

СТРОИТЕЛЬСТВО

И.В. Дуничкин, О.И. Поддаева, П.С. Чуринов

# ОЦЕНКА БИОКЛИМАТИЧЕСКОЙ КОМФОРТНОСТИ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Учебное пособие

ISBN 978-5-7264-1406-5

© Национальный исследовательский  
Московский государственный  
строительный университет, 2016

Москва 2016

УДК 69.001.5  
ББК 38.9  
Д83

*Рецензенты:*

доктор технических наук *И.С. Шукуров*,  
профессор кафедры архитектуры и градостроительства НИУ МГСУ;  
доктор физико-математических наук, профессор *А.А. Локтев*,  
заведующий кафедрой транспортного строительства МИИТ

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ  
в рамках государственного задания НИУ МГСУ № 2014/107,  
проект «Фундаментальные исследования ветровых воздействий (в том числе экстремальных)  
на уникальные здания и сооружения, а также мостовые конструкции».*

**Дуничкин, Илья Владимирович.**

Д83 Оценка биоклиматической комфортности городской застройки [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.В Дуничкин, О.И. Поддаева, П.С. Чурин ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. — Электрон. дан. и прогр. (3,38 Мб). — Москва : Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2016. — Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>. — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7264-1406-5 (сетевое)

ISBN 978-5-7264-1405-8 (локальное)

Рассмотрены вопросы расчетно-экспериментальных исследований ветрового воздействия на участки городской застройки. Представлена авторская инновационная методика уточненного моделирования ветрового воздействия на территории участков городской застройки, наиболее эффективно объединяющая преимущества численного моделирования с использованием современных сертифицированных программных пакетов с испытаниями макетов в специализированной аэродинамической трубе, созданная на основе зарубежного и отечественного опыта исследований в данном направлении и учитывающей особенности климатических зон территории РФ.

Для студентов магистратуры, обучающихся по направлениям подготовки 08.04.01 Строительство, 07.04.01 Архитектура и 07.04.04 Градостроительство.

*Учебное электронное издание*

© Национальный исследовательский  
Московский государственный  
строительный университет, 2016

Корректор *В.А. Киселева*  
Компьютерная верстка *О.В. Суховой*  
Дизайн первого титульного экрана *Д.Л. Разумного*

*Для создания электронного издания использовано:*  
Microsoft Word 2013, Adobe Reader

Подписано к использованию 25.11.2016 г. Объем данных 3,38 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет».  
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ–МГСУ.  
Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.  
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УЧАСТКИ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РОССИЙСКОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ, НОРМАТИВНОЙ, МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ, ЗАТРАГИВАЮЩЕЙ ПРОБЛЕМУ КОМПЛЕКСНОГО БЛАГОУСТРОЙСТВА ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ДИСКОМФОРТА МАЛЫМИ АРХИТЕКТУРНЫМИ ФОРМАМИ	6
1.1. Анализ нормативной базы и рекомендаций по биоклиматической комфортности	6
1.2. Оценка применения ранее действующих нормативов по биоклиматической комфортности	13
1.3. Аэрационный режим и архитектурно-строительная аэродинамика. Теоретическая основа нормативов и рекомендаций по биоклиматической комфортности	15
2. РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УЧАСТКИ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ	19
2.1. Цель, задачи и методы исследований	19
2.2. Алгоритм методики расчетно-экспериментального моделирования ветрового воздействия на участки городской застройки	25
3. ОБРАБОТКА МЕТЕОДААННЫХ С ЦЕЛЮ УТОЧНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ БИОКЛИМАТИЧЕСКОЙ КОМФОРТНОСТИ	31
3.1. Исходные данные	31
3.2. Анализ ветровых воздействий	33
3.3. Проверка статистической значимости связи между различными скоростями ветров и направлениями	33
3.4. Пример расчета	34
4. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ В ANSYS FLUENT 14.5	39
5. ТИПОВЫЕ ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО КОМПЛЕКСНОМУ БЛАГОУСТРОЙСТВУ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ДИСКОМФОРТА МАЛЫМИ АРХИТЕКТУРНЫМИ ФОРМАМИ	42
5.1. Классификация малых архитектурных форм и озеленения по влиянию на биоклиматическую комфортность	42
5.2. Описание проектных решений по комплексному благоустройству, применению малых архитектурных форм и озеленения	48
Библиографический список	54

## ВВЕДЕНИЕ

Учет ветрового воздействия на территории жилой застройки необходим для регулирования температурно-влажностного режима, загазованности и запыленности воздуха, обоснования плотности жилого фонда, эффективности использования территории города и др. В связи с этим при оценке проектных решений проектов планировки территории и проектов строительства застройки микрорайонов и кварталов, помимо вопросов, связанных с инсоляцией, необходимо учитывать распределение, скорость и направление ветровых потоков на территории застройки, что, в свою очередь, напрямую связано с пешеходной биоклиматической комфортностью и проблемой образования зон с низкими скоростями ветра, содержащих в воздухе повышенные концентрации вредных веществ в виде газов и химически-активной пыли.

Вопрос определения комфортности пешеходных зон не имеет однозначной трактовки ни в нормативных источниках, ни в технической литературе. Существуют различные критерии комфорта, большинство из них рассматривают только механическое воздействие ветра на человека. Единственным действующим нормативным документом в мире по оценке ветрового комфорта в условиях городской застройки является введенный в 2007 году национальный стандарт Нидерландов.

Актуальность работы определяется отсутствием в действующих на территории Российской Федерации нормативных документах рекомендаций, связанных с вопросами оценки ветрового воздействия на участки городской застройки, а также вопросами компенсации биоклиматического дискомфорта. Современные технологии позволяют рассматривать эти вопросы с высокой степенью достоверности и разрабатывать проектные решения по комплексному благоустройству для компенсации биоклиматического дискомфорта малыми архитектурными формами.

Новизна данной работы заключается в формировании инновационной методики уточненного моделирования ветрового воздействия на территории участков городской застройки, наиболее эффективно объединяющей преимущества численного моделирования с использованием современных сертифицированных программных пакетов с испытаниями макетов в специализированной аэродинамической трубе, созданной на основе зарубежного и отечественного опыта исследований в данном направлении и учитывающей особенности климатических зон территории РФ.

