восточное и юго-восточное направления ветра.

На центральной части (Чунгбо) страны наблюдаются различные направления ветра: в северной части Чунгбо основными являются юго-западное и юго-западо-южное направления; в центральном районе Чунгбо (Дананг) основными являются северо-западное, восточное и юго-западное направления; на юге Чунгбо (Нячанг) основным направлением являются северное и северо-восточное, а также юго-восточное направления ветра. На юге Вьетнама основными направлениями являются юго-западное, юго-западо-южное, южное, юго-востоко-южное, юго-восточное направления, а также с малой повторяемостью – северное.

1.2.3 Исследование возможности использования в тропической части Вьетнама закономерностей АПС умеренной зоны

Очевидно, что при обращении силы Кориолиса в ноль (на экваторе) такого рода простота описания АПС рушится, поскольку сила барического градиента должна компенсироваться множеством других эффектов (в первую очередь, адвекцией и конвекцией). В этой ситуации возникает закономерный вопрос: в какой степени и в каком диапазоне широт возможно использование закономерностей экмановского пограничного слоя в тропиках, а, следовательно, и возможность переноса на тропики закономерностей АПС, установленных для умеренной зоны?

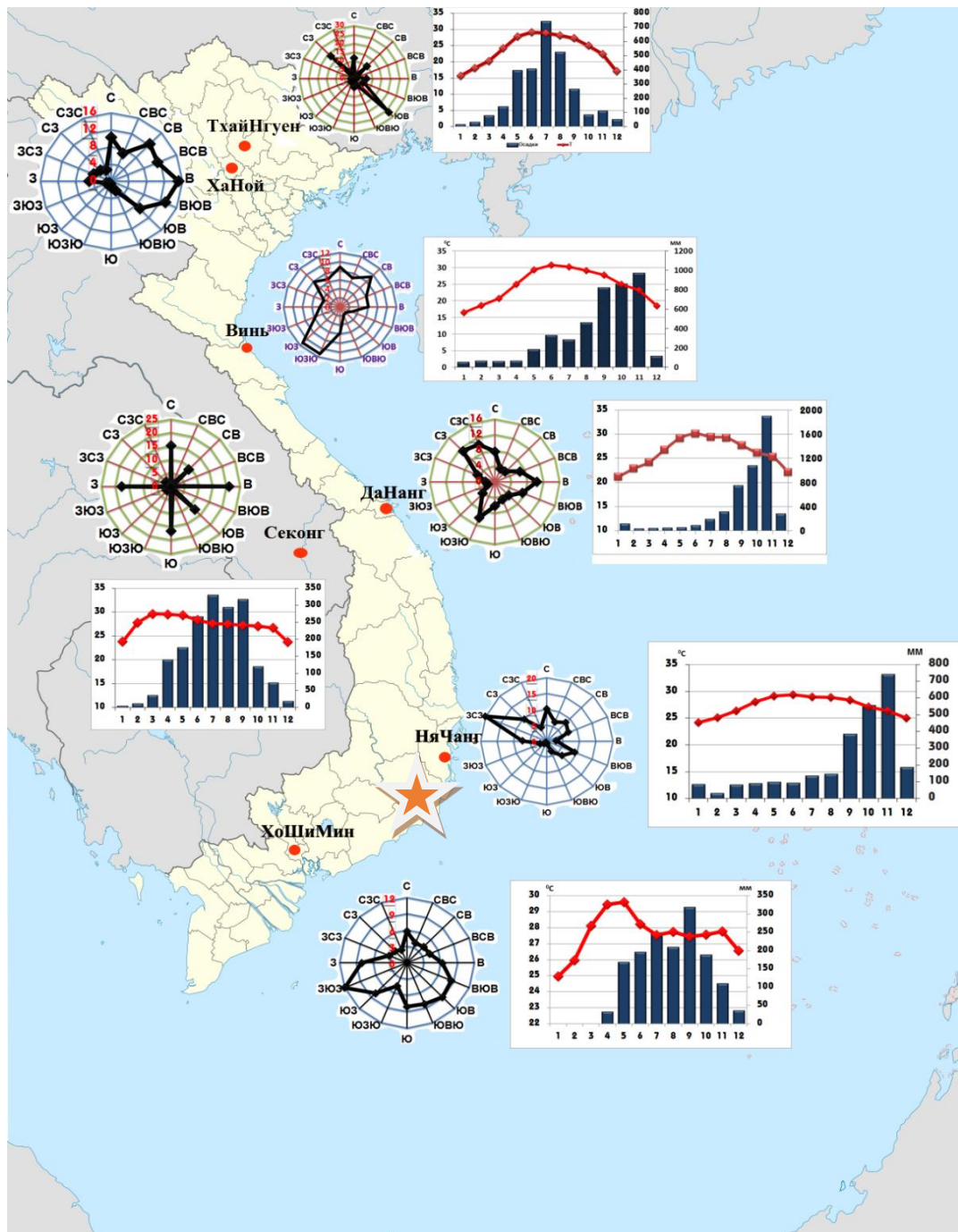


Рисунок 1.3 – Климатическая карта Вьетнама по данным, полученным из метеостанций за 5 лет (2009-2014). Звездочкой обозначена точка расположения площадки строящейся АЭС «НИНЬТХУАН 1».

Для ответа на этот вопрос в работе [18] нами была исследована статистическая взаимосвязь компонент скорости ветра на высоте около 1,5 км в диапазоне широт от 0 до 24 градусов северной широты для акватории Южно-Китайского моря вблизи берегов республики Вьетнам (восточная граница – 110° в.ш.).

В качестве исходных данных для решения поставленной задачи использовались данные реанализа атмосферных процессов применительно к изобарической поверхности 850 гПа (высота около 1,5 км) Национального центра по прогнозированию окружающей среды (NCER, США). Для этой цели был создан архив компонент скорости ветра и высоты геопотенциала для сроков 03, 09, 15 и 21 часов за период с 1.01.2006 г. по 31.12.2009 г. с пространственной дискретностью 2.5 дуговых градуса.

На рисунке 1.4 приведены сводные широтные зависимости рассчитанных коэффициентов корреляции для долгот 105^0 – 115^0 .

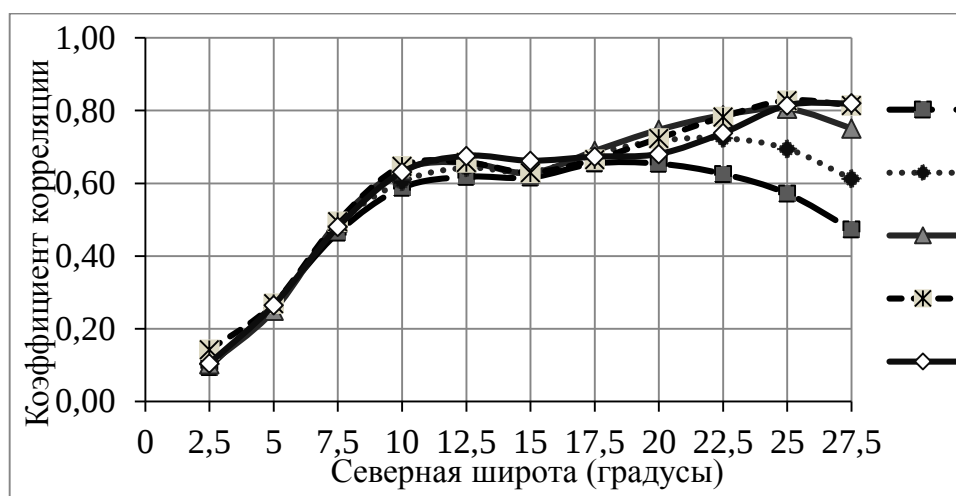


Рисунок 1.4 – Широтные зависимости коэффициентов корреляции для различной долготы (1- 105^0 , 2- $107,5^0$, 3 - 110^0 , 4- $112,5^0$, 5 – 115^0 в.д.).

Как можно видеть из рисунка 1.4, для широт севернее $7,5^0$ с.ш. геострофическое соотношение, в целом, достаточно хорошо выполняется (коэффициенты корреляции на уровне 0,65). Следует отметить, однако, что для условий суши (долгота 105 и $107,5^0$ в.д.) выполнимость этого соотношения ухудшается и, особенно, оказывается плохой севернее 20^0 с.ш. Подобная ситуация определяется, скорее всего, влиянием на выполнимость геострофического соотношения горных массивов как на территории Вьетнама (особенно на широтах $12 - 15^0$ с.ш.), так достаточно высоких и протяженных горных массивов южного Китая.

Как показано в цитируемой работе, влияние сезонного фактора на упомянутые значения коэффициентов корреляции не столь значительно, как можно было это ожидать. В сухой сезон (зимний муссон), когда ветер направлен с суши на море и пересекает

горные хребты в диапазоне широт 7,5 – 15 градусов северной широты, коэффициент корреляции оказывается ниже (около 0,5), чем в дождливый сезон (летний муссон), когда ветер направлен с моря на сушу (около 0,7).

Таким образом, можно с уверенностью утверждать, что для почти всей территории Вьетнама в диапазоне от 7° до 20° с.ш. геострофические соотношения выполняются с достаточной точностью (хотя и несколько хуже, чем в умеренной зоне), а значит и закономерности формирования атмосферного пограничного слоя остаются такими же, как и в областях, для которых справедливы, в частности, методические материалы, разработанные для умеренной зоны, о которых пойдет ниже.

1.3 Основные характеристики атмосферы, влияющие на рассеяние радионуклидов

1.3.1 Основные подходы к расчету рассеяния нуклидов

В последние десятилетия достигнут весьма значительный прогресс в области математического моделирования сложных технических и природных объектов в целом, и в охране окружающей среды в частности.

Ниже на рисунке 1.5 представлена приблизительная классификация используемых в мировой практике математических моделей расчета переноса и рассеяния примесей в атмосфере по [3].

Особое место в этой классификации занимает гауссовая модель на которой основана базовая модель Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) [4-6], являющаяся, вообще говоря, ничем иным как решением известного полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии для постоянно-действующего приподнятого источника выбросов над однородной подстилающей поверхностью.

Полуэмпирическое уравнение турбулентной диффузии – следствие закона сохранения массы некоторой газообразной примеси со средней объемной концентрацией $q(x_1, x_2, x_3)$ в турбулентной атмосфере с заданными полями компонентов вектора средней скорости ветра $u_\alpha(x_1, x_2, x_3, t)$:

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{q} \bar{u}_\alpha}{\partial x_\alpha} = - \overline{\frac{\partial q' u'_\alpha}{\partial x_\alpha}} + F, \quad (1.1)$$

где второй член в левой части описывает упорядоченный перенос примеси, а правая часть – процесс турбулентной диффузии, функция F – включает все прочие процессы, происходящие с примесью в атмосфере (в том числе выброс источника). Уравнение (1.1) записано в системе декартовых координат (x_1, x_2, x_3) , черта сверху – знак осреднения, штрих – турбулентная флуктуация, а по повторяющемуся греческому индексу предполагается суммирование.

Полученное уравнение содержит неизвестную величину – вектор турбулентного потока примеси с компонентами $\overline{u'_\alpha q'}$. Иначе говоря, осредненное уравнение переноса оказывается незамкнутым, что является своеобразной расплатой за полученную с его помощью возможность расчета непосредственно осредненной концентрации.

К числу наиболее распространенных способов замыкания такого рода осредненных уравнений относится представление неизвестных турбулентных потоков с использованием концепции коэффициентов турбулентного обмена (так называемая «К-теория»). Основу ее составляют, как известно, существующие аналогии между турбулентным и молекулярным переносом импульса, тепла и примеси.

В отличие от последнего, где коэффициенты переноса представляют собой скалярные величины, определяемые свойствами соответствующих газов или жидкостей, коэффициенты турбулентного обмена имеют тензорную природу, варьируют в широких пределах и зависят, вообще говоря, от особенностей протекания того или иного процесса.

В рамках данного приближения для вектора потока принимается следующее соотношение:

$$\overline{u'_\alpha q'} = -K_{\alpha\beta} \frac{\partial \bar{q}}{\partial x_\beta}, \quad (1.2)$$

где $K_{\alpha\beta}$ – тензор коэффициента турбулентного обмена для соответствующей примеси. Уравнение (1.1), переписанное с учетом (1.2) в форме

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{q} \bar{u}_\alpha}{\partial x_\alpha} = - \frac{\partial}{\partial x_\alpha} K_{\alpha\beta} \frac{\partial \bar{q}}{\partial x_\beta} + F, \quad (1.3)$$

известно в литературе как «полуэмпирическое уравнение турбулентной диффузии».

Термин «полуэмпирическое» означает, что в отличие от фундаментального уравнения сохранения массы типа (1.1), данное уравнение получено с использованием гипотезы (1.2), которая может оказаться справедливой не во всех случаях, а уравнение (1.3), следовательно, не всегда будет точным следствием законов сохранения. Оно также является незамкнутым, поскольку в общем случае компоненты K_{ij} – неизвестны.

Полагая в (1.3) величину концентрации примеси равной константе и, соответственно, $F=0$, это уравнение может быть переписано в форме так называемого «уравнения несжимаемости»:

$$\frac{\partial \bar{u}_\alpha}{\partial x_\alpha} = 0 \quad (1.4)$$

Проводя дифференцирование второго члена в правой части (1.3) и учитывая (1.4), уравнение (1.1) может быть переписано в несколько иной форме, известной в научной литературе как «градиентная» форма полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии:

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} + \bar{u}_\alpha \frac{\partial \bar{q}}{\partial x_\alpha} = \frac{\partial}{\partial x_\alpha} k_{\alpha\beta} \frac{\partial \bar{q}}{\partial x_\beta} + F. \quad (1.5)$$

В последние десятилетия делалось множество попыток построить те или иные модели расчета компонент тензора K_{ij} , однако успех здесь был достигнут лишь для некоторых упрощенных ситуаций, таких, например, как задача о переносе и рассеянии примесей в условиях однородного по горизонтали атмосферного пограничного слоя, когда для тензора K_{ij} , исходя из условий симметрии, справедлива следующая запись:



Рисунок 1.6 – Общая схема классификации методов математического моделирования распространения примесей в атмосфере по [19].

$$K_{ij} = \begin{pmatrix} K_x & 0 & 0 \\ 0 & K_y & 0 \\ 0 & 0 & K_z \end{pmatrix}, \quad (1.6)$$

где, для специальной системы декартовых координат (x, y, z) с осью x , направленной вдоль приземного ветра, y – в поперечном ветру направлении, а z – вертикально вверх, компоненты K_x, K_y, K_z представляют собой коэффициенты турбулентной диффузии для соответствующих направлений.

Если рассмотреть стационарный источник выбросов загрязняющих веществ в атмосферу мощностью Q , расположенный в точке с координатами $(0, 0, h)$, то в потоке воздуха с модулем скорости ветра $U(z)$ в описанной выше специальной системе координат уравнение (1.3) перепишется в следующем виде:

$$\frac{\partial U\bar{q}}{\partial x} + \frac{\partial W\bar{q}}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} K_x \frac{\partial \bar{q}}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} K_y \frac{\partial \bar{q}}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial \bar{q}}{\partial z} + Q\delta(0,0,z-h), \quad (1.7)$$

где δ – функция Дирака. Существенно, что в горизонтально-однородном пограничном слое компоненты средней скорости ветра не зависят от горизонтальных координат, при этом из (1.4) следует:

$$\frac{\partial W}{\partial z} = 0. \quad (1.8)$$

Учитывая, что подстилающая поверхность в общем случае является непроницаемой для потока воздуха, и следовательно $W(0) = 0$, то из последнего соотношения вытекает, что величина средней вертикальной скорости во всем слое воздуха будет равна нулю: $W(z) = 0$.

Уравнение (1.7) может быть еще более упрощено. Наиболее распространенным в практике является предположение о том, что упорядоченный перенос примеси вдоль направления ветра много больше, чем турбулентный:

$$U\bar{q} \gg \left| K_x \frac{\partial \bar{q}}{\partial x} \right|, \quad (1.9)$$

справедливое, вообще говоря, для условий достаточно большой скорости ветра ($U > 2$ м/с). Если теперь ввести в рассмотрение область за пределами расположения источника выбросов ($x > 0$), то (1.7) может быть переписано в следующей простой форме, которая повсеместно используется в приложениях:

$$\frac{\partial U\bar{q}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} K_y \frac{\partial \bar{q}}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial \bar{q}}{\partial z}. \quad (1.10)$$

В качестве граничных условий для интегрирования данного уравнения используются следующие:

- при $x > 0 \int_0^\infty dz \int_0^\infty U\bar{q} dy = Q$,
- при $y \rightarrow \pm\infty \bar{q} \rightarrow 0$,
- при $z \rightarrow \infty \bar{q} \rightarrow 0$,
- при $z=0 \frac{\partial \bar{q}}{\partial z} = 0$ («условие отражения»).

Уравнение (1.10) с вышеприведенными граничными условиями при постоянных коэффициентах U , K_y , K_z имеет аналитическое решение:

$$\bar{q}(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right], \quad (1.11)$$

где $\sigma_y^2 = 2K_y x / U$, $\sigma_z^2 = 2K_z x / U$ – дисперсии поперечного и вертикального рассеяния факела примеси (σ_y , σ_z соответственно, стандартные отклонения).

Уже первые эксперименты в атмосфере по изучению распространения примесей от приподнятых точечных источников показали, что в отличие от получаемых из (1.11) асимптотик поведения стандартных отклонений поперечного и вертикального рассеяния примеси в форме $\sigma_y \sim \sigma_z \sim x^{1/2}$, на практике оказывается, что $\sigma_y \sim \sigma_z \sim x$. Анализ показал, что данный эффект является следствием гипотезы (1.2) и, таким образом,

оказывается «родовым» признаком полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии. По мере расширения факела примеси при удалении от источника в процесс рассеяния втягиваются турбулентные вихри все увеличивающихся размеров. Это приводит, по существу, к увеличению с ростом x коэффициентов турбулентного обмена K_y , K_z , что переводит их из статуса «характеристик среды» в статус «характеристик процесса».

К числу исторически первой системной корректировки применения уравнения (1.3) для решения практических задач относится построение гауссовой модели Пэскуилла – Гиффорда – Бриггса (ПГБ-модели), основанной на использовании формулы (1.11), но с полной заменой теоретических функций $\sigma_y \sim \sigma_z(x)$ на экспериментальные [20, 21]. Форма этих функций зависит от характеристик устойчивости атмосферы, задаваемых категориями устойчивости атмосферы: А, В, С (неустойчивая), D (нейтральная), Е, F (устойчивая). Позднее для описания ситуаций очень сильной устойчивости атмосферы была введена дополнительная категория – G.

Гауссова ПГБ-модель атмосферной диффузии нашла широкое распространение на практике в силу своей простоты и прозрачности получения результатов. За последние десятилетия она многократно модифицировалась применительно к различным регионам и сферам деятельности человека. Данная модель рекомендована для практического применения всеми международными организациями, включая Всемирную метеорологическую организацию (ВМО), Научный комитет по действию атомной радиации (НКДАР) ООН, Всемирную организацию здравоохранения (ВОЗ) и др. Ее преимущество перед другими моделями заключается в объеме использованного экспериментального материала и апробированности практически во всех регионах мира. Фактически гауссова модель в области ее применимости стала эталонной при сравнительных расчетах по другим моделям диффузии примеси.

Тем более, эта модель весьма полезна для первоначального анализа всех метеорологических факторов, влияющих на рассеяние нуклидов. По существу их можно разделить на две группы:

- поле скорости ветра (в общем случае – трехмерное);
- интенсивность осадков, определяющая особенности вымывания нуклидов из атмосферы;

- метеорологические характеристики, определяющие категории устойчивости Пэскуилла-Гиффорда;
- вертикальная скорость в атмосфере, определяющая текущую высоту факела примеси в атмосфере (так называемую «эффективную высоту источника»).

1.3.2 Методика Пэскуилла-Гиффорда и ее развитие

Авторами этих методик дается следующая интерпретация наименований категорий устойчивости:

1. А – предельно неустойчивая,
2. В – умеренно-неустойчивая,
3. С – слегка неустойчивая,
4. D – нейтральная,
5. Е – слегка устойчивая,
6. F – умеренно-устойчивая.

Первоначальный способ оценки этих параметров по данным метеостанции в соответствие с [3] описан в Таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Категории устойчивости Пэскуилла-Гиффорда в соответствии с [3].

Скорость ветра U (м/с) на высоте 10 м	В дневной период при инсоляции			В ночной период в условиях облачного покрова	
	Интенсив ной	Умере нной	Слабой	Тонкая сплошная облачность или облачность более 5 баллов	Облачность менее 5 баллов
$U < 2$	A	A-B	B	F	F
$2 \leq U < 3$	A-B	B	C	E	F
$3 \leq U < 5$	B	B-C	C	D	E
$5 \leq U < 6$	C	C-D	D	D	D
$6 \leq U$	C	D	D	D	D

«Умеренная» инсоляция соответствует солнечной радиации в условиях, когда высота солнца находится в пределах от 35° до 60° , «интенсивная» радиация – угол более 60° , «слабая» радиация – угол менее 35° . При этом «интенсивная» радиация переходит

в градацию «умеренная» при средней облачности в диапазоне 5 – 9 баллов, а в градацию «слабая» - при не сплошной низкой облачности.

Нейтральный класс D следует использовать для условий сплошной облачности, как в дневной, так и в ночной периоды. «Ночным» авторы методики называют период, начинающийся за 1 час до захода солнца и заканчивающийся через 1 час после восхода солнца.

Для получения расчетных значений стандартных отклонений рассеяния факела примеси σ_y и σ_z для двойных литеральных наименований типа (А-В) по мысли авторов методики следует использовать средние значения для соответствующих категорий. Для реализации методики Пэскуилла-Гиффорда необходим следующий перечень исходных данных на конкретную дату и каждый момент времени t (по Гринвичу), для которого возникает необходимость расчета категории устойчивости:

- скорость ветра на уровне флюгера (10 м) по данным измерений на метеостанции,
- широта и долгота метеостанции для последующего расчета истинного солнечного времени, определения соответствия этого времени ночному или дневному периоду, а также расчета высоты Солнца,
- балл облачности с указания яруса (нижний, средний и верхний).

Стандартная метеорологическая информация, получаемая с метеостанций, не содержит, к сожалению, ни сведений об интенсивности инсоляции, ни сведений о высоте солнца, ни сведений о принадлежности срока измерений к ночному или дневному периодам. По этой причине возникает необходимость дополнительного расчета высоты солнца исходя из данных о географической широте метеостанции φ_s и истинного солнечного времени измерений $t_{\odot}$, которое должно оцениваться пересчетом из Гринвичского Меридионального Времени (GMT/GMT) t_{GMT} , которое и содержится, как правило, в исходных рядах наблюдений на метеостанции, исходя из географической долготы λ_s этой метеостанции.

В целом, описанная выше первоначальная методика Пэскуилла-Гиффорда сыграла значительную роль в части метеорологического обеспечении безопасности большинства построенных в мире ядерных объектов, однако целый ряд ее очевидных

недостатков привел со временем к значительному числу усовершенствований, в том числе, в работе Тернера [22], а также ее модификации в форме методики «Тернера-ИЭМ»[23]. В последних методиках была введена дополнительно еще одна категория устойчивости атмосферы – “G” (сильная устойчивость).

Между тем, как метод Пескуилла-Гиффорда, так и методика «Тернера-ИЭМ» расчета категорий устойчивости, отражали уровень знаний 50-х годов прошлого века и имеют помимо прочего один существенный недостаток – дискретный характер связи между категориями и метеопараметрами. К достоинствам этого метода относится, безусловно, широкая доступность данных измерений на метеостанциях.

Предложенный в работе [24] метод свободен от этих недостатков, поскольку оперирует, с одной стороны, накопленными архивами данных на метеостанции, а с другой – широко доступными в настоящее время данными реанализа на стандартных изобарических поверхностях, архивы которых содержат сведения о температуре, влажности и скорости ветра на поверхностях 925 и 850 гПа по всему Земному шару в регулярной сетке точек (0,5 или 2,5 градуса).

В упомянутой работе предложен способ решения проблемы с использованием численной модели АПС, выполняющей функции интегратора обоих типов информационных потоков с возможностью восстановления вертикальной структуры АПС по рядам наблюдений на одном уровне в приземном слое и синхронным данным на стандартных поверхностях 850, 925 гПа с привлечением физически содержательной численной модели, корректно описывающей суточные колебания. Модель, в принципе может быть любой, но она должна корректно описывать суточные колебания в АПС.

При этом для каждых суток за весь период наблюдений решается задача Коши с заданием некоторых фиктивных начальных условий для вертикального поля температуры, конструируемого на основании данных реанализа. Начальные поля компонент скорости ветра и характеристик турбулентности рассчитывались при этом путем решения стационарной задачи. Далее интегрировались нестационарные уравнения для горизонтально-однородного АПС с заданием в качестве нижних граничных условий результатов измерения скорости ветра и температуры, а в качестве верхних – данных реанализа на высоте изобарической поверхности 850 гПа (около 1,5 км). При этом за каждый час реального времени такого расчета вычислялись все необходимые для последующего определения категорий устойчивости параметры

приземного слоя, на основании которых уже с и использованием методики [25], конкретизирующей связь категорий устойчивости с характеристиками устойчивости приземного (приводного) слоя атмосферы, рассчитываются категории устойчивости Пэскуилла-Гиффорда.

На рисунках 1.7 – 1.9 приведены примеры расчета гистограмм повторяемости категорий устойчивости Пэскауилла-Гиффорда по описанной выше методике с привлечением программного комплекса RiskZone v.1 [25] с использованием рядов стандартных гидрометеорологических наблюдений за период 2009 – 2015 гг. на некоторых метеостанциях южного Вьетнама (Нячанг, Дананг, Хошимин) с дополнительным привлечением данных реанализа атмосферных процессов, проинтерполированных в точки нахождения этих метеостанций.

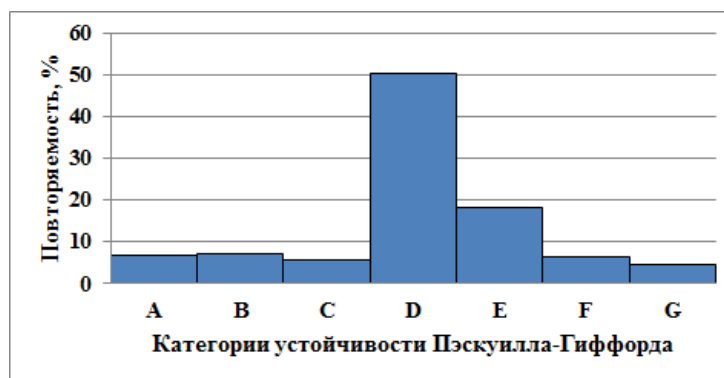


Рисунок 1.7 – Повторяемость категорий устойчивости Пэскуилла-Гиффорда на станции Нячанг.

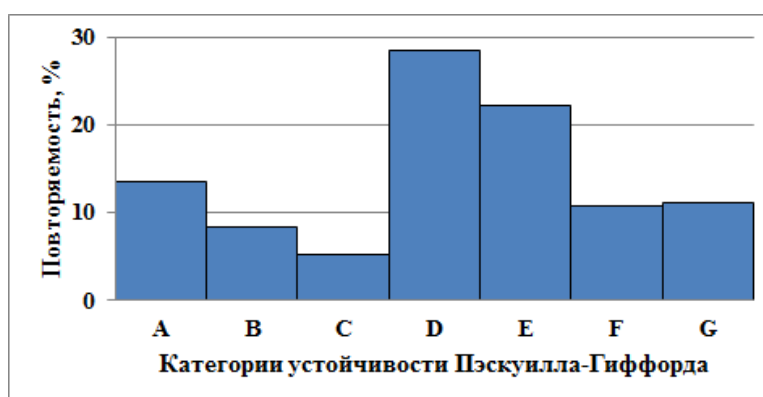


Рисунок 1.8 – Повторяемость категорий устойчивости Пэскуилла-Гиффорда на станции Дананг.

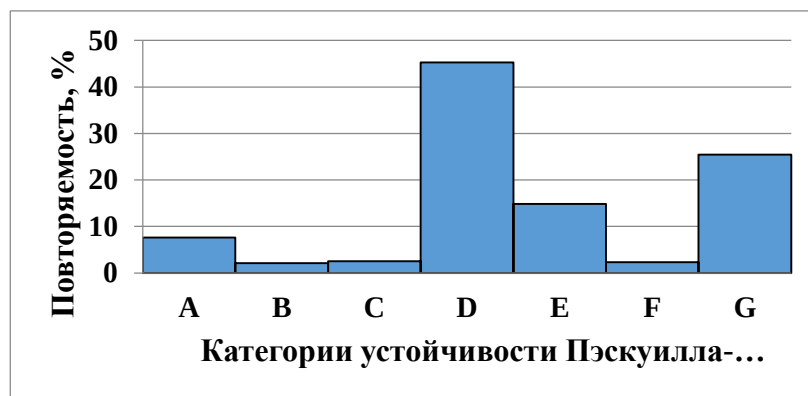


Рисунок 1.9 – Повторяемость категорий устойчивости Пэскуилла-Гиффорда на станции Хошимин.

1.3.3 Общие формулы расчета факторов разбавления/осаждения радионуклидов в методике МПА-98

Методика МПА-98 [6] реализует российскую адаптацию базовой модели МАГАТЭ [1,3] и основана на варианте гауссовой модели переноса и рассеяния облака радионуклидов, образовавшегося в результате кратковременного выброса радиоактивных веществ, учитывает сухое и влажное осаждение примесей, восстанавливает цепочки радиоактивного распада нуклидов и дает возможность, в итоге, рассчитать биологические дозы облучения населения (например, с использованием, [7]).

МПА-98 применяется для анализа последствий разовых выбросов при штатных (предусматриваемых проектной документацией) и нештатных авариях на АЭС (не предусмотренных проектом).

Используется специальная система декартовых координат, где ось x направлена вдоль вектора ветра на уровне геометрической высоты источника выброса, ось y - в поперечном направлении, а ось z - вертикально вверх.

Для оценки радиационных последствий прохождения облака выброса в точке x по ветру необходимо знать временной интеграл концентрации радионуклидов в этой точке $C_{v,r}(x)$ (Бк·с/м³). Его находят, интегрируя мгновенную объемную активность примеси по времени t :

$$C_{v,r}(x) = \int_0^{\infty} Q_{o,r} G'_{o,r}(x, t) dt = Q_{o,r} \cdot G_{o,r}(x), \quad (1.12)$$

где:

$$G'_{o,r}(x,t) = \frac{2}{(2\pi)^{3/2}} \frac{F_r(x)}{\sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{(x-Ut)^2}{2\sigma_x^2}\right] \exp\left[-\frac{h(x)^2}{2\sigma_z^2}\right], \quad (1.13)$$

$$G_{o,r}(x) = \int_0^\infty G'_{o,r}(x,t) dt = \frac{F_r(x)}{\pi \sigma_y \sigma_z U} \exp\left[-\frac{h_{эфф}^2(x)}{2\sigma_z^2}\right], \quad (1.14)$$

$Q_{o,r}$ – величина мгновенного выброса радионуклида r , Бк,

$G'_{o,r}(x,t)$ – фактор разбавления мгновенного выброса в атмосфере, м^{-3} ,

$G_{o,r}(x,t)$ – временной интеграл от мгновенного фактора разбавления ($\text{с}/\text{м}^3$) (далее «фактор разбавления»), $\text{с}/\text{м}^3$,

$h(x)$ – высота центра облака выброса над поверхностью земли на расстоянии x от точки выброса, м,

$h_{эфф}(x)$ – эффективная высота источника выбросов, м,

U – скорость ветра на высоте выброса, м/с,

$F_r(x)$ – фактор истощения радиоактивного облака для нуклида r на расстоянии x по ветру (безразмерная величина, описывающая изменение интегрального количества выброшенного радионуклида r с расстоянием от места выброса, уменьшающегося за счет радиоактивного распада, сухого осаждения и вымывания его из облака осадками),

$\sigma_x = \sigma_y$ и σ_z – зависящие от расстояния дисперсии облака выброса в направлении движения облака по ветру x , в горизонтальном направлении поперек ветра y и в вертикальном направлении z .

Таким образом, МПА-98 разрабатывалась применительно к сравнительно однородной местности требует, вообще говоря, в качестве исходных данных следующие:

- статистику скорости ветра для каждого румба;
- статистику категорий устойчивости Пэскуилла-Гиффорда;
- статистику интенсивности осадков;
- статистику вертикальной скорости в атмосфере, используемую для расчета входящей в (1.14) эффективной высоты источника $h_{эфф}(x)$.

Для условий выраженной горизонтальной неоднородности подстилающей поверхности в окрестности АЭС Ниньтхуан-1 требуется, однако, задание горизонтальной скорости ветра, интенсивности восходящих и нисходящих движений воздуха, а также категории устойчивости не просто в точке аварийного выброса, а в целом для всей области распространения облака нуклидов.

1.3.4 Выводы по разделу 1

По результатам данного раздела можно сделать следующие выводы:

1 Для территории строительства АЭС Ниньтхуан-1 (около 10^0 с.ш.) справедливы закономерности атмосферного пограничного слоя умеренных широт, причем геострофическое соотношение выполняется с весьма хорошей точностью.

2 Территория площадки АЭС расположена на подстилающей поверхности с выраженной горизонтальной неоднородностью: наличие раздела «суша-море» и орографические неоднородности с высотами до 600м.

3 Существующие методики расчета характеристик рассеяния радионуклидов (базовая модель МАГАТЭ на основе модели гаусса), разработанные ранее для умеренной зоны, в принципе, могут быть распространены и на окрестности строительства АЭС, но должны быть уточнены на предмет учета рельефа, а также существования границы «суша-море», которая, также предполагает и необходимость моделирования таких явлений, как бризы.

2 ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОМАСШТАБНОГО ОБТЕКАНИЯ РЕЛЬЕФА

2.1 Постановка вопроса

Численное моделирование атмосферной циркуляции на микромасштабах (от единиц метров до десятков километров) необходимо, в первую очередь, для решения такой важной экологической задачи, как расчет загрязнения атмосферы от разнообразных антропогенных выбросов. Нижний диапазон указанного интервала масштабов (1 – 100 м) охватывает описание динамического влияния таких объектов, как промышленная и жилая застройка, оказывающих весьма серьезное воздействие на перенос и рассеяние антропогенных примесей. Средняя часть этого интервала (0,1 – 1 км) связана в большинстве случаев с влиянием невысокого (сотни метров) рельефа, а верхняя часть интервала микромасштабов (1 – 10 км) ответственна за формирование таких бароклинических эффектов, как бризовая циркуляция и горнодолинные ветры.

Все модели этой категории относятся к так называемым моделям «крупных вихрей» – LES (Large Eddy Simulation) с явным выделением в численной модели турбулентных возмущений с масштабами $L \gg \Delta$, где Δ – пространственный шаг расчетной сетки модели, и с той или иной параметризацией так называемой подсеточной турбулентности. Существенно, что характерный размер сетки Δ должен здесь выбираться таким образом, чтобы он относился к диапазону масштабов атмосферной турбулентности из так называемой «инерционной» области спектра атмосферной турбулентности, где поток энергии по спектру направлен от больших масштабов к меньшим (например, [26]). Иначе говоря, способ параметризации подсеточной турбулентности в такой модели должен гарантировать, что вся энергия турбулентности, генерируемая за счет средних градиентов скорости ветра и температуры, диссипирует в тепло (в противном случае возникает явление нелинейной неустойчивости, и решение задачи становится невозможным).

В научной литературе, посвященной вопросам 3D численного моделирования атмосферы над неоднородной подстилающей поверхностью, в настоящее время сложились три основных подхода (например, [27]):

- переход в системе уравнений гидротермодинамики атмосферы к косоугольной системе координат с новой вертикальной координатой $\zeta = z - h(x, y)$, где x, y – горизонтальные координаты некоторой декартовой системы координат с осью z , направленной вертикально вверх, а $h(x, y)$ – высота элемента орографической неоднородности (например, [28, 29]);

- переход от стандартной системы координат (x, y, z) к новой ортогональной системе координат x', y', z' , где в каждой точке пространства возникает своя декартова система координат с одновременным выполнением условия перпендикулярности оси z' к поверхности $h(x, y)$ в каждой точке их пересечения (например, [27]);

- использование так называемого «метода фиктивных областей», при котором используется стандартная система координат (x, y, z) , но только для областей за пределами орографических неоднородностей $z > h(x, y)$ (например, [30]).

Первый из этих методов активно применялся несколько десятилетий назад, когда мощности используемых ЭВМ были весьма ограничены. К серьезным недостаткам косоугольных систем координат относится необходимость использования при этом весьма громоздкой записи уравнений гидротермодинамики атмосферы (например, [32]). В этом случае оказывается весьма проблематичным применение обычных гипотез замыкания при описании турбулентных течений, которые, в большинстве случаев, основаны на тех или иных соображениях подобия и симметрии, которые в такого рода косоугольных системах оказываются далеко не очевидными [33]. Кроме того, при таком подходе оказывается затруднительным описание процессов обтекания достаточно крутых склонов и, особенно, зданий и сооружений с вертикально ориентированными ограждениями.

Второй подход существенно лучше в части использования традиционной формы уравнений и методов параметризации атмосферной турбулентности, но требует предварительной реализации весьма трудоемких вычислительных процедур по построению своей собственной ортогональной расчетной сетки на каждой новой

конфигурацией рельефа. Также как и предыдущий метод, этот метод не пригоден для крутых склонов и застройки.

Значительно более универсальным является последний подход – метод фиктивных областей, для которого нет ограничений в наклоне элементов рельефа и использования стандартных приемов параметризации подсеточной турбулентности. Такие его недостатки, как некоторое усложнение алгоритма интегрирования и постановки граничных условий, а также необходимость выделения значительной оперативной памяти ЭВМ, легко компенсируются постоянным увеличением мощности последних.

Настоящая работа развивает подход, основанный на методе фиктивных областей, впервые примененный к моделированию обтекания произвольно расположенных в пространстве элементов застройки [34], в направлении моделирования обтекания таким же образом расположенных элементов невысокого рельефа (высотой не более 1 км) с произвольной крутизной склонов.

2.2 Основные уравнения

Запишем систему осредненных уравнений динамики атмосферы для компонент вектора скорости ($u_1 = u$, $u_2 = v$, $u_3 = w$) и отклонений потенциальной температуры (ϑ) от своих фоновых значений ($\bar{\theta}$) на вращающейся Земле в системе декартовых координат x_i , направив ось $x_1 \equiv x$ для определенности на восток, ось $x_2 \equiv y$ на север, а $x_3 \equiv z$ вертикально вверх (формулы (2.1) – (2.12)):

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} + \tilde{u}_\alpha \frac{\partial u_1}{\partial x_\alpha} = -\frac{\partial \pi}{\partial x_1} + l(u_2 - V_G) - \frac{\partial R_{1\alpha}}{\partial x_\alpha}, \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} + \tilde{u}_\alpha \frac{\partial u_2}{\partial x_\alpha} = -\frac{\partial \pi}{\partial x_2} - l(u_1 - U_G) - \frac{\partial R_{2\alpha}}{\partial x_\alpha}, \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial u_3}{\partial t} + \tilde{u}_\alpha \frac{\partial u_3}{\partial x_\alpha} = -\frac{\partial \pi}{\partial x_3} + \beta \vartheta - \frac{\partial R_{3\alpha}}{\partial x_\alpha}, \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial t} + \tilde{u}_\alpha \left(\frac{\partial \vartheta}{\partial x_\alpha} + \delta_{\alpha 3} \gamma_\theta \right) = \frac{\partial H_\alpha}{\partial x_\alpha}, \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial u_\alpha}{\partial x_\alpha} = 0, \quad (2.5) \quad U_G = -\frac{1}{\bar{\rho}l} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_2}, \quad (2.6) \quad V_G = \frac{1}{\bar{\rho}l} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_1}, \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial \bar{P}}{\partial z} = -\bar{\rho}g, \quad (2.8) \quad \bar{\theta} = \bar{T} \left(\frac{P_0}{\bar{P}} \right)^{R/C_p} \quad (2.9) \quad \bar{P} = \bar{\rho}R\bar{T} \quad (2.10)$$

$$P = \rho RT, \quad (2.11) \quad \gamma_\theta = \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial x_3}, \quad (2.12)$$

где: $\pi = (P - \bar{P})/\rho$ – отклонение давления воздуха P от своей средней величины $\bar{P}$, нормированное на его плотность ρ ,

$R_{ij} \equiv \langle u'_i u'_j \rangle$ – тензор напряжений Рейнольдса (угловые скобки – признак осреднения),

$H_i \equiv \langle u'_i \mathcal{G} \rangle$ – вектор турбулентного потока тепла, нормированный на объемную теплоемкость,

g – ускорение свободного падения,

$\beta = g/T$ – параметр плавучести,

l – параметр Кориолиса ($l = 2\omega \sin \varphi$, ω – угловая скорость вращения Земли, φ – широта),

R – газовая постоянная для сухого воздуха,

C_p – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении,

ε – интенсивность конденсации,

$$P_0 = 1000 \text{ Па}, \quad \tilde{u}_1 = u_1 + U_G, \quad \tilde{u}_2 = u_2 + V_G, \quad \tilde{u}_3 = u_3,$$

По индексу α производится суммирование, а δ_{ij} – единичный тензор (символ Кронекера): $\delta_{ij}=0$ при $i \neq j$ и $\delta_{ij}=1$ при $i = j$.

Уравнения (2.1) – (2.2) получены путем вычитания из исходных уравнений Рейнольдса для горизонтальных компонент скорости соответствующих геострофических соотношений (2.6) и (2.7), в предположении о независимости плотности воздуха от горизонтальных координат, а уравнение (2.3) – вычитанием из уравнения Рейнольдса для вертикальной скорости уравнения статики (2.8), которому, как обычно предполагается, удовлетворяет среднее давление $\bar{P}$ при средней (фоновой)

потенциальной температуре воздуха (2.12) и соответствующей ей молекулярно-кинетической температуре воздуха $\bar{T}$

Компоненты геострофической скорости ветра U_G, V_G играют здесь роль компонентов фоновой горизонтальной скорости ветра и приняты, для простоты, не меняющимися с высотой, что, впрочем, несколько не ограничивает общность, поскольку в противном случае (например, при температурной адвекции в свободной атмосфере) их изменение с высотой совсем нетрудно учесть. То же относится и к фоновым значениям вертикальной скорости, которые предполагается еще и равными нулю.

Все фоновые величины предполагаются известными, поскольку определяются синоптическими процессами на масштабах сотни и тысячи километров и должны, таким образом, браться из соответствующих крупномасштабных моделей.

Аналогично получено и уравнение (2.4) для переноса в турбулентной атмосфере величин отклонения потенциальной температуры от фоновых своих значений (2.9), где для простоты учтен только вертикальный градиент фоновой потенциальной температуры (2.12), который, как известно, существенно превосходит аналогичные горизонтальные градиенты.

Параметризация подсеточной турбулентности предполагает использование упрощенной системы уравнения баланса турбулентной энергии $b^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \sigma_i^2$ в локально-равновесной форме с использованием приближения изотропной турбулентности для коэффициента турбулентного обмена $K_{ij} = K \delta_{ij}$, полуэмпирической гипотезы Колмогорова [33] при использовании шага сетки Δ в качестве масштаба турбулентности:

$$K = k\Delta^2 \left[\left(\frac{dV}{dn} \right)^2 - \beta \left(\frac{\partial \vartheta}{\partial x_3} + \gamma_\theta \right) \right]^{1/2}, \quad (2.13)$$

$$R_{ij} = -K \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad H_i = -K \left(\frac{\partial \vartheta}{\partial x_i} + \gamma_\theta \delta_{i3} \right), \quad (2.14)$$

где величина $\frac{dV}{dn}$ – полный модуль локального градиента скорости ветра, k – эмпирическая константа.

2.3 Численная схема

Интегрирование (2.1) – (2.4) производится численно с шагом по времени Δ_t до момента установления процесса обтекания участка территории. Величина Δ_t выбирается на каждом временном шаге с учетом требований обеспечения вычислительной устойчивости для явных схем (критерий Куранта).

Для численного интегрирования (2.1) – (2.3) используется метод расщепления [30], где на первом полушаге (перенос и диффузия) интегрировалось конечно-разностное уравнение:

$$\frac{1}{\Delta_t} \left(u_i^{n+1/2} - u_i^n \right) = F_i^n, \quad (2.15)$$

а на втором полушаге (адаптация поля ветра и давления) использовалось следующее представление:

$$\frac{1}{\Delta_t} \left(u_i^{n+1} - u_i^{n+1/2} \right) = - \frac{\partial \pi^{n+1}}{\partial x_i} + G_i^n, \quad (2.16)$$

где для простоты приняты обозначения:

$$F_i = -u_\alpha \frac{\partial u_i}{\partial x_\alpha} - \frac{\partial R_{i\alpha}}{\partial x_\alpha}, \quad (2.17)$$

$$G_i = l(u_2 - V_G)\delta_{i1} + l(U_G - u_1)\delta_{i2} + \beta g\delta_{i3} \quad (2.18)$$

На первом полушаге используется явная трехмерная конечно-разностная схема типа Лакса-Вендрофа [36] в ее двухслойной интерпретации, которая в наших обозначениях имеет следующий вид:

$$\frac{1}{\Delta_t} \left(\hat{u}_i^{n+1/2} - u_i^n \right) = F_i^n, \quad (2.19)$$

$$\frac{1}{\Delta_t} \left(u_i^{n+1/2} - u_i^n \right) = \hat{F}_i^{n+1/2}, \quad (2.20)$$

На первом этапе по (2.19) определяется поле-предиктор скорости ветра $\hat{u}_i^{n+1/2}$, задаваемое в узлах вспомогательной сетки, сдвинутых относительно основной на полшага по всем направлениям. По этому полю, далее, по (2.17) вычислялось уточненное значение $\hat{F}_i^{n+1/2}$. На втором этапе поле корректируется по (2.20) с определением, в итоге, скорости после первого полушага в узлах основной сетки.

Для адаптации полей ветра и давления на втором полушаге применим оператор дивергенции к (2.15) и получим:

$$\frac{\partial^2 \pi^{n+1}}{\partial x_\alpha^2} = \frac{1}{\Delta_t} D^{n+1/2} + \frac{\partial G_\alpha^n}{\partial x_\alpha}, \quad D^{n+1/2} = \frac{\partial u_\alpha^{n+1/2}}{\partial x_\alpha} \quad (2.21)$$

так называемое уравнение Пуассона для давления (диагностическое уравнение эллиптического типа), где $D^{n+1/2}$ – дивергенция скорости $u_i^{n+1/2}$, причем (2.21) записано с учетом выполнения уравнения неразрывности (5) на шаге $n+1$. В связи с увеличением общего порядка системы дифференциальных уравнений после получения (2.21), необходимо сформулировать дополнительные граничные условия для этого уравнения, в качестве которых привлекаются следующие: $\pi^{n+1} = 0$ на верхней границе и боковых гранях расчетной области и нижнее граничное условие, вытекающее из уравнения (2.3) при условии $w_1 = 0$ из (2.3):

$$-\frac{\partial \pi^{n+1}}{\partial z} + \beta g^n = 0 \quad (2.22)$$

В используемом нами варианте численной модели для интегрирования (2.21) привлекается известный итерационный метод последовательной верхней релаксации [36]. После расчета поля давления с учетом граничных условий (2.22) осуществляется окончательный расчет поля скорости ветра на шаге $n+1$ по (2.16).

Аналогичным образом производилось интегрирование уравнения (2.4). Отличие состояло лишь в том, что на первом полушаге с использованием упомянутой выше схемы Лакса-Вендрофа рассчитывался упорядоченный перенос, а на втором полушаге – турбулентная диффузия. Упрощенная структура соответствующих членов в этих уравнения, описывающих турбулентную диффузию, позволяла в этом случае осуществлять дополнительное расщепление по направлениям и использовать для интегрирования на втором полушаге известный метод прогонки.