# 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УЧАСТКИ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РОССИЙСКОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ, НОРМАТИВНОЙ, МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ, ЗАТРАГИВАЮЩЕЙ ПРОБЛЕМУ КОМПЛЕКСНОГО БЛАГОУСТРОЙСТВА ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ДИСКОМФОРТА МАЛЫМИ АРХИТЕКТУРНЫМИ ФОРМАМИ

## 1.1. Анализ нормативной базы и рекомендаций по биоклиматической комфортности

Быстрый рост численности населения городов в наше время ставит перед архитекторами, проектировщиками и строителями ряд задач по увеличению площади застройки. Повышение эффективности использования городского пространства ведет за собой развитие высотных зданий и комплексов и увеличение плотности застройки (рис. 1.1). В связи с этим при оценке проектных решений проектов планировки территории и проектов строительства застройки микрорайонов и кварталов, помимо вопросов, связанных с инсоляцией, необходимо учитывать распределение, скорость, направление ветровых потоков на территории застройки, что, в свою очередь, напрямую связано с пешеходной биоклиматической комфортностью и проблемой образования зон с низкими скоростями ветра, содержащих в воздухе повышенные концентрации вредных веществ в виде газов и химически активной пыли.



Рис. 1.1. Плотная городская застройка

Учет аэрационного режима в жилой застройке необходим для регулирования температурно-влажностного режима, загазованности и запыленности воздуха, обоснования плотности жилого фонда, эффективности использования территории города и др. Для определения взаимосвязи аэрационного режима с объектами городской среды, физико-техническими факторами, формирующими климат на всех уровнях, необходимо представить схему их взаимодействия как основу качества жизненного пространства человека. Границами аэрационного режима при развитии городского жилья определен микроклимат урбанизированных городских территорий со сложившейся жилой застройкой по предложенной схеме уровней микроклимата (рис. 1.2).

Вопрос определения комфортности пешеходных зон не имеет однозначной трактовки ни в нормативных источниках, ни в технической литературе. Существуют раз-

личные критерии комфорта, большинство из них рассматривают только механическое воздействие ветра на человека (Isyumov&Davenport, 1975, Lawson, 1975, Melbourne, 1978 и др.). Между критериями, используемыми в разных странах и учреждениях, есть существенные различия, которые касаются порогового значения для переносимой и неприятной скорости ветра, периода усреднения скорости (рассматривается среднее значение или скорость порывов ветра), вероятности превышения порогового значения скорости, методов оценки комфортности на основании этих критериев.

В табл. 1.1 приведена традиционная шкала Бофорта, используемая в судовой навигации в модифицированной версии, применимой к районам суши, для высоты на уровне пешеходов. Эта таблица дает представление о механическом воздействии ветра при разных его скоростях на организм человека. Физиологические эффекты являются более сложными, так как они зависят от дополнительных факторов и их взаимодействий.

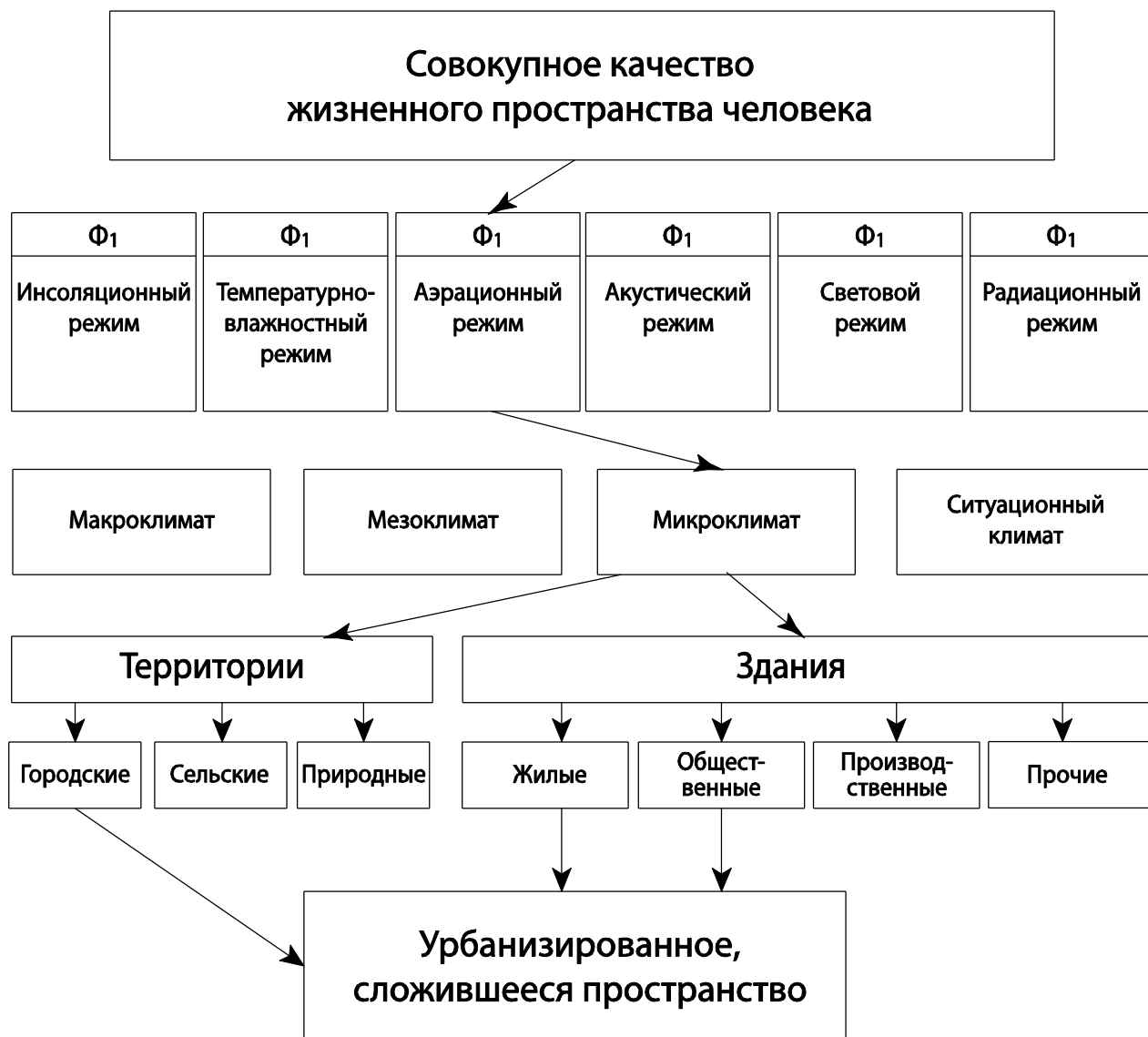


Рис. 1.2. Уровни микроклимата при исследовании качества среды

## Шкала Бофорта

Баллы Бофорта	Словесное определение силы ветра	Средняя скорость ветра, м/с	Средняя скорость ветра, км/ч	Действие ветра
0	Штиль	0—0,2	< 1	Безветрие. Дым поднимается вертикально, листья деревьев неподвижны
1	Тихий	0,3—1,5	1—5	Направление ветра заметно по отношению дыма, но не по флюгеру
2	Лёгкий	1,6—3,3	6—11	Движение ветра ощущается лицом, шелестят листья, приводится в движение флюгер
3	Слабый	3,4—5,4	12—19	Листья и тонкие ветви деревьев всё время колеблются, ветер развеивает лёгкие флаги
4	Умеренный	5,5—7,9	20—28	Ветер поднимает пыль и мусор, приводит в движение тонкие ветви деревьев
5	Свежий	8,0—10,7	29—38	Качаются тонкие стволы деревьев, движение ветра ощущается рукой
6	Сильный	10,8—13,8	39—49	Качаются толстые сучья деревьев, гудят телеграфные провода
7	Крепкий	13,9—17,1	50—61	Качаются стволы деревьев
8	Очень крепкий	17,2—20,7	62—74	Ветер ломает сучья деревьев, идти против ветра очень трудно
9	Шторм	20,8—24,4	75—88	Небольшие повреждения, ветер начинает разрушать крыши зданий
10	Сильный шторм	24,5—28,4	89—102	Значительные разрушения строений, ветер вырывает деревья с корнем
11	Жестокий шторм	28,5—32,6	103—117	Большие разрушения на значительном пространстве. Наблюдается очень редко.
12	Ураган	> 32,6	> 117	Огромные разрушения, серьезно повреждены здания, строения и дома, деревья вырваны с корнями, растительность уничтожена. Случай очень редкий

Эмпирическое правило для оценки комфортности было выведено также учеными А.Ф.Е. Вайсом (1970) и А.Д. Пендварденом (1973), оно основывается на следующих базовых значениях скорости ветра:

- $V = 5$  м/с — пороговое значение комфортной скорости;
- $V = 10$  м/с — безусловно некомфортное значение скорости;
- $V = 20$  м/с — опасная для человека скорость ветра.

Соответственно приемлемым условием для пребывания человека является скорость ветра, не превышающая значение 5 м/с на протяжении более чем 80 % времени в году. Данным критерием в настоящее время широко пользуются японские специалисты.

В то же время оценка пешеходной комфортности на основании оценки средней скорости ветра имеет очевидный недостаток, связанный с отсутствием учета порывов ветра. В 70-е годы прошлого века была выведена формула для вычисления эквивалентной (эффективной) скорости ветра, учитывающая этот показатель:

$$V^e = V \left[ 1 + k \left( v'^{2^{1/2}} / V \right) \right],$$

где  $V$  — средняя скорость,  $v'^{2^{1/2}}$  — среднее квадратическое значение продольной компоненты скорости;  $k$  — постоянная величина, характеризующая степень значимости воздействия пульсаций (у различных авторов значение колеблется от 1 до 3).



На рис. 3 приведена зависимость приемлемой скорости ветра от ее повторяемости в год с учетом различных видов деятельности человека, предложенная Ю.А. Изюмовым и Дж.Г. Дэвенпортом в 1975 году.

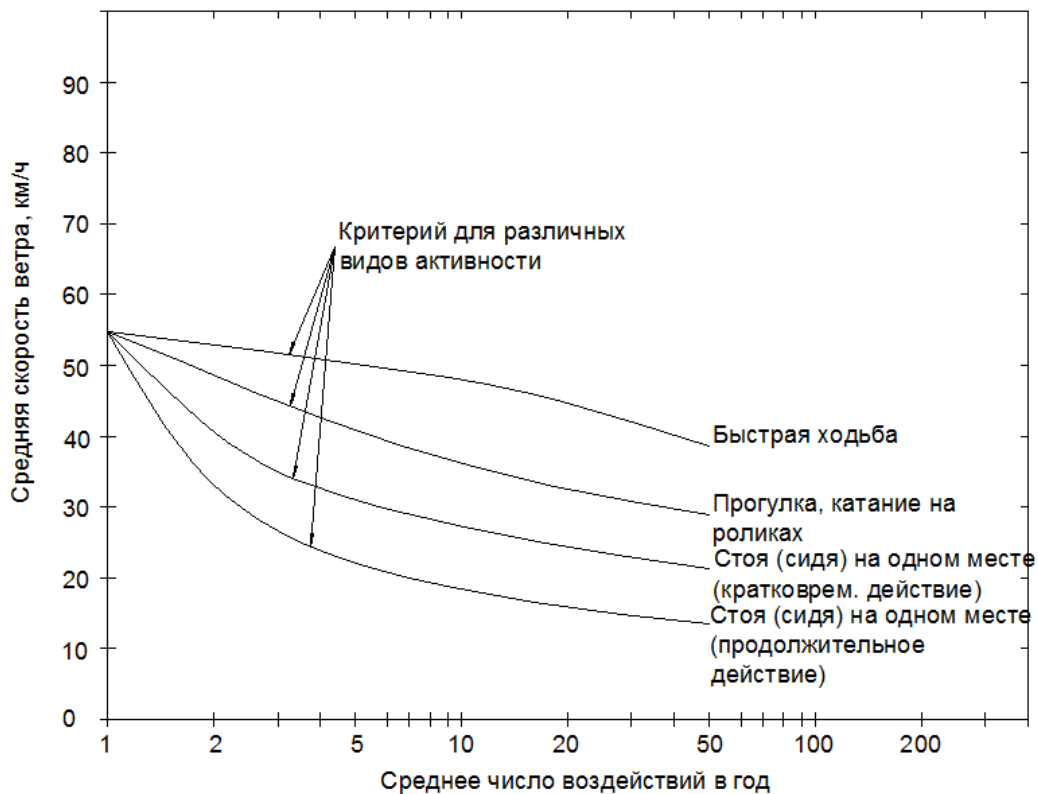


Рис. 1.3. Критерий комфортности с учетом различных видов деятельности (Изюмов, Девенпорт)

В 1986 году был разработан критерий комфортности, учитывающий летний и зимний периоды (Мураками).

Таблица 1.2

### Критерий комфортности Мураками

Ветровые условия, приемлемые для прогулок	$\hat{U}_{local}$	$P(>\hat{U}_{local})$
Лето	48 км/ч	0,01 (один раз в месяц)
Зима	32 км/ч	0,01 (один раз в месяц)
Опасные	83 км/ч	0,001 (один раз в год)

Мельбурн в 1978 году разработал отдельный критерий комфортности, базирующийся на средней скорости ветра и скорости порывов ветра. Данный критерий он предложил применять только в дневное время суток и, учитывая предположение, что максимальная скорость порыва ветра продолжительностью 2 с будет в два раза превышать среднюю скорость ветра. На основании этого предложения были построены графики, показанные на рис. 1.4.