2.4 Общая схема учета рельефа

Общая концепция метода фиктивных областей предполагает наличие некоторой совокупности узлов расчетной сетки, помещаемых внутрь того или иного препятствия и в которых никакие вычисления не производятся. Проблема состоит в описании ограничивающей это препятствие поверхности, на которой требуется, к тому же, ставить граничные условия. В работе [34] был предложен специальный метод такого рода описания, пригодный также и к описанию достаточно тонких (толщиной менее шага сетки) ограждений, суть которого состоит в задании в граничных к поверхности узлах длин и направляющих углов нормалей к этой поверхности (рисунок 2.1).

Наибольшую сложность представляет собой построение собственно гладкой поверхности внешнего ограждения элемента рельефа. Поскольку рельеф для каждой местности задается в форме изолиний его высоты, требуется реализовать некоторую процедуру построения на этой основе непрерывной поверхности. Используемый нами метод реализации подобной процедуры предполагал комбинирование этой поверхности из совокупности плоскостей треугольной формы, таким образом, как это показано на рисунке 2.2.

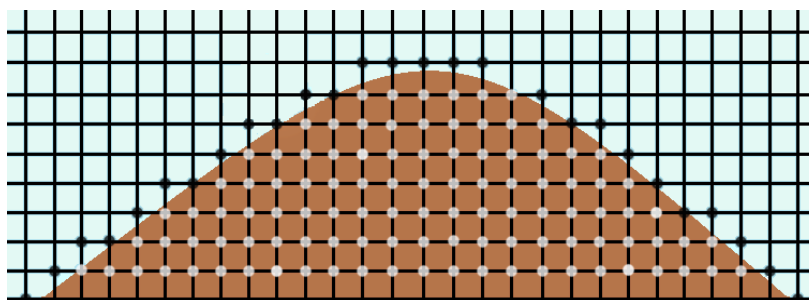


Рисунок 2.1 – Общая схема идентификации ограждающей поверхности элемента рельефа в методе фиктивных областей. Внутренние точки – белые, прилегающие к поверхности узлы сетки выделены черным.

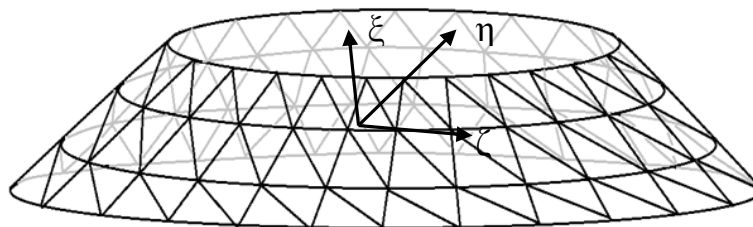


Рисунок 2.2 – Схема комбинирования ограждающей поверхности элемента рельефа по произвольной конфигурации его изолиний с примером построения локальной системы координат.

Таким образом, в данной цифровой модели вся информация о конфигурации рельефа включала лишь координаты угловых точек L каждого треугольника k – $(x_L^{(k)}, y_L^{(k)}, z_L^{(k)})$. Далее, для каждой новой формы конфигурации рельефа реализовывалась специальная вычислительная процедура построения нормалей к такого рода треугольникам из ближайших узлов расчетной сетки, характеристики которых (длина, горизонтальный и вертикальный углы) и представляли уже итоговую цифровую модель рельефа, которая и использовалась при задании граничных условий для компонент скорости ветра, температуры и давления

2.5 Постановка краевых условий

В качестве начальных условий используем вертикальные профили скорости ветра и температуры, восстановленные на основе данных метеостанции и реанализа с использованием модели АПС над горизонтально-однородной поверхностью [10], причем вертикальная скорость при этом полагалась равной нулю.

На верхней границе расчетной области, располагаемой на высоте как минимум в 2-3 раз превышающих высоту самой высокой точки рельефа, все отклонения от фоновых значений полагались равными нулю, а на боковых поверхностях расчетной области полагались нулю все производные от искомых величин по нормали к этим поверхностям.

Для задания граничных условий на подстилающей поверхности использовались приближения теории подобия Мони́на-Обухова (например, [33]) для горизонтально однородного стратифицированного приземного (приводного) слоя. При этом нужно учитывать, что доступной информацией здесь могут являться лишь сведения о шероховатости подстилающей поверхности, температуры поверхности воды (если в область расчета попадает водная среда), а также данные о температуре воздуха на метеостанции.

Сформулируем граничные условия в некоторой локальной системе координат (ξ, ζ, η) , которая над плоской поверхностью совпадает с осями исходной декартовой системой координат (x, y, z) , а на поверхности рельефа – вертикальная ось η выбирается совпадающей по направлению с нормалью к поверхности, а ось ξ (аналог x) направляется вдоль вектора локальной скорости ветра. Вертикальная (вдоль η) скорость ветра в этой локальной системе координат полагается равной нулю $\hat{w} = 0$ (условие не протекания воздуха через подстилающую поверхность), поперечная скорость $\hat{v} = 0$ (в силу определения системы координат), а для разности продольных скоростей (вдоль ξ) на уровнях η_2, η_1 расчетной сетки справедливы следующие соотношения теории подобия Мони́на-Обухова:

$$\dot{u}_2 - \dot{u}_1 = \frac{U_*}{\kappa} \int_{\mu_1}^{\mu_2} \frac{\varphi_U(\mu)}{\mu} d\mu, \quad \mu = \frac{\eta}{L} \quad (2.23)$$

где: $L = -\frac{U_*^3}{\beta \kappa H_0}$ – масштаб длины в теории подобия Мони́на-Обухова,

U_* – динамическая скорость,

$\kappa \cong 0.4$ – константа Кармана,

H_0 – нормированный на объемную теплоемкость турбулентный поток тепла,

для задания универсальной функции $\varphi_U(\mu)$ используется следующая аппроксимация экспериментальных данных [12], допускающая представление интеграла в (2.23) в алгебраических выражениях:

$$\varphi_U(\mu) = (1 - 8\mu)^{-1/3}, \quad \mu \leq 0; \quad \varphi_U(\mu) = 1 + 5\mu, \quad \mu > 0 \quad (2.24)$$

Для расчета U_* и H_0 по известным значениям уровня шероховатости η_0 (где скорость ветра $\dot{u}(\eta_0) = 0$) и температуры на 1-м расчетном уровне $\vartheta_1 = \vartheta(\eta_k)$ с $k=1$ для суши и $k=0$ для воды, используется следующая система трансцендентных алгебраических уравнений:

$$\dot{u}_1 = \frac{U_*}{\kappa} \int_{\mu_0}^{\mu_1} \frac{\varphi_U(\mu)}{\mu} d\mu, \quad \mu = \frac{\eta}{L}, \quad L = -\frac{U_*^3}{\beta \kappa H_0} \quad (2.25)$$

$$\vartheta_2 - \vartheta_1 = -\frac{H_0}{\kappa U_*} \int_{\mu_1}^{\mu_2} \frac{\varphi_T(\mu)}{\mu} d\mu \quad (2.26)$$

где для аналогичной $\varphi_U(\mu)$ универсальной функции $\varphi_T(\mu)$ для градиента температуры также используется соотношение из [37]:

$$\begin{aligned} \varphi_T(\mu) &= 0.7(1 - 35\mu)^{-1/3} + \frac{0.3}{1 + 8\mu^2}, \quad \mu \leq 0, \\ \varphi_T(\mu) &= 1 + 6\mu, \quad \mu > 0. \end{aligned} \quad (2.27)$$

Что касается нижнего граничного условия для давления, то его запись в локальной системе координат аналогична (2.22):

$$-\frac{\partial \pi}{\partial \eta} + \beta \vartheta = 0 \text{ при } \eta = 0 \quad (2.28).$$

Для верификации предложенной модели использовались экспериментальные данные по продувкам элементов рельефа в аэродинамической трубе [38]. Рассматривался одиночный осесимметричный холм, высота которого h в пересчете на реальную атмосферу составляла 160 метров. Сопоставление экспериментальных и расчетных значений полей продольной скорости потока представлены на рисунке 2.3.

Как можно видеть из представленных результатов, предложенная модель как качественно, так и количественно воспроизводит имеющиеся особенности в поле продольной скорости, что свидетельствует о перспективности ее использования для воспроизведения структуры потока над орографически сложными типами подстилающей поверхности.

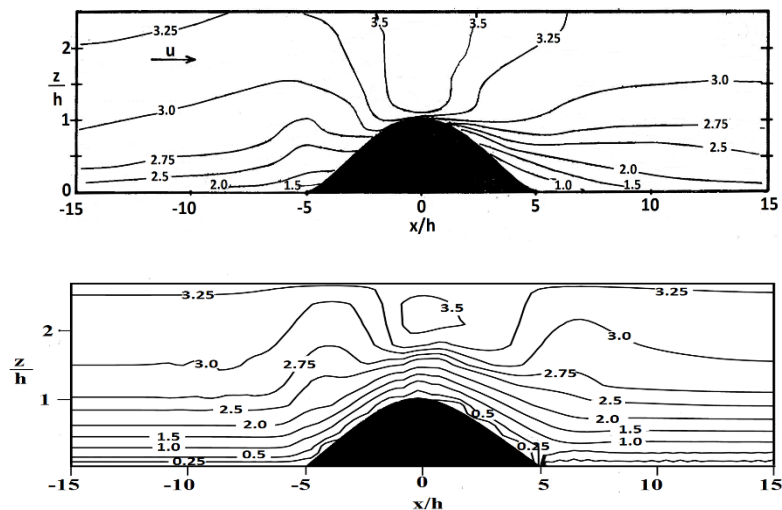


Рисунок 2.3 – Сопоставление расчетных (внизу) и экспериментальных (наверху) полей продольной скорости для задачи об обтекании одиночного осесимметричного холма.

2.6 Выводы по разделу 2

По результатам данного раздела можно сделать следующие выводы.

- 1 Сформулирована и численно реализована трехмерная гидротермодинамическая модель атмосферного пограничного слоя над подстилающей поверхностью со сложной геометрией рельефа и наличием линии раздела «суша-море».
- 2 Предложена и реализована оригинальная схема построения цифровой модели рельефа применительно к методу фиктивных областей численного интегрирования.
- 3 Проведено сопоставление расчетных и экспериментальных полей скорости, полученных по результатам продувок натурной модели осесимметричного холма в аэродинамической трубе, которое показало удовлетворительное согласие теории и эксперимента.

3 ФОРМИРОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

3.1 Физико-географическая характеристика выбранной области для моделирования

После продолжительных исследований геологических условий для обеих АЭС провинция Ниньтхуан: первая АЭС находится в районе $11^{\circ}25'54'' - 11^{\circ}27'17''$ с.ш. и $108^{\circ}59'43'' - 109^{\circ}01'00''$ в.д., а вторая АЭС находится в районе $11^{\circ}38'15'' - 11^{\circ}39'47''$ с.ш. и $109^{\circ}10'00'' - 109^{\circ}11'15''$ в.д. (рисунок 3.1).

Ниньтхуан является прибрежной провинцией в южной части центральной территории Вьетнама (Чунгбо). Она является конечной частью массива Чыонгшона с большим количеством гор, направляющихся в юго-китайское море с понижением с северо-запада на юго-восток. Территория окружена горами с 3-х сторон с тремя типами местности, включая горы, холмы и прибрежную равнину. В частности, горы и холмы занимают 63,2 % территории провинции, в основном, это невысокие горы со средней высотой до 1000 метров.

Климат Чунгбо в целом и Ниньтхуана в частности, как это было показано в разделе 1, имеет черты тропического климата от саванны до пустыни: сухо-жаркий, с сильными ветрами и значительным испарением. На рисунках 3.2 и 3.3 представлены графики годового хода температуры, осадков и розы ветра (данные получены из метеостанции Нячанга, находящегося в расстоянии около 100 км от проектной площадки строительства российской АЭС Ниньтхуана в направлении на северо-восток.

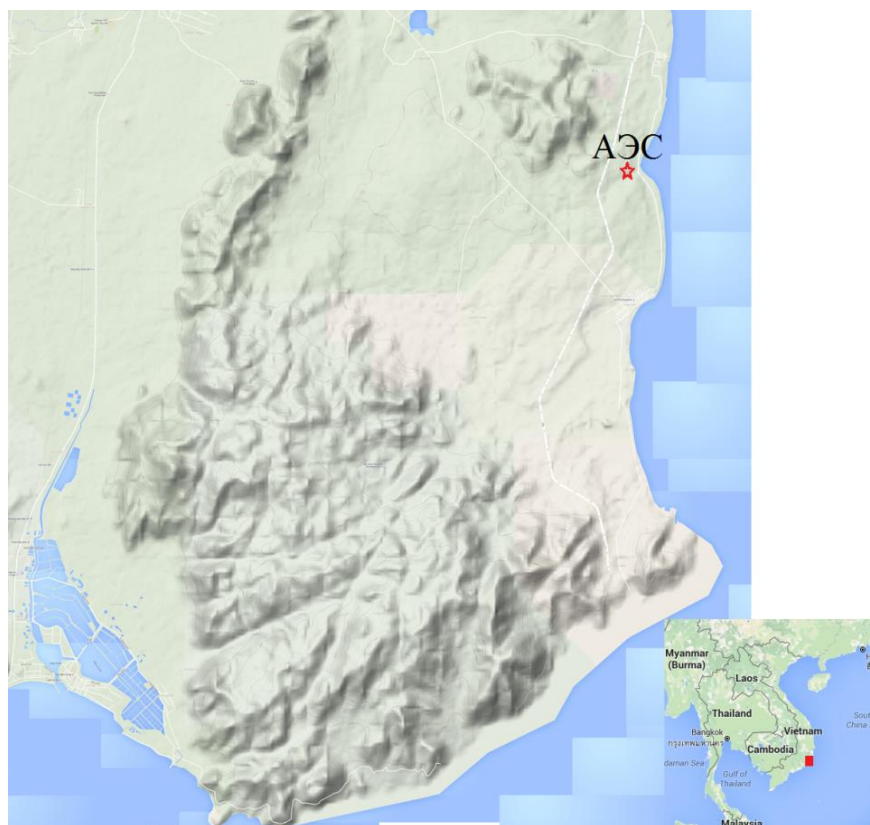


Рисунок 3.1 – Область для моделирования с местом положения АЭС
Ниньтхуана-1.

Из-за отсутствия пригодных для статистического анализа данных метеонаблюдений непосредственно на площадке строящейся АЭС Ниньтхуана-1, приходилось использовать данные ближайшей метеостанции Нячанга за период с января 2010 года до декабря 2015 года. Как можно видеть из данных рисунка 3.2, средняя температура за год составляет около 27°C при наличии двух сезонов: короткого дождливого (с сентября по ноябрь) и продолжительного сухого (с декабря по август), когда количество осадков весьма низкое.

Кроме того, для этой области, основным ветром является западно-северо-западный. В дождливом сезоне (рис. 3.3А) появляется нечастый северный ветер, а в сухом сезоне (рис. 3.3Б) появляется в восточно-юго-восточный ветер. В основном на эту область не только характер морского климата, но и особенность топографии. На западе расположена часть хребта Чыонгшона, а на юге расположена система гор

Хоаньшон-Батьма. Летом на эту область влияет муссонная циркуляция юго-восточной Азии (раздел 1.2.1) с наиболее повторяющимся ветром с северо-запада.

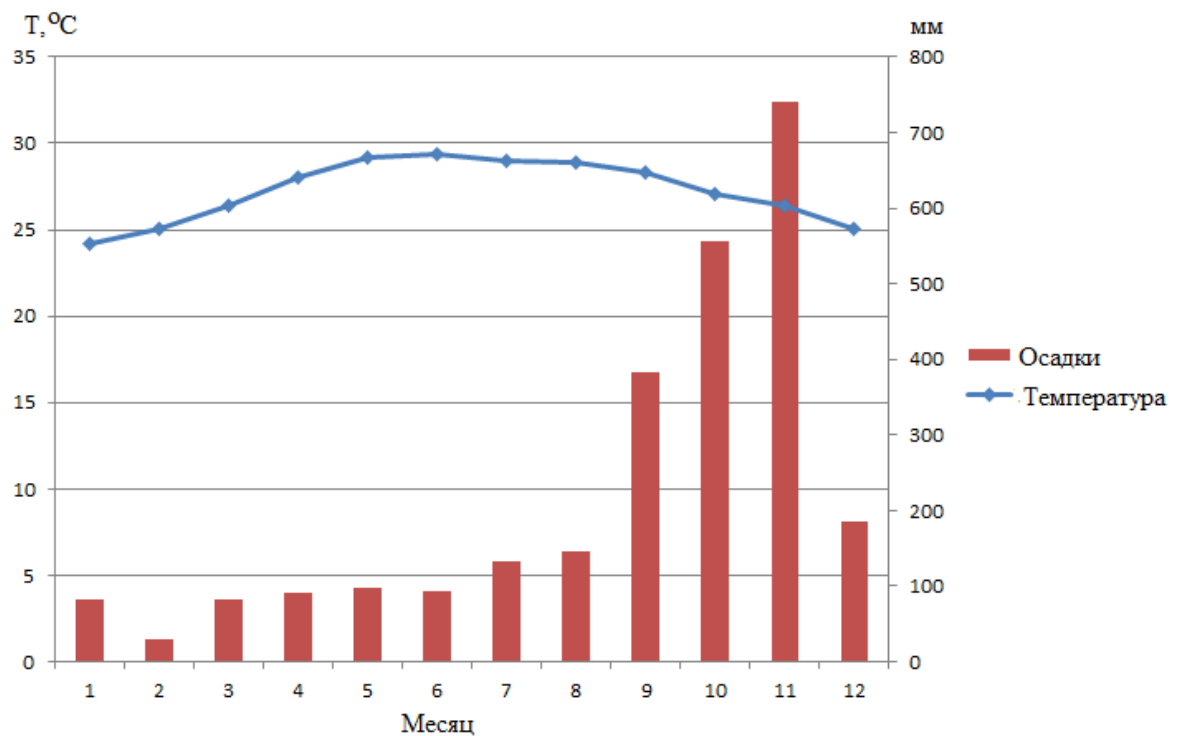


Рисунок 3.2 – Годовой ход температуры и осадков по данным метеостанции Нячанга.

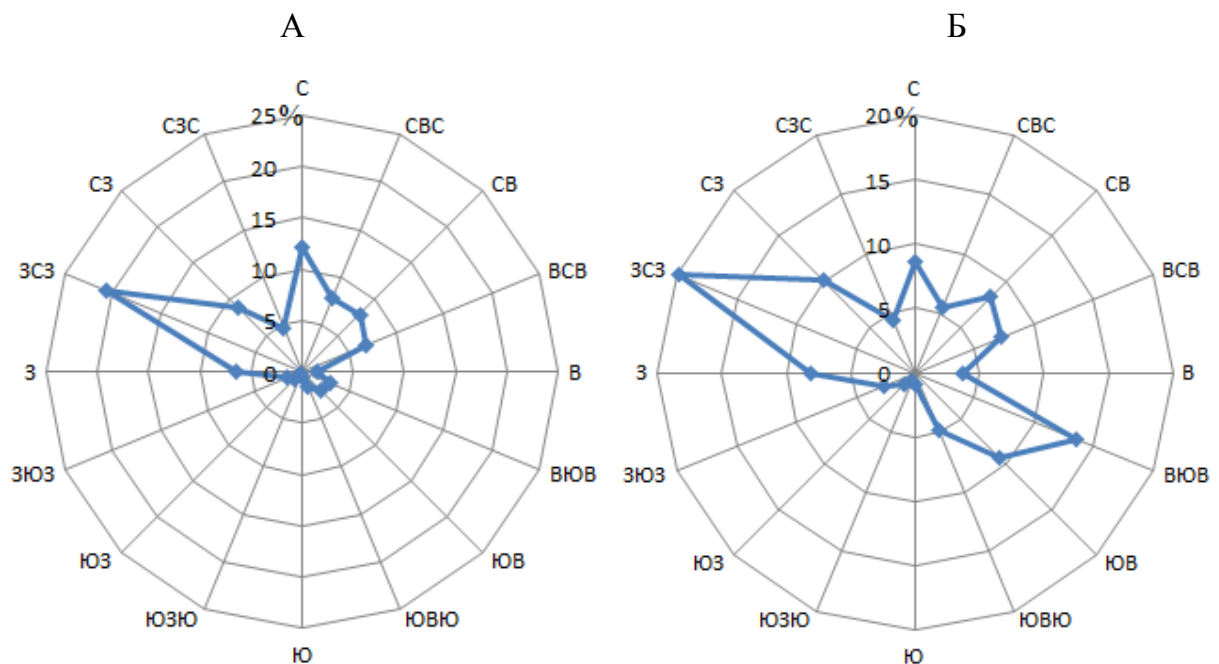


Рисунок 3.3 – Роза ветров по данным метеостанции Нячанга для дождливого (А) и сухого (Б) сезонов.

Особо следует остановиться на температуре морской поверхности и, самое главное, разности температур «суша-море», ответственной за формирование морских бризов, которые совместно с рельефом суши как раз и формируют все особенности циркуляции в окрестности строящейся АЭС. На рисунке 3.4 представлен годовой ход среднемесячных разностей температур «воздух-вода» для максимальных дневных и минимальных ночных температур воздуха.

Как можно видеть из данного рисунка, наибольшая дневная разность температур, когда следует ожидать формирования заметного по интенсивности дневного бриза, наблюдается в период марта-июля. Отметим, что именно в этот период разность ночных температур воздух-вода оказывается весьма незначительной, что не позволяет ожидать в этот период сколько-нибудь заметных ночных бризов. Последние, как это видно из рисунка, следует ожидать в осенне-зимний период (с ноября по январь), при этом дневные бризы вследствие малой разности температур здесь будут отсутствовать.

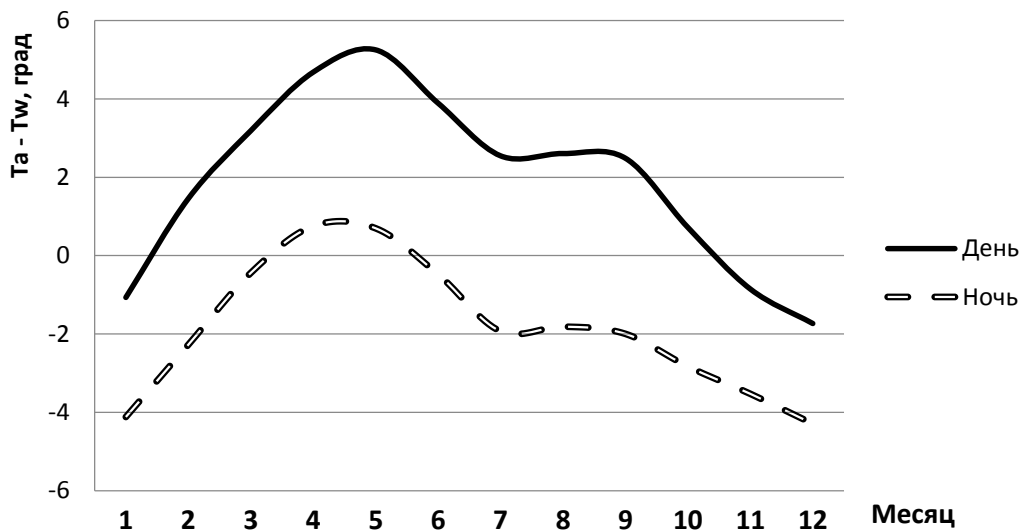


Рисунок 3.4 – Годовой ход среднемесячной разности температур воздух-вода для дневных и ночных условий.

Более детальный анализ этого вопроса требует рассмотрения повторяемостей амплитуд температуры воздуха (рисунки 3-5, 3-6) и среднемесячных значений разности температур «воздух-вода» (рисунок 3-7). Как можно видеть, даже

максимальные значения амплитуд температуры воздуха, как в дождливый, так и в сухой периоды не превосходят 10°C , а с учетом данных рисунка 3-7, максимальные разности температур «воздух-вода» в апреле-мае не превосходит $8-9^{\circ}\text{C}$, что не слишком отличается от средних значений, приведенных на рисунке 3.4.

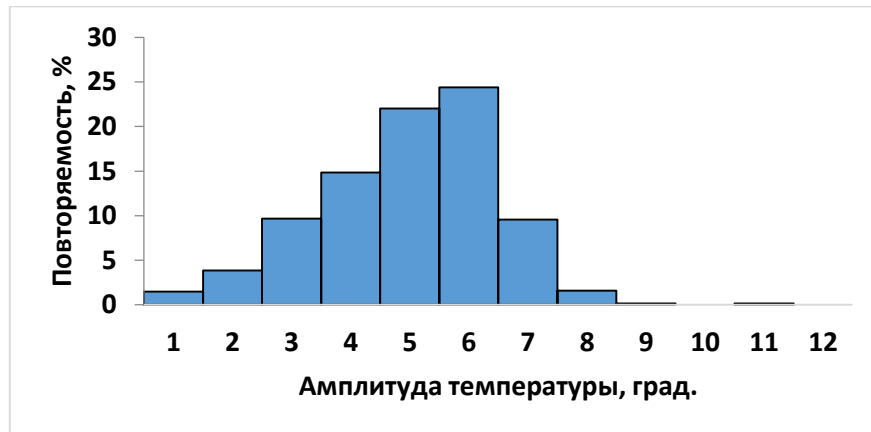


Рисунок 3.5 – Повторяемость амплитуд суточного хода температуры воздуха за 2010 – 2015 гг. по данным метеостанции Нячанг в дождливый период.

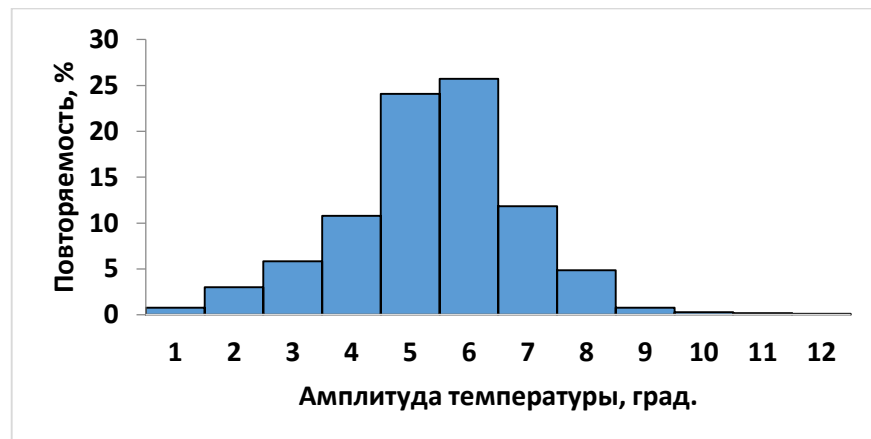


Рисунок 3.6 – Повторяемость амплитуд суточного хода температуры воздуха за 2010 – 2015 гг. по данным метеостанции Нячанг в сухой период.

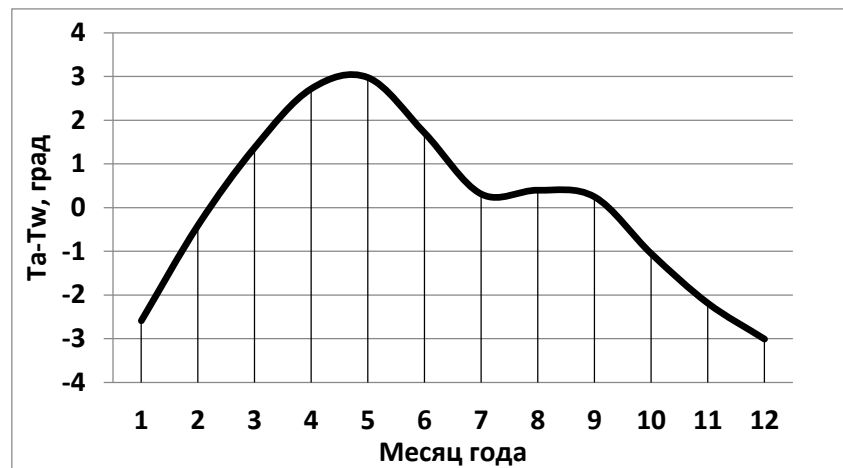


Рисунок 3.7 – Годовой ход разности среднемесячных значений температуры «воздух-вода» за период 2010 – 2015 гг. по данным метеостанции Нячанг.

3.2 Цифровая модель рельефа

Для проведения расчетов с использованием численной модели, описанной в разделе 2, требуется так называемая «оцифровка рельефа», т.е. переход от способа задания рельефа с помощью изолиний к некоторым вспомогательным функциям, реализующим тот способ описания рельефа, который был описан выше, в разделе 2.

Там предусматривалось, в частности, задание конфигурации рельефа с использованием координат угловых точек L каждого треугольника $k - (x_L^{(k)}, y_L^{(k)}, z_L^{(k)})$ на рисунке 2.2. Для решения этой задачи нами на алгоритмическом языке FORTRAN был разработан специальный программный модуль DINHOLM, который по заданной системе изолиний рельефа для всей выбранной области расчета реализовывал вычислительную процедуру построения нормалей к такого рода треугольникам из ближайших узлов расчетной сетки, характеристики которых (длина, горизонтальный и вертикальный углы) и представляли уже итоговую цифровую модель рельефа, которая и использовалась при задании граничных условий для компонент скорости ветра, температуры и давления

Для оцифровки рельефа сначала из ресурса “Google map” была получена карта рельефа (рисунок 3.1). Полученная карта с высотными изолиниями далее была преобразована в обменный формат ГИС Arcview (*.SHP) с соответствующей

пространственной привязкой. Пример построения таким способом системы изолиний рельефа с дискретностью 20 м по высоте представлен на рисунке 3.8.

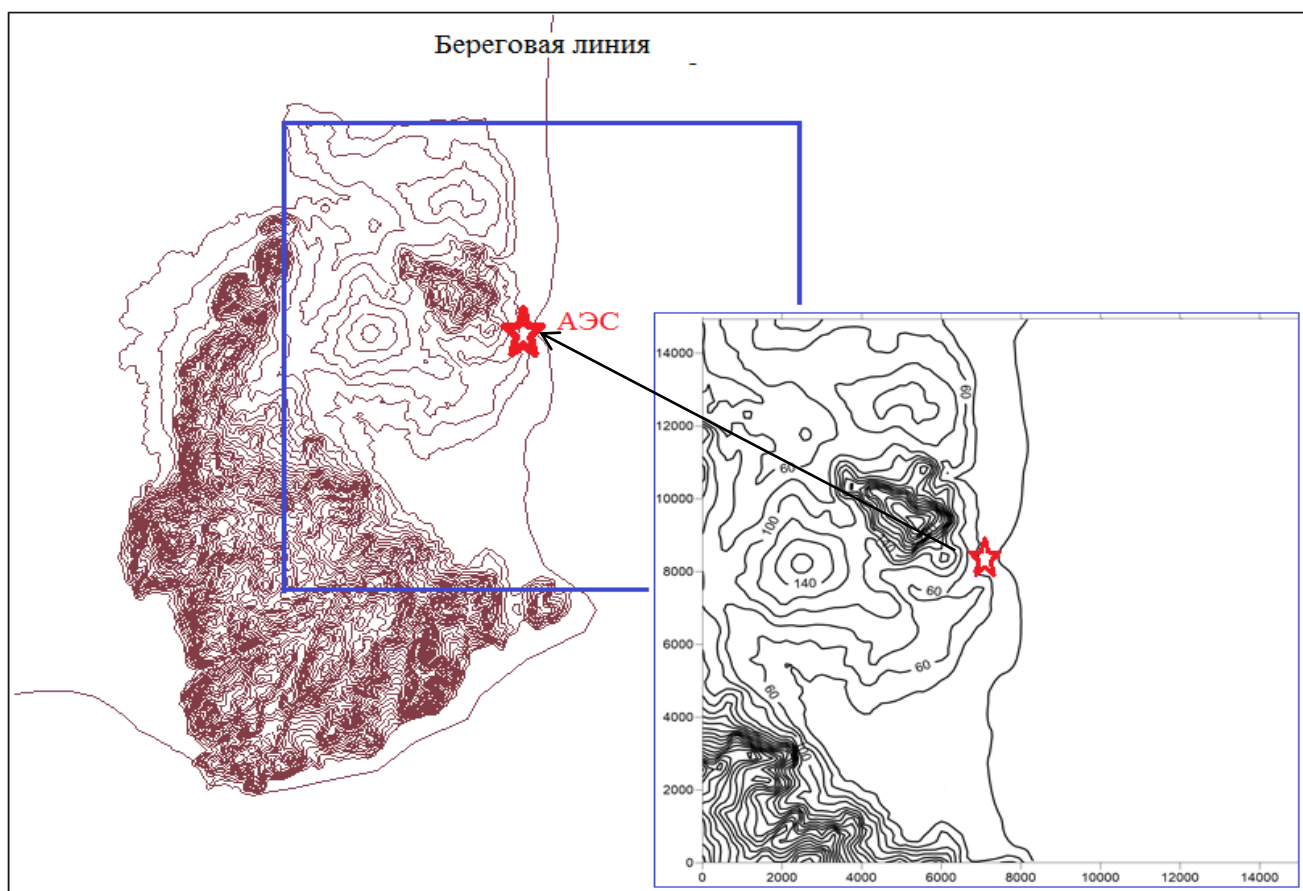


Рисунок 3.8 – Изолинии рельефа и береговая линия области исследования.

На врезке представлена область размером 15х15 кв. км, для которой проводились детальные расчеты.

Дополнительно вычерчивалась береговая линия и в узлах регулярной сетки (X_i, Y_j) и формировался некоторый «индексный» массив $I_{i,j} = 0$ над сушей, и -1 над поверхностью моря. Кроме этого, на основании визуального обследования местности по космическим снимкам карт “Google map”, для территории суши формировалось поле шероховатости подстилающей поверхности $Z_0(X_i, Y_j)$.

3.3 Особенности задания краевых условий для моделирования атмосферы в окрестности площадки строительства АЭС Ниньтхуан 1

3.3.1 Начальные условия

Начальные условия представляется целесообразным, следуя работам [24,25] задавать как результат решения упрощенной системы уравнений АПС над однородной поверхностью, со специальным выделением синоптического фона, который в данном случае задавался на основе данных реанализа компонент скорости ветра на высоте 850гПа, совпадающих приближенно с компонентам и геострофического ветра $U_G, V_G(t)$, а также температуры на высотах 925,850 и 700 гПа.

В этом случае уравнения динамики для отклонений $u = U_1 - U_G$, $v = U_2 - V_G$ запишутся в форме:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_3} K_U \frac{\partial u}{\partial x_3} + 2\omega_z v = 0 \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_3} K_U \frac{\partial v}{\partial x_3} - 2\omega_z u = 0 \quad (3.2)$$

В отличие от уравнений динамики, где в пределах АПС доминируют, как известно, силы трения, Кориолиса и барического градиента, остающиеся также и в уравнениях (3.1) и (3.2), выделение фона в уравнении теплопроводности оказывается не столь простым, поскольку в различных условиях там могут доминировать различные группы членов. В связи с этим перепишем уравнение (2.4) следующим образом:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_3} K_\theta \frac{\partial \theta}{\partial x_3} + \Psi_\theta \quad (3.3)$$

где функция $\Psi_\theta(x_1, x_2, x_3, t)$ – совокупность всех остальных членов исходного уравнения, не учитываемых в явной форме в (3.3). В данной интерпретации это уравнение не представляют собой ничего нового по сравнению с исходным до тех пор, пока не будет указан способ определения этой функции.

В этой связи следует отметить, что за исключением радиационных (ε_θ), все остальные компоненты Ψ_θ обусловлены в значительной степени процессами синоптического масштаба, которые охватывают по вертикали весь атмосферный пограничный слой в целом. Что касается величины ε_θ , то, как показали специальные исследования [37], ее вертикальный профиль имеет целый ряд характерных особенностей, причем максимальные по модулю значения достигаются в непосредственной близости к подстилающей поверхности (за счет интенсивного длинноволнового излучения вследствие значительных локальных градиентов температуры). Если выбрать нижнюю границу области расчета совпадающей с высотой измерения температуры на уровне $Z_B=2\text{м}$ (высота метеобудки), то влияние радиационных притоков тепла на формирование вертикальной структуры поля температуры уже не будет столь существенным.

Все вышесказанное дает основание в первом приближении пренебречь зависимостью Ψ_θ от координат и рассматривать ее лишь как функцию времени:

$$\Psi_\theta(t) \equiv \frac{d\tilde{\theta}}{dt}, \quad (3.4)$$

где осредненное значение потенциальной температуры $\tilde{\theta}(t)$ допустимо определять путем сглаживания рядов соответствующих наблюдений в приземном слое.

Для расчета коэффициента турбулентного обмена использовалась формула (2.13).

Уравнения (3.1) – (3.3) следует интегрировать по времени начиная с некоторого момента t_0 с заданием фиктивных начальных условий, поскольку фактические сведения о реальной вертикальной структуре АПС отсутствуют.

Для компонент скорости ветра в этом качестве привлекались функции $u^{ST}, v^{ST}(x_3)$ удовлетворяющие стационарному решению уравнений (3.1), (3.2), а для температуры – линейный профиль потенциальной температуры: $\theta(x_3) = \tilde{\theta}(t_0) + \gamma_\theta x_3$, где градиент потенциальной температуры в нижней тропосфере γ_θ вычислялся по

данным реанализа температуры на упомянутых выше изобарических поверхностях 925, 850 и 700 гПа.

Для получения начальных профилей компонент скорости ветра и температуры в АПС над сушей предполагается интегрировать уравнение переноса тепла с заданием нижнего граничного условия для температуры на уровне будки ($Z_B = 2\text{м}$) в форме зависимости:

$$\begin{aligned}\theta(Z_B, t) &= \tilde{\theta}(t) + \mathcal{G}_B(t) \\ \mathcal{G}_B(t) &= A_\theta F(t | t_\otimes, t_m)\end{aligned}\quad (3.5)$$

где: $\tilde{\theta}(t)$ – функция тренда температуры,

A_θ – значение амплитуды суточного хода температуры,

$F(t | t_\otimes, t_m)$ – некоторая функция времени, параметрически зависящая также от времени восхода солнца $t_\otimes$ (астрономическая величина) и времени наблюдаемого максимума температуры на уровне будки t_m (климатическая величина). Собственно функция $F(t | t_\otimes, t_m)$ задается следующим образом:

$$\begin{aligned}\text{для } t_\otimes \leq t \leq t_m) \quad F(t) &= \frac{1}{2} \cos \left[\frac{\pi(t - t_m)}{(t_m - t_\otimes)} \right], \\ 0 \leq t \leq t_\otimes \quad F(t) &= \frac{1}{2} \cos \left[\frac{\pi(24 + t - t_m)}{24 - t_m + t_\oplus} \right] \\ t_m \leq t \leq 24 \quad F(t) &= \frac{1}{2} \cos \left[\frac{\pi(t - t_m)}{24 - t_m + t_\oplus} \right]\end{aligned}\quad (3.6)$$

Известно, что в реальных условиях не во всех случаях суточный ход температуры носит «правильный» характер за счет, прежде всего, резкой смены синоптических условий при прохождении атмосферных фронтов и влияния облачности, которая может существенно искажать суточный ход инсоляции. Понятно, что в этих условиях аппроксимация (3.6) оказывается неприемлемой и вместо нее

следует ограничиться получением $\vartheta_B(t)$ путем той или иной формой интерполяции зависимости температуры от времени между сроками наблюдений.

Что касается нижних граничных условий для горизонтальных компонент скорости ветра, то они задавались на уровне шероховатости подстилающей поверхности, где для отклонений от фона справедливо:

$$u = -U_G, v = -V_G \quad (3.7)$$

3.2.2 Граничные условия

Особенность территории в окрестности площадки строительства АЭС состоит в одновременном участии в расчете как поверхности суши с рельефом и некоторым полем шероховатости (в зависимости от характеристик растительности и почвы), так и поверхности воды, температура которой в достаточной степени консервативна (суточным ходом можно пренебречь), а шероховатость зависит, вообще говоря, от скорости ветра. При этом необходимо учитывать, что если температура поверхности воды – известна, то температура поверхности почвы – нет, в силу неопределенности этого понятия и отсутствия измерений. В этом случае над сушей необходимо задавать, вообще говоря, температуру воздуха на уровне будки.

На верхней границе расчетной области величины всех отклонений от фона, как это и было отмечено в разделе 2.5, полагаются равными нулю. Нижние граничные условия для горизонтальных компонент скорости ветра задавались аналогично (3.7), а вследствие непротекания воздуха через поверхность суши или воды вертикальная скорость $W_0=0$.

Уровень шероховатости водной поверхности рассчитывался на основе известной формулы Чарнока [39]:

$$Z_{ow} = a \frac{U_*^2}{g} \quad (3.8)$$

где: U_* – динамическая скорость,

g – ускорение свободного падения,

$a \approx 0.02$ – эмпирическая константа.

Для параметризации приземного и приводного слоя использовались соотношения теории подобия Мони́на-Обухова, подробно описанные в разделе 2.5, но с некоторыми особенностями, связанные с заданием температуры воздуха над сушей и над водой на разных уровнях. Если обозначить интегралы в формуле (2.25) следующим образом:

$$\Delta_U(\mu_0, \mu_1, L) = \int_{\mu_0}^{\mu_1} \frac{\varphi_U(\mu)}{\mu} d\mu \quad \Delta_T(\mu_0, \mu_1, L) = \int_{\mu_0}^{\mu_1} \frac{\varphi_T(\mu)}{\mu} d\mu \quad \mu = \frac{Z}{L}, \quad L = -\frac{U_*^3}{\beta \kappa H_0} \quad (3.9),$$

то для нижней пары сеточных узлов Z_1, Z_2 , уровня шероховатости Z_0 и высоты будки Z_B можно записать следующие соотношения:

$$\begin{aligned} u_1 &= \frac{U_*}{\kappa} \Delta_U(\mu_0, \mu_1, L) \frac{u_2 + U_G}{G_2} - U_G & u_2 &= \frac{U_*}{\kappa} \Delta_U(\mu_1, \mu_2, L) \frac{u_2 + U_G}{G_2} - U_G \\ v_1 &= \frac{U_*}{\kappa} \Delta_U(\mu_0, \mu_1, L) \frac{v_2 + V_G}{G_2} - V_G & v_2 &= \frac{U_*}{\kappa} \Delta_U(\mu_1, \mu_2, L) \frac{v_2 + V_G}{G_2} - V_G \\ \vartheta_1 &= -\frac{H_0}{\kappa U_*} \Delta_T(\mu_0, \mu_1, L) + T_w \quad \text{над водой,} & \vartheta_1 - \vartheta_B &= -\frac{H_0}{\kappa U_*} \Delta_T(\mu_1, \mu_B, L) \quad \text{над сушей} \\ \vartheta_2 - \vartheta_1 &= -\frac{H_0}{\kappa U_*} \Delta_T(\mu_1, \mu_2, L) \end{aligned} \quad (3.10)$$

Решая систему трансцендентных уравнений (3.10) с учетом соотношений (3.9), а также (2.24) и (2.27) можно связать неизвестные граничные условия u_1, v_1, ϑ_1 с известными на данном временном шаге значениями u_2, v_2, ϑ_2 , а также заданными в качестве граничных условий T_B, T_w , получив в качестве промежуточного результата U_* .

3.4 Моделирование типичных ситуаций

В качестве типичных в данном случае рассматривались две ситуации: дневной и ночной бризы. В качестве параметров дневного бриза задавались значения разности температур «воздух-вода» для 15 часов местного времени апреля месяца, когда разность температур оказывалась максимальной (рисунок 3.4). В качестве параметров ночного бриза значения разности температуры «воздух-вода» задавались для 3 часов ночи для ноября месяца, когда это значение было максимальным по модулю и отрицательным.

Ниже представленные рисунки 3.9-3.14 с полями вертикальной скорости ветра. Эти результаты мы получили при расчетах по двум периодам времени. Первый период характерен при оценке влияния дневного бриза – это в 15 часов апреля месяца, когда эффект дневного бриза сильно работает. Расчеты в этот период проведены при температуре воздуха $T_a=25^{\circ}\text{C}$, и при учете дневного бриза были заданы амплитуда суточного хода температуры воздуха над сушей $4,0^{\circ}\text{C}$, а разность температур воздух-вода $2,7^{\circ}\text{C}$.

Второй период характерен при оценке влияния ночного бриза (в 3 часа ноября месяца). Расчеты в этот период проведены также при температуре воздуха $T_a=25^{\circ}\text{C}$, с заданием амплитуды суточного хода температуры воздуха над сушей $3,2^{\circ}\text{C}$, и разности температур «воздух-вода» $-2,2^{\circ}\text{C}$.

Для обоих периодов при учете рельефа (без бризового эффекта) были заданы амплитуда суточного хода температуры воздуха над сушей 0.0°C , разность температур воздух-вода 0.0°C .

Представленные рисунки являются примерами расчетов полей вертикальной скорости в сухой период (апрель) с учетом влияния рельефа (рисунки 3.9, 3.10), влияния дневного бриза (рисунки 3.11, 3.12), влияния рельефа и дневного бриза (рисунки 3.13, 3.14). В данной работе представлены рисунки расчетов при заданных параметрах ветра на высоте 1500 м скоростью 4 м/с, направлениями восточным и западным, как типичные для оценки влияния бризового эффекта. На каждом рисунке отмечена береговая линия (жирно-черная линия).

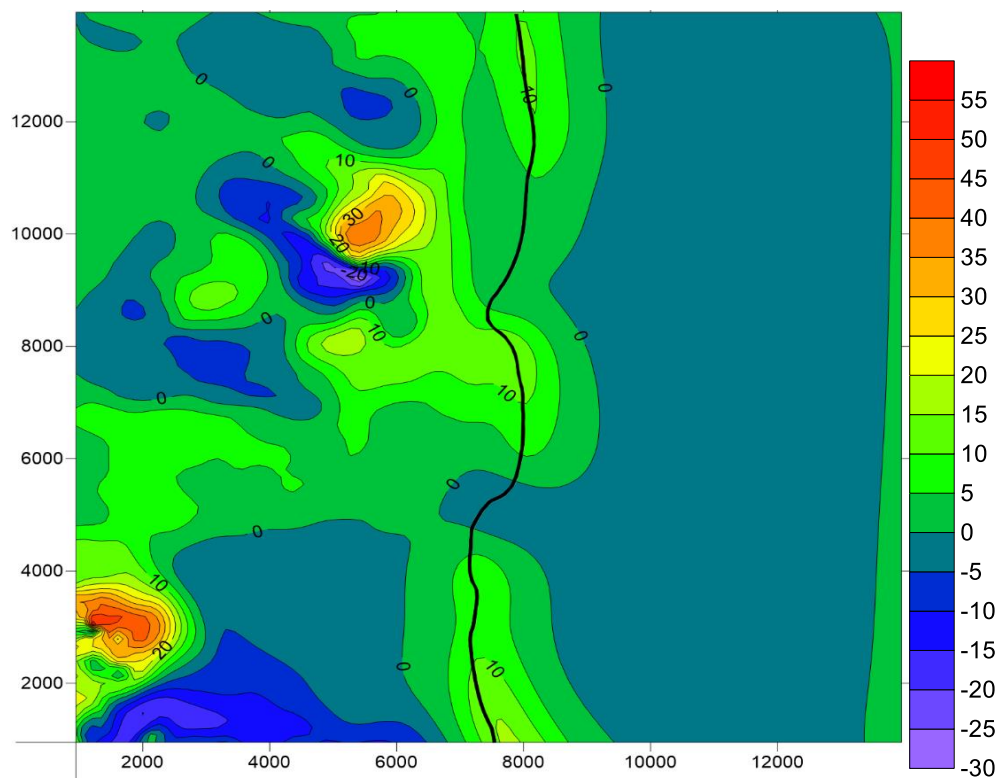


Рисунок 3.9 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности с учетом влияния рельефа, ветер на высоте 1500 м 4 м/с, восточный. Расчет проведен для 15 часов апреля месяца.