Особенно важное значение критерии пешеходной комфортности приобретают в крупных городах, располагающихся в климатических зонах с суровыми зимними условиями, где обледенение тротуаров в совокупности с порывами ветра часто приводит к возникновению травмоопасных ситуаций. На основании множества наблюдений и экспериментальных исследований ветрового воздействия на человека было установлено, что критерий Мельбурна может рассматриваться как некий граничный

критерий, предлагающий максимальные приемлемые значения скорости ветра и его повторяемости, при условии, что все остальные критерии будут выполняться.

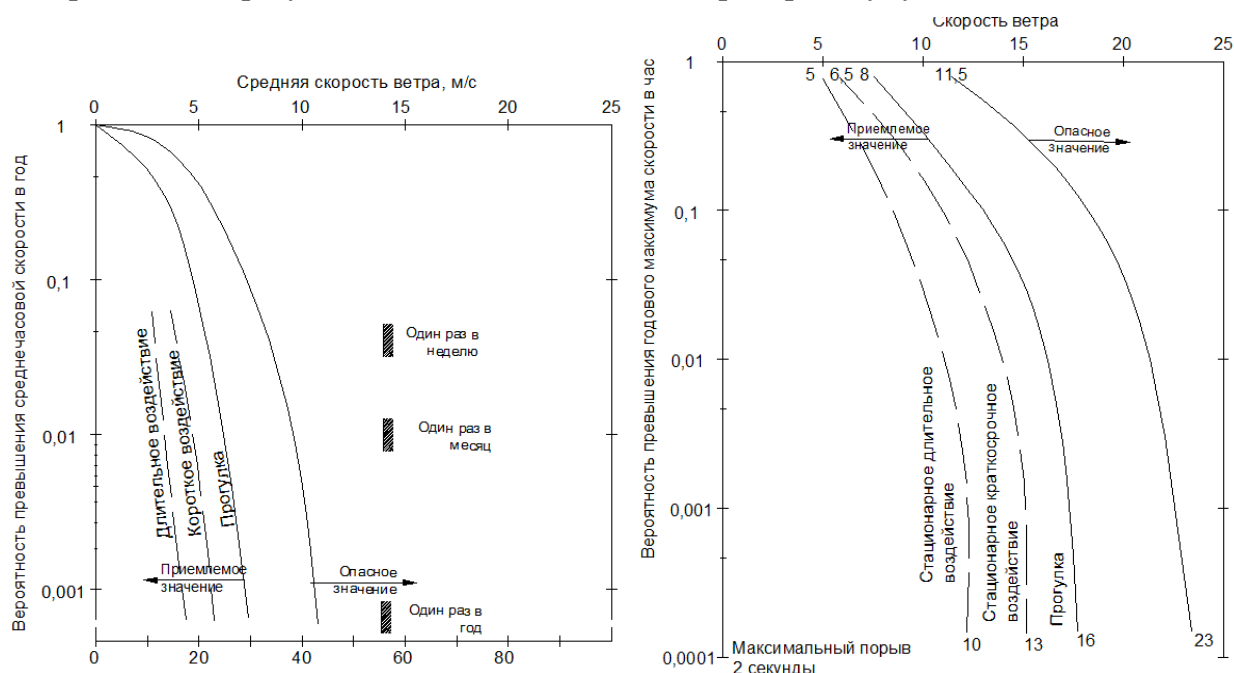


Рис. 1.4. Критерий комфортности с учетом различных видов деятельности (Мельбурн)

Следует также отметить, что в 2007 году был введен в действие национальный стандарт Нидерландов по оценке ветрового комфорта в условиях городской застройки (стандарт NEN 8100), что послужило полноценной основой для нормативного контроля за проектной практикой в части критериев биоклиматической комфортности. Данный критерий основан на граничном показателе среднечасовой скорости ветра  $U_{гр} = 5$  м/с для любого вида активности. В табл. 1.3 представлен обзор эффектов различных скоростей ветра на пешеходов. Вероятность превышения граничного показателя  $P(U_{гр} > 5$  м/с) определяет степень «качества» ветровых условий местного климата. Табл. 1.3 показывает, что границы оценки проходят от класса А – благоприятных условий для передвижения, прогулки и сидения до класса Е – крайне неблагоприятных условий для этих видов деятельности.

Таблица 1.3

### Критерий комфортности NEN 8100

$P(U_{гр} > 5$ м/с) час/год, %	Класс качества	Вид деятельности		
		Передвижение	Прогулка	Сидение
< 2,5	А	Благоприятный	Благоприятный	Благоприятный
2,5–5,0	В	Благоприятный	Благоприятный	Удовлетворительный
5–10	С	Благоприятный	Удовлетворительный	Плохой
10–20	Д	Удовлетворительный	Плохой	Плохой
> 20	Е	Плохой	Плохой	Плохой

Для того чтобы рассчитать вероятность превышения  $U_{гр}$ , в проекте необходимо пошагово произвести следующие расчёты для восьми направлений ветра:

- определить коэффициент отношения скоростей ветра ( $\gamma = U_{пеш} / U_{спр}, 60$  м) на уровне пешеходов  $U_{пеш}$  – к справочному значению скорости ветра на данной терри-

тории на высоте 60 м  $U_{\text{срр}}, 60 \text{ м}$  (рис. 1.5); привести граничный показатель скорости ветра для пешеходов  $U_{\text{гр}}$  к граничному показателю на высоте 60 м  $U_{\text{гр}}, 60 \text{ м} = U_{\text{гр}}/\gamma$ ;

- с применением статистических данных ветра для определённой местности рассчитать процент превышения (по времени) граничного показателя среднечасовой скорости ветра (рис. 1.6).

На рис. 1.5–1.7 приведен пример использования методики оценки пешеходной комфортности, описанной в стандарте NEN 8100. Исследования проводились в университете Эйндховена. Рассматриваемый объект – кампус университета.

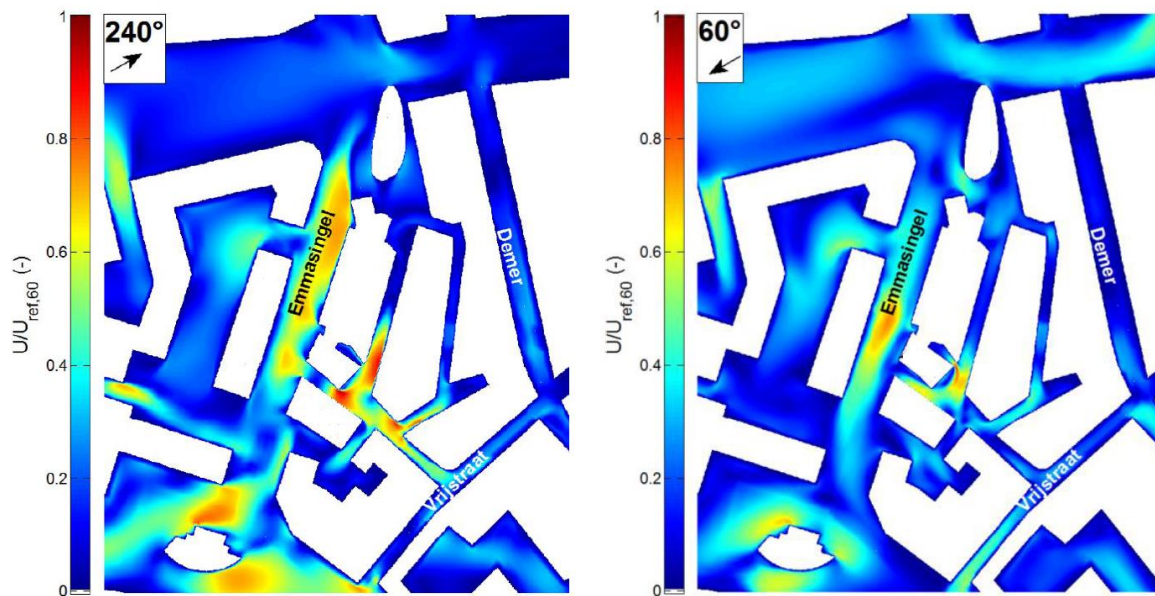


Рис. 1.5. Зоны распределения коэффициента  $\gamma$  при различных направлениях ветра

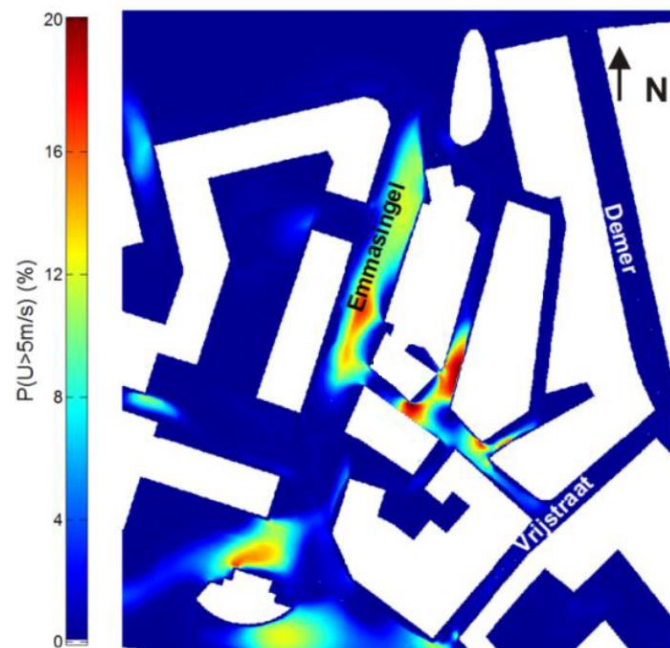


Рис. 1.6. Вероятность превышения  $U_{\text{гр}}$  с учетом розы ветров за годичный период

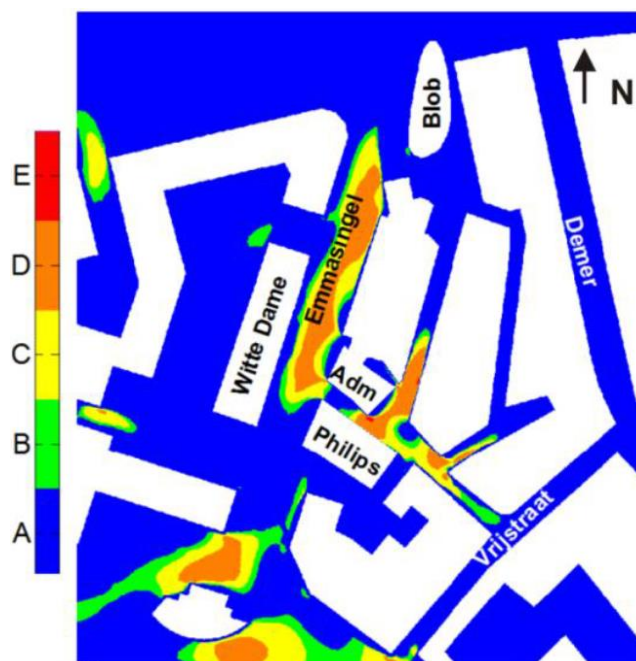


Рис. 1.7. Анализ результатов численного моделирования (границы оценки проходят от класса А – благоприятных условий для передвижения, прогулки и сидения до класса Е – крайне неблагоприятных условий для этих видов деятельности)

В отечественной практике вопрос комфортности пешеходных зон тесно связывался с локальными погодными условиями, которые классифицируют на основе климатофизиологической оценки территории. Еще с 1962 по 1965 год в различных климатических зонах Диксона, Воркуты, Москвы, Целинограда, Батуми, Ашхабада Е.М. Ратнером были проведены в естественных условиях исследования по физиологической типизации погод и биоклиматической комфортности в виде экспериментов на испытуемых людях. На основе 1500 экспериментальных исследований были установлены высокие корреляционные связи между условиями погоды и тепловым состоянием человека, одетого соответственно сезону и погоде и выполняющего легкую работу или передвигающегося по улице. Тепловое состояние человека и, следовательно, напряжение его терморегуляторных систем в теплый период года зависит от геофизических и метеорологических факторов (солнечной радиации или облачности, температуры и влажности воздуха, а также скорости ветра), от характера совершаемой им работы, определяющей теплопродукцию организма (у физиологов принято 180–200 ккал/ч), а также от теплоизолирующих свойств одежды. Правильная оценка биоклиматической комфортности пешехода возможна лишь в том случае, когда он одет соответственно сезону и погоде данного дня и не занят переносом тяжелых вещей. Наибольшее влияние на параметры испытуемых людей всегда оказывало изменение скорости движения воздушных масс, поэтому ветровой режим всегда рассматривается как главный фактор изменения биоклиматической комфортности пешеходов. Это, в свою очередь, легло в основу разработанных и опубликованных ЦНИИП градостроительства РААСН в 1980 году рекомендаций по учету природно-климатических факторов в планировке, застройке и благоустройстве городов и групповых систем населенных мест, а также выпущенного в издательстве «Стройиздат» в 1986 году руководства по оценке и регулированию ветрового режима жилой застройки.