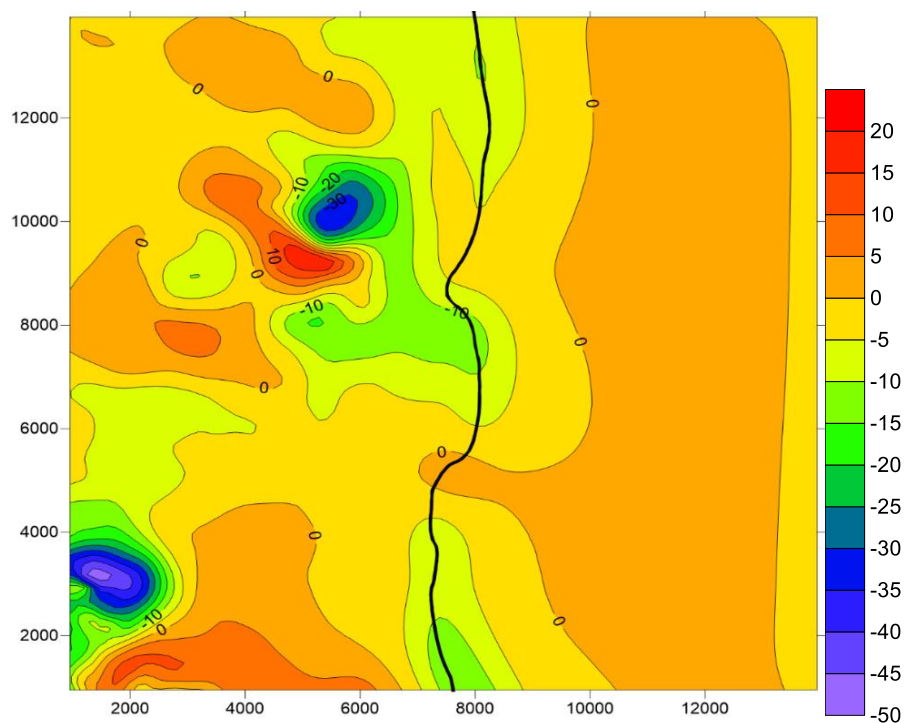


Рисунок 3.10 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа, ветер на высоте 1500 м 4 м/с, западный. Расчет проведен для 15 часов апреля месяца.

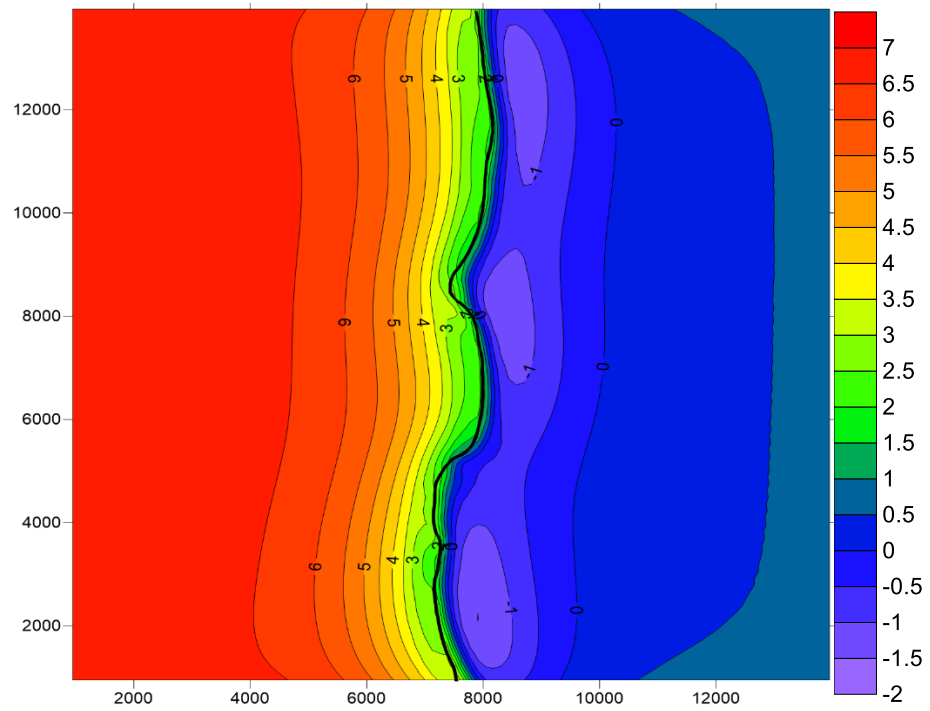


Рисунок 3.11 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния бриза, ветер на высоте 1500 м 4 м/с, восточный. Расчет проведен для 15 часов апреля месяца.

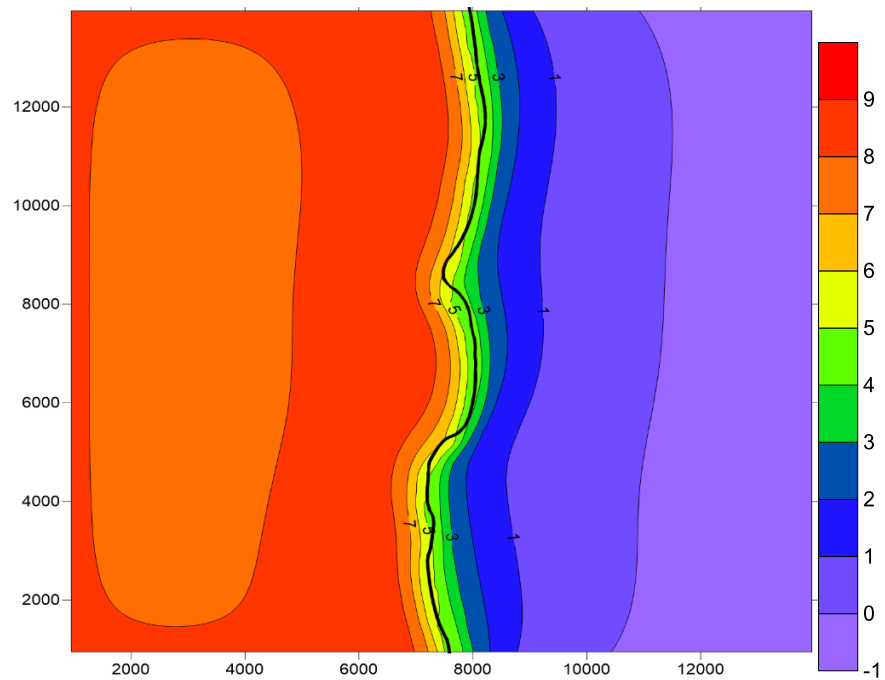


Рисунок 3.12 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния бриза, ветер на высоте 1500м 4 м/с, западный. Расчет проведен для 15 часов апреля месяца.

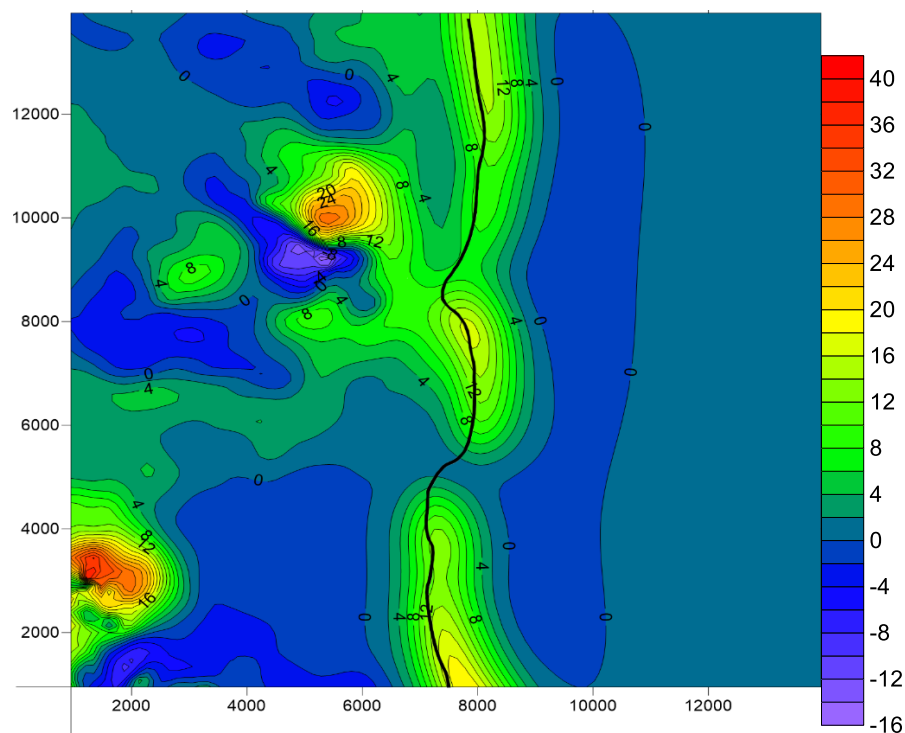


Рисунок 3.13 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа и бриза, ветер на высоте 1500 м 4 м/с, восточный. Расчет проведен для 15 часов апреля месяца.

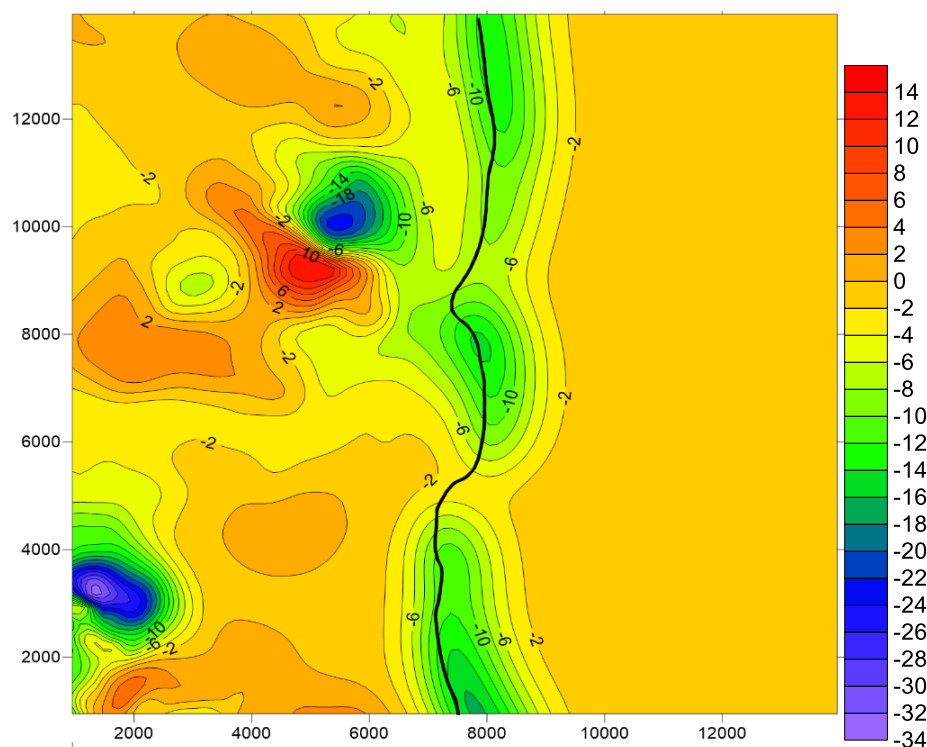


Рисунок 3.14 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа и бриза, ветер на высоте 1500 м 4 м/с, западный. Расчет проведен для 15 часов апреля месяца.

Как можно видеть, для расчетов с учетом влияния рельефа (рисунки 3.9, 3.10) из-за того, что существует разница шероховатости, при восточном ветре (ветер, направляющий с водной поверхности) на высоте появились восходящие потоки с больше интенсивностью и нисходящие потоки с меньше интенсивностью, чем при западном ветре (ветер, направляющий с суши). При отключении рельефа (расчет с учетом влияния дневного бриза), наблюдается слабые нисходящие потоки у побережья, когда ветер на высоте - восточный. Кроме того, при расчетах с учетом влияния бриза наблюдаются слабые восходящие потоки над сушей, и слабые нисходящие потоки над водой.

На рисунках расчетов поля вертикальной скорости с учетом влияния рельефа и дневного бриза (3.13, 3.14) явно выражается влияние бризового эффекта. С отключением рельефа (чистый бриз) интенсивность восходящих и нисходящих потоков уменьшаются. Кроме того, у побережья наблюдаются восходящие потоки при восточном ветре, и нисходящие потоки при западном ветре. Это явление, скорее всего, является результатом перехода на поверхность с другой шероховатостью.

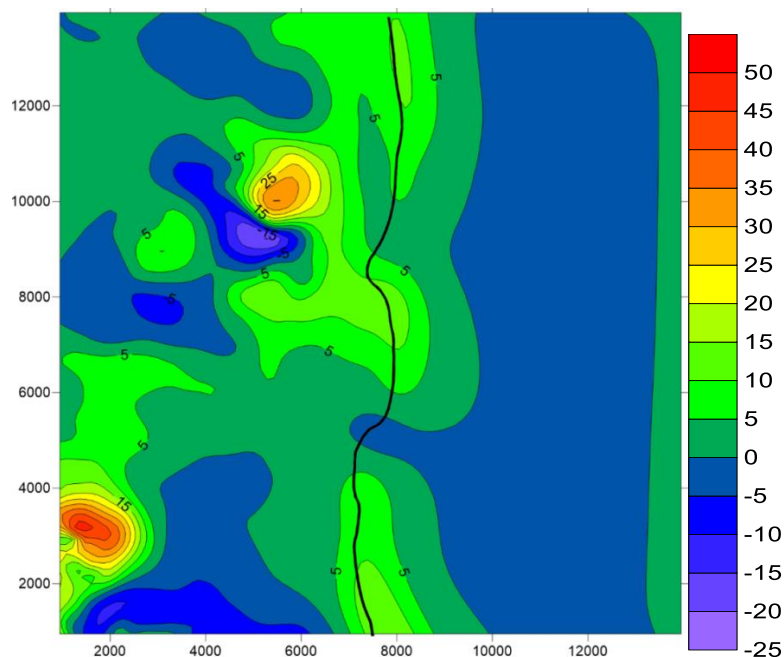


Рисунок 3.15 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа и бриза (ночной бриз), ветер на высоте 1500м 4 м/с, восточный. Расчет проведен для 3 часов ноября месяца.

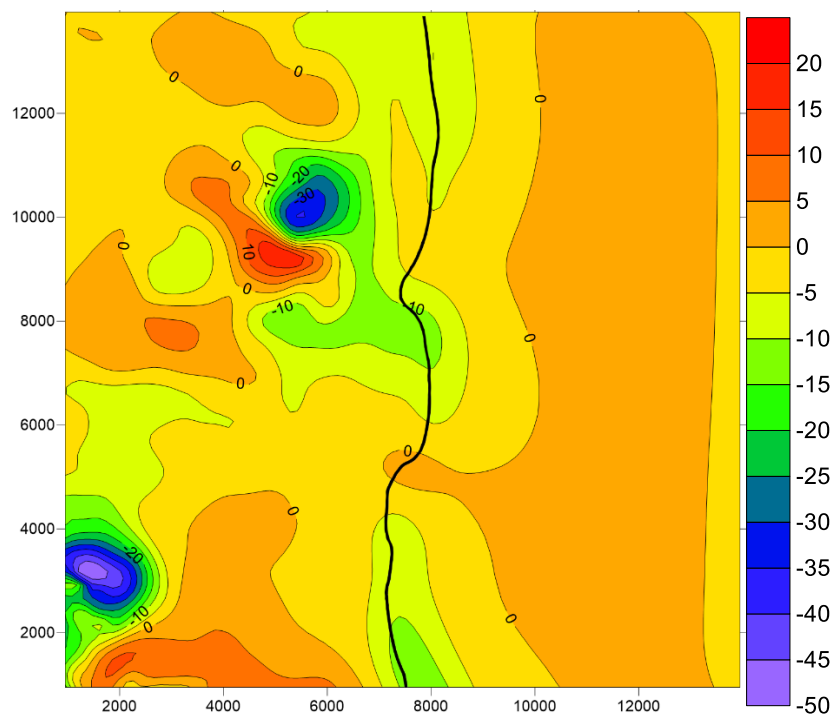


Рисунок 3.16 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа, ветер на высоте 1500м 4 м/с, западный. Расчет проведен для 3 часов ноября месяца.

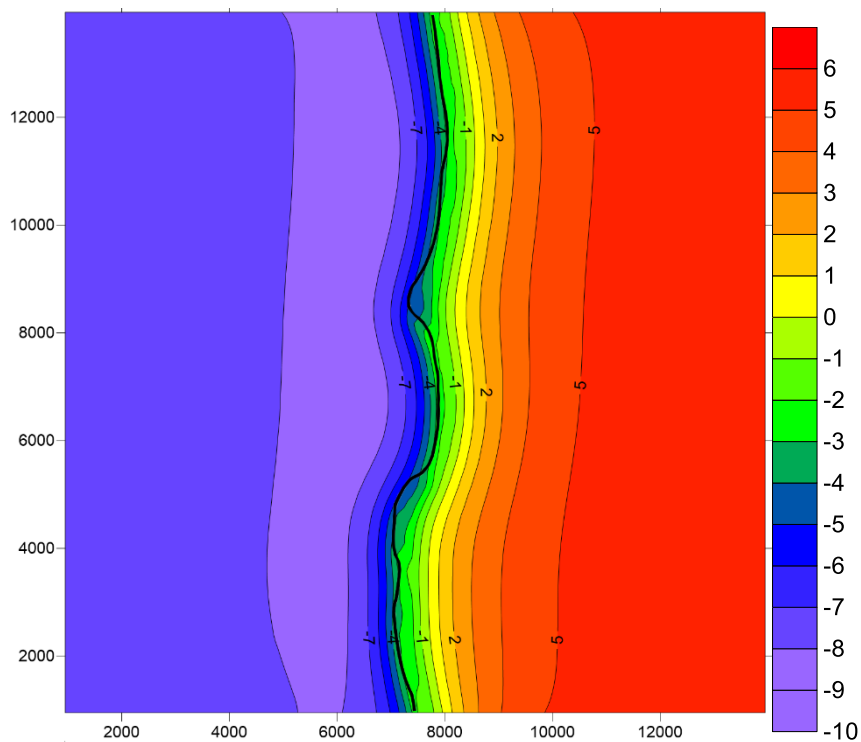


Рисунок 3.17 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 100 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния бриза, ветер на высоте 1500 м 4 м/с, восточный. Расчет проведен для 3 часов ноября месяца.

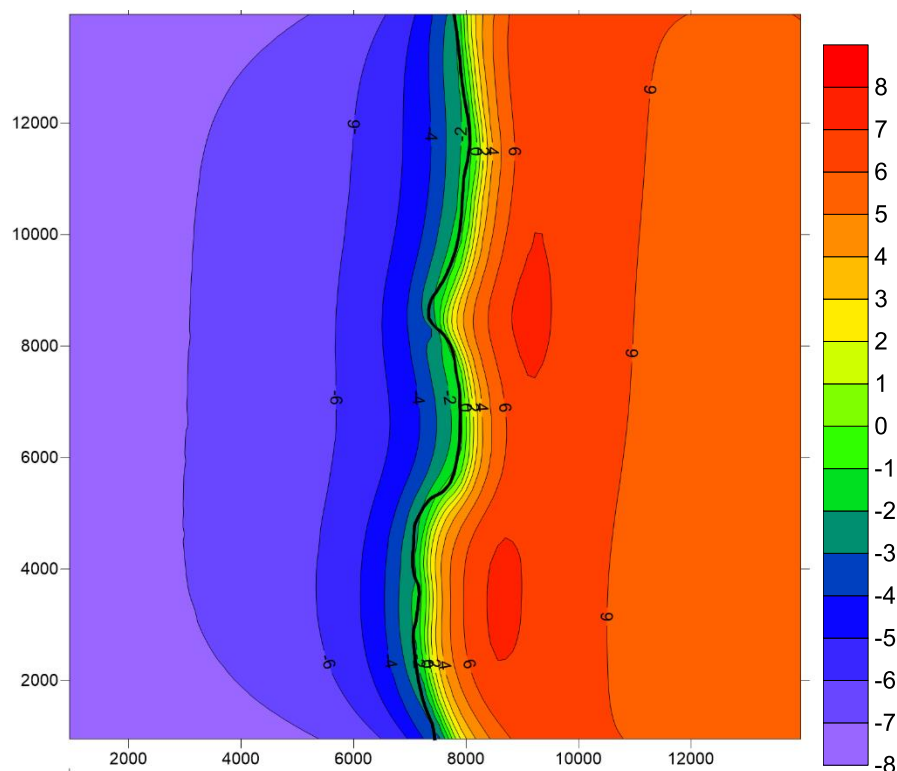


Рисунок 3.18 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния бриза, ветер на высоте 1500 м 4 м/с, западный. Расчет проведен для 3 часов ноября месяца.

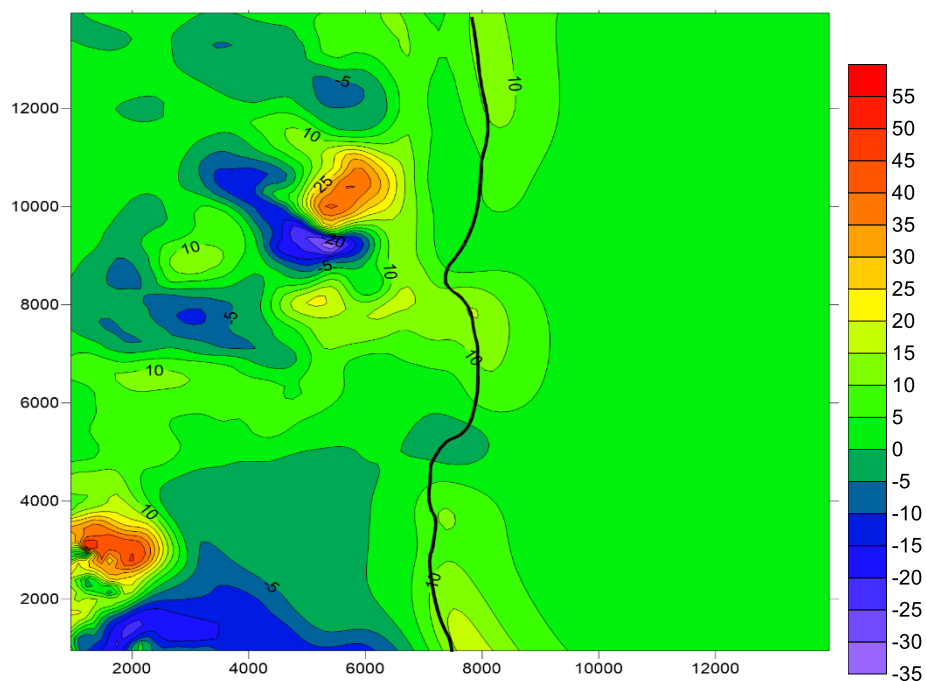


Рисунок 3.19 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа, ветер на высоте 1500 м 4 м/с, восточный. Расчет проведен для 3 часов ноября месяца.

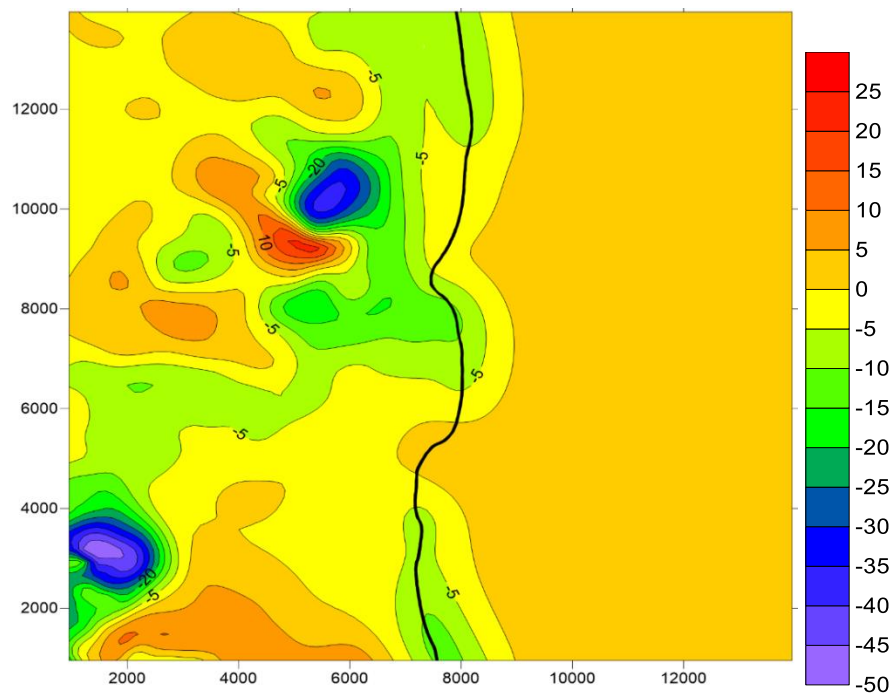


Рисунок 3.20 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа и бриза (ночной бриз), ветер на высоте 1500м 4 м/с, западный. Расчет проведен для 3 часов ноября месяца.

По результатам расчетов поле вертикальной скорости в осенний период (рисунки 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20) можно заметить, что восходящие токи при восточном ветре на высоте более интенсивны, чем восходящие токи при западном ветре (нисходящие токи наоборот). По расчетам с учетом влияния ночного бриза (рисунки 3.17, 3.18) наблюдаются нисходящие потоки над поверхностью суши и восходящие потоки над морем, хотя они не столь сильные. По сравнению с расчетами при учете влияния рельефа, конфигурация полей практически не изменяется. Кроме того, при совместном учете ночного бриза и рельефа, заметно незначительное усиление восходящих и нисходящих токов (рисунки 3.19, 3.20) по сравнению с расчетами при учете влияния только рельефа (рисунки 3.15, 3.16).

На рисунках 3.21, 3.22 описываются изменения скорости ветра вдоль основных румбов направления ветра на высоте 100 м относительно подстилающей поверхности (от точки расположения АЭС). Рисунок 3.21 получен по расчетам при восточном ветре, а рисунок 3.22 - по расчетам при западном ветре. Как можно видеть, скорость и в том и в другом случае по румбам 45, 90 и 135 градусов имеет значение больше, чем

скорость по остальным румбам. Это можно объяснить тем, что по этим румбам находится морская поверхность со значительно меньшей шероховатостью, чем над сушей, так что поток воздуха разгоняется до больших скоростей.

Изменения вертикальной скорости вдоль основных румбов приведены на рисунках 3.22, 3.23. Как можно заметить, для румбов 45, 90, 135 (над водой) вертикальная скорость минимальна, в то время как остальных румбов (суша) вариации вертикальной скорости весьма значительны.

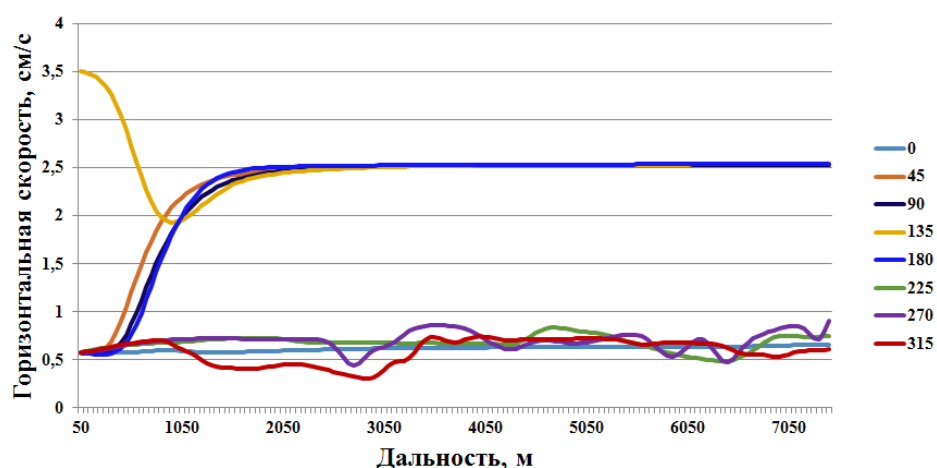


Рисунок 3.21 – Изменение горизонтальной скорости (м/с) вдоль румбов направления ветра (8 румбов) на высоте 100 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа и бриза, ветер на высоте 1500 м 4 м/с, восточный. Расчет проведен для 15 часов апреля месяца.

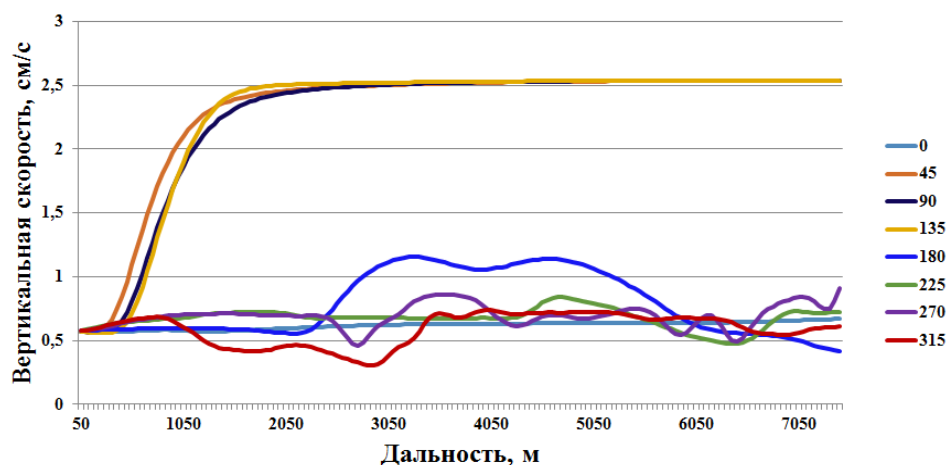


Рисунок 3.22 – Изменение горизонтальной скорости (м/с) вдоль румбов направления ветра (8 румбов) на высоте 100 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа и бриза, ветер на высоте 1500м 4 м/с, западный. Расчет проведен для 15 часов апреля месяца.

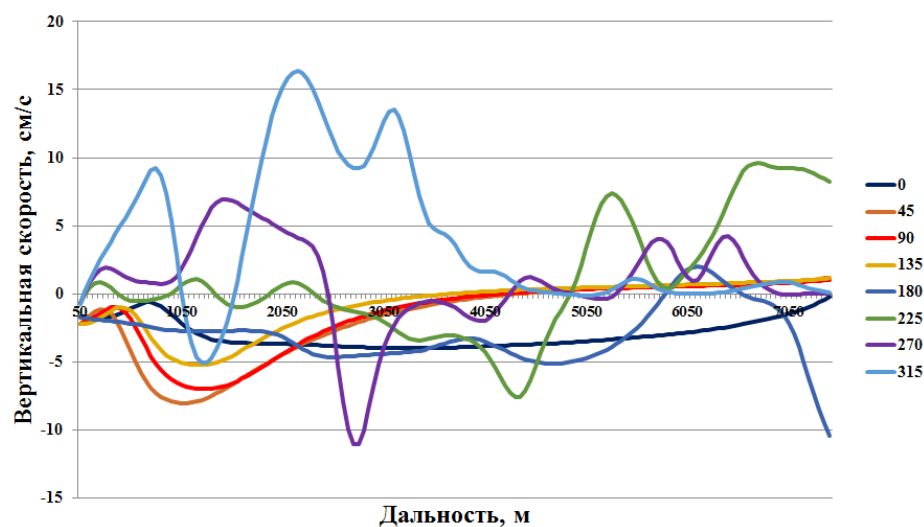


Рисунок 3.23 – Изменение вертикальной скорости (см/с) вдоль румбов направления ветра (8 румбов) на высоте 100 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа и бриза, ветер на высоте 1500 м 4 м/с, восточный. Расчет проведен для 15 часов апреля месяца.

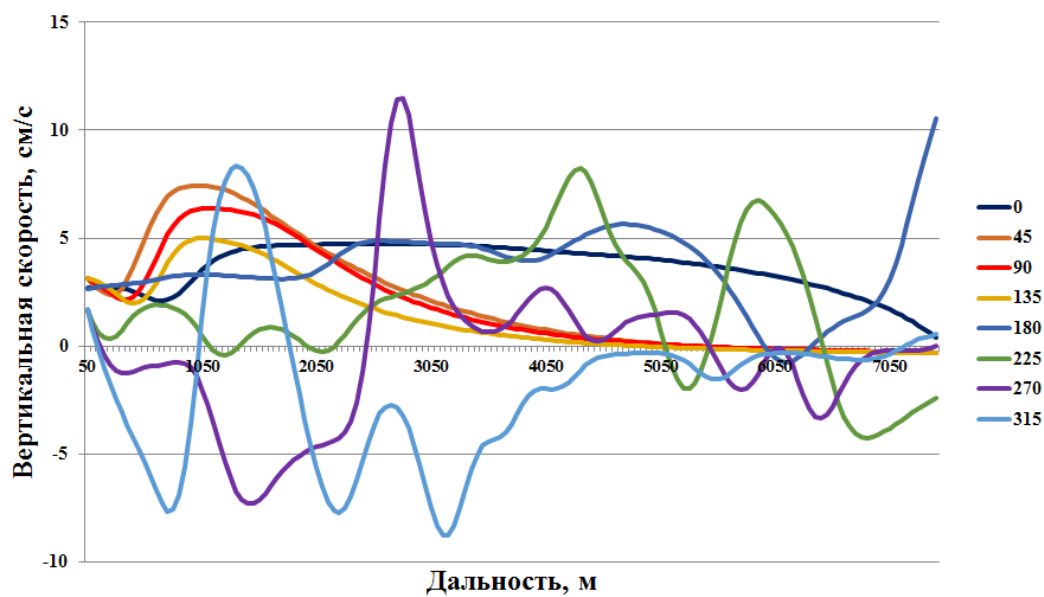


Рисунок 3.24 – Изменение вертикальной скорости (см/с) вдоль румбов направления ветра (8 румбов) на высоте 100 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа и бриза, ветер на высоте 1500м 4 м/с, западный. Расчет проведен для 15 часов апреля месяца.

3.5 Моделирование экстремальных ситуаций

В связи с тем, что как показал анализ результатов расчетов для типичных ситуаций, влияние бризов на структуру АПС в изучаемом районе оказывается незначительным в связи с небольшими разностями температур «суша-вода» (по модулю около 5 градусов), то важно было понять, начиная с каких значений этих величин влияние бризов оказывается существенным. Для этой цели для тех же месяцев, что при рассмотрении типичных ситуаций (апрель, ноябрь) в дополнение к среднемесячным значениям разностей температур «суша-вода», представленным на рисунке 3-6, добавлялись максимальные амплитуды температур с повторяемостью всего 5%, которые по данным рисунка 3.5 составляли около 8 град. В этом случае для 15 часов дня в апреле разность температур составляла около 11 град., а для 3 часов ночи – около -10 град. С учетом низкой повторяемости, подобные значения могут быть отнесены к так называемым «экстремальным».

На рисунках 3.25-3.36 представлены поля вертикальной скорости ветра на высоте 400м для описанных выше экстремальных ситуаций. Эти результаты мы получили при расчетах по двум периодам времени. Первый период характерен при оценке влияния дневного бриза – это в 15 часов апреля месяца. Расчеты в этот период проведены при температуре воздуха $T_a=29\text{ }^{\circ}\text{C}$, и при учете дневного бриза были заданы амплитуда суточного хода температуры воздуха над сушей $8.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, и разность температур «воздух-вода» $10.0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Второй период характерен при оценке влияния ночного бриза – это в 3 часа ноября месяца. Расчеты в этот период проведены при температуре воздуха $T_a=29\text{ }^{\circ}\text{C}$, и при учете дневного бриза были заданы амплитуда суточного хода температуры воздуха над сушей $8.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и разность температур «воздух-вода» $-10.0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для обоих периодов при учете рельефа (без бризового эффекта) были заданы амплитуда суточного хода температуры воздуха над сушей $0.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, разность температур воздух-вода $0.0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

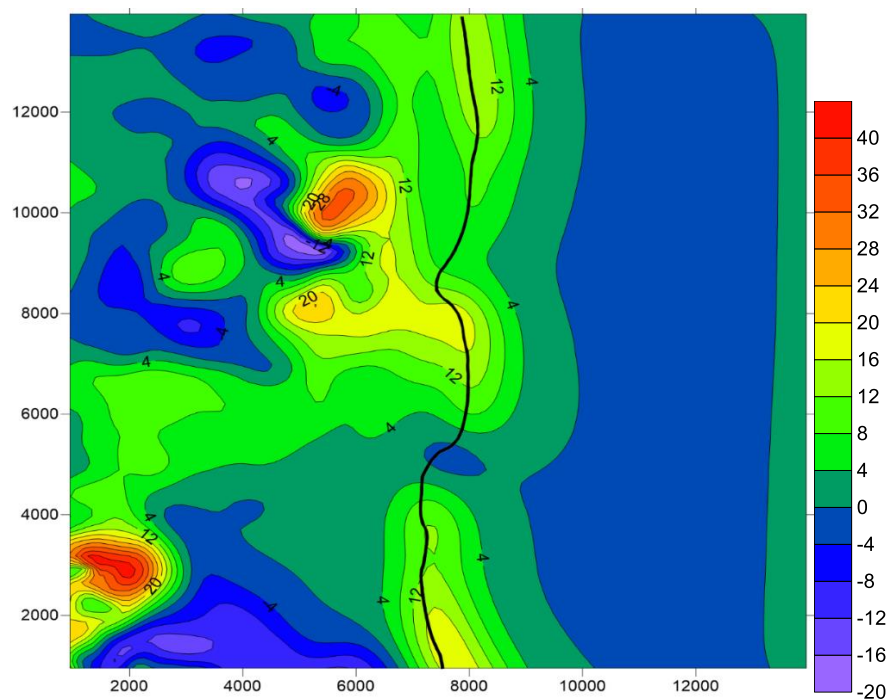


Рисунок 3.25 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа, ветер на высоте 1500 м 4 м/с, восточный. Расчет проведен для 15 часов апреля месяца.

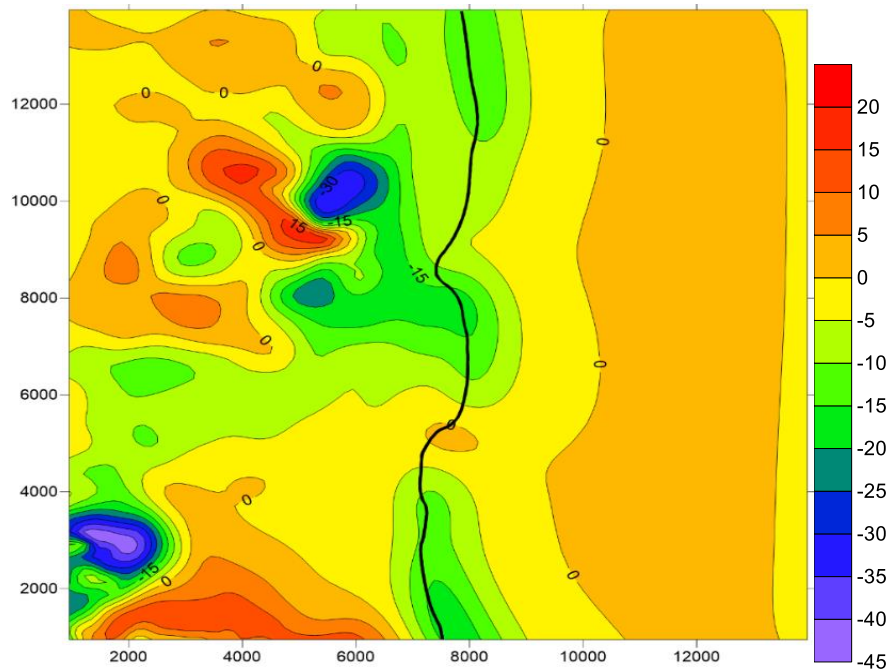


Рисунок 3.26 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа, ветер на высоте 1500 м 4 м/с, западный. Расчет проведен для 15 часов апреля месяца.

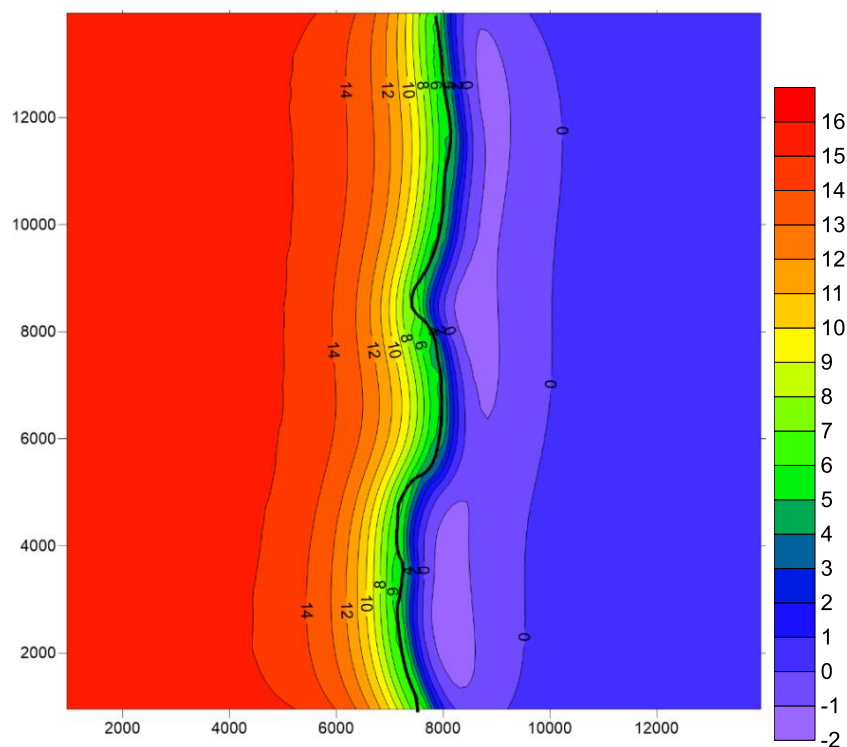


Рисунок 3.27 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния бриза, ветер на высоте 1500 м 4 м/с, восточный. Расчет проведен для 15 часов апреля месяца.

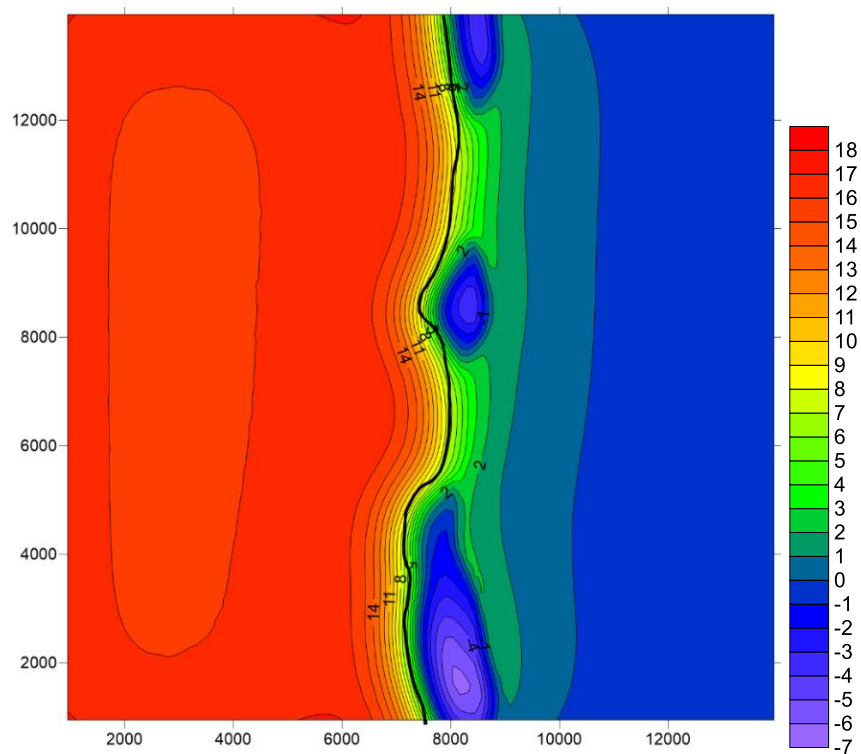


Рисунок 3.28 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния бриза, ветер на высоте 1500м 4 м/с, западный. Расчет проведен для 15 часов апреля месяца.

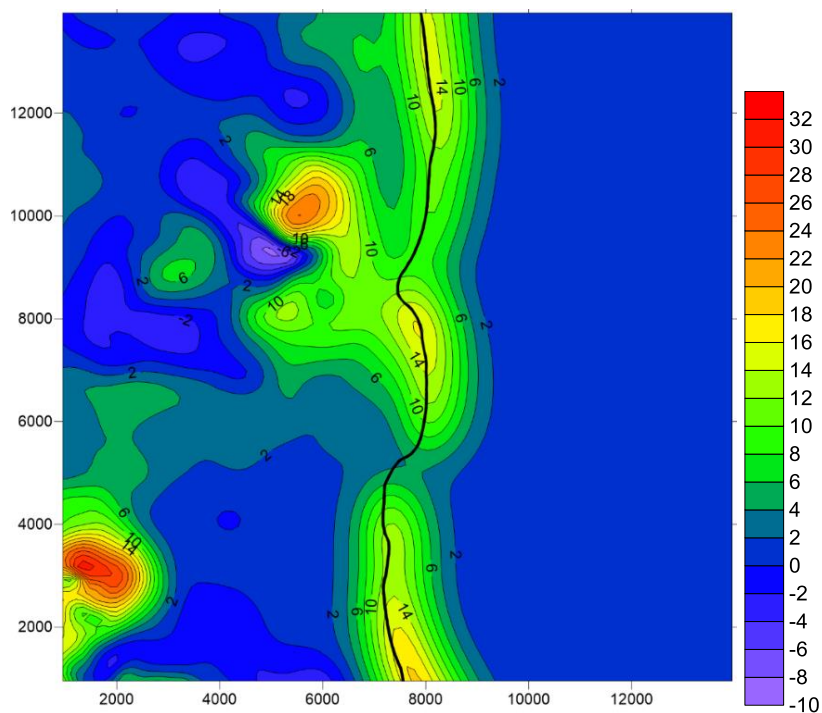


Рисунок 3.29 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа и бриза, ветер на высоте 1500м 4 м/с, западный. Расчет проведен для 15 часов апреля месяца.

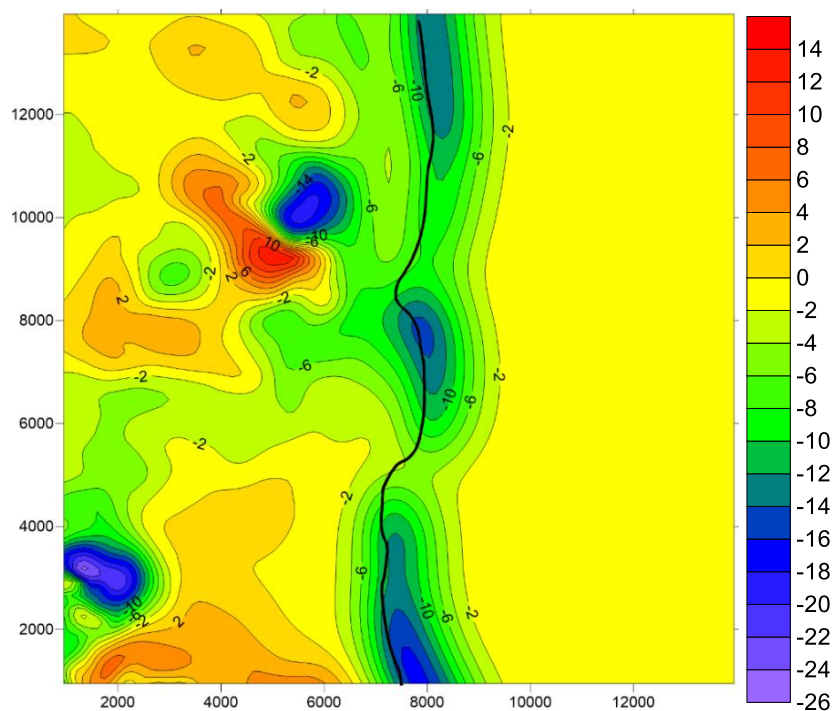


Рисунок 3.30 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа и бриза, ветер на высоте 1500м 4 м/с, западный. Расчет проведен для 15 часов апреля месяца.

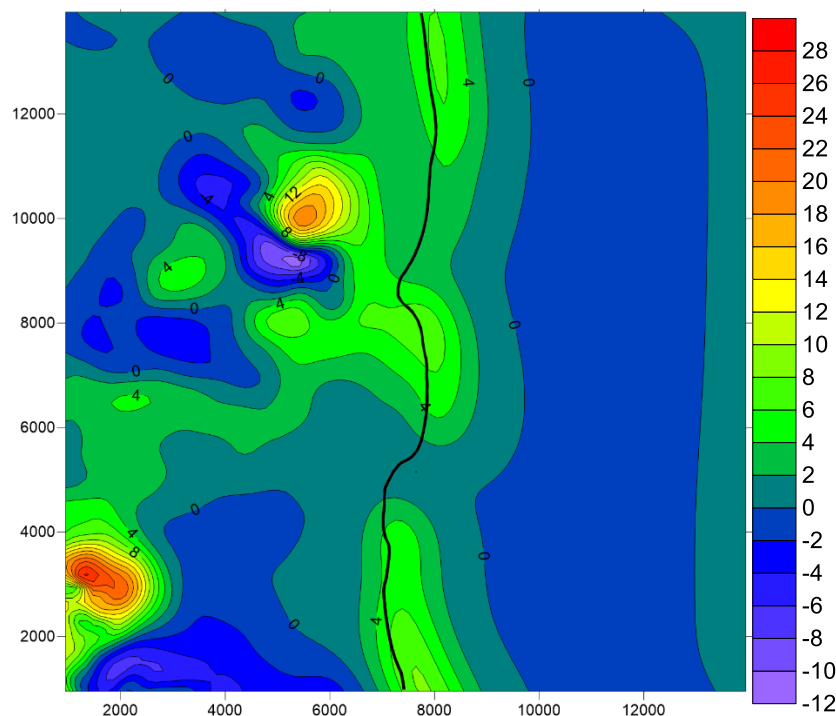


Рисунок 3.31 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа, ветер на высоте 1500м 4 м/с, восточный. Расчет проведен для 3 часов ноября месяца.

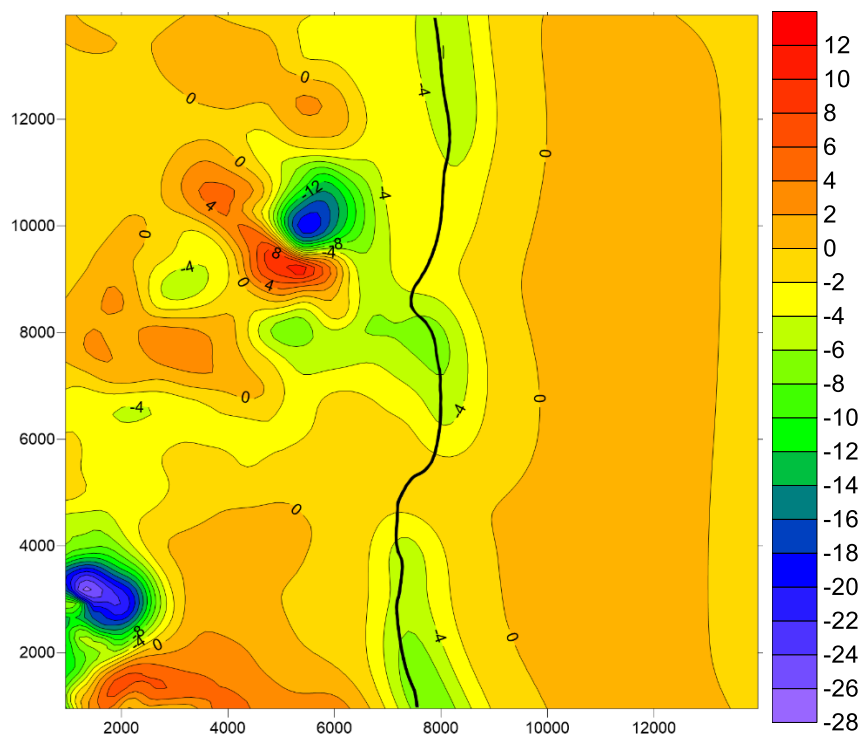


Рисунок 3.32 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа, ветер на высоте 1500м 4 м/с, западный. Расчет проведен для 3 часов ноября месяца.

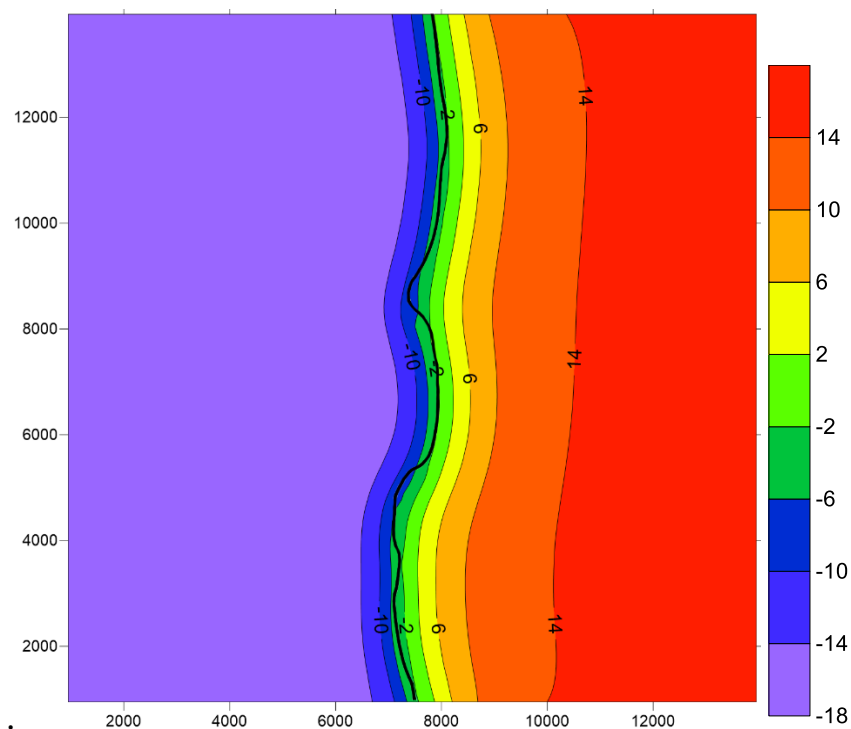


Рисунок 3.33 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 100 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния бриза, ветер на высоте 1500м 4 м/с, восточный. Расчет проведен для 3 часов ноября месяца.

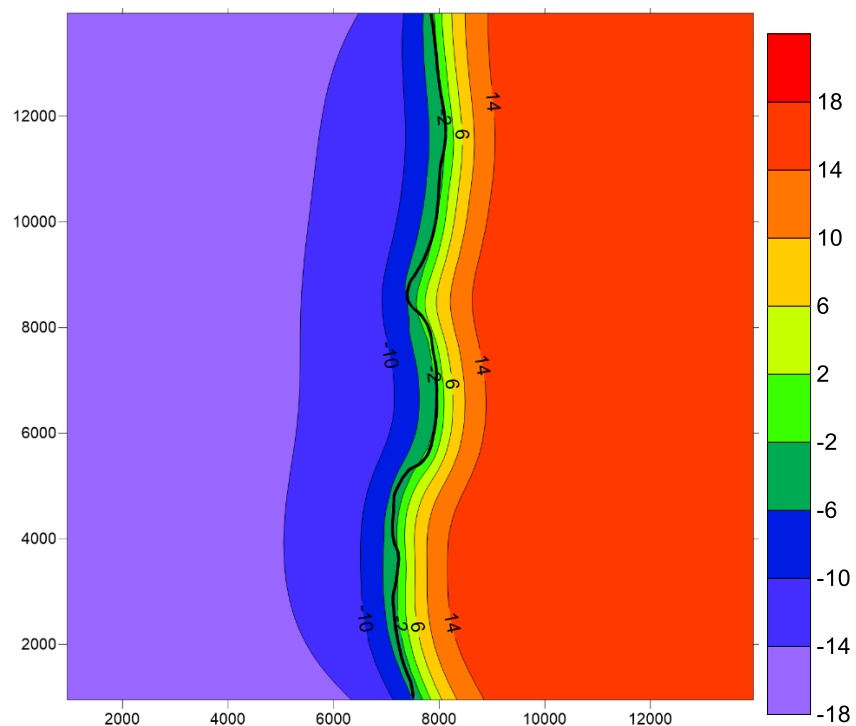


Рисунок 3.34 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 100 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния бриза, ветер на высоте 1500м 4 м/с, западный. Расчет проведен для 3 часов ноября месяца.

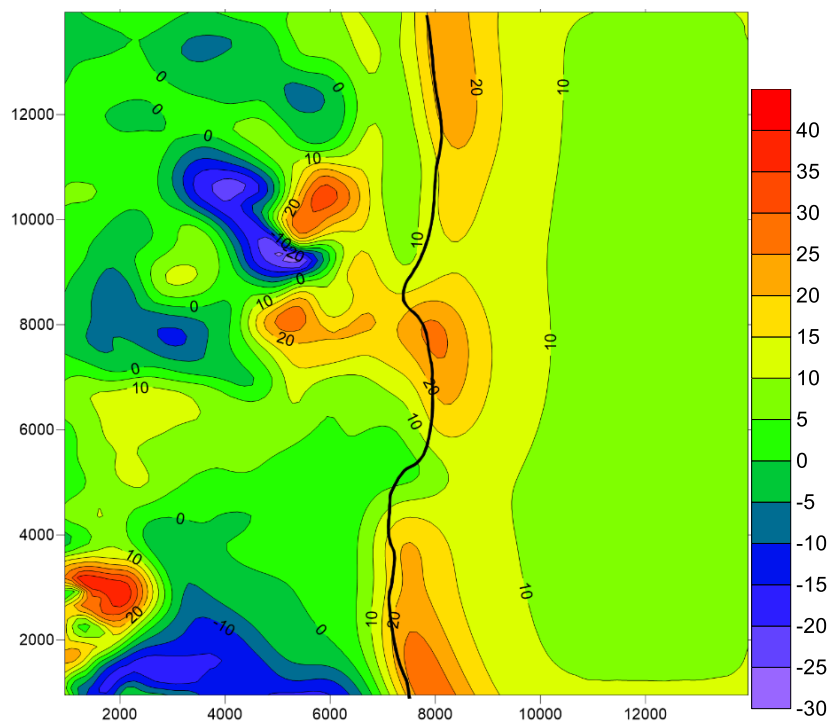


Рисунок 3.35 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа и бриза, ветер на высоте 1500 м 4 м/с, восточный. Расчет проведен для 3 часов ноября месяца.

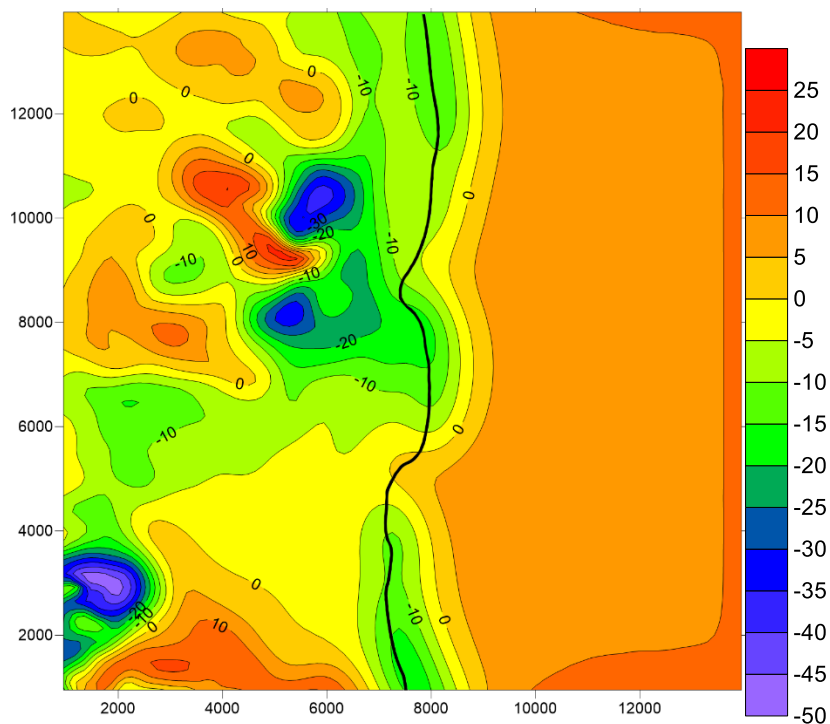


Рисунок 3.36 – Поле вертикальной скорости (см/с) на высоте 400 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа и бриза, ветер на высоте 1500 м 4 м/с, западный. Расчет проведен для 3 часов ноября месяца.

На основе представленных результатов при расчетах с экстремальными ситуациями можно отметить, что бризовый эффект в данном случае весьма сильно влияет на поля вертикальной скорости по сравнению с типичными ситуациями. Кроме того, при влиянии дневного бриза и рельефа (рисунки 3.29, 3.30) интенсивность восходящих и нисходящих потоков уменьшается, а при влиянии ночного бриза и рельефа (рисунки 3.35, 3.36) интенсивность этих потоков увеличивается.

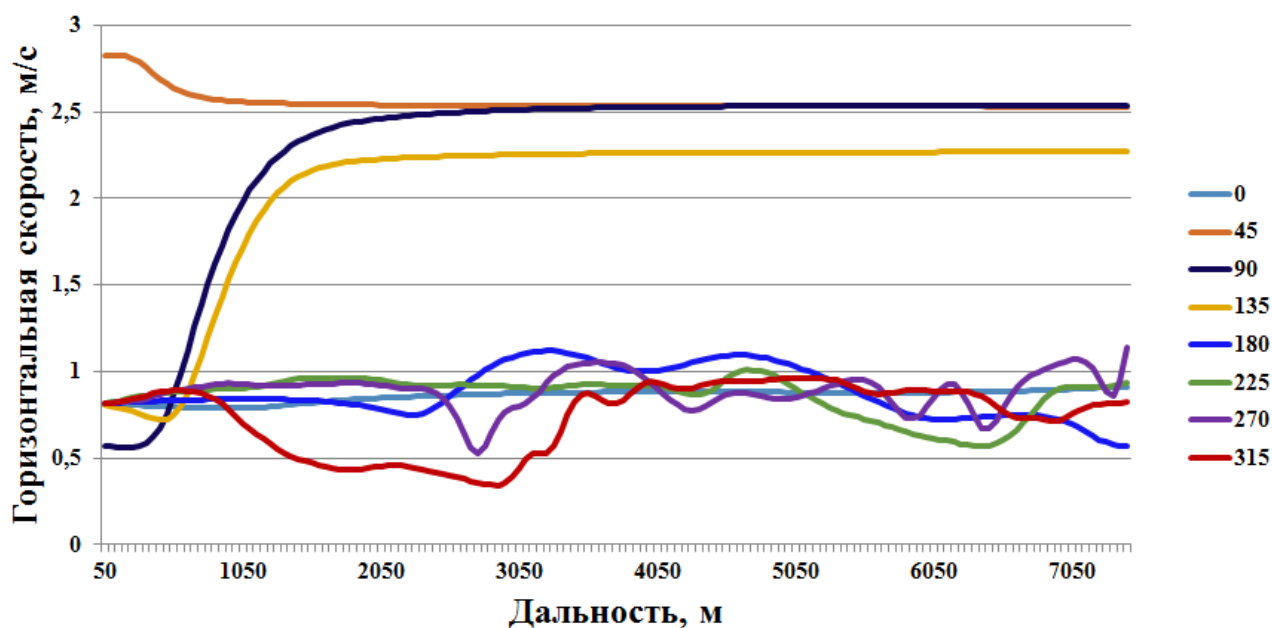


Рисунок 3.37 – Изменение горизонтальной скорости (м/с) вдоль румбов направления ветра (8 румбов) на высоте 100 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа и бриза, ветер на высоте 1500м 4 м/с, восточный. Расчет проведен для 15 часов апреля месяца.

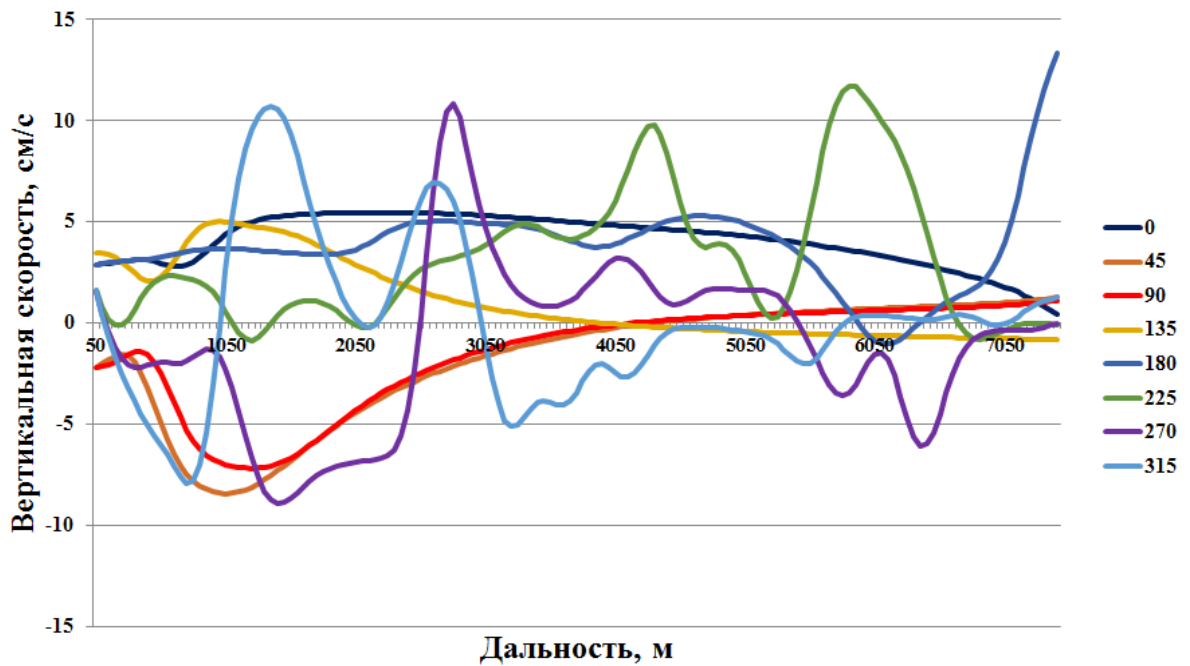


Рисунок 3.38 – Изменение вертикальной скорости (м/с) вдоль румбов направления ветра (8 румбов) на высоте 100 м, относительно подстилающей поверхности, с учетом влияния рельефа и бриза, ветер на высоте 1500м 4 м/с, восточный. Расчет проведен для 15 часов апреля месяца.

Из рассмотрения результатов на рисунках 3.37, 3.38 можно сделать вывод о сравнительной стабильности скоростей вдоль румбов 45°, 90°, 135° (поверхность моря). По остальным румбам, так же как и в случае рассмотрения типичных ситуаций, в значительной степени проявляется влияние рельефа, особенно на вертикальную скорость.

3.6 Выводы по разделу 3

В заключение данного раздела сформулируем следующие выводы:

- 1 На основе широкодоступной картографической информации из ресурса “Google map” была получена карта рельефа (скалярный формат), окрестностей площадки строительства АЭС которая, далее, была оцифрована и преобразована в обменный формат ГИС Arcview (*.SHP) с соответствующей пространственной привязкой. На основании этой информации с помощью разработанного нами

программного модуля была построена цифровая модель рельефа, которая непосредственно использовалась для численного моделирования.

2 На основании интегрирования упрощенной модели однородного АПС со специальным выделением синоптического фона была реализована технология получения начальных условий для интегрирования во времени уравнений численной модели, а использованием спутниковой информации о структуре подстилающей поверхности суши, конфигурации береговой линии, данных о среднесуточных значений температуры воздуха и заданных амплитуд суточного хода над сушей, а также температуры водной поверхности были сформулированы нижние граничные условия.

3 Для типичных ситуаций ожидаемого максимального развития бриза (дневного бриза – день, апрель), ночного бриза (ночь, ноябрь) проведен комплекс расчетов 3D структуры атмосферы, который показал, что расчетные значения интенсивности вертикальных токов за счет бриза крайне невелики (единицы сантиметров в секунду), в то время как за счет рельефа эти значения достигают 20-30 см/с и особенно значительны над элементами рельефа на высотах 100-400м.

4 Для экстремальных ситуаций (максимальные значения амплитуды суточного хода температуры) интенсивности вертикальных токов только за счет бризовых эффектов возрастают до величин около 15 см/с, причем с учетом рельефа здесь формируется весьма причудливая картина вертикальных скоростей с зонами нисходящих и восходящих движений значительной протяженности.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА СТАТИСТИКИ ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ РАССЕЯНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ

4.1 Общая схема расчета статистики входных параметров модели рассеяния

Неоднородность подстилающей поверхности изучаемого района строительства АЭС влечет за собой, как это было показано выше, также и пространственную неоднородность структуры атмосферы в целом, а также основных ее параметров, определяющих согласно расчетной методике МПА-98 (раздел 1.3.6) особенности рассеяния радионуклидов от аварийных выбросов АЭС. К числу основных параметров атмосферы, влияющих на этот процесс и входящих следует отнести:

- Скорость ветра U .
- Сектор (румб) направления ветра R .
- Вертикальную скорость в атмосфере на уровне выброса W .
- Категорию устойчивости Пэскуилла-Гиффорда K .

Особенность расчетной методики рассеяния радионуклидов состоит в том, что статистика расчета таких характеристик как максимальные значения факторов разбавления/осаждения заданной процентной обеспеченности рассчитывается для каждого сектора (румба) ветра отдельно. Обычно принято рассматривать 16 румбов (сектор 22.5 дуговых градуса) или, при более детальных расчетах 32 румба (сектора по 11.25 дуговых градуса). В этом случае, исходя из вышеприведенного перечня параметров в качестве итоговой статистики нас будет интересовать условная (для румба R и фиксированного удаления от реакторного корпуса АЭС X) плотность распределения $P(U, W, K | R, X)$.

В качестве исходных данных нашей модели, как указано в разделе 3.2.2 фигурируют скорости V_{850} и направление R_{850} ветра на высоте поверхности 850 гПа, а также температуры воздуха на поверхностях 925, 850 и 700 гПа, среднемесячные значения разностей температуры «воздух-вода», которые в данном исследовании

просто привязывались к сезону года S (1 – зима, 2 – весна, 3 – лето и 4 – осень). Кроме того, для каждого сезона года можно получить гистограммы повторяемости амплитуды суточного хода температуры (пример на рисунках 3.4 и 3.5). Для сокращения объема расчетов в нашей работе мы берем эту величину как среднемесячное значение, которое также привязывается к сезону года S . С учетом принятых упрощений условная (для сезона) исходная статистика параметров расчета по модели имеет форму $P_m(V_{850}, R_{850}|S)$. Примеры подобной функции по данным реанализа атмосферных процессов, интерполированных в точку нахождения площадки строительства АЭС, в дискретной форме (роза ветров и гистограммы) приведен на рисунке 4.1.

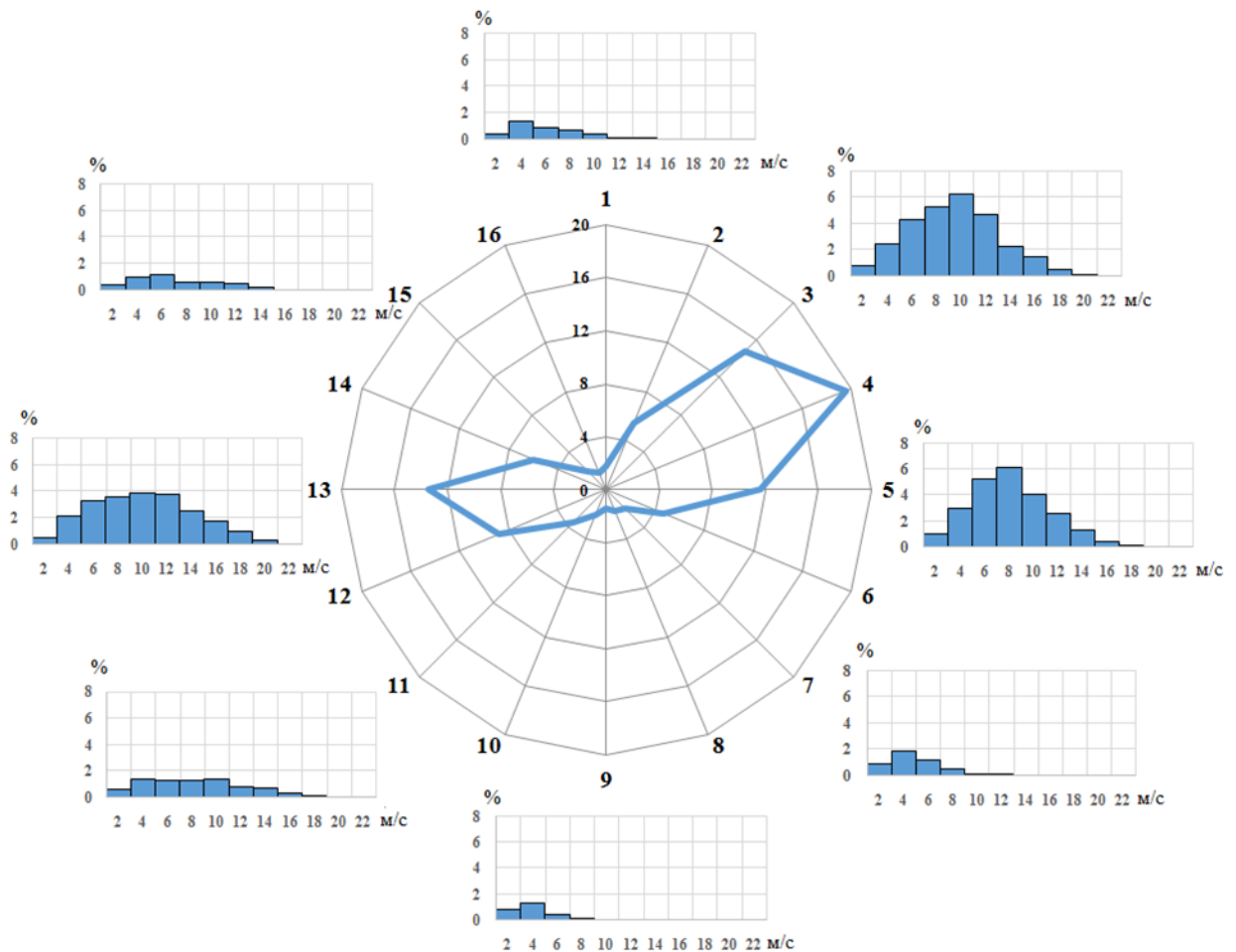


Рисунок 4.1 – Пример взаимного распределения скорости и направления ветра для уровня 850гПа для апреля (сезон $S = 2$).

Для пересчета исходной статистики $P_M(V_{850}, R_{850}|S)$ в искомую $P(U, W, K, R|S, X)$ используем понятие Передаточной Функции Модели (ПФМ), широко применяемое, в частности, в системах управления (например, [40]) в форме $\Omega(U, W, K, R, X | V_{850}, R_{850}, S)$, которая в данном случае будет ставить в соответствие комплекту исходных параметров совокупность результатов расчетов по модели для сезона S :

$$(V_{850}, R_{850}) \Rightarrow \text{Модель} \Rightarrow (U, W, K, R, X)$$

С учетом принятых обозначений пересчет исходной статистики в искомую для сезона S и румба R_{850} будет выглядеть следующим образом:

$$P(U, W, K, R|R_{850}, S, X) = \int_{V_{850}} P_U(V_{850}|R_{850}, S) \Omega(U, W, K, R, X|V_{850}, R_{850}, S) dV_{850} \quad (4.1)$$

где

$$P_U(V_{850}|R_{850}, S) = \frac{P_M(V_{850}, R_{850}|S)}{\int P_M(V_{850}, R_{850}|S) dV_{850}}$$

Общая схема расчетов ПФМ для общего случая предусматривает построение некоторой базы данных расчетных значений скорости и направления ветра, вертикальной скорости и категории устойчивости для заданных удалений от площадки АЭС при широком варьировании исходных параметров задачи (примерно по 8 градаций скорости V_{850} , 16 румбов R_{850} и 4-х сезонов года S) и не менее чем четырем срокам наблюдения (T), что составит, в итоге, 2048 вариантов расчетов. В задачу нашего диссертационного исследование не входило получение подобной детальной статистики, необходимой, вообще говоря, лишь для проектирования систем безопасности АЭС.

Для простоты в данном исследовании ограничимся расчетом и анализом более прозрачных и обозримых одномерных плотностей распределения для ограниченного числа румбов и точек рецепторов:

$$P(U|R_{850}, X, S) = \iint P(U, W, K, R|R_{850}, X, S) dWdKdR$$

$$P(W|R_{850}, X, S) = \iint P(U, W, K, R|R_{850}, X, S) dUdKdR$$

$$P(K|R_{850}, X, S) = \iint P(U, W, K, R|R_{850}, X, S) dUdWdR$$

$$P(R|R_{850}, X, S) = \iint P(U, W, K, R|R_{850}, X, S) dUdWdK$$

Расположение точек рецепторов X_k на карте местности для румбов R_{850} представлено на рисунке 4.2.

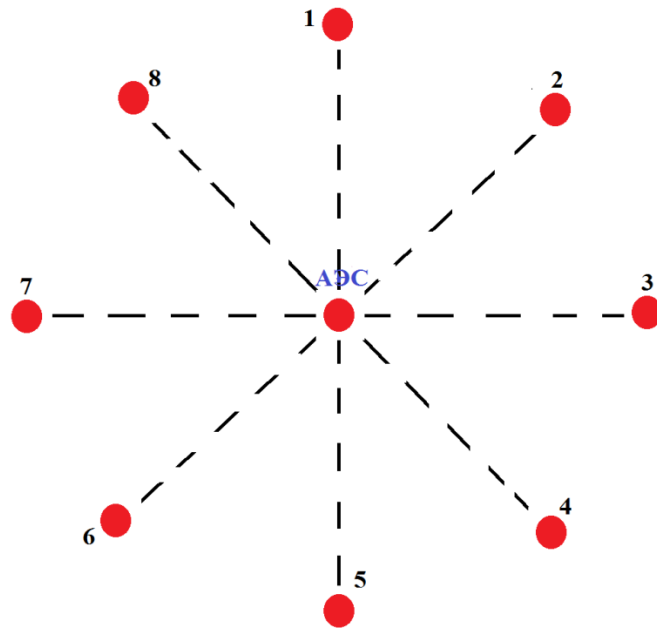


Рисунок 4.2 – Схема расположения точек рецепторов для расчета повторяемостей скорости ветра, вертикальной скорости и категории устойчивости Пэскуилла-Гиффорда.

Для их расчета здесь требуются значительно более простые ПФМ вида:

$$\Omega(U, X, S | V_{850}, R_{850}, S, X), \quad \Omega(W, X, S | V_{850}, R_{850}, S, X), \quad \Omega(R, X, S | V_{850}, R_{850}, S, X), \\ \Omega(K, X, S | V_{850}, R_{850}, S, X),$$

которые можно поместить в простые таблицы. Пример подобной информации представлен в Таблице 4.1, а полный их комплект для двух сезонов года (апрель, ноябрь) – в Приложениях А-Г.

Расчет искомых одномерных плотностей распределения в форме расчетных гистограмм осуществлялся здесь по следующим формулам, вытекающим из интеграла (4.1):

$$P(A_n | R_{850}, X_k, S_i) = \sum_{\alpha} \Omega(A_n, X_k, S_i | V_{850}^{\alpha}, R_{850}) P_U(V_{850}^{\alpha} | R_{850}, S_i)$$

где A_n – градация под номером n для $A = U, W, K, R$, а V_{850}^{α} – градация модуля скорости ветра на высоте 850гПа.

4.2 Локальная статистика скорости и направления ветра в приземном (приводном) слое

По данным из таблиц приложений А-Г с помощью схемы расчета статистики раздела 4.1 были получены розы ветра и гистограммы скорости ветра в приземном (приводном) слое с учетом влияния рельефа и дневного бриза для разных периодов времени.

Как можно видеть из рисунков 4.3-4.10, рельеф на изучаемой территории оказывает значительное влияние на направление ветра, так что если над водной поверхностью расчетная роза ветров вблизи поверхности носит вполне привычный характер (доминируют ветры северо-восточной четверти и в меньшей степени – юго-западные ветры), то над сушей ситуация коренным образом меняется: с небольшими различиями по вероятности наблюдается лишь северный и южный ветер. Причиной этого эффекта является влияние вытянутой с севера на юг гряды холмов на западе области. Если над водой модальные значения скорости ветра составляют 3-4 м/с (ночью - 2 м/с), то над сушей – 1-2 м/с.

Таблица 4.1 – Категории устойчивости атмосферы в контрольных точках разных направлениях и скоростях на поверхности 850 гПа с учетом влияния рельефа и бриза для 15 часов апреля месяца.

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								ЭАС
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0	2	A	G	G	G	F	A	A	A	A
	4	B	F	F	F	F	B	B	A	B
	6	C	E	E	D	E	C	B	B	C
	8	D	B	B	B	E	D	C	B	D
	10	D	A	A	A	E	D	D	B	D
45	2	D	G	G	G	G	D	D	A	D
	4	D	F	F	F	G	D	A	A	A
	6	A	D	D	D	F	A	A	A	A
	8	A	A	A	A	F	A	A	A	A
	10	A	A	A	A	B	A	A	A	A
90	2	A	G	G	G	G	A	A	A	A
	4	B	F	F	F	F	B	B	B	B
	6	C	F	F	F	F	C	B	B	C
	8	D	E	E	E	F	D	C	C	D
	10	D	E	E	E	F	D	C	C	D
135	2	B	G	G	G	F	B	A	A	B
	4	C	F	F	F	F	C	B	B	C
	6	D	F	F	F	E	D	C	C	D
	8	D	F	F	F	E	D	D	C	D
	10	D	F	E	E	E	D	D	D	D
180	2	A	G	G	G	F	A	A	A	A
	4	B	F	F	F	F	B	B	A	B
	6	C	F	F	F	F	C	B	B	C
	8	D	F	F	F	E	D	C	B	D
	10	D	F	F	F	E	D	D	C	D
225	2	D	G	G	G	G	D	A	A	D
	4	A	F	F	F	G	D	A	A	A
	6	A	F	F	F	G	A	A	A	A
	8	A	F	F	F	F	A	D	A	A
	10	A	F	F	F	F	A	A	A	A
270	2	A	G	G	G	G	A	A	A	A
	4	B	F	F	F	F	B	B	B	B
	6	C	F	F	F	F	C	B	B	C
	8	D	F	F	F	F	D	C	C	D
	10	D	F	F	F	E	D	D	C	D
315	2	B	G	G	G	F	B	A	A	B
	4	C	F	F	F	F	C	B	B	C
	6	D	F	F	F	E	D	C	C	D
	8	D	F	E	E	E	D	D	C	D
	10	D	E	E	E	E	D	D	D	D

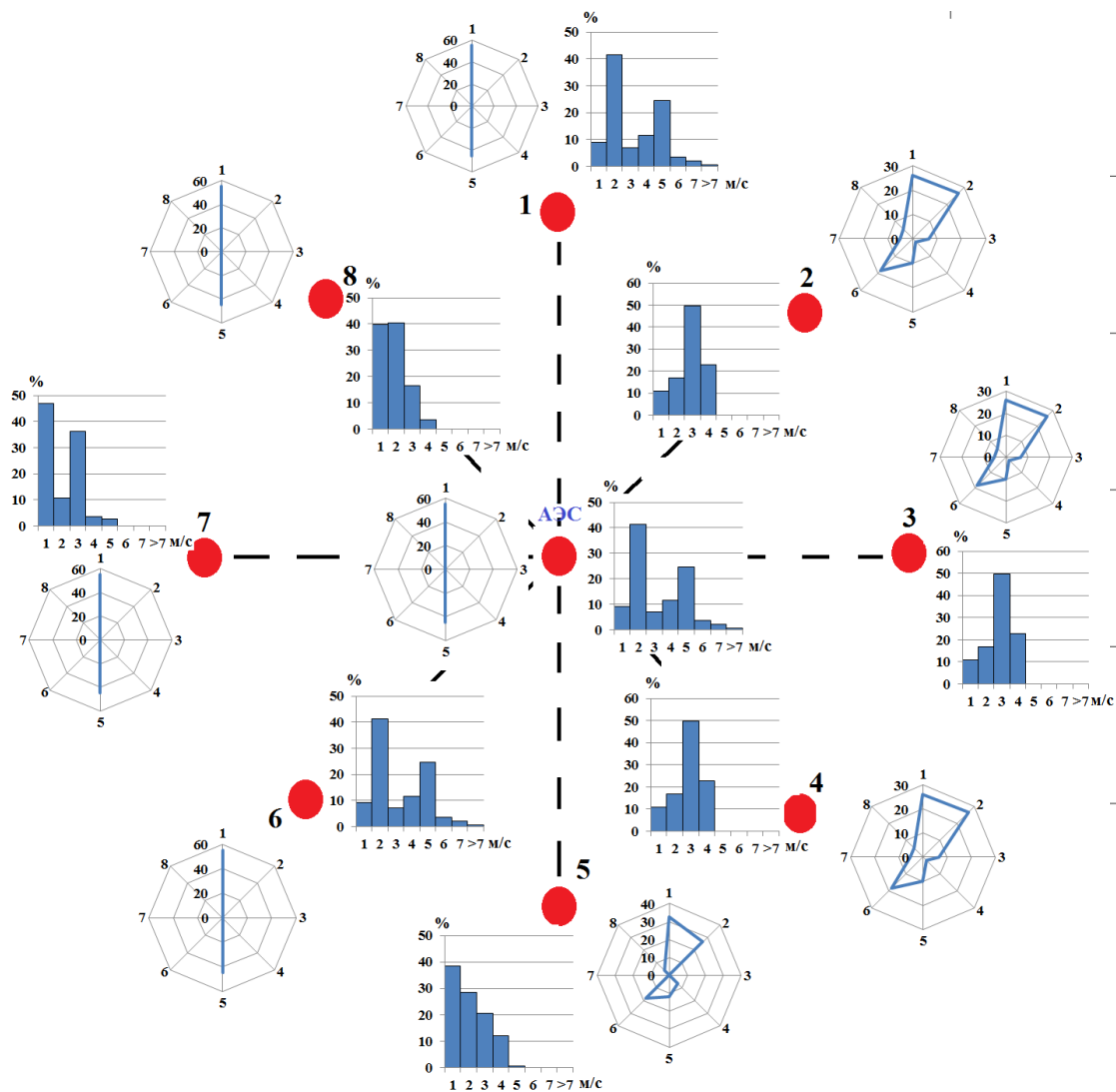


Рисунок 4.3 – Розы ветра и повторяемость скорости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в дневное время весны (апрель).

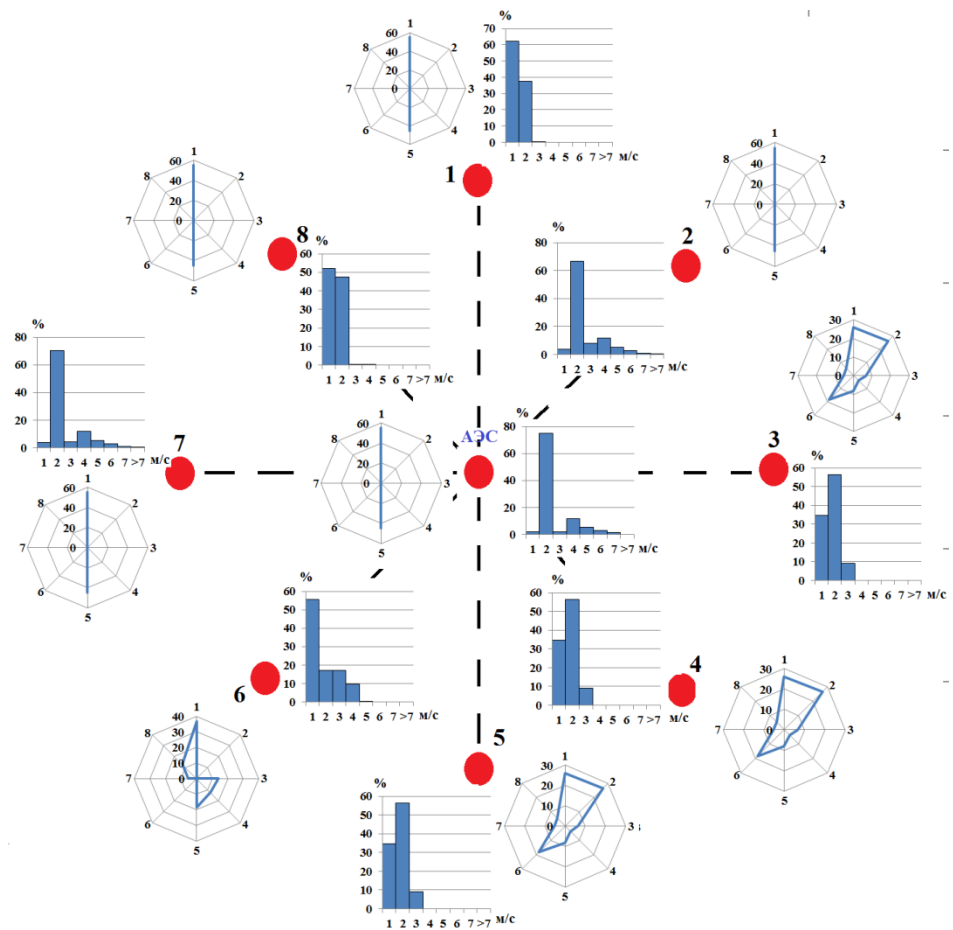


Рисунок 4.4 – Розы ветра и повторяемость скорости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в ночное время весны (апрель).

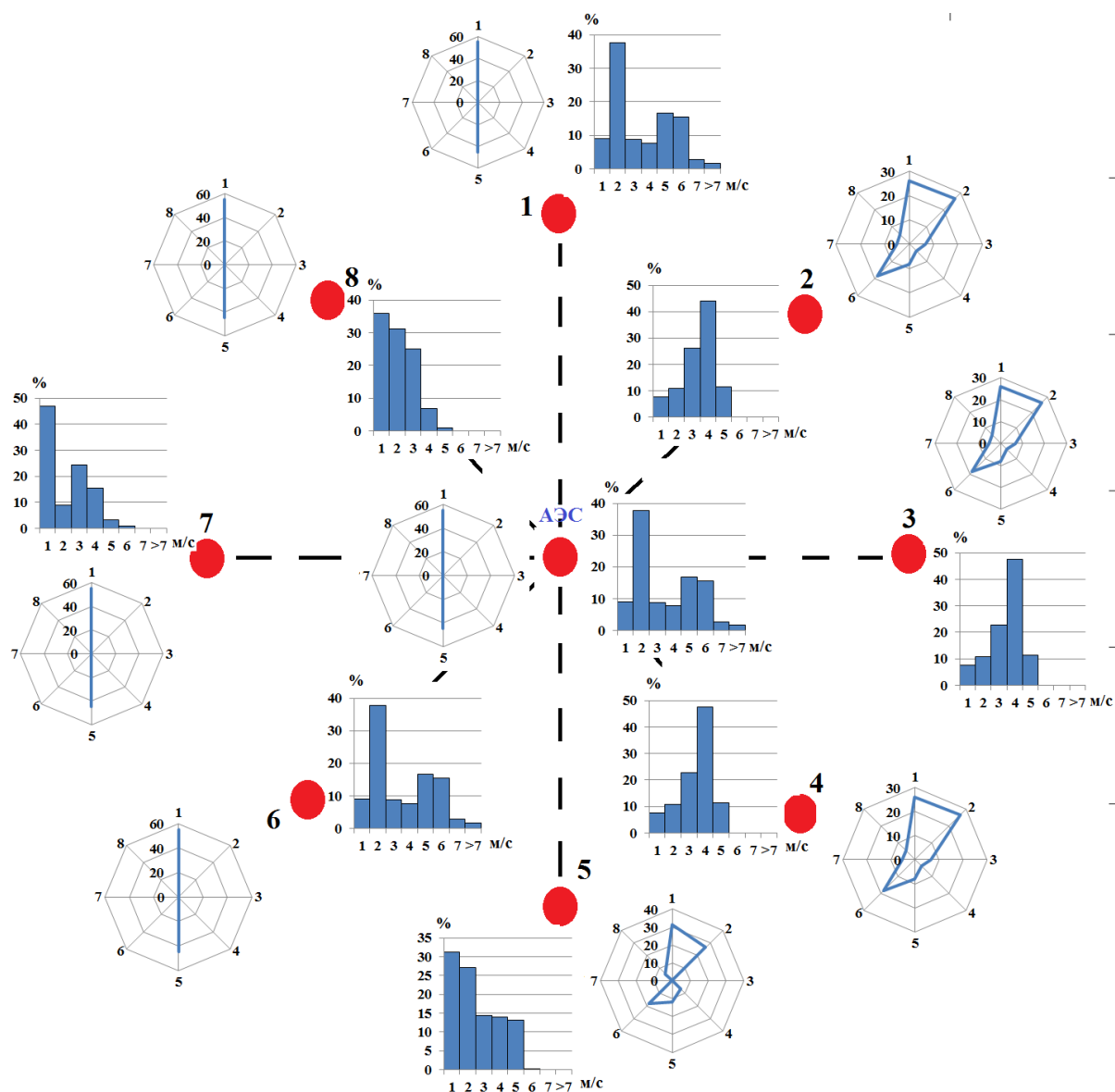


Рисунок 4.5 – Розы ветра и повторяемость скорости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в дневное время осени (ноябрь).

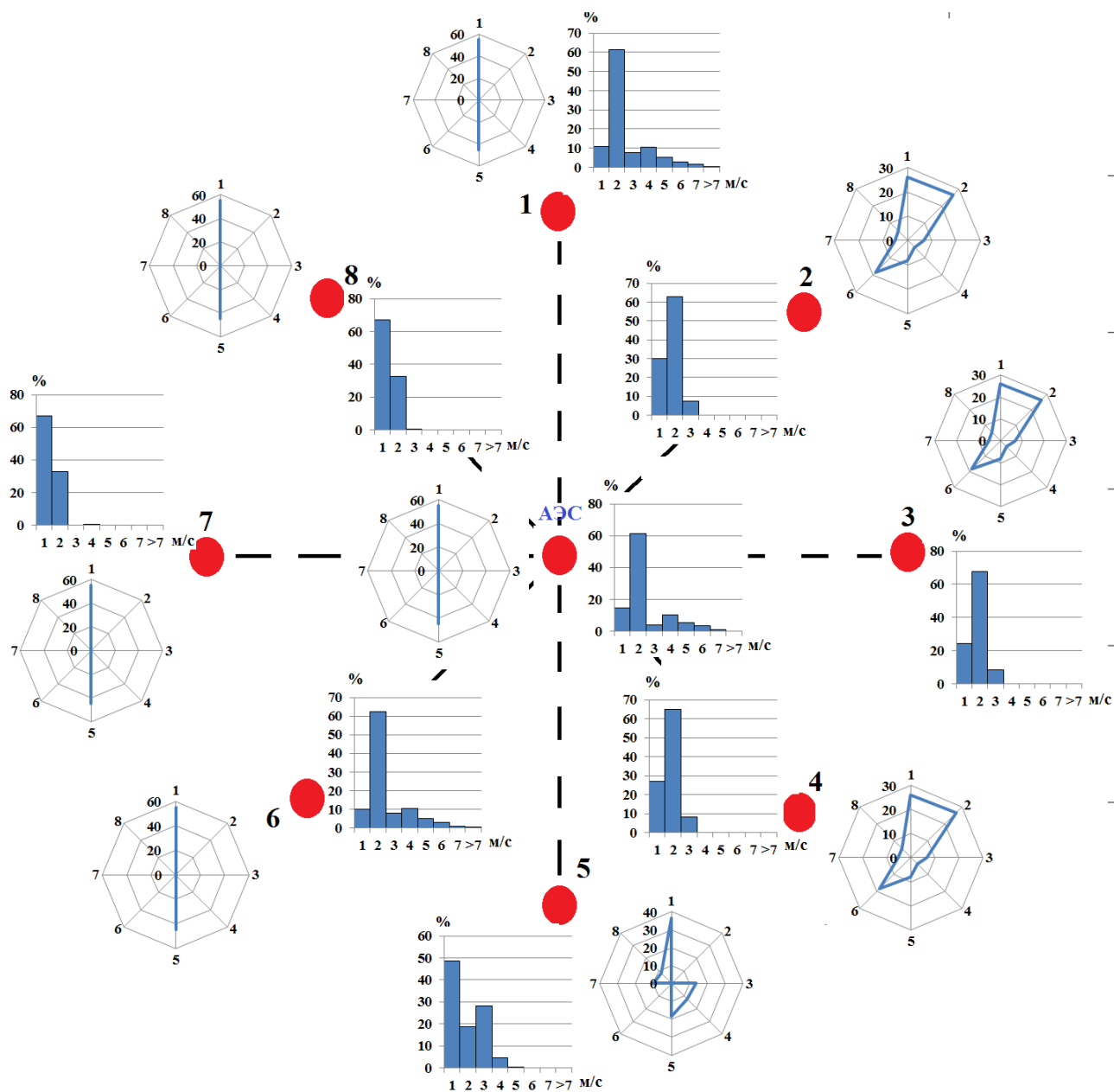


Рисунок 4.6 – Розы ветра и повторяемость скорости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в ночное время осени (ноябрь).