В свою очередь, критерии биоклиматической комфортности для Москвы и Московской области приводятся в МДС 20-1.2006 «Временные рекомендации по назначению нагрузок и воздействий, действующих на multifunctional высотные зда-

ния и комплексы в Москве» и МГСН 4.19-05 «Многофункциональные высотные здания и комплексы». Использование методик, предлагаемых в данных нормах, предполагает наличие статистической информации о направлении и повторяемости ветра непосредственно на площадке строительства, а некоторые параметры необходимо определять экспериментально в специализированных аэродинамических трубах или путем численного моделирования.

Мировая практика проведения таких исследований показывает, что несмотря на высокую скорость и сравнительно более низкую стоимость проведения численного моделирования в специализированных, сертифицированных программных пакетах (ANSYS CFX и ANSYS FLUENT), требуется проведение экспериментального моделирования в аэродинамической трубе с целью верификации программного пакета, что связано с большим разнообразием вариантов численного решения поставленной задачи (различные модели турбулентности, варианты построения расчетной сетки и т.д.), именно поэтому оптимальным и наиболее достоверным методом исследования является расчетно-экспериментальное моделирование.

Проведение подобных исследований на этапе проектирования помогает существенно повысить комфортность пребывания человека на территории исследуемого объекта, что особенно актуально для районов с плотной застройкой, а также районов с высотными зданиями. Также на основании полученных результатов можно сделать выводы о наличии зон с низкими скоростями ветра, в которых могут скапливаться вредные вещества, химически активная пыль.

По результатам проведения оценки аэродинамической комфортности участков городской застройки можно сделать выводы о качестве предлагаемого проектного решения и, в случае необходимости, о проведении мероприятий по его оптимизации путем проектирования соответствующего размещения зеленых насаждений и/или ветрозащитных конструкций.

## **1.2. Оценка применения ранее действующих нормативов по биоклиматической комфортности**

При проектировании комплексов городской застройки необходимо выполнять проверку ветрового режима в пешеходных зонах для обеспечения комфортности пребывания людей в этих зонах при действии ветра.

При выборе объемно-планировочных решений комплексов и проектировании комплексного благоустройства их участков необходимо обеспечивать снижение ветровых потоков, возникающих у первых этажей не только самых высоких секций, но и на всей территории строительства и прилегающей застройки, а также создать рациональные условия аэрации этих территорий. При точечном размещении в районах сложившейся застройки не должно допускаться увеличение повторяемости застоев воздуха, увеличивающих концентрации загрязняющих веществ до значений, превышающих установленные санитарно-гигиенические нормативы.

В соответствии с ранее действующим нормативом МГСН 4.04-94 условие ветровой комфортности имеет вид:

$$P_c(U_{cr}) < P_{lim} \text{ при всех } U < U_{cr}$$

где  $U$  – скорость ветра в порыве;

$P_c$  – продолжительность или повторяемость появления скоростей ветра  $U$ , больших некоторого критического значения  $U_{cr}$ ;

$P_{\text{lim}}$  – предельное значение  $P_c$ .

Значения сочетаний  $U_{cr}$  и  $P_{\text{lim}}$  для различных скоростей ветра приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

**Критические скорости ветра  $U_{cr}$  (м/с)  
и предельная продолжительность  $-T_{\text{lim}}$  (ч/год) их появления**

$U_{cr}$ , м/с	6	12	20	25
$P_{\text{lim}}$ , ч/год	1000	50	5	1
Повторяемость, %	10 (примерно раз в день)	0.6 (примерно 2 раза в месяц)	0.1 (примерно раз в год)	

$U_{cr}$  и ее повторяемость определяются на основе анализа метеорологических данных в предполагаемом районе строительства и результатов аэродинамического моделирования.

Градостроительное освоение территории вызывает целый ряд последствий в мезо- и микроклиматической обстановке городского ландшафта. Их причиной является изменение условий мезо- и микромасштабной циркуляции атмосферного воздуха в результате появления новых строительных объемов, изменение теплового баланса за счет эмиссии техногенного тепла и изменения альбедо (отражательной способности) подстилающей поверхности, повышается коэффициент поверхностного стока с застраиваемой территории и т.д.

В масштабах района или города изменения микроклиматических условий выражаются, прежде всего, в формировании «острова тепла» и снижении скорости ветра до определенной высоты, зависящей от высоты зданий и сооружений.

В более мелком масштабе (отдельные здания или группы зданий и прилегающие к ним дворовые пространства и другие территории) наиболее значимые микроклиматические последствия состоят:

- в изменении условий инсоляции территории;
- образовании зон устойчивого снижения скорости ветра;
- образовании зон усиления скорости ветра при определенных его направлениях на границе застройки;
- формировании зон теплового дискомфорта – перегрева летом и переохлаждения зимой.

В зонах застоя воздуха ухудшаются условия рассеивания загрязняющих веществ, что может приводить к усилению их концентраций в несколько раз по сравнению с открытыми участками, в зонах усиления скорость ветра может достигать значений 10 м и более даже при среднеклиматических значениях скорости фонового ветра. Такая скорость ветра является опасной для пешеходов и вызывает дефляцию с поверхности грунтовых покрытий, что приводит к увеличению запыленности воздуха в приземном слое. Особенно опасно, когда зоны застоя и усиления скорости ветра формируются на близком расстоянии друг от друга.

Отдельное внимание при прогнозе изменения аэродинамической и микроклиматической обстановки уделяется структуре системы озеленения застраиваемых территорий. С одной стороны, существующие зеленые насаждения без специальных мероприятий по их адаптации к новым микроклиматическим условиям могут погибнуть в результате физиологического стресса или изменившихся аэродинамических воздействий. С другой стороны – только с учетом прогноза микроклиматических условий

можно сформировать устойчиво функционирующую систему озеленения, которая создаст комфортные и безопасные условия пребывания населения на городской территории.

### **1.3. Аэрационный режим и архитектурно-строительная аэродинамика. Теоретическая основа нормативов и рекомендаций по биоклиматической комфортности**

На предпроектном и проектном этапах градостроительного проектирования по планировке территории и при последующем архитектурно-строительном проектировании представляется возможным учитывать подходы к оценке аэрационного режима застройки и аэродинамических характеристик зданий и тем самым прогнозировать качество жилой среды при ее развитии. Стадийные и внестадийные работы по проектированию населенных мест, на которых необходимо учесть аэрационный режим, можно разделить на четыре группы:

1. Стадии, предшествующие разработке генплана города: схемы территориального планирования Российской Федерации, субъекта Российской Федерации и муниципального района.
2. Разработка генерального плана города.
3. Принятие правил землепользования и застройки, разработка проекта планировки территории.
4. Составление градостроительного плана земельного участка.