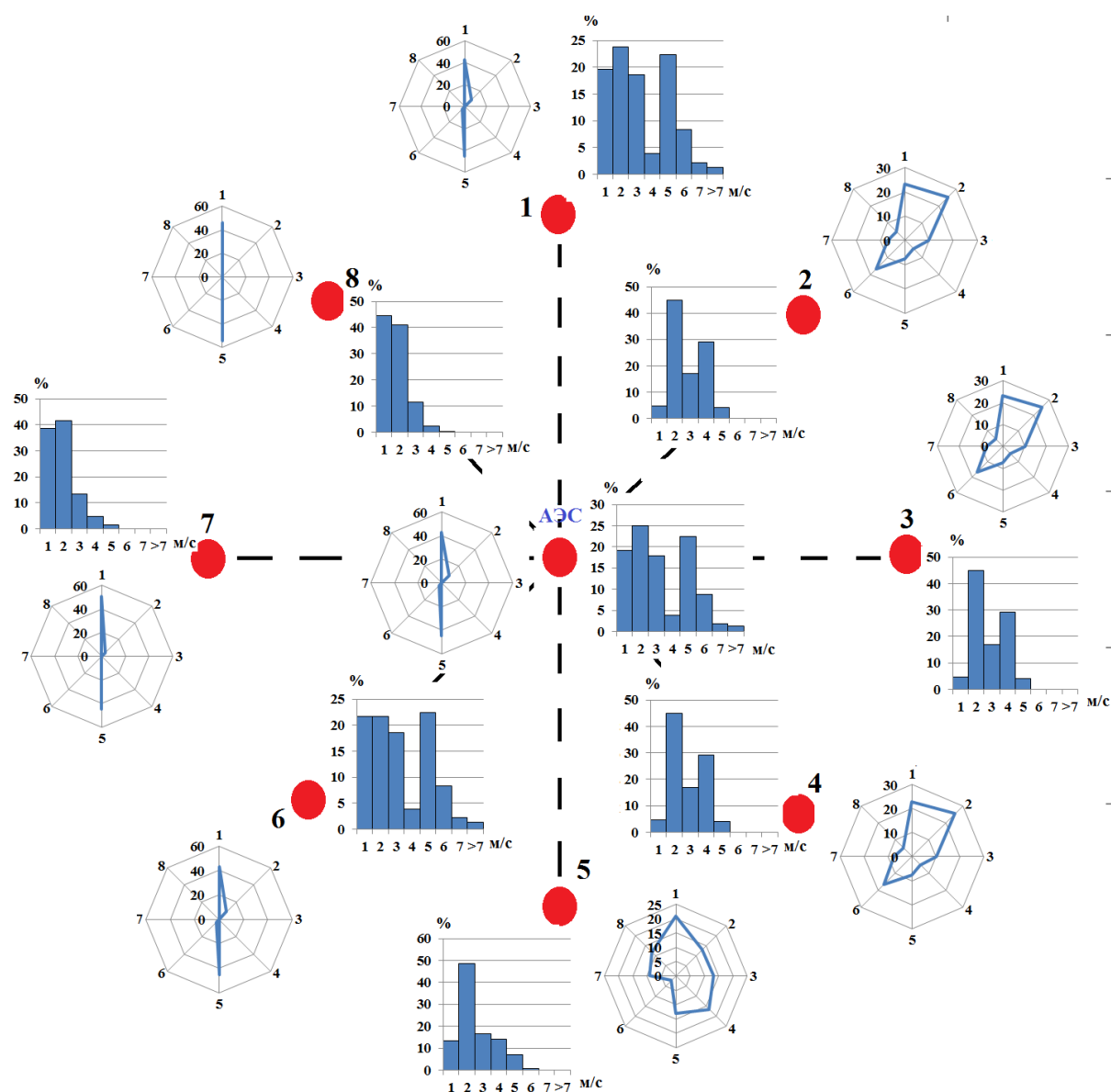


Рисунок 4.7 – Розы ветра и повторяемость скорости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в зимний период (январь).

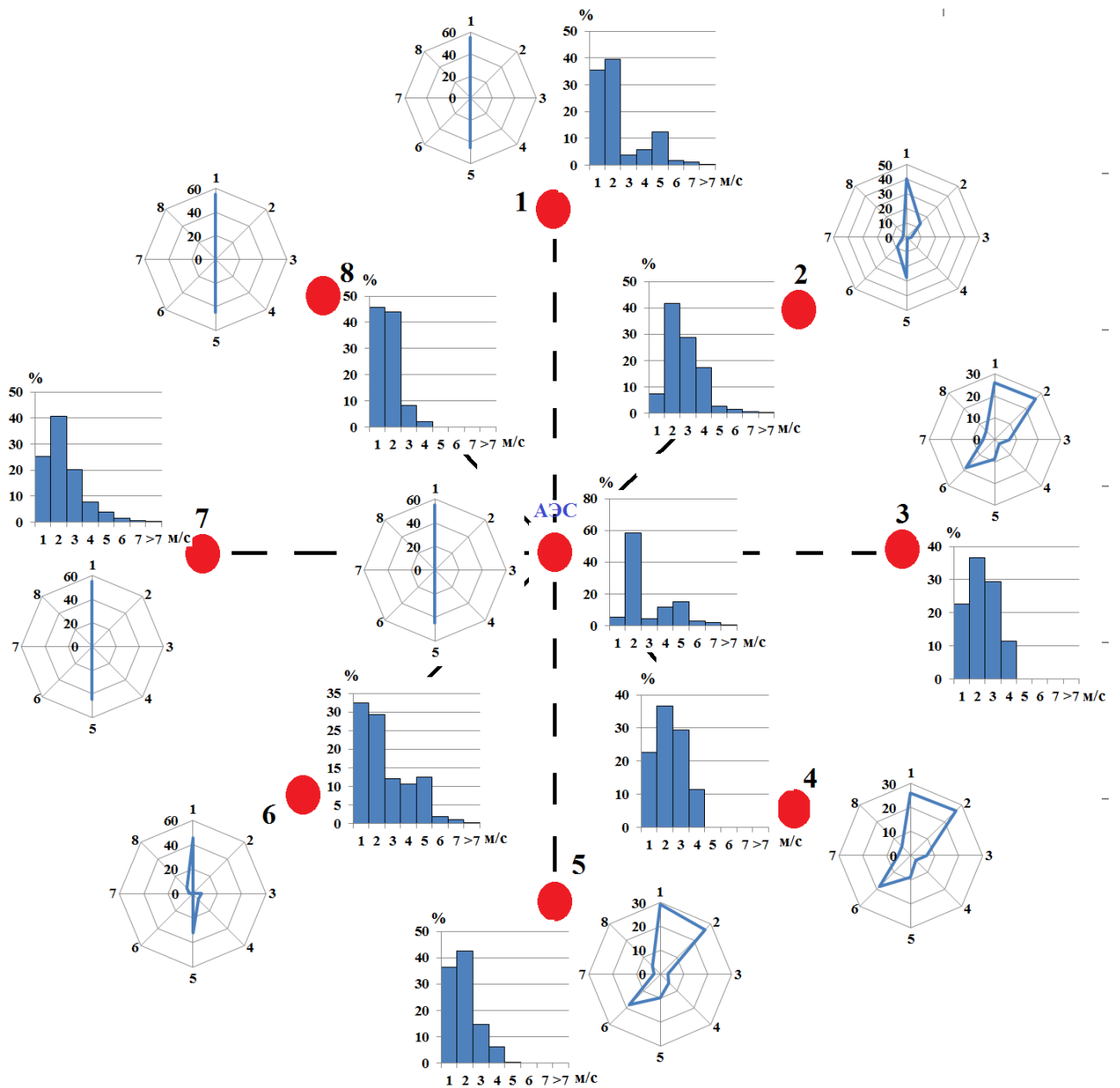


Рисунок 4.8 – Розы ветра и повторяемость скорости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в весной период (апрель).

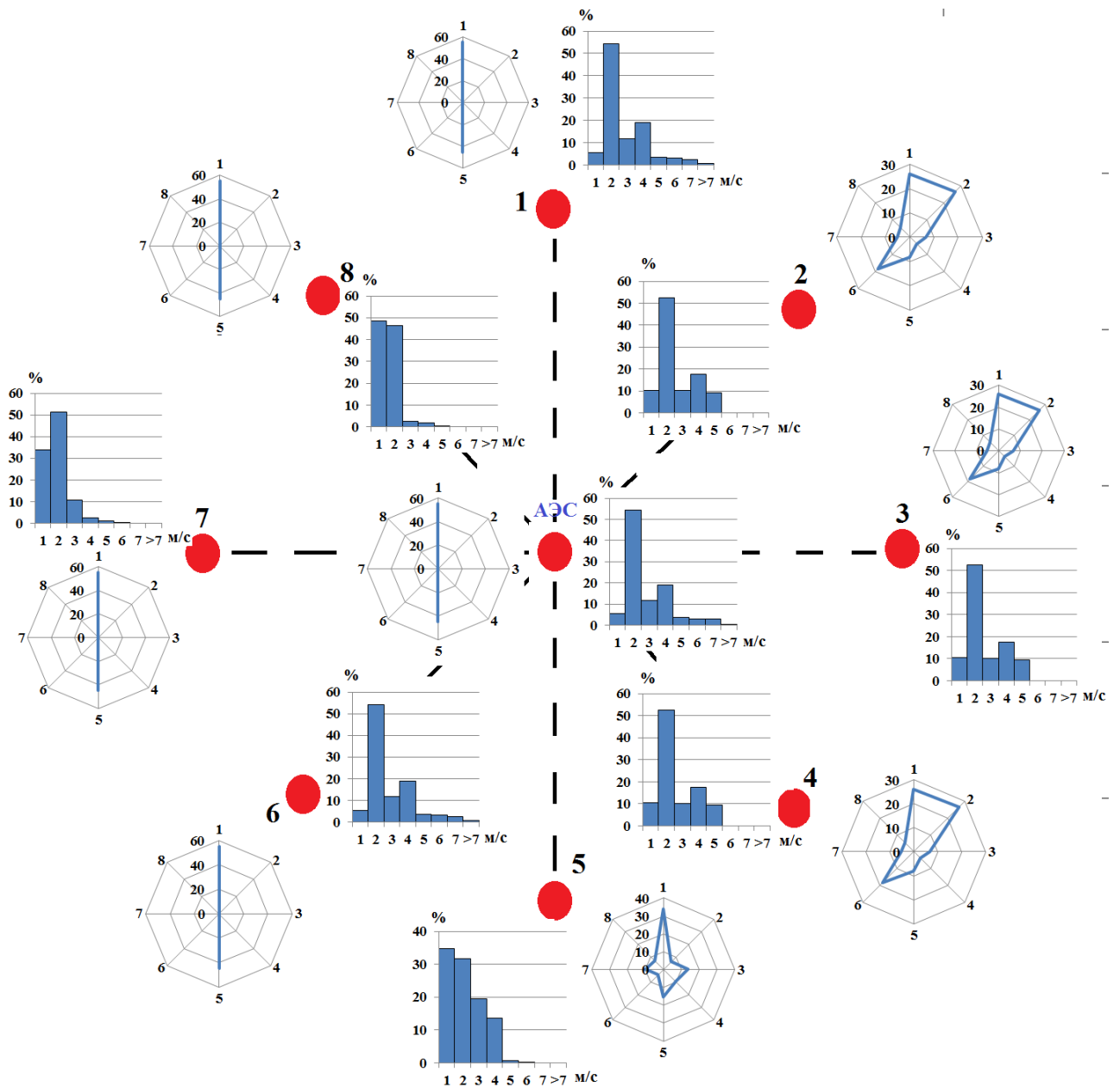


Рисунок 4.9 – Розы ветра и повторяемость скорости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в летний период (июль).

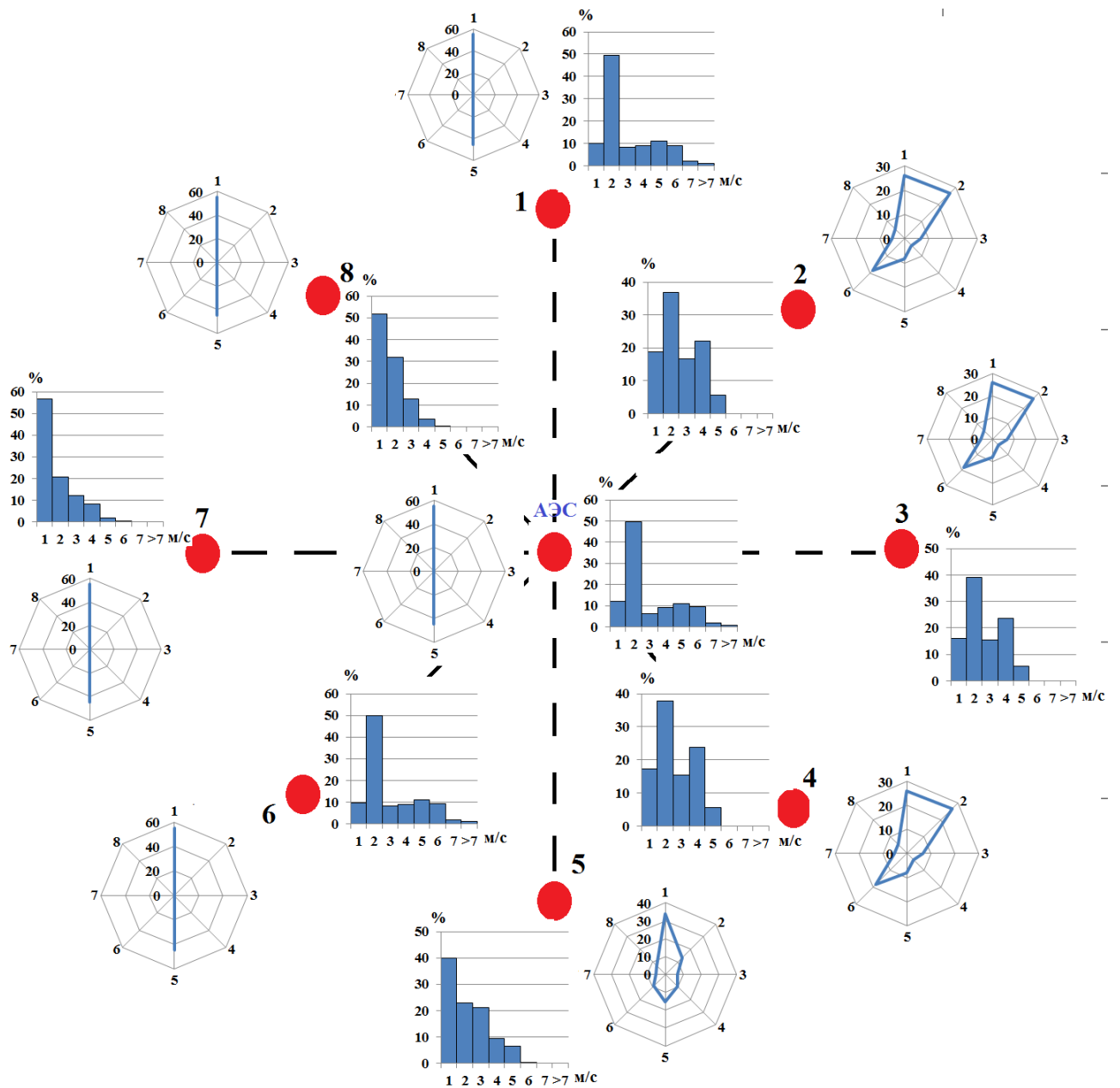


Рисунок 4.10 – Розы ветра и повторяемость скорости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в осенний период (ноябрь).

4.3 Локальная статистика вертикальной скорости ветра

По данными из Приложений А-Г с помощью схемы расчета статистики по разделу 4.1 были получены гистограммы повторяемости вертикальной скорости ветра в контрольных точках приземного слоя с учетом влияния рельефа и дневного бриза для разных периодов времени (рисунки 4.11-4.18).

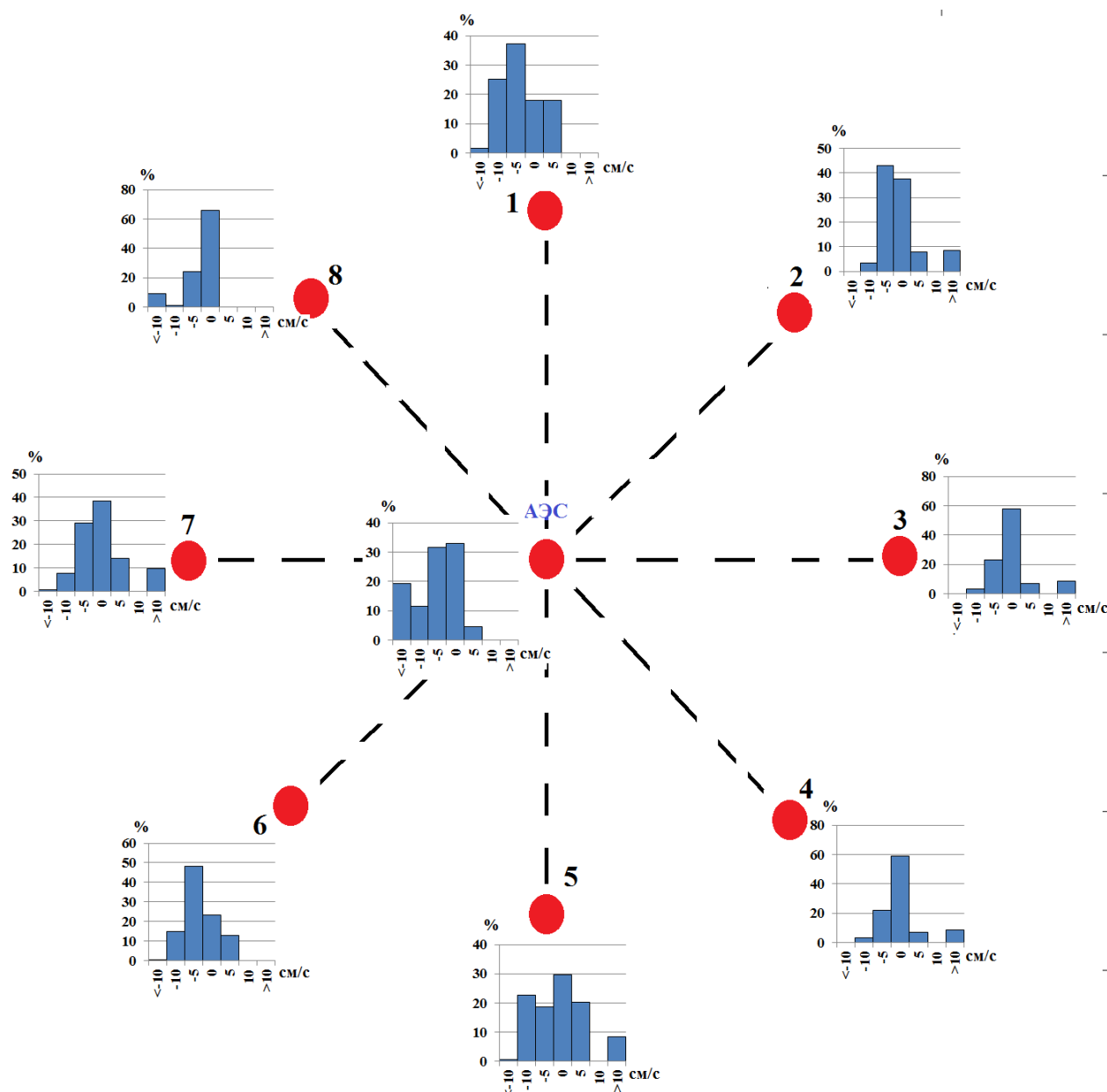


Рисунок 4.11 – Повторяемость вертикальной скорости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в дневное время весны (апрель).

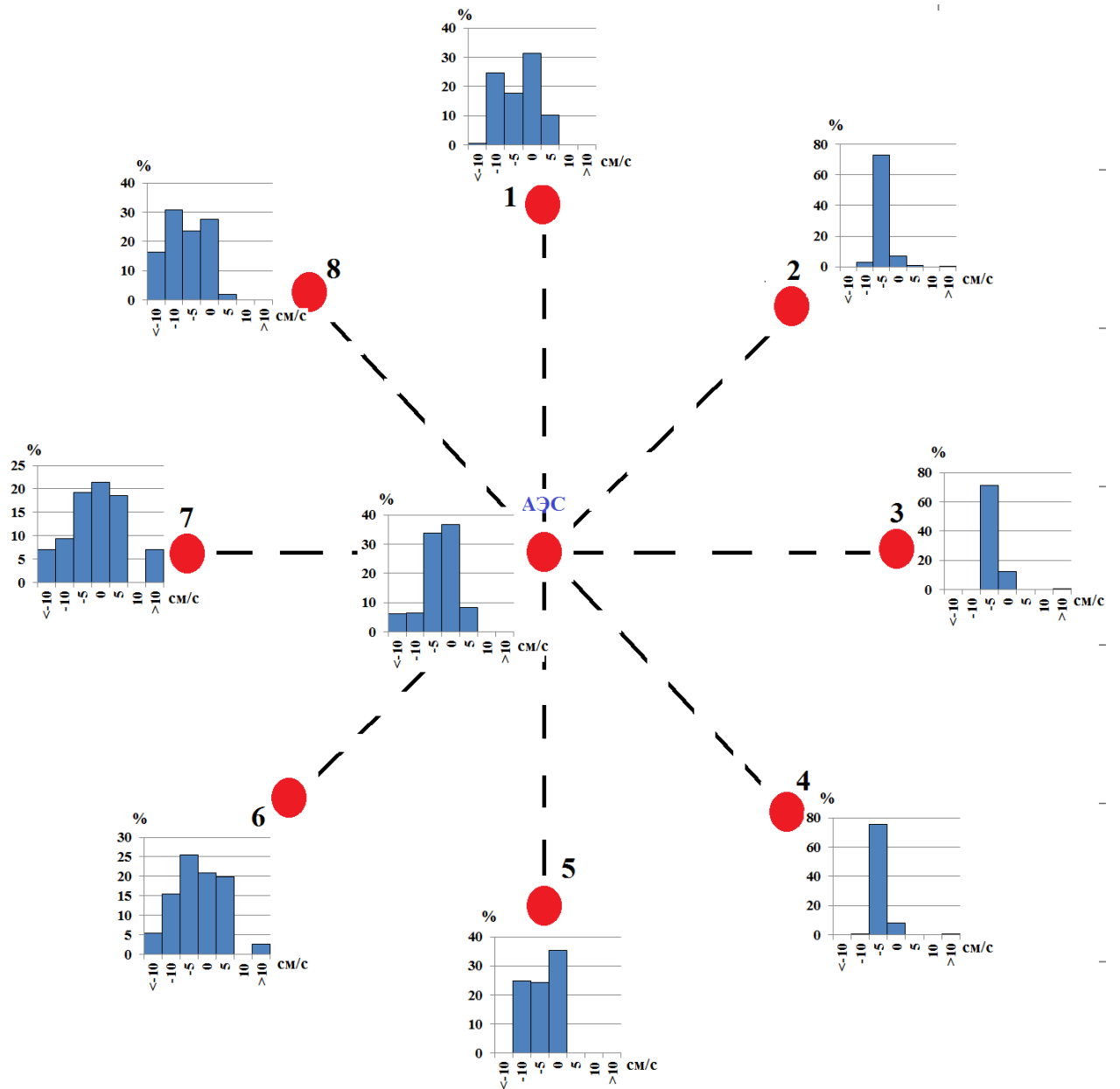


Рисунок 4.12 – Повторяемость вертикальной скорости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в ночное время весны (апрель).

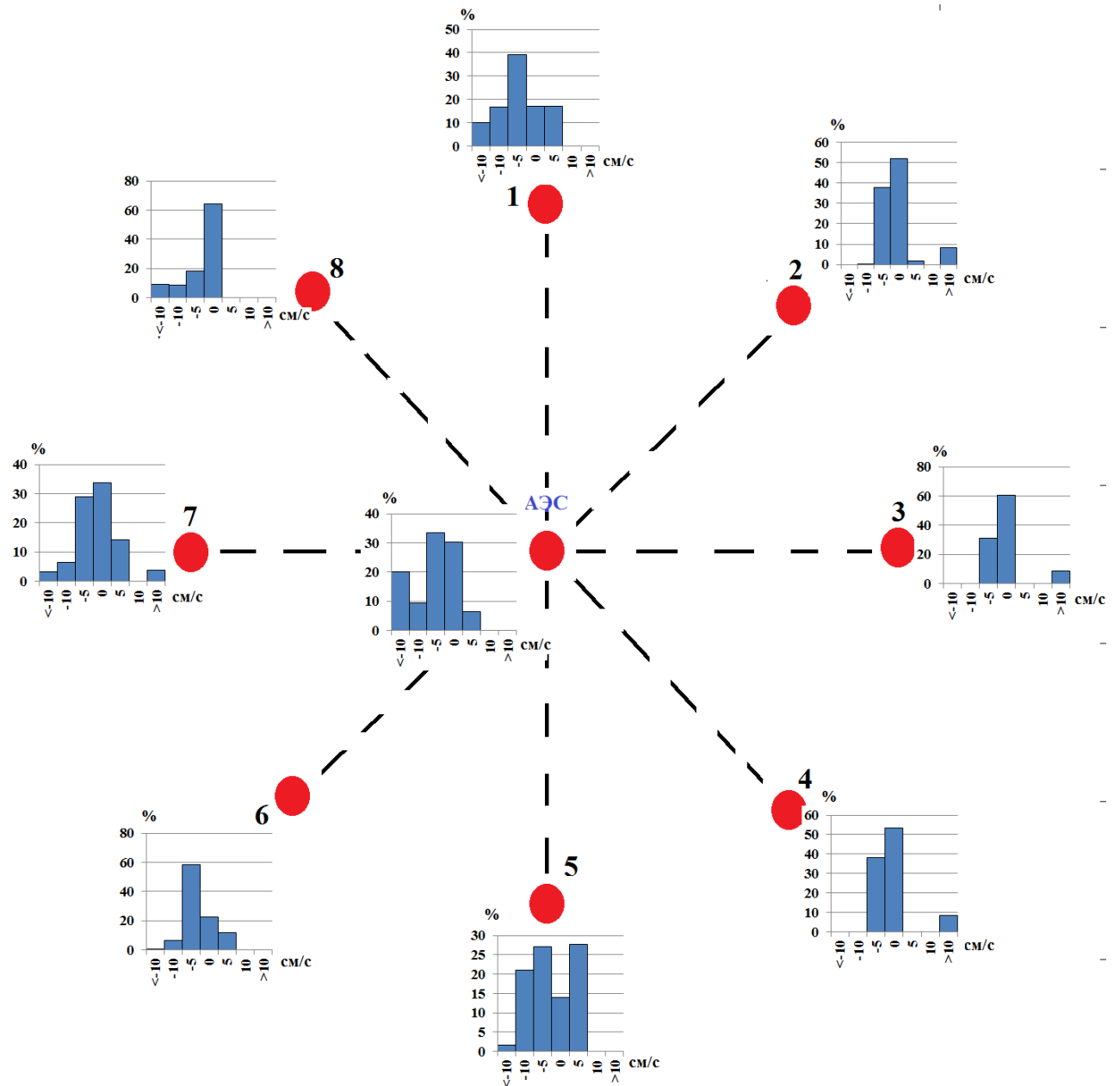


Рисунок 4.13 – Повторяемость вертикальной скорости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в дневное время осени (ноябрь).

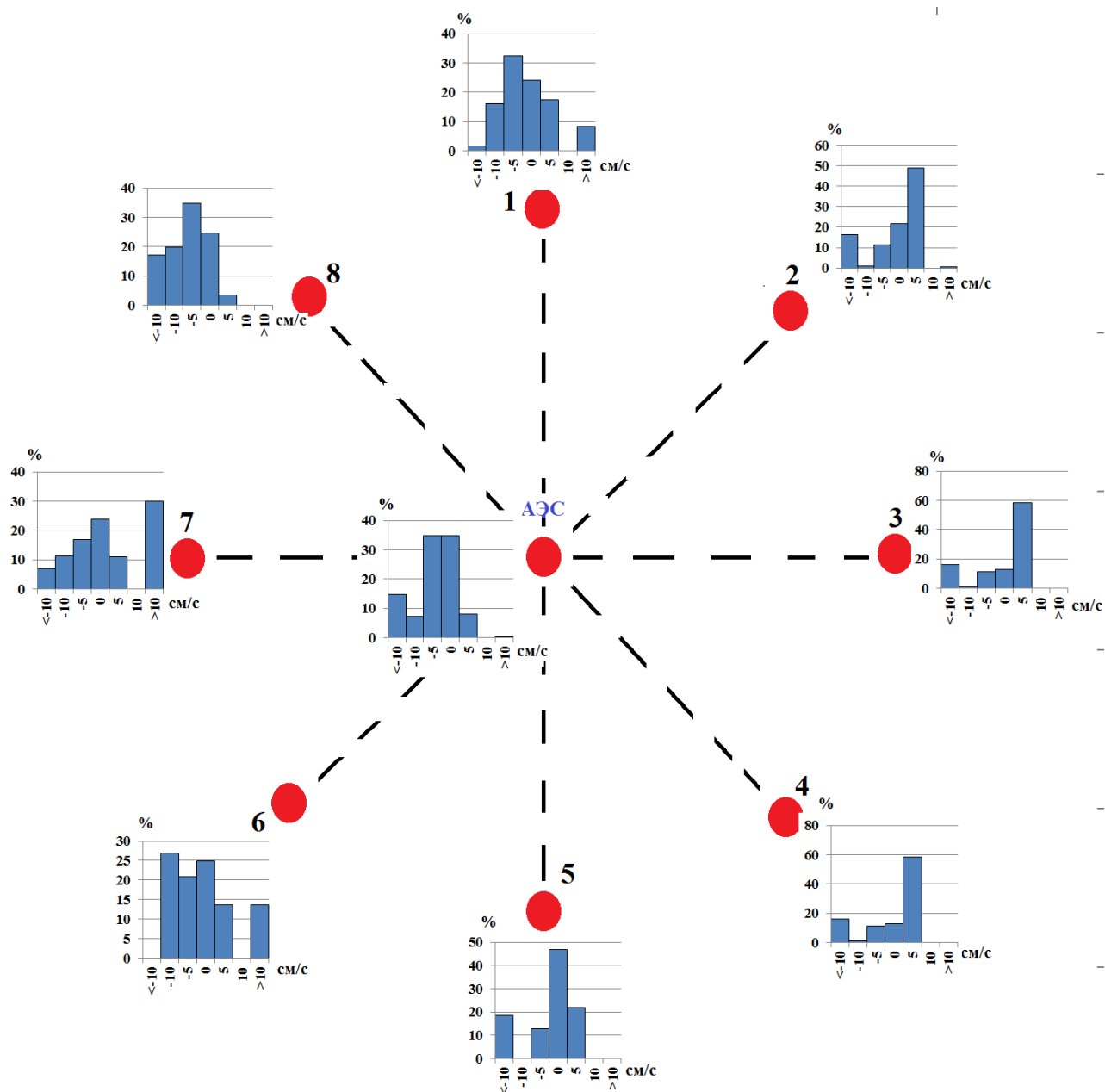


Рисунок 4.14 – Повторяемость вертикальной скорости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в ночное время осени (ноябрь).

Из полученных гистограмм повторяемости вертикальной скорости ветра в дневное и ночное времени для ноября месяца (рисунки 4.13, 4.14) следует, что в ночное время (когда существует сильный ночной бриз) над поверхностью моря наблюдаются слабые восходящие потоки (рисунок 4.14), в то время как над поверхностью суши проявляются более интенсивные нисходящие потоки (значения -10 см/с и больше) с

большой повторяемостью. В дневное время наблюдаются в основном слабые нисходящие потоки с диапазоном $(-5 \div 0)$ см/с.

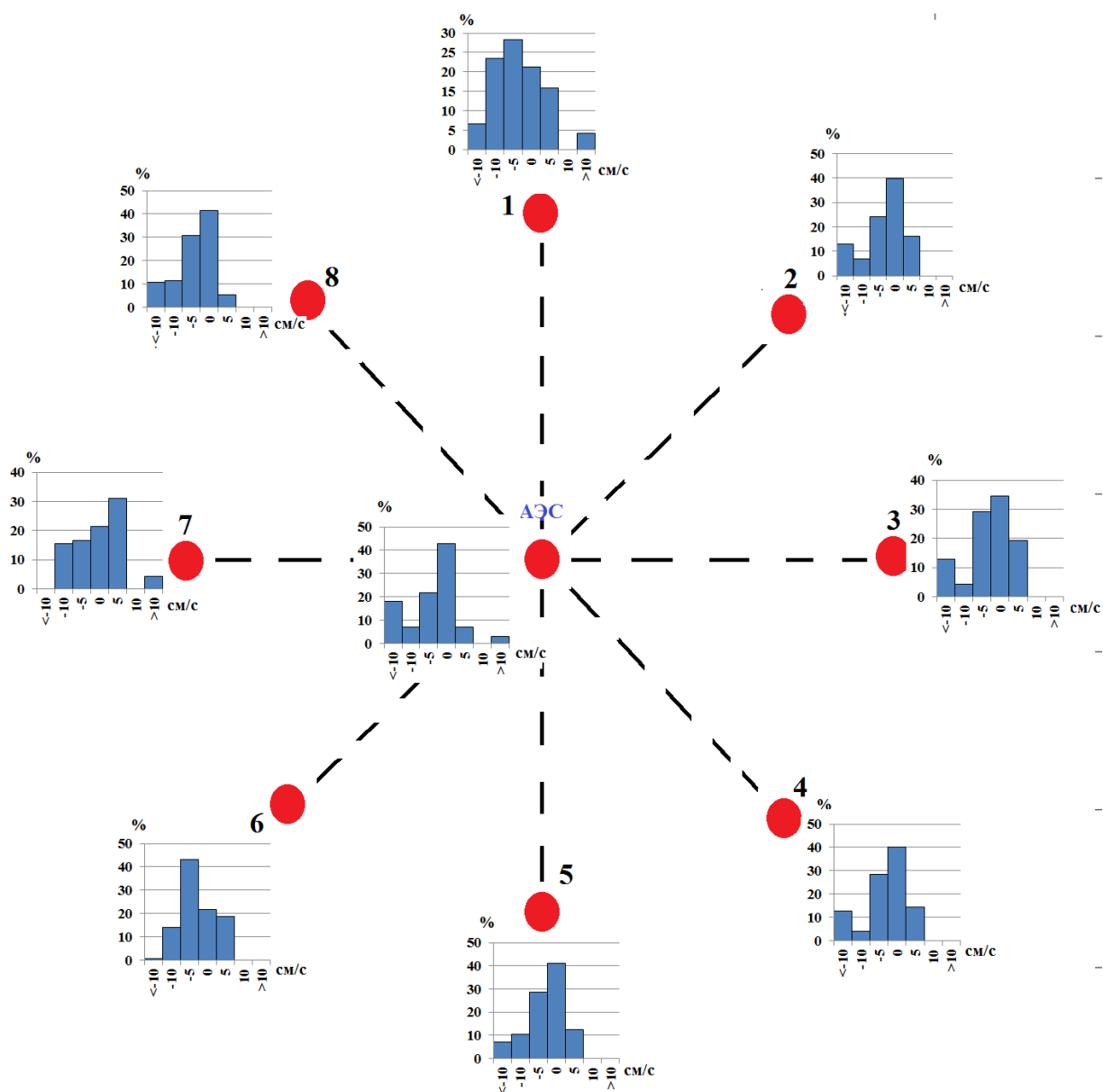


Рисунок 4.15 – Повторяемость вертикальной скорости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в зимний период (январь).

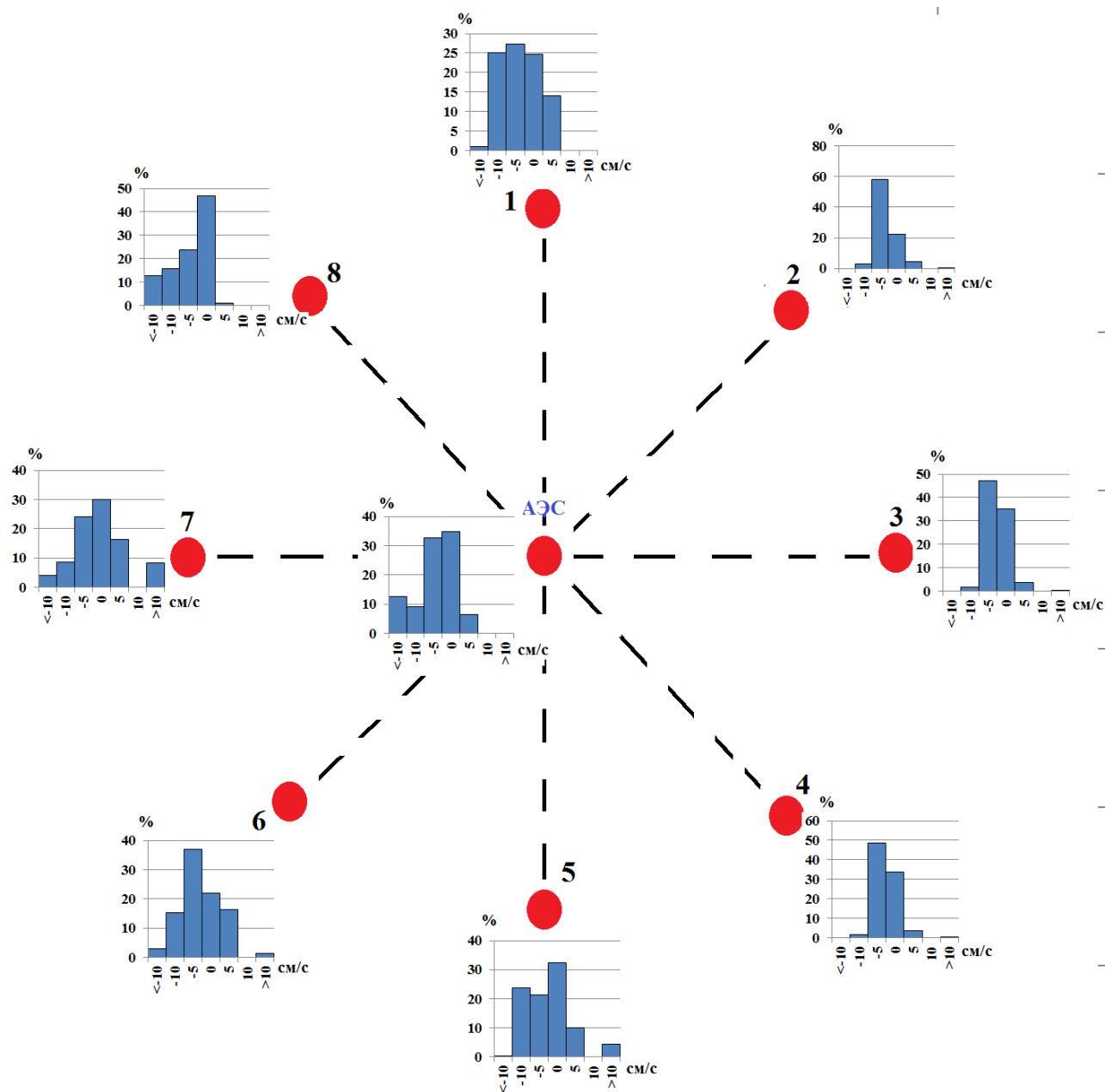


Рисунок 4.16 – Повторяемость вертикальной скорости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в весенний период (апрель).

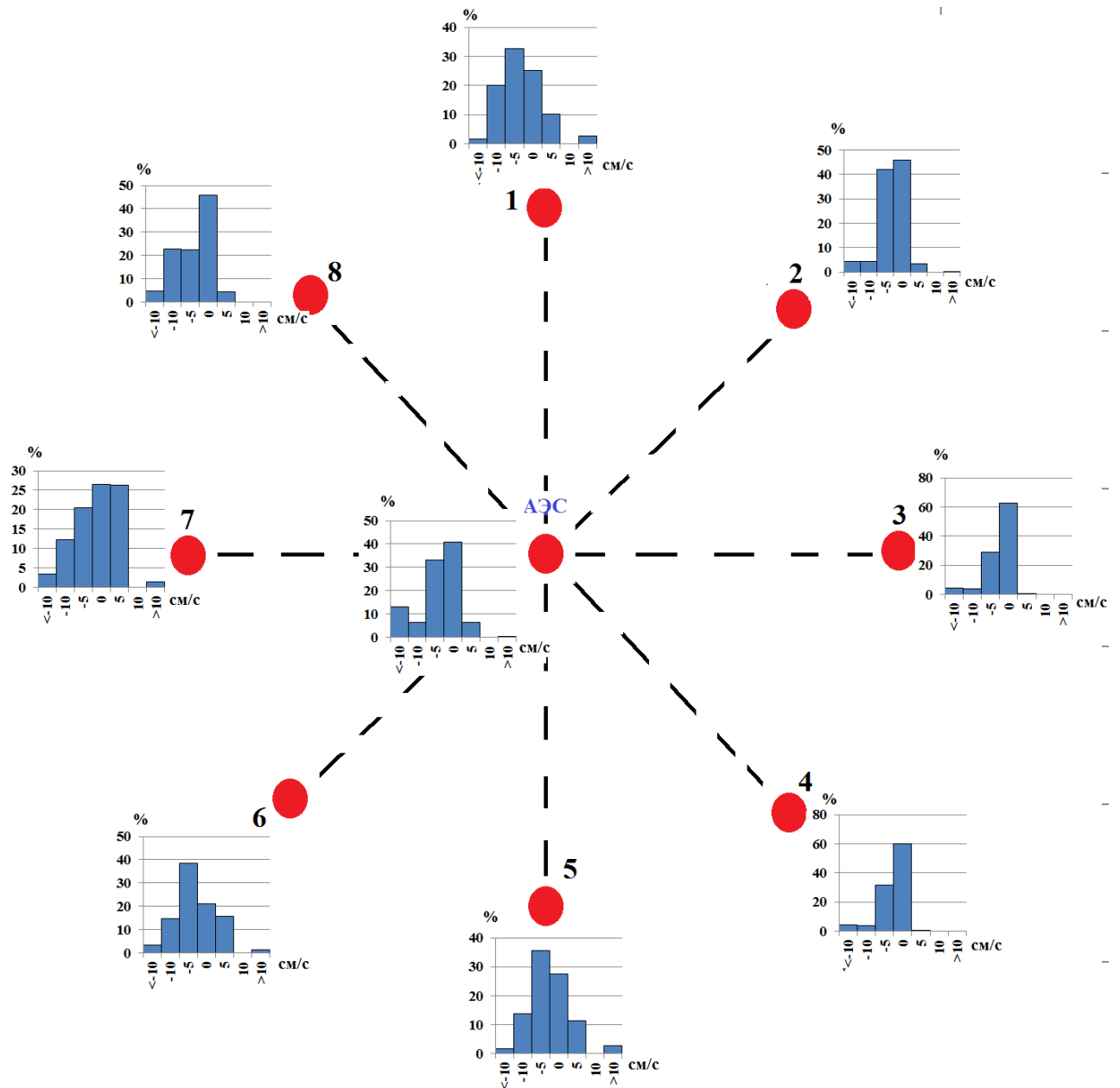


Рисунок 4.17 – Повторяемость вертикальной скорости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в летний период (июль).

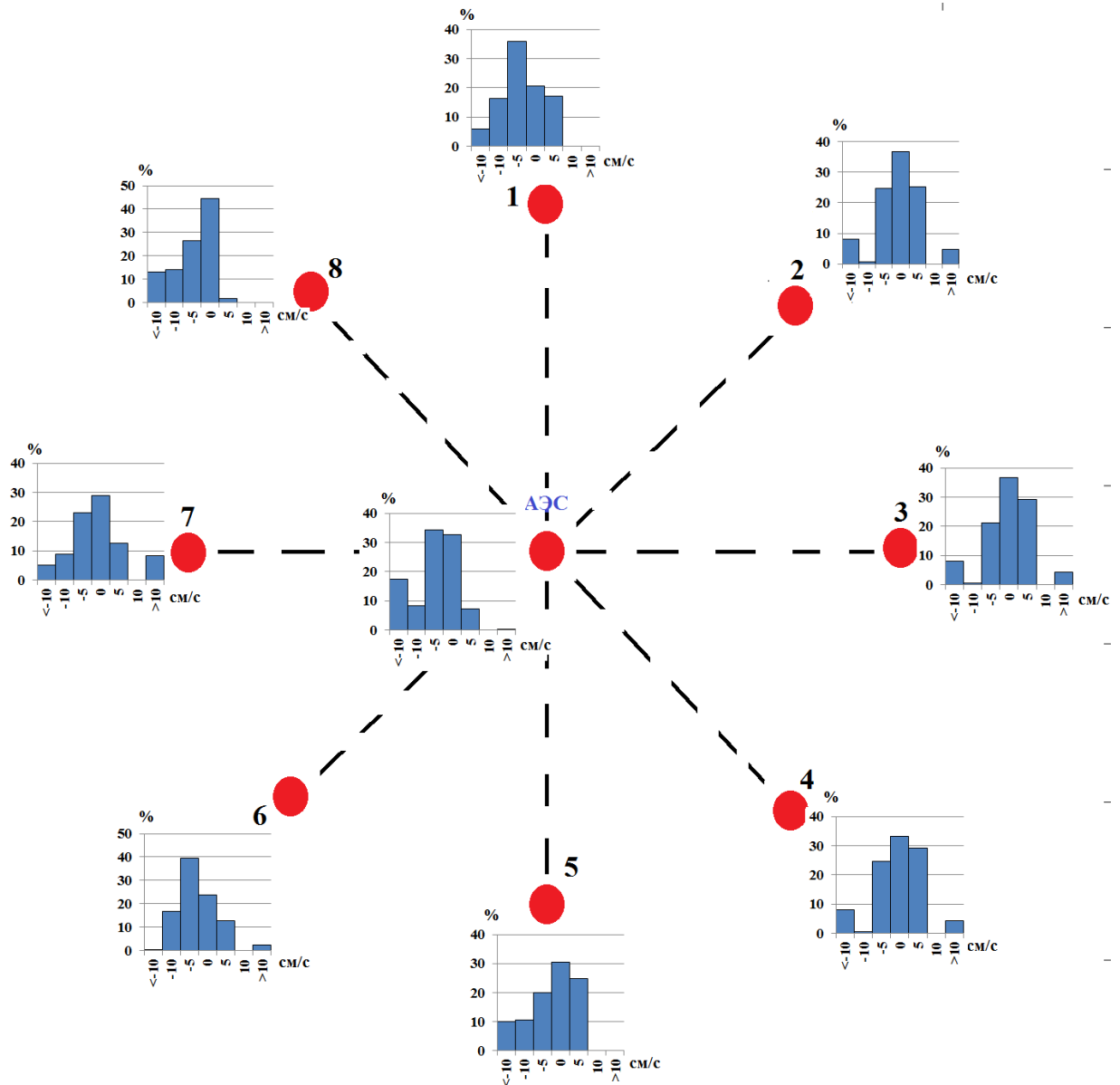


Рисунок 4.18 – Повторяемость вертикальной скорости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в осенний период (ноябрь).

Таким образом, расчетная повторяемость вертикальной скорости на высоте 100м над водной поверхностью показывает, что ее значения над водой варьирует от -5 до 5 см/с, в то время как над сушей изменяются в более широких пределах – от -10 до 10 см/с, лишь с очень небольшими вероятностями (не более 5% случаев) выходя за эти пределы.