Целенаправленный выбор будущего состояния воздушной среды при проведении градостроительных преобразований обеспечивает методика оценки аэрационного режима в жилой застройке, разработанная сотрудниками УНПЛ ААИСК, которую возможно применять и на стадиях архитектурно-строительного проектирования при разработке схемы планировочной организации земельного участка и схемы озеленения и благоустройства земельного участка [8, 21].

Для описания процесса взаимодействия воздушного потока с застройкой в архитектурно-строительной аэродинамике разработаны методы расчета и оценки расчетно-экспериментальных исследований [22, 26]. Состояние среды в жилой застройке оценивается по средним относительным скоростям ветра в ней. При уточнении параметров горизонтальной плотности застройки ( $\sigma_{\Gamma}$ ) возможно определение границ оценки застройки. [13]. При этом под горизонтальной плотностью понимается отношение площади застройки зданий к площади аэродинамического влияния застройки – формула (1), (рис. 1.8).

$$\sigma_{\Gamma} = \Sigma S_{\text{застр}} / S_{\text{уч}} \quad (1)$$

где  $\Sigma S_{\text{застр}}$  — площадь всех зданий в уровне земли;  $S_{\text{уч}}$  — площадь участка застройки.

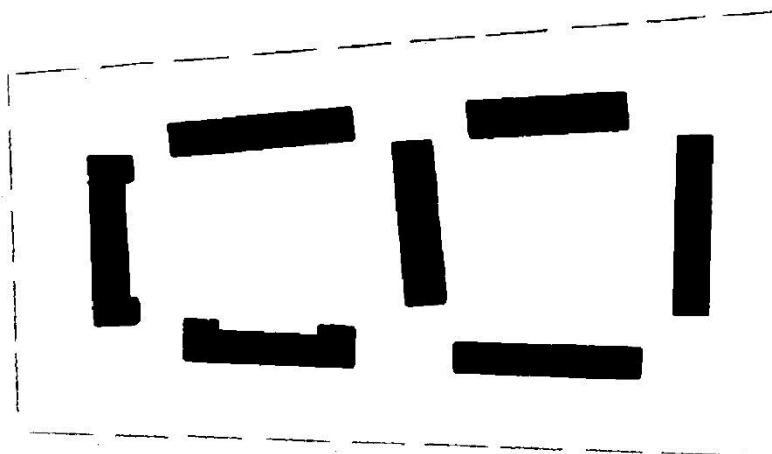


Рис. 1.8. Расчетная схема горизонтальной плотности застройки ( $\sigma_G$ ):  
 ■ — контур зданий в уровне земли; - - - — граница участка застройки

Модель воздушного пространства поселений взята за теоретическую основу и представляет собой двухъярусную структуру [26] (рис. 1.9). Эта разработка была усовершенствована трехступенчатой градацией шероховатости подстилающей поверхности (макро-, мезо-, микроуровнем), для которых, в свою очередь, в нижнем приземном ярусе воздушных масс соответствуют уровни городской среды и ее аэрационного режима [12]. Скорость и направление движения воздушных масс выше границы нижнего (приземного) яруса определяется географическими факторами.

Городское воздушное пространство делится на так называемые условные слои — верхние (до 1000 м) и нижние (до 200 м). Зона открытого движения воздуха представлена верхними слоями. Макро-, мезо- и микроуровень составляют нижние слои пространства. До высоты 200 м от поверхности земли на макроуровень оказывает влияние высотная и многоэтажная застройка (например, башенного типа). При рассмотрении мезоуровня (до 25 м) влияние оказывает вся остальная застройка (т.е. многоэтажная, среднеэтажная).

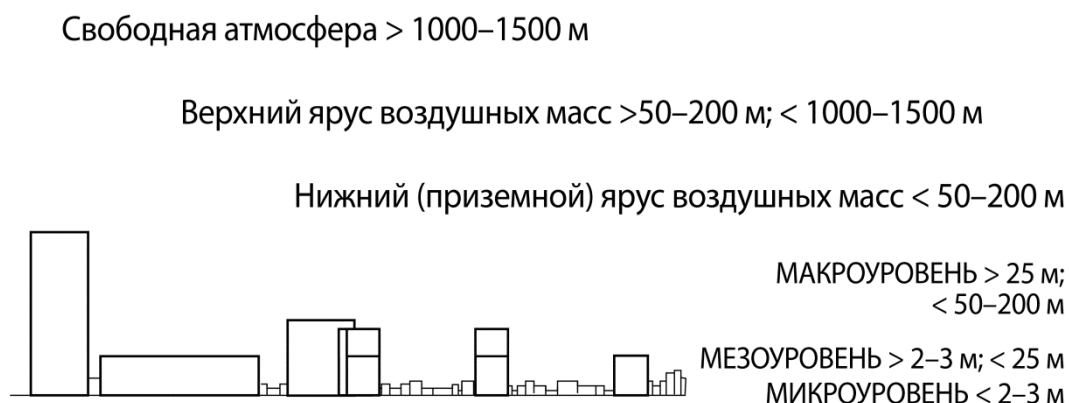


Рис. 1.9. Схема воздушных пространств поселений (по Ф.Л. Серебровскому) [8, 26]

Многоэтажная, среднеэтажная и малоэтажная застройки оказывают влияние на микроуровень (до 3 м) среды. Однако помимо этого значительное влияние оказывают элементы благоустройства и озеленения. Следует отметить, что все объекты градосферы оказывают влияние и тем самым формируют различные уровни аэрационного режима, испытывая при этом на себе обратное воздействие в виде ветровой нагрузки на этих уровнях. Воздушная среда поселения представлена во взаимосвязи с



градостроительной организацией пространства ее объектами и высотными границами ее элементов (табл. 1.5) [8].