4.4 Локальная статистика категорий устойчивости Пэскуилла-Гиффорда

По данными из Приложений А-Г с помощью схемы расчета статистики по разделу 4.1 были получены гистограммы повторяемости категории устойчивости в контрольных точках приземного слоя с учетом влияния рельефа и дневного бриза для разных периодов времени (рисунки 4.19-4.26).

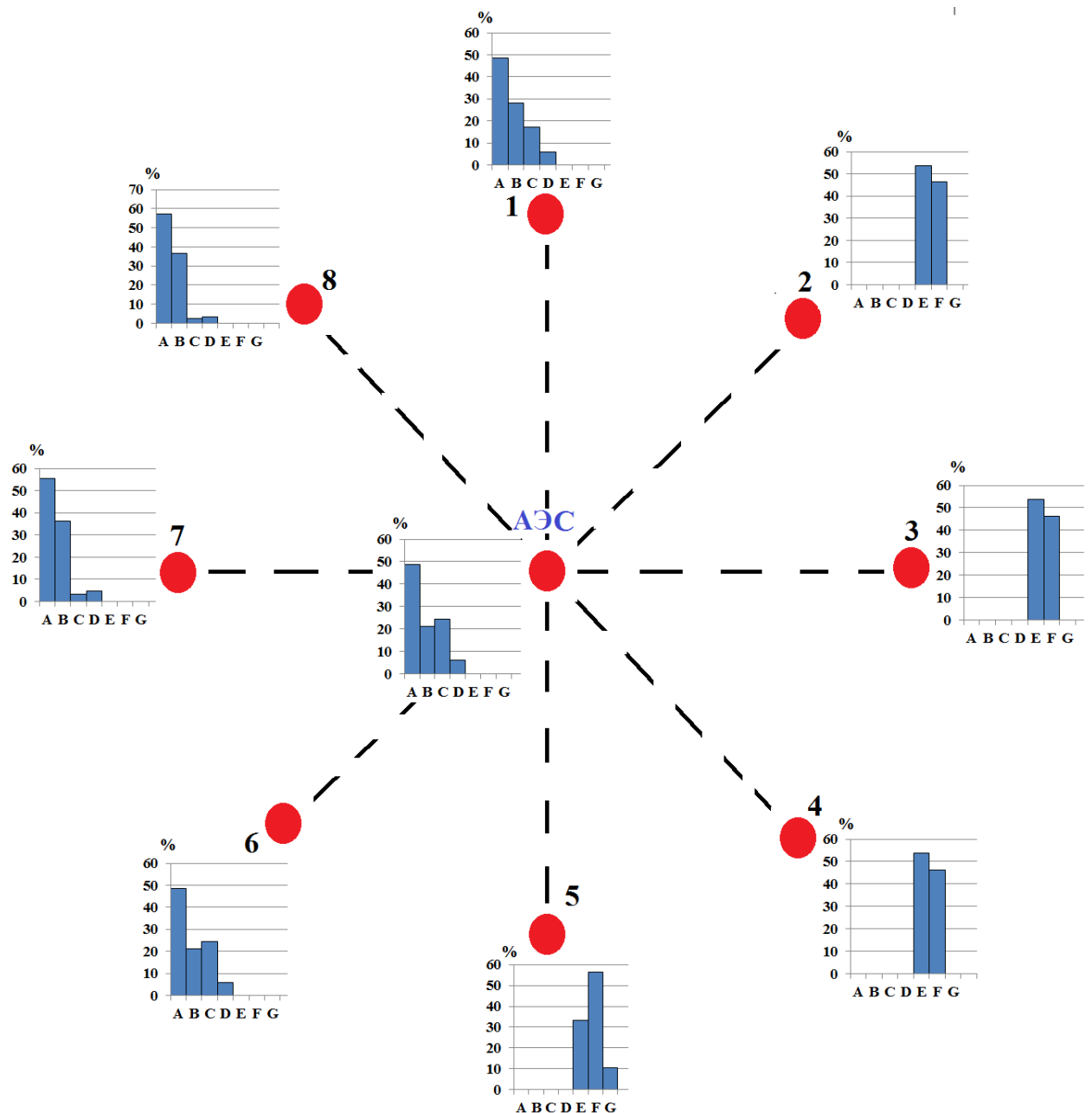


Рисунок 4.19 – Повторяемость категории устойчивости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в дневное время весны (апрель).

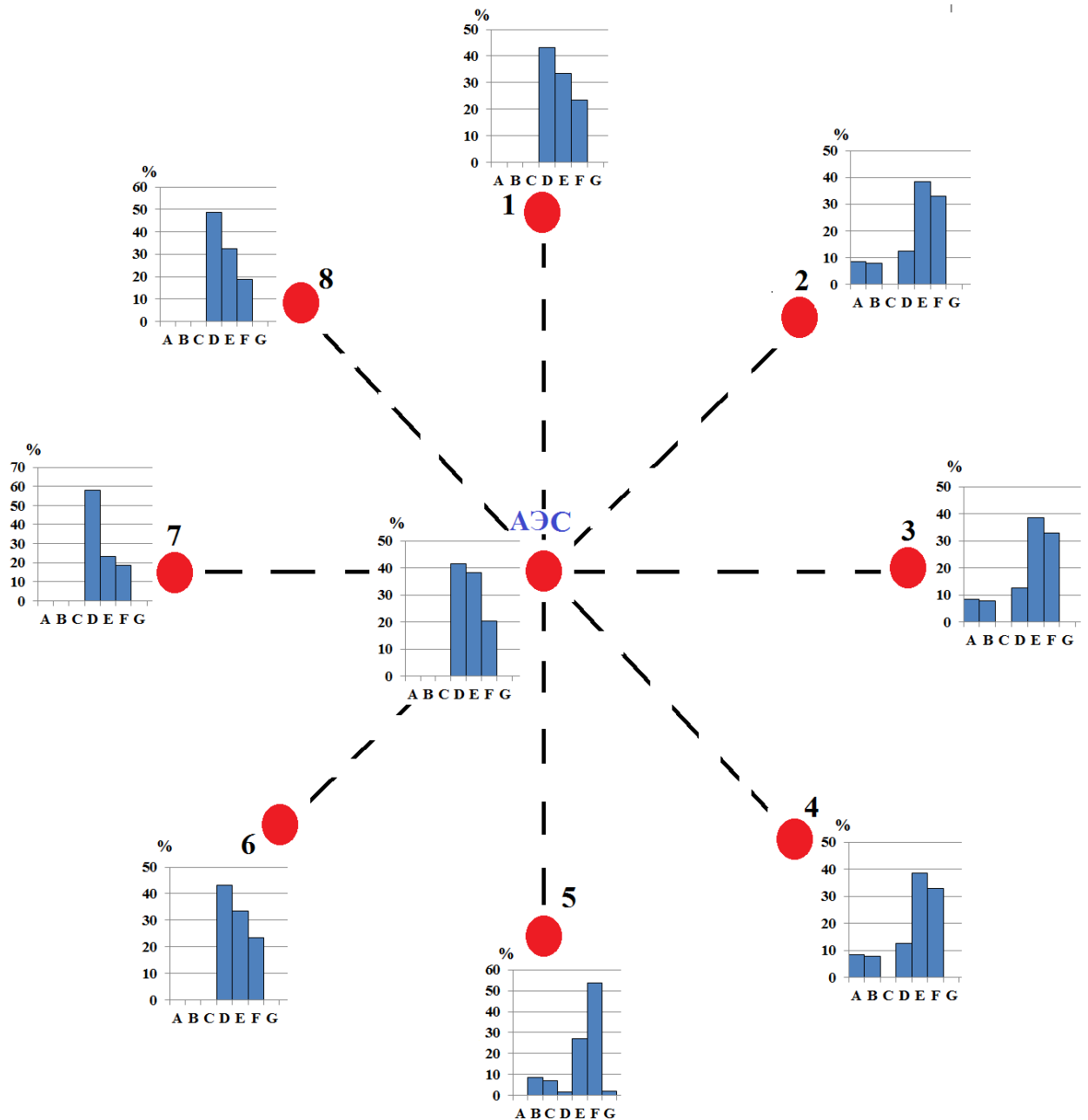


Рисунок 4.20 – Повторяемость категории устойчивости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в ночное время весны (апрель).

По полученным гистограммам повторяемости категорий устойчивости в дневное и в ночное времени апреля месяца (рисунки 4-19, 4-20) можно отметить, что в дневное время над морем наблюдается только категории Е (слабо устойчивая стратификация) и F (умеренно устойчивая), а над сушей – в основном не категория А (свободная конвекция) и В (конвекция). В ночное время над сушей наблюдаются только категории D, E, F (над морем также еще и А и В, но с меньшей повторяемостью).

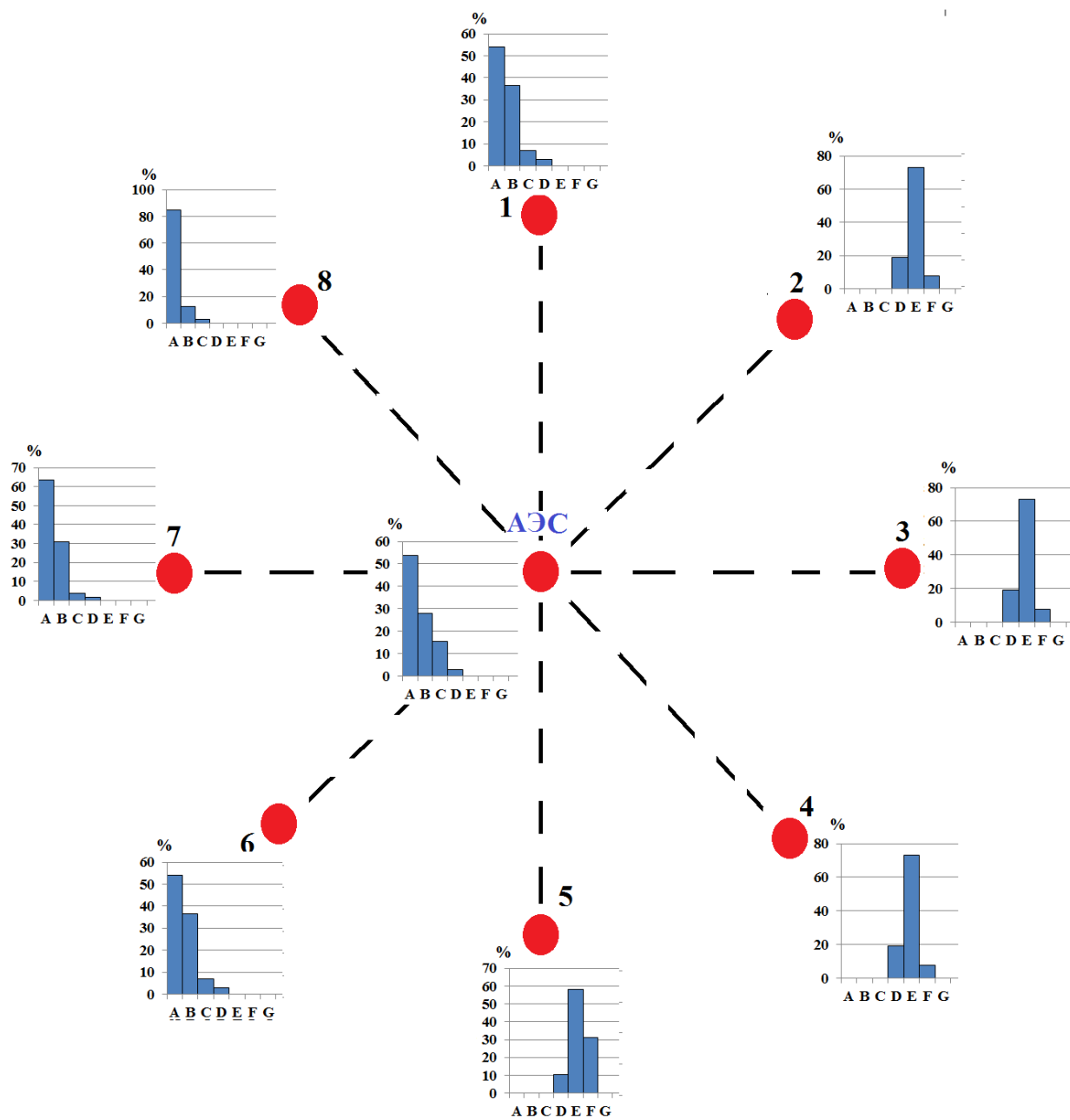


Рисунок 4.21 – Повторяемость категории устойчивости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в дневное время осени (ноябрь).

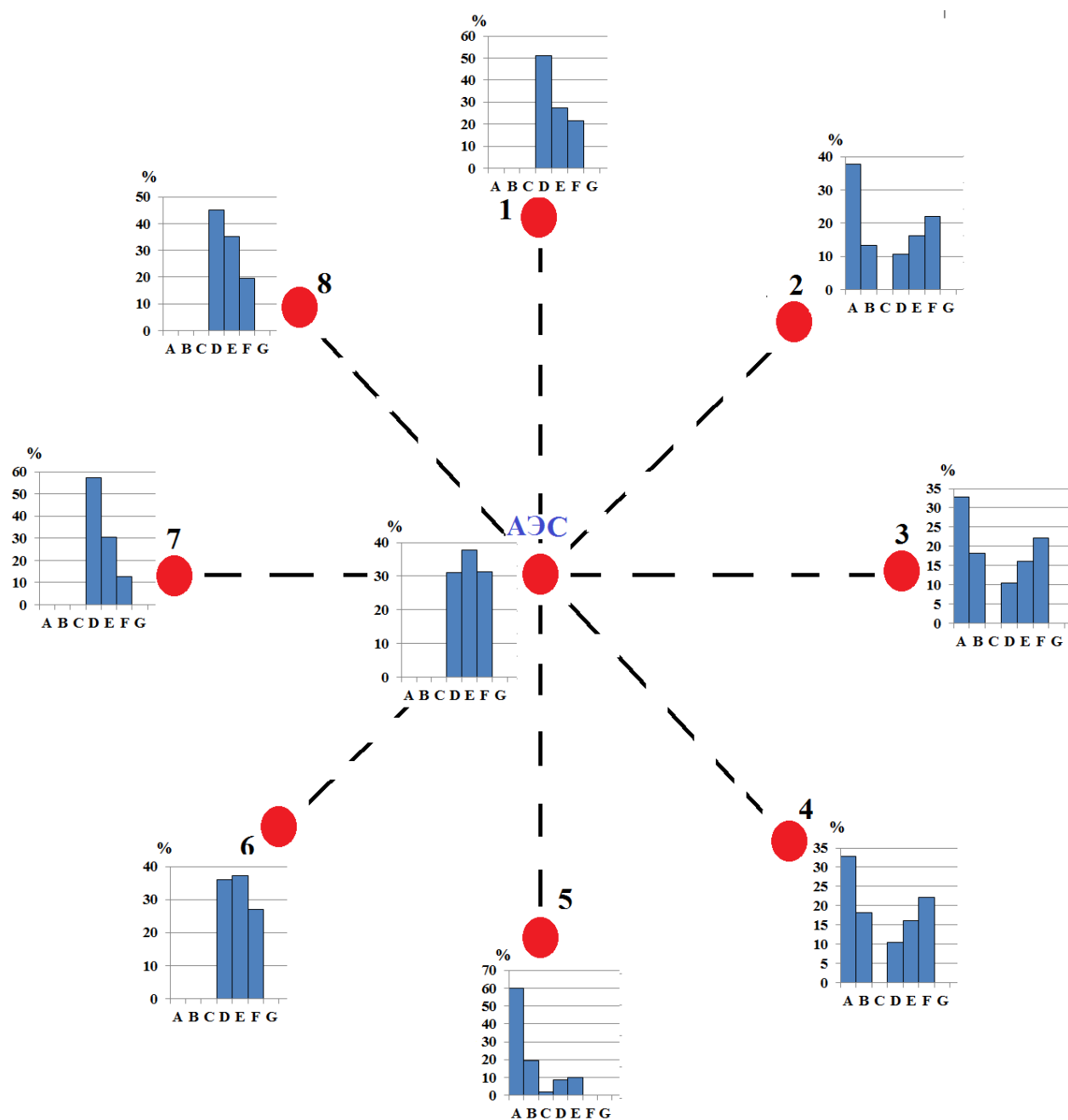


Рисунок 4.22 – Повторяемость категории устойчивости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в ночное время осени (ноябрь).

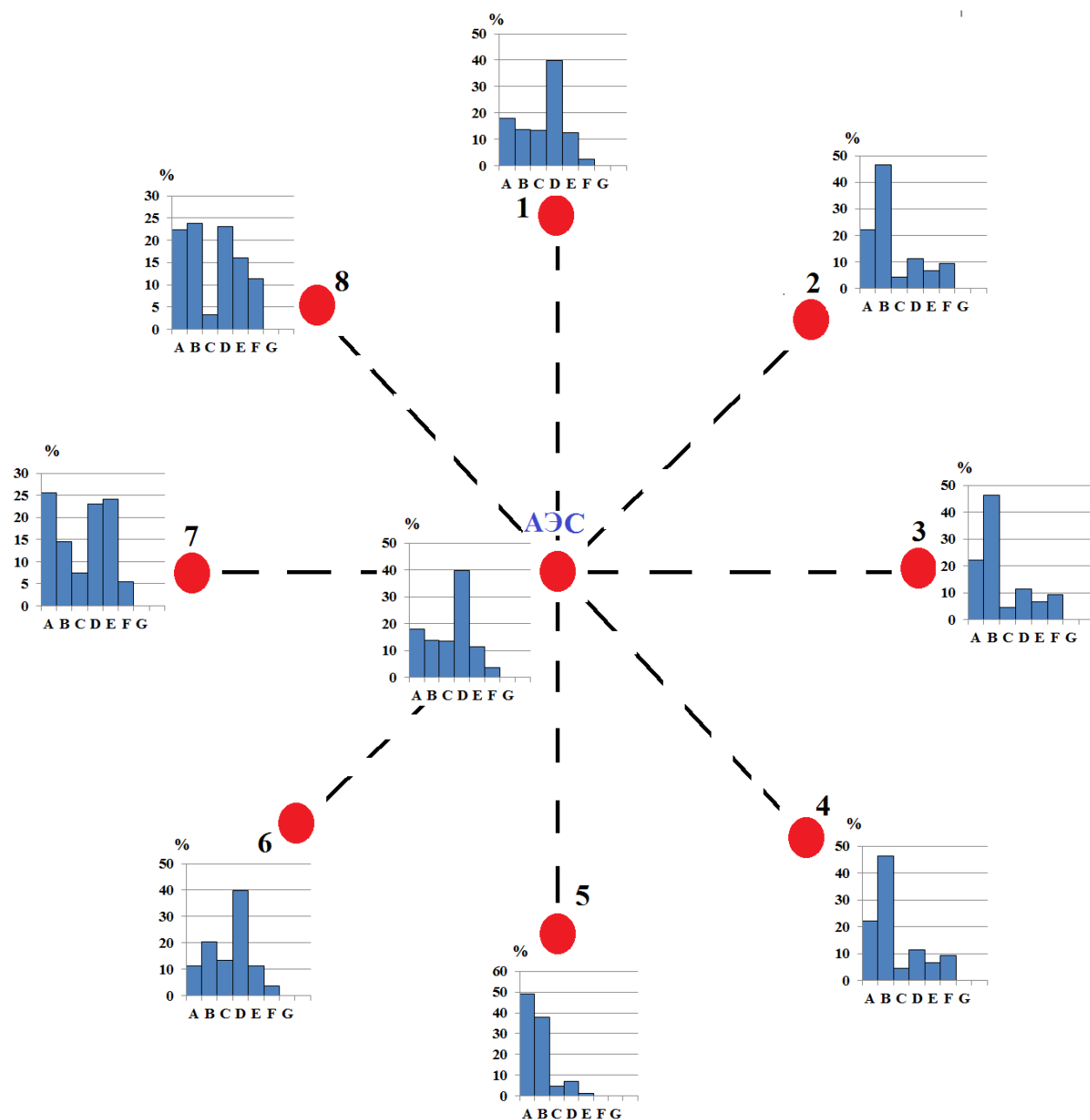


Рисунок 4.23 – Повторяемость категории устойчивости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в зимний период (январь) в целом за сутки.

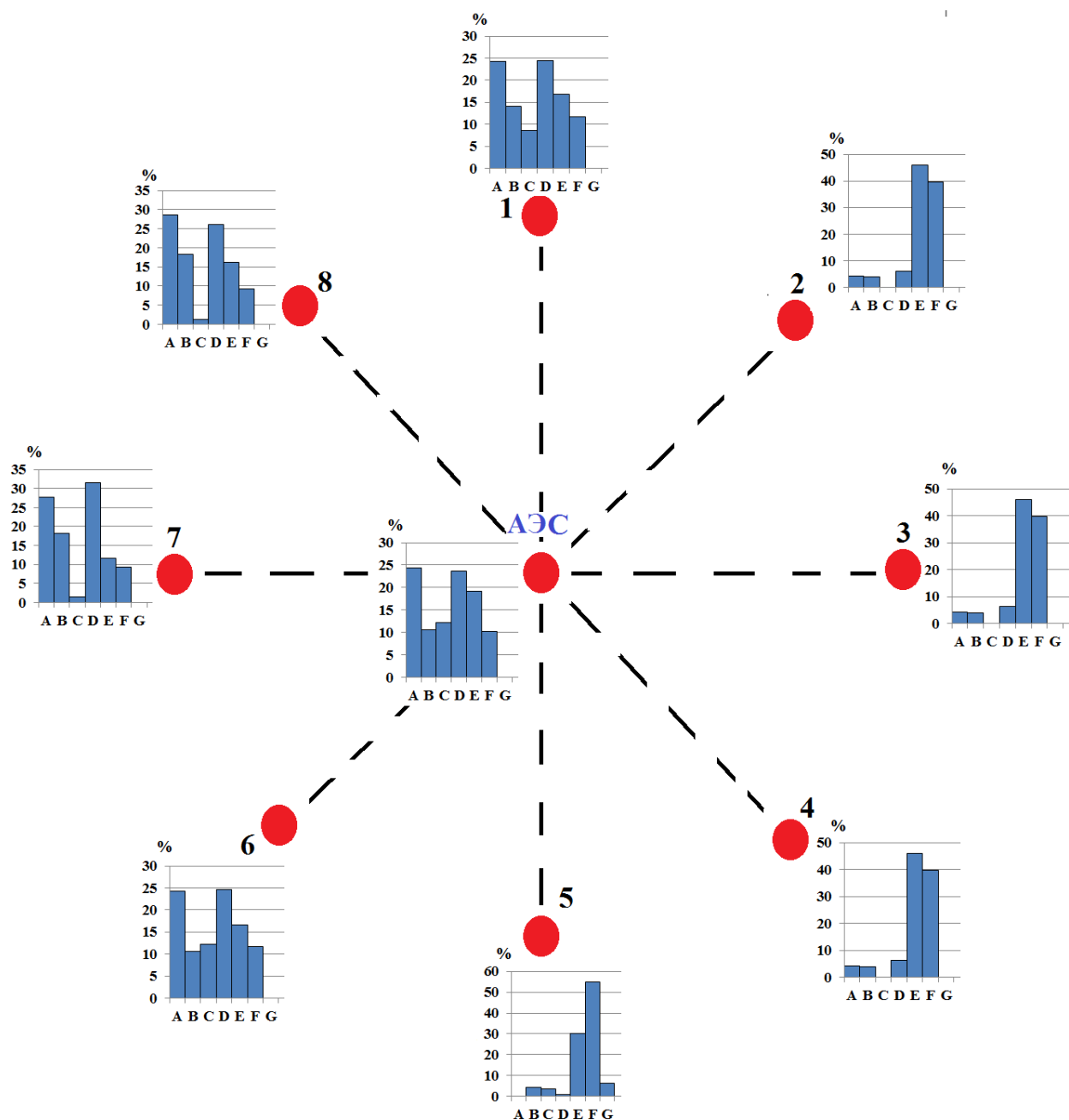


Рисунок 4.24 – Повторяемость категории устойчивости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза весной (апрель) в целом за сутки.

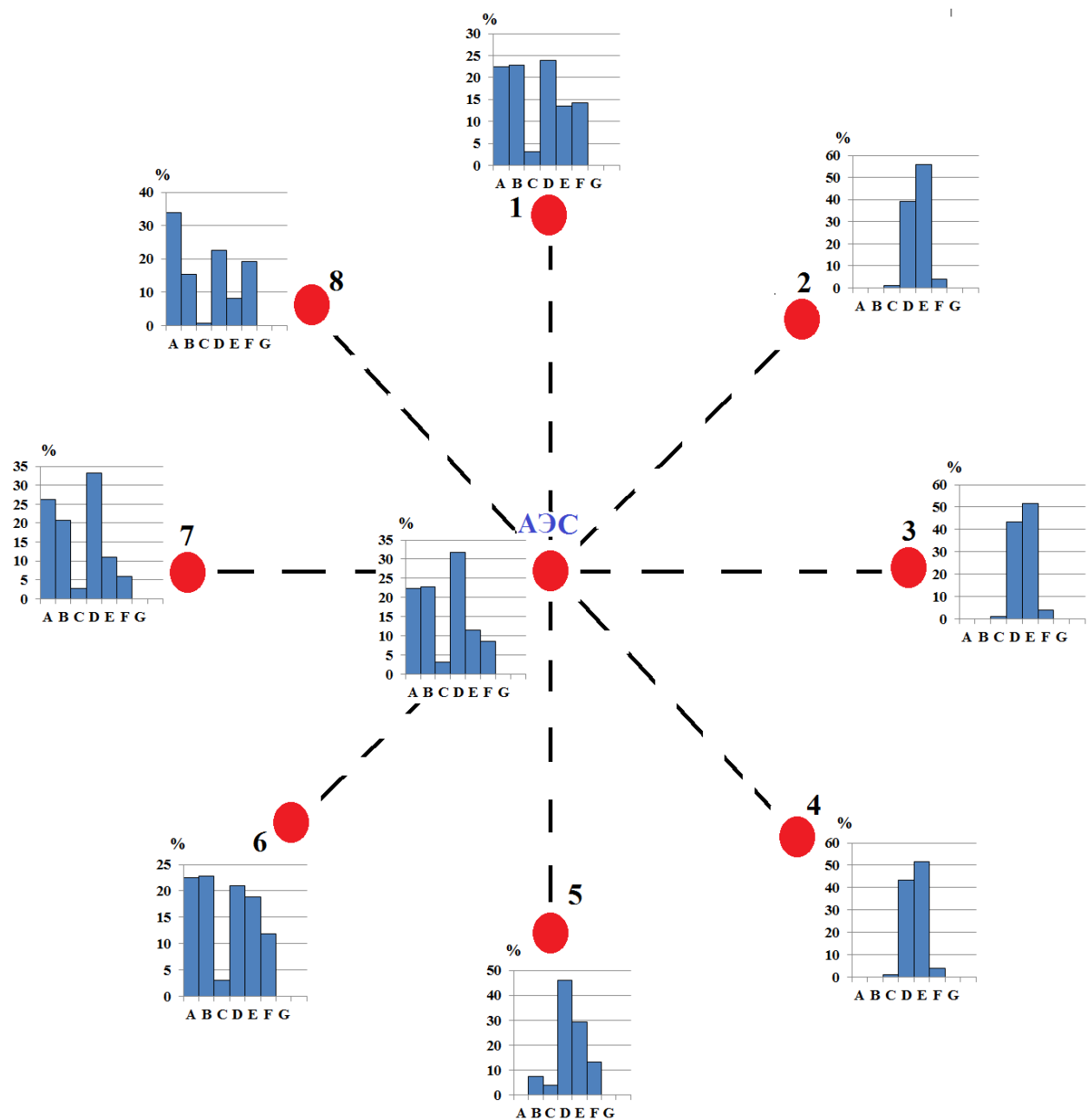


Рисунок 4.25 – Повторяемость категории устойчивости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в летний период (июль) в целом за сутки.

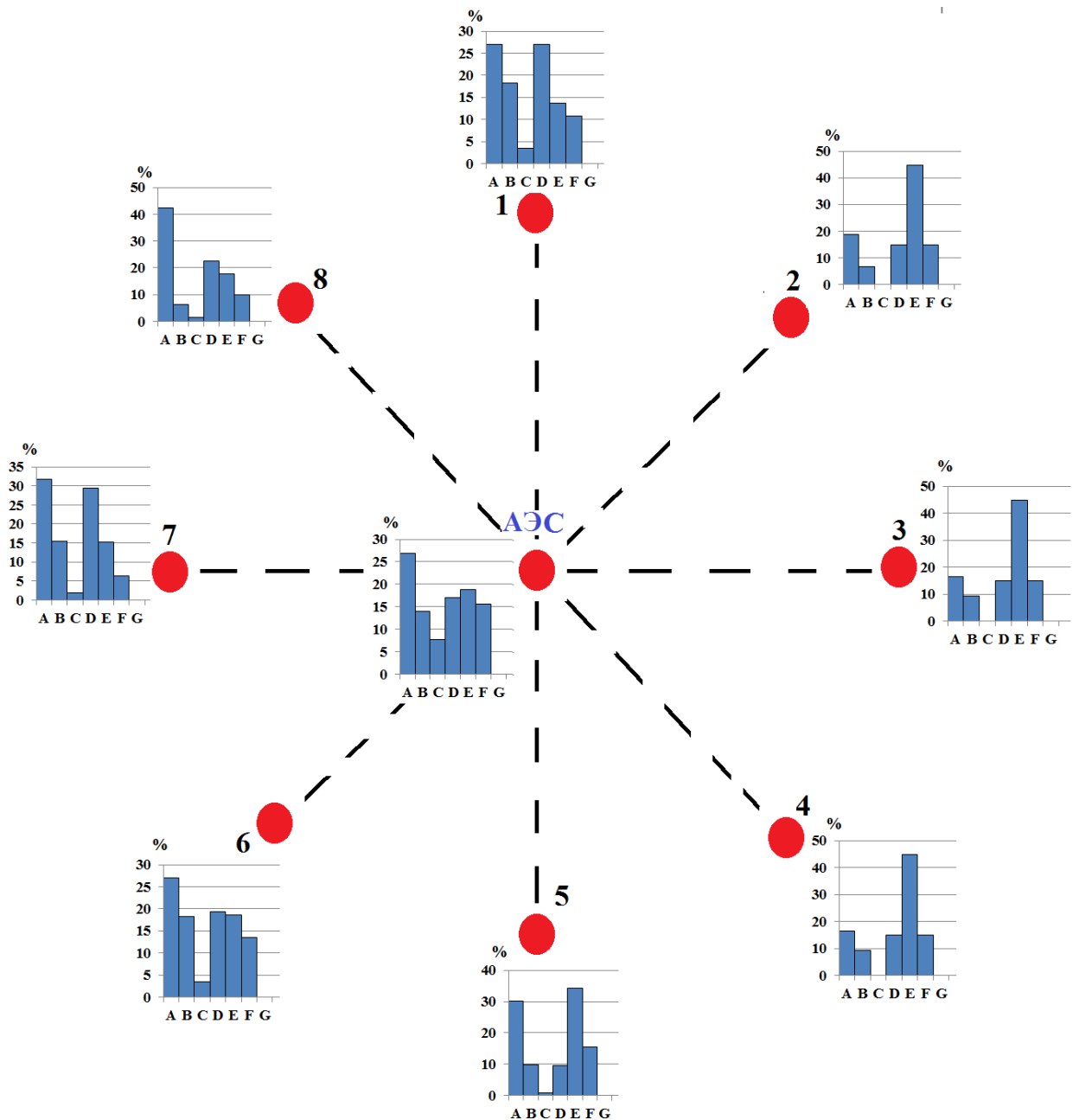


Рисунок 4.26 – Повторяемость категории устойчивости в контрольных точках по расчетам с учетом влияния рельефа и бриза в осенний период (ноябрь) в целом за сутки.

Таким образом, расчетные повторяемости категорий устойчивости Пэскуилла-Гиффорда над сушей и водой разительным образом отличаются друг от друга: над водой как в дневное, так и в ночное время суток доминирует устойчивая стратификация (категории “Е” и “F”), в то время как над сушей – в дневное время категории “А” и “В” (конвекция), а в ночное время – категория “D” (нейтральная стратификация). При рассмотрении результатов статистической обработки в целом за сутки, можно сделать

вывод, что если над водой наблюдается одномодальное распределение, то над сушей – выраженное двух модальное, где одна мода (категории “А” и “В”) соответствует дневным условиям, а другая (категории “D”, “Е” и “F”) – ночным.

4.5 Выводы по разделу 4

Результаты расчета статистических характеристик скорости и направления ветра, вертикальной скорости и категории устойчивости Пэскуилла-Гиффорда на площадке строительства АЭС, а также удалениях 5 км от нее вдоль основных румбов подтвердили основные выводы раздела 3 по изучению этих характеристик при типичных и экстремальных условиях, причем:

1. Наиболее существенное влияние рельеф на изучаемой территории оказывает на направление ветра, так что если над водной поверхностью расчетная роза ветров вблизи поверхности носит вполне привычный характер (доминируют ветры северо-восточной четверти и в меньшей степени – юго-западные ветры), то над сушей ситуация коренным образом меняется: с небольшими различиями по вероятности наблюдается лишь северный и южный ветер. Причиной этого эффекта является влияние вытянутой с севера на юг гряды холмов на западе области. Если над водой модальные значения скорости ветра составляют 3-4 м/с (ночью - 2 м/с), то над сушей – 1-2 м/с.

2. Расчетная повторяемость вертикальной скорости на высоте 100м над водной поверхностью показывает, что ее значения над водой варьируют от -5 до 5 см/с, в то время как над сушей изменяются в более широких пределах – от -10 до 10 см/с, лишь с очень небольшими вероятностями (не более 5% случаев) выходя за эти пределы.

3. Расчетные повторяемости категорий устойчивости Пэскуилла-Гиффорда над сушей и водой разительным образом отличаются друг от друга: над водой как в дневное, так и в ночное время суток доминирует устойчивая стратификация (категории “Е” и “F”), в то время как над сушей – в дневное время категории “А” и “В” (конвекция), а в ночное время – категория “D” (нейтральная стратификация). При рассмотрении результатов статистической обработки в целом за сутки, можно сделать вывод, что если над водой наблюдается одномодальное распределение, то над сушей –

выраженное двух модальное, где одна мода (категории “А” и “В”) соответствует дневным условиям, а другая (категории “D”, “Е” и “F”) – ночным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение сформулируем основные выводы из проведенного диссертационного исследования.

1. На основе проверки выполнимости для низких широт в окрестности территории Вьетнама соотношения для расчета геострофического ветра по полу давления обоснована принципиальная возможность применения современных методов моделирования АПС применительно к территории Вьетнама севернее 7.5 градусов с.ш.

2. Предложен и реализован в форме программного модуля метод описания рельефа произвольной конфигурации применительно к 3D гидротермодинамическим моделям, а также осуществлена его верификация путем сопоставления результатов моделирования с натурным экспериментом по продувкам упрощенных форм рельефа в аэродинамической трубе.

3. Разработана и реализована на ПЭВМ комбинированная 3D гидротермодинамическая численная модель нижней тропосферы над поверхностью с произвольной конфигурацией рельефа, береговой черты, температурой воды а также характеристик шероховатости подстилающей поверхности.

4. Проведен комплекс численных экспериментов применительно к территории зоны влияния АЭС Ниньтхуан-1 для оценки чувствительности результатов расчета характеристик атмосферы, определяющих условия рассеяния радионуклидов, который, в частности, показал, что:

- для типичных ситуаций ожидаемого максимального развития бриза расчетные значения интенсивности вертикальных токов за счет бриза крайне невелики (единицы сантиметров в секунду), в то время как за счет рельефа эти значения достигают 20-30 см/с и особенно значительны над элементами рельефа на высотах 100-400м;

- для экстремальных ситуаций (максимальные значения амплитуды суточного хода температуры) интенсивности вертикальных токов только за счет бризовых эффектов возрастают до величин около 15 см/с, причем с учетом рельефа здесь формируется весьма причудливая картина вертикальных скоростей с зонами нисходящих и восходящих движений значительной протяженности.

5. Предложен и реализован метод пересчета известных по данным архива реанализа атмосферных процессов статистических характеристик поля ветра на уровне 850гПа в неизвестные статистические характеристики поля ветра, вертикальной скорости и характеристик устойчивости в зоне распространения облака аварийного выброса АЭС, который, в частности, позволил установить, что:

- наиболее существенное влияние рельеф на изучаемой территории оказывает на направление ветра, так что если над водной поверхностью расчетная роза ветров вблизи поверхности носит вполне привычный характер, то над сушей ситуация коренным образом меняется: с небольшими различиями по вероятности наблюдается лишь северный и южный ветер;

- расчетные повторяемости вертикальной скорости на высоте 100м над поверхностью показывают, что их значения над водой варьирует от -5 до 5 см/с, в то время как над сушей изменяются в более широких пределах – от -10 до 10 см/с, лишь с очень небольшими вероятностями (не более 5% случаев) выходя за эти пределы;

- расчетные повторяемости категорий устойчивости Пэскуилла-Гиффорда над сушей и водой разительным образом отличаются друг от друга: над водой, как в дневное, так и в ночное время суток доминирует устойчивая стратификация, в то время как над сушей – в дневное время конвекция, а в ночное время – нейтральная стратификация.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. IAEA. Safety standards series No. NS-G-3.2 Dispersion of radioactive material in air and water and consideration of population distribution in site evaluation for nuclear power plant. - Safety Guide. Vienna. 2002 – 42 p.
2. НП-032-01 «Размещение атомных станций. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности» - М., 2002 – 8 с.
3. Серия изданий по безопасности № 50-SG-S3. Руководства МАГАТЭ по безопасности. - Вена, 1982 – 105 с.
4. НТД 38.220.56-84 “Методы расчета распространения радиоактивных веществ с АЭС и облучения окружающего населения”. Часть 1. Приложения. - МХО Интератомэнерго, М., Энергоатомиздат, 1984 – 168 с.
5. Методы расчета распределения радиоактивных веществ в атмосфере и доз облучения населения. НТД МХО. - М., 1992 – 333 с.
6. Методические указания по расчету радиационной обстановки в окружающей среде и ожидаемого облучения населения при кратковременных выбросах радиоактивных веществ в атмосферу (МПА-98). - Минатом России. М., 1999 – 127 с.
7. Программа ДОЗА_М. Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности. Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности. Аттестационный паспорт № 117 от 02.03.2000 г. – 4 с.
8. Отчет о научно-исследовательской работе. Аттестация программных средств, применяемых для обоснования безопасности РУ ЭГП-6 Билибинской АЭС. Программный комплекс Выброс 3.1. Верификационный отчет. АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», Обнинск, 2013.
9. Программное средство “SULTAN” оперативного прогнозирования радиационной обстановки за пределами станции в случае аварии на АЭС. Инструкция пользователя. Утв. Техническим директором концерна “Росэнергоатом” 12.10.2000, М., 2000.
10. Napier B.A., Peloquin R.A., Strenge D.L., Ramsdell J.V. GENII-The Hanford Environmental Radiation Dosimetry Software System. Volume 1: Conceptual Representation. Pacific Northwest Laboratory. Washington, 1988.

11. МАГАТЭ. Департамент ядерной безопасности. Международное партнерское рассмотрение документов «Материалы оценки воздействия на окружающую среду», подготовленных для Балтийской АЭС, Калининград (Российская Федерация). Итоговый отчет Международной группы партнерского рассмотрения МАГАТЭ. 2015.
12. Vũ Tự Lập. Địa lý tự nhiên Việt Nam (phần đại cương). Trường ĐHSP Hà Nội I, 1995.
13. Đặng Duy Lợi. Địa lý tự nhiên Việt Nam (phần đại cương). NXB Đại học sư phạm, 2005.
14. Phạm Ngọc Toàn, Phan Tất Đắc. Khí hậu Việt Nam. NXB khoa học và kỹ thuật Hà Nội, 1993.
15. Nguyễn Đức Ngữ, Nguyễn Trọng Hiệu. Khí hậu và tài nguyên khí hậu Việt Nam. NXB Nông nghiệp, 2005.
16. Đặng Thị Hồng Thủy. Khí tượng nông nghiệp. NXB Đại học Quốc gia Hà Nội, 2003.
17. Trần Đức Hạnh, Văn Tất Tuyên, Đoàn Văn Điểm, Trần Quang Tộ. Giáo trình khí tượng nông nghiệp. NXB nông nghiệp Hà Nội, 1997.
18. Гаврилов А.С, Донг Н.Ф., Хи Н.Д. О возможностях использования геострофического соотношения в тропической зоне// Ученые записки РГГМУ 2016. Вып. 42. – С. 104–108.
19. Экология и гидрометеорология больших городов и промышленных зон (Россия, Мексика). Монография. т.1 Анализ окружающей среды// Баранова М.Е., Гаврилов А.С., Шелутко В.А., Дмитриев В.В., Гутниченко В.Г. и др // Ред. Л.Н.Карлин, Шелутко В.А. - Издательство РГГМУ, СПб, - 2009. - 180с.
20. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей (1985) // Ред. Ф.Т.М.Ньистадт, Х.Ван Доп (перевод с англ.) - Л.: Гидрометеоиздат, 350с.
21. Hanna S.R (1985) Air Quality Modeling over Short Distances»// Handbook of Applied Meteorology, Ed. by D.D. Houghton. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley&Sons Inc., New York, 712-743.
22. Turner D.B. Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates, US Enviromental Protection Agency, Office of Air Programs, Research Triangle Park, North Carolina, 1970

23. Методика расчета загрязняющих веществ в атмосфере при аварийных выбросах. РД 52.18.717-2009, Росгидромет, Обнинск, ООО "Принт-сервис", 2009, 111 с.
24. Василенко С.В., Гаврилов А.С., Мханна А., Липовицкая И.Н. Метод климатологического анализа вертикальной структуры атмосферного пограничного слоя с использованием численной модели // Ученые записки РГГМУ 2006. Вып. 2. – С. 53–65.
25. НИР. Верификационный отчет для программного средства RiskZone версия 1.0. ЗАО «Ленэкософт+». Арх. номер: НИР-Ф-21289 от 12.09.2014 г. СПб, 2014. Аттестационный паспорт ПС № 368 от 18.03.2015 г.
26. Deardorff J.W. Three-dimensional numerical study of turbulence in an entraining mixed layer. Boundary-Layer Meteorol., v.1, pp169-196.
27. Thompson J.F. Numerical solution of flow problems using body-fitted coordinate systems – Computational Fluid Dynamics // Ed. W.Kollman, V.1, 1980 –Washington, D.S.: Hemisphere
28. Гутман Л.Н. Введение в нелинейную теорию мезометеорологических процессов – Л. Гидрометеиздат, 1969, 286с.
29. Бакланов А.А. Численное моделирование в рудничной аэрологии – Апатиты, изд. Кольского филиала АН СССР, 1987, 200с.
30. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды – Новосибирск, Наука 1985, 254с
31. Гранберг И.Г. Пространственная задача обтекания препятствия потоком несжимаемой стратифицированной жидкости / численное моделирование /. Изв. АН СССР, ФАО, т.19, И ; с.357-365, 1983.
32. Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления – М.Наука, 1965, 345с.
33. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика, ч.1 – М. Наука, 1965.-639с.
34. Баранова М.Е., Гаврилов А.С. Численное моделирование динамики обтекания турбулентным потоком тонких вертикальных ограждений // Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ: Межвуз. темат. сб. тр. Вып. 10 / СПбГАСУ. – СПб, 2004, с. 85-94.

35. Гаврилов А.С., Мханна А., Харченко Е.В. Верификация модели атмосферного пограничного слоя применительно к задачам прогноза загрязнения атмосферы от очагов лесных пожаров// Ученые записки РГГМУ, т.31, 2013 /РГГМУ. - СПб, 2013, с. 119 – 129.
36. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. М.: Мир, 1980, 616с.
37. Гаврилов А.С. Математическое моделирование мезометеорологических процессов, Л.: ЛПИ, 1988, 96 с.
38. Lawson R. E., Jr, Snyder W. H. and Thompson R. S. Estimation of maximum surface concentrations from sources near complex terrain in neutral flow// Atmospheric environment Vol. 23, No. 2, pp. 321-331, 1989.
39. Charnock H. Wind stress on water surface. – Q. Roy. Met. Soc., v.81 Nu.3, 1955, pp. 87-96.
40. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. - М.: Энергоатомиздат. 1985. 296 с.

Приложение А

Характеристики, полученные при расчетах с учетом влияния рельефа и бриза в контрольных точках, ветер на высоте 1500м (2, 4, 6, 8, 10 м/с) с разными направлениями. Расчет проведен в зимний период (январь).

Таблица А1 – Направление ветра на уровне флюгера при дневном условии (15 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								ЭАС
Направление, градус (°)	Скорость, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	2	0	323	323	323	345	0	359	359	0
	4	360	320	320	320	347	0	359	360	0
	6	360	319	319	319	348	360	359	360	360
	8	360	318	317	317	348	360	359	360	360
	10	359	318	317	317	347	359	359	360	359
45	2	360	7	7	7	6	0	359	0	360
	4	360	5	5	5	3	0	359	0	0
	6	360	4	4	4	2	0	359	0	0
	8	360	3	3	3	1	0	359	0	0
	10	360	2	2	2	2	360	359	0	0
90	2	180	52	52	52	83	180	178	179	180
	4	180	50	50	50	81	180	178	179	180
	6	180	48	48	48	74	180	178	178	180
	8	180	47	47	47	68	180	178	178	180
	10	180	47	47	47	68	180	178	179	180
135	2	180	98	98	98	151	180	178	180	180
	4	180	95	95	95	152	180	179	180	180
	6	180	93	93	93	152	180	179	180	180
	8	180	92	92	92	151	180	179	180	180
	10	179	92	92	92	151	180	179	180	180
180	2	180	143	143	143	165	180	179	180	180
	4	180	140	140	140	167	180	179	180	180
	6	180	139	138	138	167	180	179	180	180
	8	180	137	137	137	167	180	179	180	180
	10	179	137	137	137	167	179	179	180	180
225	2	180	187	187	187	185	180	179	180	180
	4	180	185	185	185	183	180	179	180	180
	6	180	183	183	183	182	180	179	180	180
	8	180	182	182	182	181	180	179	180	180
	10	180	181	181	181	180	180	179	180	180
270	2	0	232	232	232	269	0	359	358	0
	4	360	230	230	230	268	0	358	358	360
	6	360	228	228	228	261	360	358	358	360
	8	360	227	227	227	255	360	358	358	360
	10	360	226	226	226	255	360	358	358	360
315	2	0	277	277	277	333	0	359	359	0
	4	360	275	275	275	335	360	359	359	0
	6	360	273	273	273	335	360	359	359	360
	8	360	272	272	272	335	360	359	359	360
	10	359	271	271	271	335	360	359	359	360

Таблица А2 – Направление ветра на уровне флюгера при ночном условии (3 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								ЭАС
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0	2	0	357	357	357	358	360	359	0	360
	4	360	348	348	348	355	359	359	360	360
	6	360	342	341	341	354	360	359	360	360
	8	360	338	338	337	354	360	360	359	359
	10	1	335	335	335	355	1	1	356	357
45	2	45	41	42	42	39	45	10	175	44
	4	36	32	33	33	31	35	9	176	39
	6	30	26	26	26	26	29	6	176	34
	8	29	22	22	22	24	27	6	177	32
	10	174	20	20	20	25	176	24	178	175
90	2	180	86	87	87	147	180	179	179	180
	4	179	77	78	78	146	179	179	179	179
	6	179	71	71	71	146	179	179	179	179
	8	179	67	67	67	147	179	179	179	179
	10	179	64	65	65	148	179	179	179	179
135	2	180	132	132	132	166	180	179	179	180
	4	179	123	123	123	164	179	179	180	179
	6	179	116	116	116	163	179	179	180	180
	8	179	112	112	112	162	179	179	179	180
	10	179	110	110	110	163	179	179	179	180
180	2	180	176	176	176	178	180	179	180	180
	4	180	168	167	167	176	179	180	180	180
	6	180	161	161	161	174	179	180	180	180
	8	179	157	157	157	172	179	179	180	180
	10	179	155	154	154	172	179	180	180	180
225	2	227	221	221	221	220	227	196	355	228
	4	217	212	212	212	211	216	192	355	220
	6	210	205	206	205	205	208	189	355	214
	8	206	201	201	201	202	204	187	356	211
	10	356	199	199	199	200	358	189	356	355
270	2	360	266	266	266	327	360	358	359	360
	4	359	257	257	257	327	359	359	359	359
	6	359	250	251	251	327	359	359	359	359
	8	359	246	246	246	329	359	359	359	359
	10	359	244	244	244	331	359	359	359	359
315	2	360	313	312	312	346	360	359	360	0
	4	359	304	304	304	344	359	359	360	359
	6	359	296	296	296	343	359	359	360	359
	8	359	293	292	292	343	359	359	359	359
	10	359	290	290	290	343	359	359	359	359

Таблица АЗ– Горизонтальная скорость ветра (м/с) на уровне флюгера при
дневном условии (15 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								
		1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	ЭАС
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0,00	2,00	2,26	1,22	1,23	1,22	1,55	2,26	1,37	1,07	2,26
	4,00	4,28	2,24	2,24	2,24	3,10	4,28	2,51	2,06	4,27
	6,00	5,86	3,01	3,02	3,02	4,25	5,84	3,48	2,90	5,81
	8,00	6,90	3,59	3,60	3,60	5,01	6,94	4,10	3,53	6,60
	10,00	7,56	3,96	3,97	3,97	4,36	7,68	4,55	4,04	7,24
45,00	2,00	0,91	1,23	1,23	1,23	1,19	0,91	0,58	0,37	0,91
	4,00	2,12	2,24	2,24	2,24	2,24	2,12	1,31	0,90	2,12
	6,00	3,25	3,00	3,00	3,00	3,16	3,25	1,99	1,40	3,25
	8,00	4,20	3,51	3,51	3,51	3,93	4,24	2,50	1,82	4,18
	10,00	4,86	3,47	3,47	3,47	4,47	4,85	2,94	2,08	4,73
90,00	2,00	1,04	1,22	1,23	1,22	0,52	1,04	0,65	0,60	1,04
	4,00	1,48	2,24	2,24	2,24	0,91	1,48	0,91	0,89	1,47
	6,00	1,68	3,01	3,02	3,02	1,25	1,69	1,02	1,06	1,68
	8,00	1,81	3,59	3,61	3,60	1,57	1,82	1,09	1,19	1,81
	10,00	2,10	3,96	4,00	3,99	1,82	2,10	1,25	1,38	2,09
135,00	2,00	2,30	1,22	1,22	1,22	1,28	2,30	1,39	1,18	2,31
	4,00	4,04	2,23	2,24	2,24	2,38	4,04	2,39	2,08	4,05
	6,00	5,27	3,02	3,03	3,03	3,17	5,27	3,25	2,75	5,34
	8,00	6,30	3,65	3,68	3,67	3,80	6,29	3,78	3,36	6,26
	10,00	7,14	4,10	4,14	4,13	4,32	7,14	4,28	3,82	7,23
180,00	2,00	2,26	1,22	1,22	1,22	1,53	2,26	1,37	1,09	2,26
	4,00	4,28	2,24	2,24	2,24	3,06	4,28	2,54	2,08	4,28
	6,00	5,77	3,03	3,04	3,04	4,18	5,85	3,56	2,86	5,82
	8,00	6,97	3,68	3,69	3,68	5,06	6,96	4,25	3,55	7,00
	10,00	7,83	4,15	4,18	4,17	5,78	7,78	4,82	4,06	7,89
225,00	2,00	0,91	1,23	1,23	1,23	1,19	0,91	0,60	0,38	0,91
	4,00	2,12	2,25	2,25	2,25	2,24	2,12	1,32	0,91	2,12
	6,00	3,25	3,04	3,04	3,04	3,16	3,25	2,01	1,42	3,25
	8,00	4,20	3,69	3,69	3,69	3,96	4,24	2,55	1,85	4,24
	10,00	4,85	4,18	4,18	4,18	4,55	4,84	3,07	2,17	4,84
270,00	2,00	1,04	1,22	1,22	1,22	0,49	1,04	0,64	0,59	1,04
	4,00	1,48	2,24	2,24	2,24	0,84	1,48	0,89	0,88	1,47
	6,00	1,68	3,02	3,04	3,03	1,14	1,69	1,01	1,06	1,68
	8,00	1,81	3,67	3,69	3,68	1,39	1,82	1,08	1,18	1,81
	10,00	2,10	4,15	4,18	4,17	1,60	2,10	1,24	1,38	2,09
315,00	2,00	2,29	1,22	1,22	1,22	1,32	2,30	1,39	1,16	2,29
	4,00	4,03	2,23	2,24	2,24	2,48	4,03	2,36	2,06	4,04
	6,00	5,25	3,01	3,04	3,03	3,31	5,26	3,20	2,72	5,33
	8,00	6,30	3,66	3,69	3,68	3,97	6,29	3,72	3,33	6,25
	10,00	7,12	4,12	4,17	4,16	4,54	7,12	4,19	3,80	7,21

Таблица А4– Горизонтальная скорость ветра (м/с) на уровне флюгера при
ночном условии (15 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								
		1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	ЭАС
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0,00	2,00	1,36	0,59	0,59	0,59	0,98	1,36	0,67	0,51	1,36
	4,00	1,12	0,82	0,82	0,82	1,76	1,98	0,92	0,95	0,99
	6,00	2,20	1,05	1,05	1,05	2,36	2,18	1,28	1,05	2,24
	8,00	4,34	1,28	1,28	1,28	2,55	4,32	0,88	0,74	4,04
	10,00	5,54	1,50	1,49	1,49	2,91	5,88	1,69	0,75	5,19
45,00	2,00	0,00	0,65	0,65	0,65	0,38	0,00	0,01	0,08	0,00
	4,00	0,00	1,02	1,02	1,02	0,68	0,00	0,02	0,17	0,01
	6,00	0,01	1,06	1,06	1,06	0,96	0,01	0,04	0,28	0,01
	8,00	0,01	1,26	1,27	1,26	1,22	0,01	0,05	0,34	0,01
	10,00	0,06	1,46	1,46	1,46	1,43	0,06	0,03	0,50	0,06
90,00	2,00	1,36	0,66	0,67	0,67	0,68	1,36	0,64	0,61	1,36
	4,00	1,11	1,10	1,12	1,11	1,16	0,96	0,85	0,90	1,63
	6,00	2,18	1,51	1,54	1,53	1,58	2,18	1,29	0,72	2,26
	8,00	4,21	1,78	1,80	1,79	1,99	4,24	1,55	0,79	4,05
	10,00	5,55	1,91	1,95	1,94	2,45	5,61	0,89	1,55	5,34
135,00	2,00	1,37	0,68	0,68	0,68	1,13	1,41	0,90	0,79	1,40
	4,00	2,13	1,13	1,14	1,14	1,99	2,10	1,32	1,22	2,02
	6,00	4,62	1,58	1,59	1,59	2,80	4,58	0,89	1,62	4,44
	8,00	6,31	1,96	1,98	1,97	3,48	6,28	1,58	1,49	6,07
	10,00	8,34	2,28	2,31	2,30	4,25	8,35	3,77	3,13	7,99
180,00	2,00	1,36	0,70	0,69	0,69	1,01	1,36	0,65	0,50	1,36
	4,00	1,98	1,15	1,15	1,15	1,79	1,12	0,88	0,95	1,11
	6,00	2,20	1,61	1,61	1,61	2,56	2,17	1,31	1,04	2,26
	8,00	4,35	1,99	1,99	1,99	3,26	4,30	0,88	0,73	4,15
	10,00	5,69	2,34	2,35	2,35	3,94	5,62	1,00	0,78	5,47
225,00	2,00	0,00	0,68	0,69	0,69	0,42	0,00	0,01	0,07	0,00
	4,00	0,01	1,14	1,15	1,15	0,71	0,00	0,02	0,17	0,01
	6,00	0,01	1,60	1,61	1,61	0,98	0,00	0,04	0,28	0,01
	8,00	0,01	1,99	2,00	1,99	1,20	0,01	0,05	0,35	0,01
	10,00	0,06	2,35	2,35	2,35	1,40	0,07	0,04	0,48	0,06
270,00	2,00	1,36	0,66	0,67	0,67	0,70	1,36	0,65	0,62	1,36
	4,00	0,97	1,12	1,14	1,13	1,19	0,91	0,89	0,93	1,07
	6,00	2,16	1,57	1,59	1,59	1,66	2,16	1,29	1,26	2,27
	8,00	4,22	1,95	1,98	1,97	2,11	4,24	1,54	0,80	4,06
	10,00	5,56	2,28	2,32	2,31	2,60	5,62	0,99	1,63	5,36
315,00	2,00	1,36	0,65	0,66	0,66	1,14	1,40	0,93	0,80	1,39
	4,00	2,11	1,11	1,12	1,12	2,02	2,08	1,34	1,24	2,00
	6,00	4,61	1,50	1,52	1,51	2,80	4,57	0,89	1,60	4,43
	8,00	6,29	1,78	1,80	1,80	3,37	6,29	1,65	1,55	5,98
	10,00	8,16	2,12	2,14	2,14	4,00	8,32	3,75	3,22	7,82

Таблица А5 – Вертикальная скорость ветра (см/с) на высоте 100 м, относительно подстилающей поверхности при дневном условии (15 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								ЭАС
		1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0,0	2,0	1,1	0,4	-0,1	0,0	0,8	0,4	1,7	-1,3	-1,5
	4,0	1,0	0,7	-0,5	-0,1	-0,1	-0,2	0,8	-3,4	-8,4
	6,0	-5,1	1,1	-0,5	0,1	-7,5	-2,3	-1,2	-2,8	-24,1
	8,0	-30,2	0,2	-2,0	-1,4	-24,8	-12,2	-12,2	1,5	-66,5
	10,0	-106,9	-1,9	-4,3	-3,3	-65,6	-40,7	-48,9	12,1	-
45,0	2,0	-0,3	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,7	1,7	0,0	0,1
	4,0	-0,8	-1,4	-1,4	-1,4	-2,6	-2,2	1,1	-0,4	-2,1
	6,0	-1,6	-2,7	-2,6	-2,6	-3,5	-3,1	-1,1	1,0	-7,7
	8,0	-5,0	-7,5	-7,4	-7,4	-6,3	-3,7	-5,9	6,5	-23,9
	10,0	-15,0	-25,1	-25,1	-25,1	-13,6	-5,3	-29,5	24,3	-67,9
90,0	2,0	-2,0	-0,9	-0,3	-0,5	-2,3	-1,5	0,2	1,3	-0,3
	4,0	-3,6	-2,1	-0,8	-1,2	-4,2	-2,9	0,4	2,4	-0,8
	6,0	-4,8	-2,8	-1,1	-1,7	-4,9	-4,0	0,2	4,0	-1,2
	8,0	-5,4	-4,2	-1,9	-2,7	-4,5	-4,9	0,3	6,1	-0,9
	10,0	-5,6	-5,0	-2,7	-3,6	-2,7	-5,6	1,0	7,1	0,1
135,0	2,0	-2,1	-1,0	-0,2	-0,5	-3,0	-1,1	1,1	3,6	1,1
	4,0	-4,0	-2,0	-0,3	-0,9	-4,9	-1,8	-0,3	7,4	3,0
	6,0	-5,9	-2,8	-0,3	-1,1	-5,5	-2,6	-2,9	9,7	4,4
	8,0	-7,4	-3,4	-0,1	-1,2	-6,1	-3,3	-3,8	11,7	5,8
	10,0	-8,9	-3,5	0,1	-1,1	-6,6	-3,8	-4,6	13,7	7,0
180,0	2,0	-0,9	-0,5	0,0	-0,2	-0,7	-0,4	1,2	3,1	1,7
	4,0	-2,1	-1,2	0,0	-0,4	-2,7	0,1	-0,8	6,9	4,7
	6,0	-3,2	-1,7	0,0	-0,5	-3,3	0,4	-3,4	9,7	7,4
	8,0	-4,3	-2,1	0,1	-0,7	-3,6	0,5	-3,5	10,5	9,4
	10,0	-5,7	-2,8	0,0	-0,9	-3,8	-0,4	-4,2	13,4	10,9
225,0	2,0	0,6	0,2	0,1	0,2	0,2	1,4	0,1	1,2	0,5
	4,0	1,3	0,4	0,3	0,4	1,5	2,8	0,8	2,5	2,0
	6,0	1,7	0,6	0,5	0,5	2,5	4,3	0,6	4,3	4,1
	8,0	2,1	0,7	0,6	0,7	2,9	5,1	0,2	5,4	6,1
	10,0	2,3	0,7	0,6	0,7	3,3	6,4	-1,3	6,4	7,5
270,0	2,0	2,4	0,9	0,3	0,5	2,7	2,2	1,6	-1,0	0,9
	4,0	4,1	2,0	0,6	1,1	5,6	3,6	1,6	-2,6	1,6
	6,0	5,4	2,9	1,0	1,7	6,9	4,6	1,7	-4,5	2,3
	8,0	6,4	3,8	1,3	2,2	8,1	5,6	2,1	-5,3	2,8
	10,0	7,4	4,6	1,5	2,7	8,9	6,4	1,7	-6,5	3,0
315,0	2,0	2,4	1,0	0,2	0,5	3,0	1,8	1,6	-2,5	-1,1
	4,0	4,0	2,4	0,5	1,2	4,2	2,7	1,8	-5,3	-4,6
	6,0	5,2	3,8	0,9	1,9	3,9	3,9	2,5	-7,3	-8,5
	8,0	5,6	5,1	1,4	2,7	3,1	4,4	2,3	-8,5	-13,0
	10,0	4,9	6,4	2,0	3,7	1,4	5,0	2,9	-9,7	-18,4

Таблица А6 – Вертикальная скорость ветра (см/с) на высоте 100 м, относительно подстилающей поверхности при ночном условии (3 часа).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								ЭАС
		1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0,0	2,0	-0,6	4,1	4,1	4,0	0,3	-2,7	-0,7	0,5	-0,7
	4,0	-0,7	2,7	2,5	2,6	-2,3	-3,6	-4,5	7,4	-2,8
	6,0	-2,0	-6,1	-6,4	-6,2	-13,8	-1,3	-10,1	22,9	-12,7
	8,0	-27,7	-33,5	-33,3	-33,1	-64,5	17,2	-26,0	97,4	104,9
	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45,0	2,0	-1,7	3,8	4,3	4,1	1,1	-3,0	-0,9	0,2	-0,3
	4,0	-2,2	3,1	3,7	3,5	0,6	-4,0	-1,0	1,9	-0,1
	6,0	-1,9	-2,4	-1,8	-1,9	0,1	-4,7	-1,7	5,1	1,1
	8,0	0,4	-22,4	-21,9	-21,8	-1,6	-3,1	-3,6	11,3	2,4
	10,0	12,9	-99,8	-99,5	-99,3	-6,6	9,2	-13,9	38,1	4,6
90,0	2,0	-1,9	3,5	4,4	4,1	1,5	-2,1	-1,7	1,1	0,1
	4,0	-3,9	3,8	5,0	4,6	1,0	-3,7	-2,6	2,0	2,2
	6,0	-5,4	3,7	5,2	4,8	0,6	-4,5	-3,2	5,9	4,3
	8,0	-6,8	3,3	5,1	4,7	1,0	-6,0	-5,9	7,7	7,4
	10,0	-7,9	2,8	4,9	4,5	1,3	-7,1	-7,8	8,2	10,6
135,0	2,0	-1,0	3,9	4,5	4,3	2,8	-0,3	-1,8	0,3	1,4
	4,0	-1,8	4,0	5,0	4,6	2,3	1,5	0,3	0,0	2,1
	6,0	-3,6	3,4	4,9	4,4	1,3	0,7	-2,2	2,9	4,2
	8,0	-5,0	2,9	4,8	4,2	0,5	0,8	-1,6	4,2	7,8
	10,0	-6,0	2,6	4,7	4,1	0,2	0,6	-3,3	7,6	10,7
180,0	2,0	0,3	4,6	4,6	4,6	4,1	2,3	-0,7	-1,0	0,3
	4,0	0,7	4,7	4,9	4,8	4,3	3,2	1,9	-4,0	1,2
	6,0	-0,1	4,3	4,8	4,6	3,1	5,9	5,2	-3,2	-0,9
	8,0	-0,4	3,8	4,6	4,2	2,7	6,5	5,5	-2,7	-0,3
	10,0	-0,8	3,5	4,4	4,0	2,3	7,3	5,5	-1,5	4,1
225,0	2,0	1,7	5,3	4,8	5,0	3,8	2,1	0,0	0,1	0,8
	4,0	2,6	5,9	5,2	5,4	5,3	3,3	-0,2	-2,3	0,9
	6,0	3,0	6,0	5,3	5,4	5,6	4,5	0,6	-4,6	0,3
	8,0	3,4	5,9	5,1	5,3	5,6	5,5	1,1	-4,8	-0,3
	10,0	4,0	5,9	5,0	5,2	5,4	6,9	2,3	-6,2	-0,8
270,0	2,0	1,9	5,7	4,9	5,1	3,0	1,5	-0,1	-1,8	0,0
	4,0	4,1	6,7	5,6	5,9	3,4	2,9	0,3	-2,5	-3,1
	6,0	5,4	7,4	5,8	6,2	3,8	4,0	0,3	-6,1	-6,3
	8,0	6,3	7,8	5,9	6,3	3,2	5,8	5,2	-6,6	-11,5
	10,0	6,9	8,0	5,9	6,4	2,7	8,2	7,2	-5,4	-17,8
315,0	2,0	0,8	5,2	4,6	4,8	1,1	-0,5	-0,3	-1,0	-1,7
	4,0	1,6	5,8	4,9	5,1	-0,7	-2,2	-2,8	1,7	-4,7
	6,0	0,2	6,0	4,7	5,1	-5,0	1,3	-2,3	5,3	-15,9
	8,0	-10,4	5,7	4,1	4,6	-13,9	8,3	-5,1	17,5	-42,3
	10,0	-51,0	4,7	3,0	3,5	-34,9	33,9	-8,0	49,7	112,5

Таблица А7 – Категории устойчивости атмосферы в контрольных точках разных направлениях и скоростях на поверхности 850 гПа при дневном условии (15 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								ЭАС
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0	2	B	A	A	A	A	B	B	A	B
	4	C	A	A	A	B	C	B	B	C
	6	D	B	B	B	B	D	D	C	D
	8	D	B	B	B	D	D	D	C	D
	10	D	B	B	B	E	D	D	D	D
45	2	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	4	B	A	A	A	A	B	B	A	B
	6	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	8	C	B	B	B	B	C	B	B	C
	10	C	D	D	D	C	C	C	B	C
90	2	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	4	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	6	A	B	B	B	A	A	A	A	A
	8	A	B	B	B	A	B	A	A	A
	10	B	B	B	B	A	B	A	B	B
135	2	B	A	A	A	A	B	A	A	B
	4	C	A	A	A	A	C	B	B	C
	6	D	B	B	B	B	D	C	B	D
	8	D	B	B	B	B	D	C	C	D
	10	D	B	B	B	B	D	D	C	D
180	2	B	A	A	A	A	B	A	A	B
	4	C	A	A	A	B	C	B	B	C
	6	D	B	B	B	B	D	C	C	D
	8	D	B	B	B	B	D	D	C	D
	10	D	B	B	B	C	D	D	D	D
225	2	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	4	B	A	A	A	A	B	A	A	B
	6	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	8	C	B	B	B	B	C	B	B	C
	10	C	B	B	B	B	C	C	B	C
270	2	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	4	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	6	A	B	B	B	A	A	A	A	A
	8	A	B	B	B	A	B	A	A	A
	10	B	B	B	B	A	B	A	B	B
315	2	B	A	A	A	A	B	B	A	B
	4	C	A	A	A	A	C	B	B	C
	6	D	B	B	B	B	D	C	C	D
	8	D	B	B	B	B	D	D	C	D
	10	D	B	B	B	B	D	D	D	D

Приложения Б

Характеристики, полученные при расчетах с учетом влияния рельефа и бриза в контрольных точках, ветер на высоте 1500м (2, 4, 6, 8, 10 м/с) с разными направлениями. Расчет проведен в весной период (апрель).

Таблица Б1 – Направление ветра на уровне флюгера при дневном условии (15 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								АЭС
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0	2	0	321	321	321	344	0	359	359	0
	4	360	319	318	318	346	360	359	360	0
	6	360	318	317	317	347	360	359	360	0
	8	360	317	316	316	346	360	359	360	360
	10	359	317	316	316	346	360	359	360	359
45	2	360	6	6	6	5	0	359	360	360
	4	360	3	3	3	2	0	359	360	0
	6	0	2	2	2	1	0	359	0	360
	8	4	3	3	3	3	4	3	2	4
	10	360	1	1	1	1	0	359	0	360
90	2	180	51	51	51	56	180	178	178	180
	4	180	48	48	48	57	180	178	178	180
	6	180	47	47	47	57	180	178	178	180
	8	180	46	46	46	56	180	178	178	180
	10	180	46	46	46	58	180	178	178	180
135	2	180	96	96	96	144	180	179	179	180
	4	180	93	93	93	147	180	179	179	180
	6	180	92	92	92	147	180	179	180	180
	8	180	91	91	91	147	180	179	179	180
	10	180	91	91	91	148	180	179	180	180
180	2	180	141	141	141	164	180	179	180	180
	4	180	183	183	183	182	180	179	180	180
	6	180	137	137	137	166	180	179	180	180
	8	180	91	91	91	147	180	179	179	180
	10	180	136	136	136	166	180	179	180	180
225	2	180	186	186	186	185	180	179	180	180
	4	180	186	186	186	181	180	179	182	180
	6	180	182	182	182	181	180	179	180	180
	8	180	181	181	181	180	180	179	180	180
	10	180	181	181	181	180	180	179	180	180
270	2	360	231	231	231	238	0	358	358	360
	4	360	228	228	228	241	360	358	358	360
	6	360	227	227	227	242	360	358	358	360
	8	360	226	226	226	241	360	358	358	360
	10	360	225	226	226	245	360	358	358	360
315	2	0	276	276	276	327	0	359	359	0
	4	360	276	276	276	343	360	359	360	360
	6	360	272	272	272	332	360	359	359	360
	8	360	271	271	271	332	360	359	359	360
	10	360	271	271	271	333	360	359	359	360

Таблица Б2 – Направление ветра на уровне флюгера при ночном условии (3 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								ЭАС
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0	2	360	332	332	332	351	360	359	0	360
	4	360	329	329	329	351	359	360	360	360
	6	360	325	325	325	351	360	359	360	360
	8	360	323	323	323	351	360	359	360	359
	10	359	322	321	322	351	360	359	359	359
45	2	0	16	16	16	11	0	359	0	1
	4	0	13	13	13	7	0	359	0	1
	6	0	9	9	9	4	360	360	0	0
	8	0	8	8	8	4	0	0	0	360
	10	1	6	6	6	4	1	0	0	359
90	2	180	61	61	61	122	180	179	180	179
	4	180	58	58	58	118	180	179	180	179
	6	180	54	54	54	115	180	179	180	179
	8	179	52	53	53	108	179	178	179	179
	10	179	51	51	51	98	179	178	180	179
135	2	180	107	106	106	158	180	179	180	179
	4	179	103	103	103	159	179	179	179	179
	6	179	99	99	99	160	179	179	180	179
	8	179	98	98	98	159	179	179	179	179
	10	179	96	96	96	158	179	179	179	179
180	2	180	152	151	152	171	180	179	180	180
	4	179	148	148	148	171	179	180	180	180
	6	179	145	144	144	171	179	179	180	180
	8	179	143	143	143	170	179	179	180	180
	10	179	142	141	141	170	179	179	180	180
225	2	180	201	201	201	193	180	180	180	181
	4	180	193	193	193	187	180	180	180	180
	6	180	192	192	192	186	180	180	181	180
	8	180	191	191	191	185	180	180	180	180
	10	180	186	186	186	182	180	180	180	180
270	2	360	241	241	241	308	360	359	360	359
	4	360	238	238	238	304	360	359	360	359
	6	360	234	234	234	299	360	358	360	359
	8	360	232	233	232	293	359	358	359	359
	10	358	230	231	231	284	359	358	359	359
315	2	360	291	291	291	341	360	359	360	359
	4	359	284	284	284	342	360	359	360	360
	6	359	283	283	283	341	359	359	359	359
	8	359	278	278	278	340	359	359	359	359
	10	359	276	276	276	340	359	359	359	359

Таблица БЗ– Горизонтальная скорость ветра (м/с) на уровне флюгера при
дневном условии (15 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								АЭС
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0	2,00	2,18	0,68	0,69	0,68	0,87	2,18	1,34	1,06	2,18
	4,00	4,03	1,34	1,35	1,34	1,95	4,02	2,46	1,97	4,02
	6,00	5,57	2,03	2,04	2,04	2,99	5,57	3,32	2,75	5,64
	8,00	6,71	2,62	2,64	2,63	3,81	6,71	4,12	3,35	6,64
	10,00	7,43	3,14	3,17	3,16	4,27	7,48	4,59	3,95	7,09
45	2,00	1,24	0,69	0,69	0,69	0,69	1,24	0,78	0,54	1,24
	4,00	2,41	1,35	1,35	1,35	1,39	2,41	1,50	1,07	2,41
	6,00	3,44	2,05	2,05	2,05	2,18	3,44	2,09	1,52	3,44
	8,00	4,22	2,69	2,69	2,69	2,94	4,22	2,62	1,89	4,20
	10,00	4,87	3,45	3,46	3,45	3,61	4,87	2,92	2,12	4,84
90	2,00	0,48	0,68	0,69	0,68	0,34	0,48	0,29	0,31	0,48
	4,00	0,77	1,34	1,34	1,34	0,57	0,77	0,47	0,52	0,77
	6,00	1,02	2,03	2,04	2,04	0,81	1,03	0,62	0,72	1,02
	8,00	1,22	2,62	2,64	2,63	1,04	1,23	0,74	0,87	1,22
	10,00	1,58	3,14	3,16	3,15	1,21	1,58	0,95	1,10	1,58
135	2,00	1,88	0,68	0,68	0,68	0,60	1,88	1,18	0,97	1,88
	4,00	3,41	1,33	1,34	1,34	1,23	3,41	2,05	1,78	3,42
	6,00	4,76	2,01	2,03	2,03	1,85	4,76	2,84	2,48	4,75
	8,00	5,70	2,60	2,63	2,62	2,38	5,71	3,40	3,01	5,78
	10,00	6,69	3,06	3,10	3,09	2,92	6,69	4,14	3,50	6,78
180	2,00	2,18	0,68	0,69	0,68	0,85	2,18	1,36	1,07	2,18
	4,00	2,41	1,34	1,34	1,34	1,39	2,41	1,50	1,08	2,41
	6,00	5,58	2,02	2,03	2,03	2,89	5,57	3,35	2,77	5,64
	8,00	5,70	2,60	2,63	2,62	2,38	5,71	3,40	3,01	5,78
	10,00	7,65	3,09	3,11	3,10	4,37	7,64	4,78	3,97	7,68
225	2,00	1,24	0,69	0,69	0,69	0,68	1,24	0,80	0,55	1,24
	4,00	1,91	0,54	0,54	0,54	0,75	1,91	1,14	0,78	1,91
	6,00	3,44	2,03	2,03	2,03	2,16	3,44	2,10	1,53	3,44
	8,00	4,22	2,63	2,63	2,63	2,86	4,26	2,65	1,91	4,26
	10,00	4,87	3,11	3,11	3,11	3,41	4,87	2,99	2,16	4,91
270	2,00	0,48	0,68	0,68	0,68	0,31	0,48	0,29	0,31	0,48
	4,00	0,77	1,34	1,34	1,34	0,50	0,77	0,46	0,52	0,77
	6,00	1,02	2,02	2,03	2,03	0,70	1,03	0,61	0,71	1,02
	8,00	1,22	2,61	2,62	2,62	0,86	1,23	0,73	0,86	1,22
	10,00	1,58	3,09	3,10	3,10	0,97	1,58	0,94	1,09	1,58
315	2,00	1,88	0,68	0,68	0,68	0,62	1,88	1,16	0,97	1,88
	4,00	3,80	0,52	0,54	0,53	1,07	3,87	2,15	1,95	3,86
	6,00	4,76	2,01	2,03	2,02	1,98	4,76	2,82	2,46	4,75
	8,00	5,70	2,59	2,62	2,62	2,56	5,71	3,39	2,99	5,78
	10,00	6,69	3,04	3,10	3,08	3,15	6,69	4,07	3,51	6,65

Таблица Б4 – Горизонтальная скорость ветра (м/с) на уровне флюгера при ночном
условии (3 часа).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								
		1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	ЭАС
Направление , градус (°)	Скорость , м/с									
0,00	2,00	1,16	0,39	0,40	0,40	0,68	1,19	0,87	1,19	0,70
	4,00	2,05	0,74	0,74	0,74	1,58	1,99	1,29	1,92	1,07
	6,00	4,46	1,11	1,12	1,12	2,52	4,41	0,90	4,29	1,57
	8,00	5,94	1,72	1,72	1,72	3,38	5,84	0,99	5,63	1,00
	10,00	7,08	2,06	2,07	2,07	4,10	7,31	3,14	6,80	2,37
45,00	2,00	0,56	0,39	0,39	0,39	0,36	0,56	0,28	0,56	0,14
	4,00	1,49	0,76	0,76	0,76	0,84	1,51	0,75	1,52	0,44
	6,00	1,71	1,30	1,30	1,30	1,47	1,85	0,80	1,67	0,75
	8,00	1,54	1,77	1,77	1,78	2,35	1,45	1,28	1,37	0,92
	10,00	3,49	2,09	2,09	2,10	3,06	3,42	0,70	3,21	0,89
90,00	2,00	1,02	0,41	0,41	0,41	0,22	1,02	0,47	1,03	0,49
	4,00	1,07	0,72	0,73	0,73	0,38	1,07	0,77	1,07	0,93
	6,00	1,43	1,02	1,03	1,03	0,44	1,43	0,92	1,43	1,18
	8,00	1,28	1,44	1,47	1,46	0,53	1,25	1,01	1,23	0,97
	10,00	1,63	1,91	1,93	1,93	0,62	1,54	1,06	1,76	1,11
135,00	2,00	1,30	0,42	0,42	0,42	0,59	1,37	0,94	1,16	0,86
	4,00	2,08	0,78	0,79	0,79	1,20	2,06	1,27	1,98	1,28
	6,00	4,23	0,94	0,96	0,95	1,78	4,20	0,79	4,07	0,91
	8,00	5,37	1,26	1,28	1,28	2,25	5,38	1,01	5,18	0,95
	10,00	6,31	1,55	1,58	1,58	2,64	6,31	1,20	6,06	1,63
180,00	2,00	1,17	0,43	0,43	0,43	0,67	1,19	0,85	1,19	0,70
	4,00	2,03	0,79	0,79	0,79	1,48	1,98	1,28	1,91	1,05
	6,00	4,46	0,94	0,95	0,95	2,29	4,40	0,91	4,22	1,38
	8,00	5,93	1,24	1,25	1,25	3,02	5,88	0,92	5,71	0,91
	10,00	7,23	1,53	1,54	1,54	3,64	7,19	2,09	6,98	1,67
225,00	2,00	0,50	0,47	0,47	0,47	0,36	0,50	0,27	0,50	0,13
	4,00	1,61	0,83	0,83	0,83	0,88	1,60	0,84	1,60	0,53
	6,00	0,92	1,07	1,07	1,07	1,35	0,93	1,33	1,46	0,85
	8,00	2,98	1,44	1,44	1,44	2,01	3,00	1,71	2,88	1,12
	10,00	3,48	1,53	1,54	1,54	2,40	3,37	0,71	3,22	0,86
270,00	2,00	1,02	0,42	0,42	0,42	0,22	1,02	0,48	1,02	0,50
	4,00	1,07	0,78	0,79	0,79	0,39	1,07	0,79	1,07	0,94
	6,00	1,43	0,93	0,95	0,95	0,45	1,43	0,93	1,43	1,20
	8,00	1,64	1,23	1,25	1,25	0,52	1,29	1,03	1,51	1,00
	10,00	1,32	1,52	1,54	1,54	0,58	1,55	1,07	1,63	1,13
315,00	2,00	1,99	0,44	0,45	0,45	0,68	1,30	1,15	1,28	0,98
	4,00	3,45	0,75	0,77	0,77	1,44	3,44	1,70	3,48	1,70
	6,00	4,79	1,08	1,10	1,10	2,19	4,77	1,26	4,64	1,86
	8,00	5,38	1,28	1,31	1,30	2,50	5,36	1,66	5,20	1,03
	10,00	6,32	1,57	1,61	1,60	2,96	6,30	1,53	6,07	1,72

Таблица Б5 – Вертикальная скорость ветра (см/с) на высоте 100 м, относительно подстилающей поверхности при дневном условии (15 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								АЭС
Направление, градус (°)	Скорость, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	2,0	1,1	0,9	0,3	0,5	0,9	0,7	1,7	-1,7	-1,5
	4,0	1,5	2,3	1,0	1,4	1,8	0,4	1,6	-3,9	-7,0
	6,0	-2,2	3,9	1,9	2,5	-0,1	-1,0	-0,2	-4,8	-18,0
	8,0	-17,0	4,8	2,4	3,2	-8,6	-7,3	-6,8	-3,2	-44,8
	10,0	-61,6	6,4	4,1	4,9	-28,4	-27,6	-28,7	2,8	-111,5
45	2,0	-0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-1,0	1,2	0,1	-0,4
	4,0	-0,7	1,2	1,2	1,2	0,5	-2,2	1,6	-1,1	-2,9
	6,0	-1,7	2,1	2,2	2,0	0,7	-3,0	-0,3	-0,9	-8,3
	8,0	-4,4	5,9	6,0	5,8	4,1	-4,2	-4,2	3,0	-20,8
	10,0	-9,2	16,6	16,8	16,6	12,8	-6,8	-21,6	14,0	-47,5
90	2,0	-1,9	-0,5	0,0	-0,2	-2,0	-1,4	0,3	0,9	-0,8
	4,0	-3,5	-0,8	0,3	-0,1	-4,9	-2,7	0,3	1,9	-1,7
	6,0	-4,7	-0,9	0,8	0,2	-5,7	-3,8	0,3	3,7	-2,1
	8,0	-5,5	-1,2	0,9	0,1	-5,5	-4,7	0,1	4,3	-2,1
	10,0	-5,9	-0,4	1,7	0,8	-4,4	-5,4	0,6	5,4	-1,4
135	2,0	-2,0	-0,9	-0,2	-0,5	-2,7	-1,1	0,4	3,6	0,1
	4,0	-4,1	-2,0	-0,4	-1,0	-5,6	-2,1	-0,1	6,5	1,4
	6,0	-5,7	-3,2	-0,7	-1,6	-7,2	-2,6	-1,3	9,4	2,9
	8,0	-7,5	-4,2	-1,1	-2,2	-7,9	-3,6	-2,8	11,3	3,9
	10,0	-8,7	-5,3	-1,6	-2,9	-8,7	-3,7	-3,1	13,3	5,3
180	2,0	-0,8	-0,7	-0,2	-0,4	-0,7	-0,3	0,5	3,3	1,9
	4,0	0,9	-0,2	-0,2	-0,2	0,6	2,8	0,8	3,3	2,5
	6,0	-3,2	-2,5	-0,8	-1,4	-5,0	0,0	-2,5	9,2	6,4
	8,0	-7,5	-4,2	-1,1	-2,2	-7,9	-3,6	-2,8	11,3	3,9
	10,0	-5,1	-4,2	-1,5	-2,4	-6,4	0,0	-4,7	12,0	9,7
225	2,0	0,5	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	1,7	0,3	1,4	0,5
	4,0	1,0	-8,1	-8,3	-8,1	-3,7	2,4	-0,4	1,9	0,8
	6,0	1,3	-0,3	-0,4	-0,3	1,4	4,1	0,6	4,7	4,6
	8,0	1,7	-0,5	-0,6	-0,5	2,0	4,7	0,1	5,6	6,3
	10,0	2,1	-0,7	-0,8	-0,7	2,3	5,7	-1,0	6,5	7,4
270	2,0	2,3	0,6	0,1	0,3	2,1	2,2	0,7	-0,1	1,4
	4,0	4,0	1,3	0,1	0,6	5,5	3,5	1,0	-2,0	2,7
	6,0	5,4	2,1	0,1	0,9	6,9	4,5	1,1	-3,1	3,4
	8,0	6,5	2,5	0,1	1,1	8,0	5,5	0,9	-4,0	3,9
	10,0	7,4	2,9	0,0	1,1	8,7	6,3	1,1	-5,2	4,1
315	2,0	2,5	1,0	0,2	0,5	2,6	2,0	1,4	-2,4	0,1
	4,0	2,2	-6,9	-7,9	-7,6	-1,1	2,2	1,6	-4,1	-7,3
	6,0	5,4	3,4	0,6	1,6	5,6	3,8	1,9	-7,4	-5,4
	8,0	6,5	4,3	0,6	2,0	5,7	5,0	2,4	-8,8	-8,7
	10,0	6,4	4,9	0,5	2,1	4,9	5,1	2,5	-	-13,6

Таблица Б6 – Вертикальная скорость ветра (см/с) на высоте 100 м, относительно подстилающей поверхности при ночном условии (3 часа).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								ЭАС
		1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	
Направление , градус (°)	Скорость , м/с									
0,0	2,0	0,1	-1,4	-1,7	-1,6	-0,3	-0,9	-0,5	-0,3	-2,5
	4,0	1,3	-1,1	-1,6	-1,4	-0,1	-4,4	-5,4	7,2	-4,0
	6,0	1,7	0,5	0,0	0,1	0,3	1,5	-1,4	12,6	-18,4
	8,0	-9,7	5,3	4,9	5,0	1,0	22,4	-7,7	46,6	-65,7
	10,0	-70,0	14,2	14,3	14,3	-1,7	77,8	-31,0	143,3	-
45,0	2,0	-1,5	-2,1	-1,9	-2,0	-1,7	-2,2	-0,9	0,6	-1,1
	4,0	-2,4	-1,8	-1,5	-1,6	-1,6	-3,8	-1,6	3,2	-2,4
	6,0	1,0	1,9	2,2	2,1	2,9	-4,7	-8,6	10,4	-0,9
	8,0	20,6	16,6	16,9	16,7	21,8	5,1	-12,0	46,3	9,3
	10,0	102,6	58,8	58,8	58,8	79,3	54,4	-10,7	142,6	26,2
90,0	2,0	-2,4	-2,6	-2,0	-2,2	-3,9	-2,2	-2,0	0,9	-0,9
	4,0	-3,9	-4,1	-3,0	-3,4	-5,7	-3,8	-3,2	1,8	-0,1
	6,0	-5,0	-4,3	-3,1	-3,5	-6,0	-5,4	-5,0	4,5	0,9
	8,0	-6,9	-3,7	-2,2	-2,7	-5,9	-8,4	-6,3	6,9	2,1
	10,0	-7,5	-1,5	0,1	-0,4	-4,3	-10,0	-6,4	9,9	4,6
135,0	2,0	-2,3	-3,1	-2,4	-2,6	-4,2	-0,9	-2,1	-1,4	0,3
	4,0	-4,2	-4,6	-3,3	-3,7	-5,9	-0,5	-1,1	1,9	1,3
	6,0	-5,2	-5,5	-4,0	-4,4	-5,8	-1,8	-3,4	5,7	4,7
	8,0	-6,4	-6,1	-4,2	-4,7	-6,4	-2,7	-7,1	7,2	7,1
	10,0	-7,6	-6,5	-4,4	-5,0	-6,9	-3,7	-5,4	7,9	8,7
180,0	2,0	-0,7	-2,7	-2,3	-2,4	-2,0	0,5	-1,2	-0,7	0,8
	4,0	-1,2	-3,8	-3,2	-3,4	-3,3	4,1	3,0	-3,9	0,6
	6,0	-1,5	-4,4	-3,6	-3,8	-3,4	3,6	-1,7	1,0	3,3
	8,0	-2,1	-4,7	-3,7	-3,9	-3,6	4,2	-1,7	3,6	6,7
	10,0	-2,6	-5,0	-3,8	-4,1	-3,9	4,3	-0,3	4,1	8,7
225,0	2,0	1,0	-1,9	-2,2	-2,1	-0,6	1,4	-0,6	-1,0	0,3
	4,0	1,8	-2,4	-2,8	-2,6	-0,2	2,6	-1,4	-0,2	1,5
	6,0	2,7	-2,5	-3,1	-2,8	-0,1	3,8	4,1	0,0	1,6
	8,0	3,9	-2,3	-3,0	-2,7	0,4	6,8	3,7	-4,7	1,0
	10,0	4,3	-2,4	-3,0	-2,8	0,2	13,3	8,3	-10,7	-1,8
270,0	2,0	1,7	-1,2	-2,0	-1,7	1,0	1,4	0,7	-1,9	-0,3
	4,0	3,1	-1,1	-2,5	-2,0	2,2	2,9	1,4	-2,8	-1,3
	6,0	3,9	-1,2	-2,8	-2,3	2,4	4,3	2,7	-5,7	-2,5
	8,0	5,5	-0,7	-2,6	-2,0	2,7	6,9	4,3	-8,0	-4,1
	10,0	6,5	-0,3	-2,5	-1,8	3,2	8,0	4,8	-11,0	-5,0
315,0	2,0	1,3	-0,8	-1,7	-1,4	0,9	0,0	0,5	-1,6	-2,5
	4,0	2,9	-0,8	-2,3	-1,7	0,9	0,8	-1,6	-3,1	-6,8
	6,0	4,2	-0,9	-2,6	-2,1	0,7	4,7	2,6	-4,1	-14,2
	8,0	4,9	-0,6	-2,6	-2,0	0,8	6,4	2,5	-0,8	-18,1
	10,0	4,7	-0,2	-2,5	-1,8	1,1	11,2	3,0	1,5	-24,1

Таблица Б7 – Категории устойчивости атмосферы в контрольных точках разных направлениях и скоростях на поверхности 850 гПа при дневном условии (15 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								
		1	2	3	4	5	6	7	8	АЭС
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0	2	B	F	F	F	F	B	A	A	B
	4	B	F	F	F	F	B	B	B	B
	6	C	F	F	F	E	C	C	B	C
	8	D	E	E	E	E	D	D	C	D
	10	D	E	E	E	E	D	D	C	D
45	2	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	4	B	F	F	F	F	B	A	A	B
	6	B	E	E	E	E	B	B	B	B
	8	B	E	E	E	E	C	B	B	C
	10	C	E	E	E	E	C	B	B	C
90	2	A	F	F	F	G	A	A	A	A
	4	A	F	F	F	G	A	A	A	A
	6	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	8	A	E	E	E	F	A	A	A	A
	10	A	E	E	E	F	A	A	A	A
135	2	A	F	F	F	G	A	A	A	A
	4	B	F	F	F	F	B	B	B	B
	6	C	F	F	F	F	C	B	B	C
	8	C	E	E	E	E	C	B	B	C
	10	D	E	E	E	E	D	C	C	D
180	2	B	F	F	F	F	B	A	A	B
	4	B	F	F	F	F	B	A	A	B
	6	C	F	F	F	E	C	B	B	C
	8	C	E	E	E	E	C	B	B	C
	10	D	E	E	E	E	D	D	C	D
225	2	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	4	D	F	F	F	F	D	D	D	D
	6	B	F	F	F	E	B	B	A	B
	8	B	E	E	E	E	B	B	B	B
	10	C	E	E	E	E	C	B	B	C
270	2	A	F	F	F	G	A	A	A	A
	4	A	F	F	F	G	A	A	A	A
	6	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	8	A	E	E	E	F	A	A	A	A
	10	A	E	E	E	F	A	A	A	A
315	2	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	4	D	F	F	F	F	D	D	D	D
	6	C	F	F	F	F	C	B	B	C
	8	C	E	E	E	E	C	C	B	C
	10	D	E	E	E	E	D	C	C	D

Таблица Б8 – Категории устойчивости атмосферы в контрольных точках разных направлениях и скоростях на поверхности 850 гПа при ночном условии (3 часа).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								ЭАС
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0	2	F	F	F	F	F	F	D	D	F
	4	E	F	F	F	E	E	E	E	E
	6	D	E	E	E	E	D	E	E	D
	8	D	D	D	D	D	D	E	E	D
	10	D	B	B	B	D	D	D	D	D
45	2	D	F	F	F	F	D	D	D	D
	4	D	E	E	E	F	D	D	D	D
	6	E	D	D	D	E	E	F	D	E
	8	E	B	B	B	C	E	E	D	E
	10	D	A	A	A	B	D	F	E	D
90	2	D	F	F	F	G	D	D	D	D
	4	F	F	F	F	F	F	D	D	F
	6	F	E	E	E	F	F	D	D	F
	8	D	E	E	E	F	D	D	F	D
	10	E	D	D	D	F	E	D	E	E
135	2	F	F	F	F	F	F	D	D	D
	4	E	F	F	F	E	E	E	E	E
	6	D	F	F	F	E	D	F	F	D
	8	D	E	E	E	E	D	E	E	D
	10	D	E	E	E	E	D	E	E	D
180	2	F	F	F	F	F	F	D	D	F
	4	E	F	F	F	E	E	E	F	E
	6	D	F	F	F	E	D	F	E	D
	8	D	E	E	E	E	D	E	E	D
	10	D	E	E	E	E	D	E	E	D
225	2	D	F	F	F	F	D	D	D	D
	4	D	F	F	F	F	D	D	D	D
	6	F	F	F	F	E	F	D	D	D
	8	E	E	E	E	E	E	E	D	E
	10	D	E	E	E	E	D	F	F	D
270	2	D	F	F	F	G	D	D	D	D
	4	F	F	F	F	F	F	D	D	F
	6	F	F	F	F	F	F	D	D	F
	8	E	E	E	E	F	D	D	F	E
	10	D	E	E	E	F	E	D	E	E
315	2	E	F	F	F	F	D	D	D	D
	4	E	F	F	F	E	E	E	E	E
	6	D	E	E	E	E	D	E	E	D
	8	D	E	E	E	E	D	E	E	D
	10	D	E	E	E	E	D	E	E	D

Приложения В

Характеристики, полученные при расчетах с учетом влияния рельефа и бриза в контрольных точках, ветер на высоте 1500м (2, 4, 6, 8, 10 м/с) с разными направлениями. Расчет проведен в летний период (июль).

Таблица В1 – Направление ветра на уровне флюгера при дневном условии (15 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								ЭАС
Направление, градус (°)	Скорость, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	2	0	324	324	324	344	0	359	359	0
	4	360	324	324	324	346	360	359	360	0
	6	360	320	320	320	347	360	359	360	0
	8	360	324	324	324	348	360	359	360	360
	10	359	330	329	329	348	359	359	360	358
45	2	360	11	11	11	10	0	359	360	360
	4	360	11	11	11	7	0	359	360	0
	6	0	16	16	16	9	0	359	0	0
	8	0	16	16	16	10	360	359	0	0
	10	360	7	7	7	4	0	359	360	0
90	2	180	54	54	54	52	180	178	178	180
	4	180	54	54	54	61	180	178	178	180
	6	180	49	50	50	62	180	178	178	180
	8	180	53	53	53	72	180	178	178	180
	10	180	59	59	59	89	180	178	179	180
135	2	180	101	101	101	145	180	179	179	180
	4	180	101	101	101	147	180	179	179	180
	6	180	106	106	106	152	180	179	179	180
	8	180	107	106	106	152	180	179	180	180
	10	180	97	97	97	150	180	179	179	180
180	2	180	144	144	144	164	180	179	180	180
	4	180	144	144	144	166	180	179	180	180
	6	180	140	140	140	166	180	179	180	180
	8	180	144	144	144	167	180	179	180	180
	10	180	150	149	149	169	180	179	180	180
225	2	180	191	191	191	189	180	179	180	180
	4	180	191	191	191	186	180	179	180	180
	6	180	196	196	196	188	180	179	181	180
	8	180	196	196	196	188	180	179	181	180
	10	180	187	187	187	183	180	179	180	180
270	2	360	234	234	234	233	360	358	357	360
	4	360	234	234	234	244	360	358	358	360
	6	360	229	230	230	247	360	358	358	360
	8	360	233	233	233	260	360	358	358	360
	10	360	239	239	239	281	360	358	359	360
315	2	0	281	281	281	328	0	359	359	0
	4	360	281	281	281	330	360	359	359	0
	6	360	286	286	286	335	360	359	359	360
	8	360	287	286	287	335	360	359	359	360
	10	360	277	277	277	334	360	359	359	360

Таблица В2 – Направление ветра на уровне флюгера при ночном условии (3 часа).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								ЭАС
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0	2	360	333	333	333	351	360	359	360	0
	4	359	328	327	327	350	359	359	360	360
	6	360	326	326	326	351	359	359	360	360
	8	360	324	323	323	351	360	359	359	360
	10	360	322	322	322	351	360	359	359	359
45	2	0	17	18	18	10	0	360	2	0
	4	0	12	12	12	6	0	359	1	0
	6	0	10	10	10	5	360	360	0	1
	8	0	8	8	8	5	0	360	360	0
	10	1	7	7	7	6	1	360	359	0
90	2	180	62	63	62	121	180	179	179	180
	4	180	57	57	57	118	180	179	179	180
	6	180	55	55	55	113	180	179	179	179
	8	179	52	53	53	103	180	178	179	179
	10	179	51	52	51	95	179	178	179	179
135	2	180	108	108	108	159	180	179	179	180
	4	179	102	102	102	158	179	179	179	179
	6	179	100	100	100	160	179	179	179	179
	8	179	98	98	98	159	179	179	179	179
	10	179	97	97	97	158	179	179	179	179
180	2	180	153	153	153	171	180	179	180	180
	4	179	147	147	147	170	179	179	180	180
	6	179	145	145	145	171	179	179	180	180
	8	179	143	143	143	170	179	179	180	180
	10	179	142	142	142	170	179	179	180	180
225	2	180	197	198	198	191	180	180	181	180
	4	180	192	192	192	186	180	180	181	180
	6	180	190	190	190	185	180	180	180	181
	8	180	188	188	188	184	180	180	180	181
	10	180	186	187	186	183	180	180	180	180
270	2	360	242	243	242	300	360	359	359	360
	4	360	237	237	237	300	360	359	359	360
	6	360	234	235	235	299	359	359	359	360
	8	359	232	233	233	290	359	358	359	360
	10	359	231	231	231	282	359	358	359	359
315	2	360	288	288	288	339	360	359	359	360
	4	359	282	282	282	339	359	359	359	359
	6	359	280	280	280	341	359	359	359	359
	8	359	278	278	278	340	359	359	359	359
	10	359	277	277	277	339	359	359	359	359

Таблица В3 – Горизонтальная скорость ветра (м/с) на уровне флюгера при
дневном условии (15 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								
		1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	ЭАС
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0,00	2,00	1,59	0,48	0,48	0,48	0,61	1,59	0,98	0,77	1,59
	4,00	3,12	1,34	1,34	1,34	1,75	3,12	1,89	1,52	3,11
	6,00	4,96	2,30	2,31	2,30	3,09	4,95	2,93	2,38	4,94
	8,00	6,59	3,54	3,54	3,54	4,31	6,59	4,06	3,26	6,38
	10,00	7,38	4,82	4,85	4,82	3,50	7,71	4,51	4,08	6,50
45,00	2,00	1,05	0,66	0,66	0,66	0,66	1,05	0,66	0,46	1,05
	4,00	2,08	1,84	1,85	1,85	1,75	2,09	1,30	0,92	2,08
	6,00	2,62	3,03	3,03	3,03	2,56	2,61	1,62	1,10	2,62
	8,00	3,33	4,03	4,05	4,04	3,59	3,35	2,04	1,39	3,35
	10,00	3,86	3,47	3,48	3,48	3,42	3,90	2,40	1,68	3,85
90,00	2,00	0,22	0,48	0,48	0,48	0,28	0,22	0,13	0,16	0,22
	4,00	0,60	1,33	1,34	1,34	0,54	0,60	0,37	0,40	0,60
	6,00	1,08	2,29	2,30	2,30	0,83	1,08	0,66	0,71	1,07
	8,00	1,79	3,49	3,51	3,51	1,30	1,79	1,09	1,14	1,78
	10,00	3,14	4,58	4,63	4,62	1,90	3,14	1,87	1,87	3,13
135,00	2,00	1,71	0,66	0,66	0,66	0,59	1,71	1,07	0,88	1,71
	4,00	3,20	1,83	1,84	1,83	1,54	3,20	1,94	1,67	3,20
	6,00	5,32	2,96	2,98	2,98	2,91	5,32	3,18	2,74	5,39
	8,00	6,61	3,85	3,89	3,88	3,88	6,60	4,07	3,40	6,57
	10,00	6,30	3,31	3,35	3,34	3,32	6,30	3,87	3,27	6,39
180,00	2,00	1,59	0,48	0,48	0,48	0,60	1,59	1,01	0,78	1,59
	4,00	3,12	1,34	1,34	1,34	1,72	3,12	1,90	1,53	3,11
	6,00	4,88	2,29	2,30	2,29	3,06	4,95	2,96	2,40	4,94
	8,00	6,61	3,49	3,49	3,49	4,54	6,60	4,17	3,28	6,67
	10,00	8,02	4,57	4,58	4,58	5,83	7,98	5,04	4,13	7,98
225,00	2,00	1,05	0,66	0,66	0,66	0,66	1,05	0,68	0,46	1,05
	4,00	2,08	1,84	1,84	1,84	1,75	2,09	1,33	0,93	2,08
	6,00	2,62	2,98	2,98	2,98	2,54	2,61	1,65	1,11	2,62
	8,00	3,33	3,89	3,89	3,89	3,35	3,35	2,07	1,42	3,35
	10,00	3,86	3,35	3,35	3,35	3,37	3,90	2,41	1,71	3,85
270,00	2,00	0,22	0,48	0,48	0,48	0,26	0,22	0,13	0,16	0,22
	4,00	0,60	1,33	1,34	1,34	0,48	0,60	0,36	0,40	0,60
	6,00	1,08	2,28	2,29	2,29	0,71	1,08	0,65	0,71	1,07
	8,00	1,79	3,46	3,49	3,48	1,08	1,80	1,07	1,14	1,79
	10,00	3,14	4,52	4,57	4,56	1,65	3,14	1,87	1,87	3,13
315,00	2,00	1,71	0,66	0,66	0,66	0,61	1,71	1,05	0,87	1,71
	4,00	3,20	1,82	1,84	1,83	1,61	3,20	1,93	1,66	3,21
	6,00	5,32	2,96	2,99	2,98	3,00	5,32	3,30	2,72	5,39
	8,00	6,61	3,85	3,90	3,88	3,91	6,60	4,00	3,40	6,56
	10,00	6,30	3,30	3,35	3,34	3,44	6,30	3,81	3,27	6,25

Таблица В4 – Горизонтальная скорость ветра (м/с) на уровне флюгера при
ночном условии (3 часа).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								ЭАС
		1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0,00	2,00	1,14	0,70	0,70	0,70	1,02	1,14	0,86	0,69	1,14
	4,00	1,65	0,93	0,93	0,93	1,92	1,62	1,32	1,05	1,54
	6,00	4,41	1,10	1,11	1,11	2,69	4,35	0,90	0,79	4,20
	8,00	5,90	1,37	1,38	1,38	3,27	5,80	0,87	0,93	5,57
	10,00	7,04	1,61	1,61	1,61	3,72	7,34	2,11	1,74	6,77
45,00	2,00	0,53	0,70	0,70	0,70	0,61	0,53	0,26	0,13	0,52
	4,00	1,51	0,90	0,90	0,90	1,23	1,54	0,76	0,45	1,54
	6,00	1,41	1,06	1,06	1,06	1,72	1,40	1,18	0,72	1,34
	8,00	1,34	1,28	1,28	1,28	2,35	1,29	1,27	0,90	1,18
	10,00	2,43	1,46	1,46	1,46	2,98	2,40	0,73	0,82	2,39
90,00	2,00	1,05	0,71	0,72	0,72	0,36	1,05	0,48	0,51	1,05
	4,00	1,66	1,12	1,13	1,13	0,57	1,66	0,76	0,90	1,65
	6,00	1,52	1,19	1,21	1,20	0,73	1,52	0,98	1,25	1,23
	8,00	1,53	1,43	1,46	1,45	0,83	1,54	1,04	0,97	1,34
	10,00	1,35	1,69	1,71	1,71	1,02	1,57	1,09	1,13	1,38
135,00	2,00	1,34	0,72	0,73	0,73	1,00	1,37	0,94	0,85	1,37
	4,00	1,68	1,12	1,13	1,13	1,69	1,64	1,30	1,27	1,57
	6,00	4,27	1,44	1,46	1,45	2,38	4,24	1,34	1,74	4,10
	8,00	5,38	1,66	1,68	1,68	2,82	5,39	0,87	0,92	5,20
	10,00	6,35	1,95	1,98	1,98	3,20	6,35	1,08	1,58	6,15
180,00	2,00	1,11	0,73	0,74	0,74	1,11	1,14	0,85	0,45	1,14
	4,00	1,64	1,13	1,14	1,14	2,02	1,59	1,31	1,03	1,53
	6,00	4,40	1,55	1,56	1,56	2,87	4,34	0,86	0,77	4,16
	8,00	5,90	1,80	1,81	1,81	3,54	5,86	0,88	0,90	5,69
	10,00	7,23	2,06	2,07	2,07	4,14	7,18	1,95	1,59	6,97
225,00	2,00	0,53	0,74	0,74	0,74	0,65	0,53	0,26	0,13	0,52
	4,00	1,51	1,14	1,14	1,14	1,33	1,54	0,75	0,45	1,54
	6,00	1,40	1,56	1,56	1,56	1,87	1,39	1,18	0,74	1,34
	8,00	1,30	1,82	1,82	1,82	2,35	1,23	1,25	1,01	1,16
	10,00	2,57	2,08	2,08	2,08	2,92	2,49	1,11	1,27	2,37
270,00	2,00	1,05	0,73	0,73	0,73	0,38	1,05	0,49	0,51	1,05
	4,00	1,66	1,13	1,14	1,13	0,58	1,66	0,76	0,91	1,66
	6,00	1,52	1,46	1,47	1,46	0,75	1,42	1,00	0,81	1,52
	8,00	1,54	1,70	1,72	1,71	0,83	1,28	1,05	1,00	1,67
	10,00	1,33	1,96	1,99	1,98	1,00	1,57	1,10	1,16	1,36
315,00	2,00	1,34	0,72	0,73	0,73	0,94	1,37	0,96	0,85	1,37
	4,00	1,69	1,12	1,13	1,13	1,73	1,67	1,31	1,29	1,59
	6,00	4,28	1,43	1,45	1,44	2,35	4,25	1,38	1,72	4,11
	8,00	5,39	1,65	1,68	1,67	2,81	5,37	0,86	0,96	5,21
	10,00	6,36	1,91	1,94	1,94	3,22	6,33	1,42	1,68	6,15

Таблица В5 – Вертикальная скорость ветра (см/с) на высоте 100 м, относительно подстилающей поверхности при дневном условии (15 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								ЭАС
		1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0,0	2,0	0,8	0,4	0,1	0,2	-0,3	0,7	1,7	-0,9	-0,5
	4,0	1,5	1,2	0,3	0,6	1,4	0,7	1,5	-3,2	-3,6
	6,0	0,0	2,6	0,7	1,3	-0,1	0,0	0,5	-4,8	-12,1
	8,0	-27,4	4,5	1,9	2,9	-20,7	-11,5	-12,0	-2,1	-61,7
	10,0	-327,2	10,5	8,5	9,5	-150,9	-134,8	-142,4	32,0	521,8
45,0	2,0	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,3	-0,8	1,1	0,2	-0,5
	4,0	-1,2	0,0	0,3	0,2	-1,3	-1,9	1,2	-0,8	-3,0
	6,0	-2,0	0,6	1,1	0,9	-1,8	-3,5	-0,3	0,0	-6,2
	8,0	3,4	3,0	4,3	3,8	15,6	-3,3	-5,6	5,6	-11,9
	10,0	-3,1	2,2	2,7	2,4	4,8	-4,7	-6,8	4,5	-21,3
90,0	2,0	-1,1	-0,4	-0,1	-0,2	-0,2	-0,8	0,6	0,6	-0,4
	4,0	-3,3	-1,2	-0,1	-0,5	-4,4	-2,2	0,6	1,6	-1,8
	6,0	-4,5	-1,8	-0,2	-0,8	-5,6	-3,4	0,5	3,7	-2,0
	8,0	-6,6	-3,0	-0,1	-1,2	-6,6	-5,1	0,6	6,3	-2,6
	10,0	-9,4	-4,1	-0,3	-1,6	-6,7	-7,0	1,4	9,3	-1,8
135,0	2,0	-1,6	-0,7	-0,2	-0,4	-1,8	-0,9	0,3	3,5	0,2
	4,0	-4,2	-2,2	-0,4	-1,1	-5,9	-2,0	1,1	6,4	0,7
	6,0	-6,5	-3,8	-0,7	-1,9	-7,6	-2,8	-2,1	10,4	3,2
	8,0	-8,6	-5,0	-1,0	-2,5	-8,7	-3,3	-3,3	12,8	4,4
	10,0	-7,8	-4,4	-0,9	-2,2	-7,7	-3,2	-2,7	12,5	4,6
180,0	2,0	-0,4	-0,4	-0,1	-0,2	0,5	-0,2	0,3	2,6	1,1
	4,0	-1,3	-1,1	-0,2	-0,5	-1,8	-0,2	0,2	5,1	2,8
	6,0	-2,6	-2,0	-0,5	-1,0	-4,0	-0,2	-0,7	7,9	5,3
	8,0	-3,6	-2,7	-0,6	-1,4	-4,6	0,4	-3,8	11,8	8,4
	10,0	-4,4	-3,3	-0,9	-1,7	-4,4	0,6	-4,8	14,4	11,0
225,0	2,0	0,6	0,1	0,0	0,0	-0,4	1,5	0,3	1,3	0,9
	4,0	1,8	0,3	0,0	0,1	0,6	3,2	0,3	3,0	3,0
	6,0	3,8	0,9	0,1	0,4	4,7	4,1	0,3	3,6	5,7
	8,0	5,0	1,3	0,1	0,7	6,4	5,4	0,2	4,6	8,1
	10,0	3,4	0,4	-0,1	0,2	3,4	4,3	0,4	5,4	6,8
270,0	2,0	1,6	0,5	0,1	0,2	0,4	1,7	0,6	-0,1	1,1
	4,0	3,8	1,4	0,2	0,7	4,7	3,1	0,7	-1,4	2,7
	6,0	5,2	2,2	0,4	1,1	7,0	4,3	0,8	-2,9	3,3
	8,0	7,5	3,8	0,7	1,9	9,1	6,0	1,0	-5,1	4,2
	10,0	10,3	5,4	1,1	2,8	10,6	7,9	1,4	-8,3	3,7
315,0	2,0	2,1	0,8	0,2	0,4	2,0	1,9	1,4	-2,2	0,4
	4,0	4,4	2,5	0,5	1,2	5,2	3,1	1,9	-4,9	-1,2
	6,0	5,0	4,7	0,9	2,3	4,6	3,9	1,6	-7,7	-8,6
	8,0	2,7	6,1	1,2	3,1	1,0	3,5	0,0	-9,1	-17,0
	10,0	5,4	5,1	1,0	2,5	3,9	4,4	1,5	-9,4	-12,9

Таблица В6 – Вертикальная скорость ветра (см/с) на высоте 100 м, относительно подстилающей поверхности при ночном условии (3 часа).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								
		1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	ЭАС
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0,0	2,0	0,1	1,1	0,8	0,9	0,2	-0,7	-0,4	-0,3	-2,3
	4,0	1,5	1,3	0,7	0,9	-0,7	-4,4	-6,0	7,5	-3,3
	6,0	-0,1	0,9	0,2	0,5	-6,7	1,7	-1,5	15,6	-19,0
	8,0	-17,7	-1,8	-2,4	-2,2	-20,3	27,8	-4,7	51,3	-76,3
	10,0	-98,6	-8,1	-8,2	-8,1	-56,9	100,4	-29,7	164,8	-264,8
45,0	2,0	-1,3	0,4	0,6	0,5	-0,6	-2,4	-1,0	0,8	-0,6
	4,0	-2,0	-0,3	0,0	-0,1	-1,7	-3,8	-1,2	3,3	-1,7
	6,0	0,0	-1,9	-1,6	-1,7	-1,0	-3,6	-7,9	9,8	-2,3
	8,0	15,1	-9,8	-9,6	-9,7	4,3	7,9	-10,2	48,9	1,0
	10,0	80,3	-33,6	-33,9	-34,0	18,4	65,7	-4,9	156,0	5,0
90,0	2,0	-2,3	-0,2	0,6	0,3	-2,3	-2,3	-2,0	1,4	-0,6
	4,0	-3,5	-0,4	0,9	0,4	-2,7	-3,8	-3,8	2,1	0,4
	6,0	-5,2	-0,4	1,0	0,6	-3,0	-6,3	-5,4	4,3	1,8
	8,0	-6,8	-1,2	0,4	-0,1	-2,8	-8,5	-6,2	6,7	3,3
	10,0	-6,9	-2,7	-1,0	-1,5	-2,2	-10,6	-6,7	9,6	5,7
135,0	2,0	-2,0	-0,4	0,7	0,3	-1,6	-0,8	-2,2	0,8	0,5
	4,0	-4,0	-0,4	1,0	0,5	-2,8	-0,1	-2,0	1,5	1,5
	6,0	-5,2	-0,5	1,2	0,6	-2,5	-1,3	-3,3	5,4	4,3
	8,0	-6,2	-0,8	1,1	0,5	-2,7	-2,5	-5,5	7,2	7,3
	10,0	-7,4	-1,2	1,1	0,3	-3,1	-3,6	-5,8	7,9	9,2
180,0	2,0	-0,7	0,4	0,8	0,6	0,5	0,2	-2,1	-0,6	0,9
	4,0	-1,4	0,5	1,2	0,9	-0,6	4,0	2,5	-3,3	0,6
	6,0	-1,5	0,3	1,3	0,9	-0,4	4,3	-1,5	-0,1	1,7
	8,0	-2,0	0,1	1,2	0,9	-0,4	4,2	-2,0	3,4	6,3
	10,0	-2,6	-0,4	1,0	0,5	-0,7	4,4	-1,1	3,9	8,7
225,0	2,0	0,9	1,2	1,0	1,1	1,6	1,3	-0,5	-1,6	0,1
	4,0	1,7	1,8	1,5	1,6	2,4	3,0	-0,6	-3,0	1,0
	6,0	2,8	2,1	1,7	1,8	2,7	4,7	3,7	-2,2	1,4
	8,0	2,8	2,3	1,8	2,0	2,1	8,4	6,1	-5,7	0,7
	10,0	3,8	2,1	1,6	1,7	2,7	12,6	7,8	-11,5	-1,4
270,0	2,0	1,9	1,9	1,1	1,4	3,3	1,4	0,7	-2,0	0,0
	4,0	3,0	3,1	1,8	2,2	4,4	2,9	2,0	-3,0	-1,0
	6,0	4,4	3,7	2,2	2,6	4,9	4,9	3,8	-5,6	-2,9
	8,0	5,9	4,2	2,4	2,9	5,5	6,9	4,7	-8,1	-4,4
	10,0	6,6	4,4	2,3	2,9	5,9	8,8	5,2	-10,3	-5,2
315,0	2,0	1,5	2,0	1,1	1,4	2,2	-0,2	0,3	-1,5	-1,7
	4,0	3,5	3,2	1,8	2,3	2,0	-0,9	-1,0	-0,8	-4,7
	6,0	4,5	3,8	2,1	2,7	0,6	2,5	-0,1	-2,1	-11,0
	8,0	4,6	4,5	2,5	3,1	-0,3	6,8	2,9	-0,4	-18,3
	10,0	4,0	5,0	2,6	3,3	-1,4	12,7	3,7	2,5	-25,4

Таблица В7 – Категории устойчивости атмосферы в контрольных точках разных направлениях и скоростях на поверхности 850 гПа при дневном условии (15 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								ЭАС
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0	2	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	4	B	E	E	E	E	B	B	A	B
	6	C	E	E	E	E	C	B	B	C
	8	D	D	D	D	E	D	C	B	D
	10	D	D	D	D	E	D	D	C	D
45	2	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	4	A	E	E	E	E	A	A	A	A
	6	B	E	E	E	E	B	A	A	B
	8	B	D	D	D	D	B	B	A	B
	10	B	D	D	D	D	B	B	B	B
90	2	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	4	A	E	E	E	F	A	A	A	A
	6	A	E	E	E	F	A	A	A	A
	8	A	E	D	D	E	A	A	A	A
	10	B	D	D	D	E	B	B	B	B
135	2	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	4	B	E	E	E	E	B	B	A	B
	6	C	E	E	E	E	C	B	B	C
	8	D	D	D	D	D	D	C	B	D
	10	C	E	E	E	E	C	C	B	C
180	2	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	4	B	E	E	E	E	B	B	A	B
	6	C	E	E	E	E	C	B	B	C
	8	D	E	E	E	D	D	C	B	D
	10	D	D	D	D	D	D	D	C	D
225	2	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	4	A	E	E	E	E	A	A	A	A
	6	B	E	E	E	E	B	A	A	B
	8	B	D	D	D	E	B	B	A	B
	10	B	E	E	E	E	B	B	B	B
270	2	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	4	A	E	E	E	F	A	A	A	A
	6	A	E	E	E	F	A	A	A	A
	8	A	E	E	E	E	A	A	A	A
	10	B	D	D	D	E	B	B	B	B
315	2	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	4	B	E	E	E	E	B	B	B	B
	6	C	E	E	E	E	C	C	B	C
	8	D	D	D	D	E	D	C	C	D
	10	C	E	E	E	E	C	C	B	C

Приложения Г

Характеристики, полученные при расчетах с учетом влияния рельефа и бриза в контрольных точках, ветер на высоте 1500м (2, 4, 6, 8, 10 м/с) с разными направлениями. Расчет проведен в осенний период (ноябрь).

Таблица Г1 – Направление ветра на уровне флюгера при дневном условии (15 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								ЭАС
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0	2	0	321	321	321	344	0	359	359	0
	4	360	319	318	318	346	360	359	360	0
	6	360	317	317	317	347	360	359	360	0
	8	360	316	316	316	346	360	359	360	360
	10	359	316	316	316	346	360	359	360	359
45	2	360	14	14	14	11	0	359	360	360
	4	360	11	11	11	7	0	359	0	360
	6	360	8	8	8	5	0	359	0	0
	8	0	6	6	6	4	0	359	360	360
	10	0	6	6	6	4	0	359	360	0
90	2	180	51	51	51	56	180	178	178	180
	4	180	48	48	48	57	180	178	178	180
	6	180	47	47	47	58	180	178	178	180
	8	180	46	46	46	56	180	178	178	180
	10	180	45	46	46	58	180	178	178	180
135	2	180	104	104	104	148	180	179	179	180
	4	180	102	102	102	150	180	179	180	180
	6	180	99	98	99	150	180	179	180	180
	8	180	96	96	96	150	180	179	180	180
	10	180	96	95	95	150	180	179	180	180
180	2	180	141	141	141	164	180	179	180	180
	4	180	138	138	138	166	180	179	180	180
	6	180	137	137	137	166	180	179	180	180
	8	180	136	136	136	166	180	179	180	180
	10	180	136	136	136	166	180	179	180	180
225	2	180	194	194	194	190	180	179	180	180
	4	180	191	191	191	187	180	179	180	180
	6	180	188	188	188	185	180	179	180	180
	8	180	186	186	186	183	180	179	180	180
	10	180	185	185	185	182	180	179	180	180
270	2	360	231	231	231	238	0	358	358	360
	4	360	228	228	228	241	360	358	358	360
	6	360	227	227	227	242	360	358	358	360
	8	360	226	226	226	241	360	358	358	360
	10	360	225	226	225	244	360	358	358	360
315	2	0	284	284	284	331	0	359	359	0
	4	360	282	282	282	333	0	359	359	0
	6	360	279	279	279	334	360	359	359	360
	8	360	276	276	276	334	360	359	359	360
	10	360	276	275	275	334	360	359	359	360

Таблица Г2 – Направление ветра на уровне флюгера при ночном условии (3 часа).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								
		1	2	3	4	5	6	7	8	АЭС
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0	2	360	331	330	330	351	360	359	360	0
	4	359	326	326	326	351	359	359	360	360
	6	360	325	324	324	351	360	359	360	360
	8	360	323	323	323	350	360	359	359	360
	10	360	321	321	321	350	360	359	359	359
45	2	360	15	15	15	7	0	359	1	0
	4	0	10	11	10	4	0	359	0	0
	6	0	9	9	9	4	360	360	0	0
	8	1	7	8	7	5	0	360	360	1
	10	1	6	6	6	7	1	360	359	0
90	2	180	59	60	60	137	180	179	179	180
	4	180	55	55	55	125	180	179	179	180
	6	179	53	54	54	118	180	179	179	180
	8	179	52	52	52	108	179	178	179	179
	10	179	50	51	51	98	180	178	179	179
135	2	180	105	105	105	163	180	179	180	180
	4	179	101	100	100	162	179	179	179	179
	6	179	99	99	99	161	179	179	179	180
	8	179	98	97	97	160	179	179	179	179
	10	179	96	96	96	158	179	179	179	179
180	2	180	150	150	150	172	180	179	180	180
	4	179	146	146	146	171	179	179	180	180
	6	179	145	144	144	171	179	179	180	180
	8	179	143	143	143	171	179	179	180	180
	10	179	141	141	141	170	179	179	179	180
225	2	180	194	195	194	189	180	179	181	180
	4	180	190	190	190	185	180	179	180	180
	6	180	189	189	189	184	180	180	181	181
	8	180	187	187	187	183	180	180	181	180
	10	180	185	186	186	182	180	180	181	180
270	2	360	239	240	239	313	360	358	359	360
	4	360	235	235	235	305	360	358	359	360
	6	359	233	234	234	300	360	358	359	360
	8	359	232	232	232	291	359	358	359	359
	10	359	230	231	230	282	359	358	359	359
315	2	360	285	285	285	341	360	359	360	360
	4	359	281	280	280	341	359	359	359	359
	6	359	279	279	279	341	359	359	359	359
	8	359	278	277	277	340	359	359	359	359
	10	359	276	276	276	339	359	359	359	359

Таблица ГЗ – Горизонтальная скорость ветра (м/с) на уровне флюгера при
дневном условии (15 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								ЭАС
		1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	
Направление , градус (°)	Скорость , м/с									
0,00	2,00	2,18	0,75	0,75	0,75	0,97	2,18	1,34	1,06	2,18
	4,00	4,03	1,58	1,58	1,58	2,32	4,02	2,46	1,97	4,02
	6,00	5,57	2,44	2,45	2,45	3,46	5,57	3,32	2,75	5,64
	8,00	6,71	3,16	3,16	3,16	4,24	6,71	4,12	3,35	6,64
	10,00	7,42	3,74	3,75	3,75	4,69	7,48	4,59	3,95	7,08
45,00	2,00	1,13	0,92	0,92	0,92	0,88	1,13	0,78	0,53	1,13
	4,00	2,27	2,06	2,07	2,06	1,92	2,27	1,53	1,07	2,27
	6,00	3,47	3,06	3,06	3,06	2,94	3,47	2,32	1,63	3,47
	8,00	4,56	3,92	3,92	3,92	3,93	4,56	2,96	2,14	4,55
	10,00	5,32	4,68	4,66	4,68	4,93	5,29	3,54	2,48	5,19
90,00	2,00	0,48	0,74	0,75	0,75	0,35	0,48	0,29	0,31	0,48
	4,00	0,77	1,57	1,58	1,58	0,60	0,77	0,47	0,52	0,77
	6,00	1,02	2,43	2,44	2,44	0,90	1,03	0,62	0,72	1,02
	8,00	1,22	3,14	3,16	3,15	1,17	1,23	0,74	0,87	1,22
	10,00	1,58	3,73	3,75	3,74	1,40	1,58	0,95	1,10	1,58
135,00	2,00	2,25	0,92	0,92	0,92	0,85	2,25	1,51	1,19	2,25
	4,00	4,22	2,04	2,06	2,05	1,98	4,23	2,73	2,24	4,23
	6,00	5,73	3,00	3,02	3,02	2,89	5,74	3,83	3,06	5,73
	8,00	7,00	3,79	3,82	3,81	3,64	6,99	4,57	3,82	6,98
	10,00	8,05	4,34	4,39	4,37	4,28	8,05	5,22	4,42	8,14
180,00	2,00	2,18	0,75	0,75	0,75	0,95	2,18	1,36	1,07	2,18
	4,00	4,03	1,57	1,58	1,58	2,27	4,02	2,47	1,98	4,02
	6,00	5,58	2,43	2,43	2,43	3,44	5,57	3,35	2,77	5,64
	8,00	6,73	3,12	3,13	3,13	4,33	6,72	4,22	3,36	6,79
	10,00	7,65	3,69	3,70	3,69	5,06	7,64	4,78	3,97	7,68
225,00	2,00	1,13	0,92	0,92	0,92	0,87	1,13	0,79	0,54	1,13
	4,00	2,27	2,06	2,06	2,06	1,92	2,27	1,56	1,08	2,27
	6,00	3,47	3,02	3,02	3,02	2,95	3,47	2,34	1,64	3,47
	8,00	4,56	3,82	3,82	3,82	3,86	4,55	2,99	2,18	4,55
	10,00	5,32	4,39	4,39	4,39	4,53	5,31	3,65	2,56	5,31
270,00	2,00	0,48	0,74	0,75	0,75	0,32	0,48	0,29	0,31	0,48
	4,00	0,77	1,57	1,58	1,58	0,53	0,77	0,46	0,52	0,77
	6,00	1,02	2,42	2,43	2,43	0,76	1,03	0,61	0,71	1,02
	8,00	1,22	3,11	3,13	3,12	0,96	1,23	0,73	0,86	1,22
	10,00	1,58	3,67	3,70	3,69	1,11	1,58	0,94	1,09	1,58
315,00	2,00	2,26	0,92	0,92	0,92	0,88	2,25	1,49	1,18	2,25
	4,00	4,22	2,04	2,06	2,05	2,08	4,23	2,72	2,23	4,23
	6,00	5,73	2,99	3,02	3,02	3,05	5,74	3,80	3,04	5,72
	8,00	6,90	3,78	3,82	3,81	3,81	6,99	4,51	3,81	6,97
	10,00	8,05	4,31	4,39	4,37	4,46	8,05	5,13	4,40	8,13

Таблица Г4 – Горизонтальная скорость ветра (м/с) на уровне флюгера при
ночном условии (3 часа).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								
		1	2	3	4	5	6	7	8	АЭС
Направление, градус (°)	Скорость , м/с									
0	2,00	1,30	0,56	0,56	0,56	1,09	1,27	0,89	0,71	1,26
	4,00	2,23	0,97	0,98	0,98	2,10	2,20	1,21	1,12	2,09
	6,00	4,51	1,01	1,01	1,01	2,87	4,48	0,87	1,51	4,33
	8,00	5,85	1,18	1,18	1,18	3,10	5,92	1,47	1,32	5,59
	10,00	6,96	1,36	1,36	1,36	3,35	7,27	3,18	2,58	6,70
45	2,00	0,61	0,56	0,56	0,56	0,59	0,61	0,31	0,16	0,61
	4,00	1,12	0,90	0,90	0,90	1,32	1,14	0,84	0,53	1,14
	6,00	1,09	0,90	0,90	0,90	1,87	0,85	0,87	0,76	0,92
	8,00	1,97	1,09	1,09	1,08	2,28	1,93	1,22	0,97	1,78
	10,00	3,53	1,27	1,27	1,27	2,39	3,51	1,18	0,99	3,22
90	2,00	0,97	0,56	0,57	0,56	0,37	0,97	0,45	0,48	0,98
	4,00	1,45	0,98	0,99	0,99	0,55	1,45	0,67	0,82	1,45
	6,00	1,11	1,25	1,26	1,26	0,73	1,29	0,87	1,16	1,36
	8,00	1,26	1,33	1,36	1,35	0,85	1,38	0,97	0,97	1,49
	10,00	1,59	1,46	1,49	1,48	0,96	1,71	1,00	1,09	1,58
135	2,00	1,33	0,56	0,58	0,57	0,98	1,43	0,93	0,86	1,43
	4,00	2,12	0,99	1,01	1,00	1,74	2,08	1,19	1,20	2,00
	6,00	4,22	1,37	1,39	1,39	2,42	4,19	0,82	0,89	4,08
	8,00	5,37	1,72	1,75	1,74	2,89	5,36	0,80	1,08	5,18
	10,00	6,26	2,03	2,06	2,06	3,24	6,25	1,67	1,71	6,01
180	2,00	1,26	0,59	0,59	0,59	1,08	1,27	0,86	0,71	1,26
	4,00	2,23	1,02	1,02	1,02	2,11	2,19	1,21	1,10	2,10
	6,00	4,52	1,41	1,41	1,41	2,97	4,46	0,75	0,88	4,24
	8,00	5,96	1,76	1,77	1,77	3,67	5,89	1,41	1,04	5,71
	10,00	7,24	2,07	2,08	2,08	4,26	7,20	3,23	1,87	6,99
225	2,00	0,61	0,59	0,59	0,59	0,62	0,61	0,30	0,16	0,61
	4,00	1,12	1,03	1,03	1,03	1,34	1,14	0,82	0,53	1,14
	6,00	0,84	1,42	1,42	1,42	1,91	1,06	0,85	0,78	1,02
	8,00	1,95	1,78	1,78	1,78	2,51	1,88	1,22	1,00	1,80
	10,00	3,55	2,09	2,09	2,09	3,08	3,47	0,66	0,98	3,34
270	2,00	0,97	0,57	0,58	0,58	0,39	0,97	0,46	0,48	0,98
	4,00	1,45	1,00	1,02	1,01	0,58	1,45	0,68	0,83	1,45
	6,00	1,11	1,39	1,41	1,40	0,76	1,33	0,89	0,77	1,36
	8,00	0,87	1,74	1,76	1,75	0,87	1,24	0,98	1,00	0,83
	10,00	1,59	2,05	2,08	2,07	0,96	1,59	1,01	1,11	1,58
315	2,00	1,33	0,56	0,57	0,57	1,00	1,33	0,95	0,87	1,43
	4,00	2,10	0,98	1,00	1,00	1,78	2,09	1,19	1,21	2,00
	6,00	4,22	1,36	1,38	1,38	2,47	4,20	0,85	1,55	4,08
	8,00	5,36	1,70	1,73	1,72	2,96	5,32	0,89	1,32	5,17
	10,00	6,26	2,00	2,04	2,03	3,33	6,27	1,81	1,84	6,00

Таблица Г5 – Вертикальная скорость ветра (см/с) на высоте 100 м, относительно подстилающей поверхности при дневном условии (15 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								
		1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	
Направление , градус (°)	Скорость , м/с									
0,0	2,0	1,1	0,7	0,2	0,3	0,8	0,7	2,0	-1,7	-1,5
	4,0	1,5	1,7	0,4	0,9	1,9	0,4	1,6	-3,9	-6,9
	6,0	-2,2	3,0	0,9	1,6	-2,3	-1,0	-0,2	-4,8	-18,1
	8,0	-17,3	4,4	1,5	2,4	-14,0	-7,4	-6,6	-3,2	-45,2
	10,0	-63,8	5,0	2,1	3,2	-37,8	-27,5	-28,7	2,8	-114,4
45,0	2,0	-0,6	-0,1	0,1	0,0	0,1	-0,7	2,0	-0,9	-0,8
	4,0	-1,4	0,2	0,4	0,3	-2,1	-1,4	3,2	-2,8	-3,5
	6,0	-2,1	1,4	1,7	1,6	-1,9	-2,2	0,9	-3,3	-9,6
	8,0	-4,3	3,8	4,3	4,0	7,6	-3,0	-6,0	0,9	-26,9
	10,0	-12,5	11,0	11,4	11,0	31,7	-4,6	-36,1	18,4	-81,0
90,0	2,0	-1,9	-0,6	-0,1	-0,3	-2,0	-1,4	0,3	0,9	-0,7
	4,0	-3,5	-1,2	-0,1	-0,5	-4,8	-2,7	0,2	1,9	-1,7
	6,0	-4,7	-1,8	0,0	-0,7	-5,4	-3,8	0,4	3,6	-2,0
	8,0	-5,4	-2,0	0,3	-0,5	-5,2	-4,7	0,3	4,3	-1,9
	10,0	-5,7	-1,8	0,6	-0,1	-4,2	-5,4	0,6	5,4	-1,1
135,0	2,0	-2,2	-1,0	-0,2	-0,5	-2,9	-1,3	0,0	5,0	0,2
	4,0	-4,6	-2,3	-0,5	-1,2	-6,1	-2,6	-0,6	9,5	2,3
	6,0	-6,4	-3,6	-0,7	-1,7	-7,6	-3,5	-2,8	13,1	3,6
	8,0	-8,2	-4,6	-0,9	-2,2	-8,5	-4,1	-3,7	15,7	4,7
	10,0	-9,8	-5,4	-1,2	-2,7	-9,3	-5,0	-5,4	18,7	6,3
180,0	2,0	-0,8	-0,6	-0,1	-0,3	-0,6	-0,3	0,5	3,3	1,9
	4,0	-2,0	-1,5	-0,3	-0,7	-3,5	0,0	-0,1	6,4	4,1
	6,0	-3,2	-2,2	-0,5	-1,1	-4,6	0,0	-2,4	9,2	6,4
	8,0	-4,3	-2,9	-0,7	-1,4	-5,3	0,1	-5,9	11,0	8,2
	10,0	-5,2	-3,5	-0,8	-1,7	-5,7	0,0	-4,3	12,0	9,7
225,0	2,0	1,0	0,2	0,0	0,1	-0,4	1,7	-0,5	2,3	1,4
	4,0	2,0	0,3	0,0	0,2	1,3	2,3	-0,9	4,6	3,4
	6,0	2,5	0,3	0,0	0,2	2,6	3,2	-1,5	7,0	5,6
	8,0	2,9	0,3	-0,1	0,1	3,2	3,5	-2,2	9,4	7,5
	10,0	3,1	0,3	-0,1	0,1	3,6	3,9	-3,8	11,1	9,1
270,0	2,0	2,3	0,7	0,1	0,4	2,1	2,2	0,7	-0,1	1,4
	4,0	4,0	1,5	0,3	0,7	5,5	3,5	1,0	-2,0	2,7
	6,0	5,4	2,3	0,4	1,2	7,1	4,5	1,1	-3,1	3,4
	8,0	6,5	3,0	0,5	1,5	8,2	5,5	0,9	-4,0	3,9
	10,0	7,4	3,5	0,6	1,7	9,0	6,3	1,1	-5,2	4,1
315,0	2,0	2,7	1,1	0,2	0,6	2,9	2,2	1,7	-3,7	-0,1
	4,0	4,5	2,7	0,5	1,3	5,1	3,7	2,7	-7,7	-3,9
	6,0	5,4	4,2	0,8	2,1	5,4	4,6	2,9	-10,5	-8,1
	8,0	5,6	5,5	1,1	2,7	4,5	5,5	3,0	-12,5	-12,9
	10,0	4,4	6,5	1,3	3,2	2,4	6,2	1,3	-14,4	-19,7

Таблица Г6 – Вертикальная скорость ветра (см/с) на высоте 100 м, относительно подстилающей поверхности при ночном условии (3 часа).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								АЭС
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Направление , градус (°)	Скорость , м/с									
0	2,0	0,2	6,0	5,8	5,9	1,5	-0,9	-0,8	0,0	-1,5
	4,0	0,7	6,0	5,5	5,7	-1,7	-3,8	-3,3	4,3	-4,9
	6,0	-5,8	2,9	2,1	2,4	-12,8	0,6	-2,1	11,3	-26,9
	8,0	-36,3	-6,1	-6,8	-6,6	-40,7	15, 0	-10,6	39,3	-86,1
	10,0	-134,5	-24,3	-24,6	-24,3	-106,2	47, 9	-31,5	113, 9	-263,5
45	2,0	-0,7	5,4	5,6	5,5	2,0	-2,0	-0,4	0,8	0,1
	4,0	-1,6	4,2	4,4	4,4	0,0	-4,0	-1,3	2,4	-1,3
	6,0	-1,4	-3,8	-3,6	-3,6	-4,6	-5,0	-9,2	11,3	-3,1
	8,0	5,9	-32,1	-31,9	-31,9	-18,1	2,0	-10,6	41,2	-7,9
	10,0	35,7	-116,3	-116,4	-116,3	-63,5	44, 5	-17,7	120, 2	-56,1
90	2,0	-1,5	5,1	5,7	5,5	2,6	-2,1	-1,7	0,7	0,4
	4,0	-2,7	5,3	6,3	5,9	2,4	-3,6	-2,8	2,3	1,0
	6,0	-4,1	4,6	5,9	5,5	2,3	-6,1	-4,0	4,9	3,1
	8,0	-5,1	2,3	3,9	3,4	2,1	-8,2	-5,9	8,1	4,9
	10,0	-5,4	-2,7	-1,1	-1,5	2,2	-8,7	-5,7	10,5	6,5
135	2,0	-1,6	4,9	5,6	5,4	2,9	-0,9	-2,0	-1,4	1,3
	4,0	-3,0	5,4	6,6	6,2	2,6	-0,3	-0,8	2,7	3,1
	6,0	-4,4	5,4	7,0	6,5	2,6	-2,2	-3,6	6,1	6,4
	8,0	-5,6	5,1	7,1	6,4	2,2	-2,9	-4,5	7,0	8,7
	10,0	-6,7	4,8	7,1	6,4	1,7	-3,8	-3,7	8,1	10,3
180	2,0	-0,5	5,4	5,7	5,5	3,9	0,5	-1,0	-0,1	1,2
	4,0	-0,9	5,8	6,4	6,2	3,9	3,4	2,6	-1,5	2,0
	6,0	-1,3	5,6	6,5	6,2	3,8	3,2	-1,5	2,1	4,4
	8,0	-1,8	5,2	6,4	6,0	3,6	4,0	-0,6	3,7	7,3
	10,0	-2,5	4,7	6,2	5,8	3,2	3,6	-3,3	4,7	9,3
225	2,0	0,9	5,9	5,8	5,8	3,9	1,3	-0,6	-1,2	0,3
	4,0	1,7	6,8	6,7	6,7	5,1	3,4	-0,3	-1,3	1,2
	6,0	2,6	7,1	6,8	6,9	5,5	6,1	5,3	-3,0	1,2
	8,0	3,6	7,2	6,8	6,8	5,8	10, 7	5,3	-10,0	-0,9
	10,0	4,3	7,1	6,6	6,7	6,3	10, 9	3,3	-8,5	0,0
270	2,0	1,9	6,5	6,0	6,2	4,0	1,5	-0,1	-1,3	0,2
	4,0	3,1	8,1	7,1	7,4	5,0	2,9	0,8	-2,0	-0,1
	6,0	4,4	8,9	7,5	7,9	5,8	5,0	1,3	-5,8	-2,5
	8,0	5,7	9,3	7,6	8,1	6,6	7,2	2,7	-9,1	-3,6
	10,0	6,3	9,6	7,6	8,2	7,4	7,8	4,0	-11,1	-4,3
315	2,0	1,7	6,7	6,1	6,3	2,7	0,0	-0,2	0,9	-1,5
	4,0	3,3	8,3	7,2	7,6	2,0	-0,3	-1,7	-2,0	-4,8
	6,0	3,8	9,3	7,8	8,3	0,1	3,1	1,8	-3,3	-12,2
	8,0	3,2	10,0	8,1	8,6	-1,6	5,8	1,8	-1,0	-19,0
	10,0	2,1	10,6	8,3	9,0	-3,3	9,8	1,7	0,3	-25,3

Таблица Г7 – Категории устойчивости атмосферы в контрольных точках разных направлениях и скоростях на поверхности 850 гПа при дневном условии (15 часов).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								ЭАС
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0	2	B	F	F	F	F	B	A	A	B
	4	B	E	E	E	E	B	B	B	B
	6	C	E	E	E	E	C	C	B	C
	8	D	E	E	E	E	D	D	C	D
	10	D	D	D	D	E	D	D	C	D
45	2	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	4	A	E	E	E	E	A	A	A	A
	6	B	E	E	E	E	B	A	A	B
	8	B	D	D	D	E	B	B	A	B
	10	B	D	D	D	D	B	B	A	C
90	2	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	4	A	E	E	E	F	A	A	A	A
	6	A	E	E	E	F	A	A	A	A
	8	A	E	E	E	E	A	A	A	A
	10	A	E	E	E	E	A	A	A	A
135	2	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	4	B	E	E	E	E	B	B	A	B
	6	C	E	E	E	E	C	B	B	C
	8	C	E	E	E	E	C	C	B	C
	10	D	D	D	D	E	D	C	C	D
180	2	B	F	F	F	F	B	A	A	B
	4	B	E	E	E	E	B	B	B	B
	6	C	E	E	E	E	C	B	B	C
	8	D	E	E	E	D	D	C	C	D
	10	D	E	E	E	D	D	D	C	D
225	2	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	4	A	E	E	E	E	A	A	A	A
	6	B	E	E	E	E	B	A	A	B
	8	B	E	E	E	E	B	B	A	B
	10	B	D	D	D	D	B	B	B	B
270	2	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	4	A	E	E	E	F	A	A	A	A
	6	A	E	E	E	F	A	A	A	A
	8	A	E	E	E	F	A	A	A	A
	10	A	E	E	E	E	A	A	A	A
315	2	A	F	F	F	F	A	A	A	A
	4	B	E	E	E	E	B	B	A	B
	6	C	E	E	E	E	C	B	B	C
	8	C	E	E	E	E	C	C	B	C
	10	D	D	D	D	E	D	C	C	D

Таблица Г8 – Категории устойчивости атмосферы в контрольных точках разных направлениях и скоростях на поверхности 850 гПа при ночном условии (3 часа).

Параметры ветра наверху		Контрольные точки								ЭАС
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Направление, градус (°)	Скорость, м/с									
0	2	F	A	A	A	A	F	D	D	F
	4	E	B	B	B	B	E	E	E	E
	6	D	E	E	E	D	D	E	E	D
	8	D	E	E	E	E	D	E	E	D
	10	D	F	F	F	E	D	D	D	D
45	2	D	A	A	A	A	D	D	D	D
	4	F	D	D	D	A	F	D	D	F
	6	F	F	F	F	B	F	F	D	F
	8	E	F	F	F	D	E	E	D	E
	10	D	F	F	F	E	D	E	E	D
90	2	D	A	A	A	A	D	D	D	D
	4	D	A	A	A	A	D	D	D	D
	6	D	D	D	D	A	F	D	D	F
	8	D	E	E	E	A	E	D	F	E
	10	E	E	E	E	A	E	D	E	E
135	2	F	A	A	A	A	E	D	D	E
	4	E	A	A	A	A	E	E	E	E
	6	D	A	A	A	B	D	F	E	D
	8	D	B	B	B	B	D	F	E	D
	10	D	B	B	B	B	D	E	E	D
180	2	F	A	A	A	A	F	D	D	F
	4	E	A	A	A	B	E	E	E	E
	6	D	A	A	A	B	D	F	E	D
	8	D	A	A	A	B	D	E	E	D
	10	D	B	B	B	C	D	D	E	D
225	2	D	A	A	A	A	D	D	D	D
	4	F	A	A	A	A	F	D	D	F
	6	F	A	A	A	A	F	F	D	F
	8	E	A	A	A	B	E	E	D	E
	10	D	B	B	B	B	D	F	F	D
270	2	D	A	A	A	A	D	D	D	D
	4	D	A	A	A	A	D	D	D	D
	6	D	A	A	A	A	F	D	F	F
	8	F	A	B	B	A	D	D	F	F
	10	E	B	B	B	A	E	D	E	E
315	2	F	A	A	A	A	F	D	D	E
	4	E	A	A	A	B	E	E	E	E
	6	D	B	B	B	B	D	E	E	D
	8	D	B	B	B	C	D	E	E	D
	10	D	B	B	B	C	D	D	D	D