Таблица 1.5

**Элементы воздушной среды городского пространства [8]**

№	Элемент воздушно-го среды поселения	Высотные границы элемента	Градостроительная организация пространства	Объекты, организующие городское пространство
1	Свободная атмосфера	$\geq 1000-1500$ м	Неформируемое пространство	Верхняя граница градосферы
2	Верхний ярус воздушных масс	$\geq 50-200$ м $\leq 1000-1500$ м	Открытое пространство	Градосфера
3	Нижний (приземный) ярус воздушных масс	$\leq 50-200$ м	Пространство открытого построения	Макроансамбль – силуэт города
4	Макроуровень нижнего яруса	$\leq 25-50$ м	1. Пространство замкнутого построения	– многоэтажные здания, сооружения
			2. Пространство открытого построения	– организованная градостроительная композиция
5	Мезоуровень нижнего яруса	$\leq 3-25$ м	1. Пространство замкнутого построения	– городская застройка
			2. Пространство открытого построения	– магистрали, улицы, площади, дворы и озеленение
6	Микроуровень нижнего яруса	$\leq 3$ м	1. Пространство замкнутого построения	– городские сооружения
			2. Пространство полукрытого построения	– организованное надземное градостроительное пространство элементов комплексного благоустройства и озеленения
			3. Плоскость ограничения пространства полукрытого построения	– рельеф территории города, образованный почвенным слоем земли и прочими грунтами основания

Для оценки аэрации населенных мест исходные данные принимаются по картам аэрации и ветрового режима территории, составленным на основе расчетно-экспериментальных исследований. Взаимовлияние зданий в застройке при обтекании воздушным потоком оценивается с учетом наиболее повторяющихся аэродинамических эффектов в застройке.

Ветер может восприниматься по-разному в различных природно-климатических зонах и в разное время года. Он усиливает неблагоприятность погоды в городах, для которых характерны низкие зимние температуры, а в условиях жаркого лета ветер улучшает микроклимат территорий. Проветривание городских улиц, магистралей и дорог, очищение воздушного бассейна города от транспортных и промышленных загрязнений в совокупности являются важнейшей функцией ветра современного города.

При прохождении ветра по жилой застройке города его скорость изменяется. Ближе к центральной части микрорайонов скорость уменьшается приблизительно на 25...30 %. Это происходит за счет того, что на пути движения ветра встречаются препятствия в виде зданий различной этажности. Сложные вихревые потоки начинают образовываться между ними, и поэтому скорость ветра постепенно падает [28, 29], (рис. 1.10).

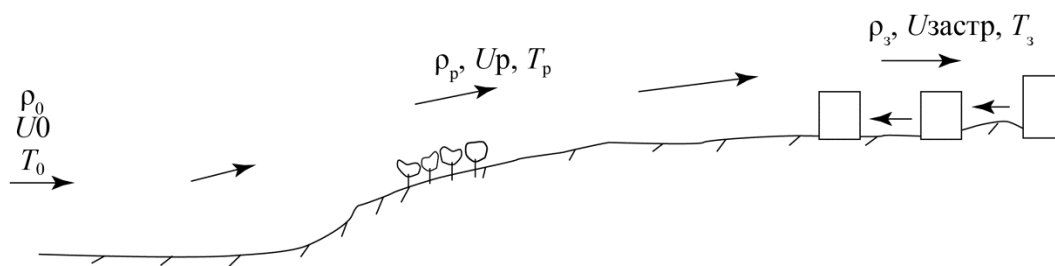


Рис. 1.10. Изменение параметров воздушного потока в процессе обтекания [24]

Здесь:  $U_0$  – скорость ветра на ровной поверхности (данные метеостанций);  $U_p = U_0 K_t$ ;  $K_t$  – коэффициент трансформации скорости ветра в зависимости от рельефа, озеленения и т.д.;  $U_{застр}$  – скорость ветра на территории застройки;  $U_{застр} = U_p K_\phi K_w$ ;  $U_{застр}$  – скорость ветра на территории застройки;  $K_\phi$  – коэффициент трансформации скорости ветра в зависимости от застройки;  $K_w$  – коэффициент учета «проницаемости» застройки.

Разработанная и представленная далее методика включает оценку аэрационного режима и биоклиматической комфортности жилой застройки (рис. 10), требует расчетно-экспериментальных исследований аэрации, в связи с тем что ветровой режим, т.е. повторяемость и скорость ветра по направлениям в холодной и теплый периоды года, учитывался только как нагрузки и воздействия для нового строительства на мезоуровне на основе данных макроуровня.

## **2. РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УЧАСТКИ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ**

### **2.1. Цель, задачи и методы исследований**

В создании благоприятных биоклиматических и санитарно-гигиенических условий внешней среды городов особое место занимает климат, который оказывает наиболее глубокое и всестороннее воздействие на человека и во многом определяет типологию городских образований, конструктивные и объемные решения зданий и сооружений. Средняя полоса России, с точки зрения оптимизации микроклиматических условий, является «местом двух сезонов», поэтому при архитектурно-климатическом анализе следует решать одновременно две задачи – защиту от ветра и холодового стресса в зимнее время и обеспечение аэрации и комфортных микроклиматических условий летом. Ещё одна задача, относящаяся ко всем сезонам года, – защита населения от опасного по силе механического воздействия сильного ветра и его отдельных порывов.

В учебно-научно-производственной лаборатории аэродинамических и аэроакустических испытаний строительных конструкций (УНПЛ ААИСК) уточнена последовательность этапов учета природно-климатических условий при планировке и застройке городов. Такими этапами являются:

- выявление комплекса и продолжительности воздействия сезонных природно-климатических и градостроительных факторов и установление их взаимосвязи применительно к конкретной стадии проектирования и функциональному назначению объекта строительства. С учетом этого выполняется комплексная сезонная оценка природно-климатических условий;

- на основе расчетно-экспериментального моделирования ветрового воздействия на участки городской застройки разрабатывается система требований по защите городской среды от неблагоприятного воздействия природно-техногенных условий;

- разрабатываются градостроительные и архитектурно-строительные средства, в том числе проектные решения по комплексному благоустройству для компенсации биоклиматического дискомфорта малыми архитектурными формами.

На первом этапе выделяются группы ведущих природных факторов, оказывающих воздействие на территорию проектируемого строительства. На этапе оценки климатических факторов, который является наиболее сложным и значимым, закладывается основа для завершения последующих этапов. В результате определяются нормативные показатели и критерии оценки природно-климатических факторов с позиций обеспечения биоклиматического, а также санитарно-гигиенического, эстетического и психологического комфорта внешней среды.

На последующем этапе выявляется комплекс общих градостроительных и архитектурно-строительных требований к планировке территории, проектируемым зданиям, озеленению и формированию планировочной структуры территории как с позиций биоклимата, так и позиций улучшения санитарно-гигиенического состояния окружающей среды.

Далее с помощью методов физического и верифицированного математического моделирования проводится пофакторная и комплексная оценка фоновых и местных микромасштабных природно-климатических условий.

С этой целью для исследования микроклиматических особенностей территории проектируемого строительства на расчетный срок использована вихреразрешающая

негидростатическая аэродинамическая модель, описывающая физические процессы микромасштабной циркуляции с учетом процессов обмена кинетической энергией. Модель основана на решении системы уравнений трехмерного движения вязкой среды (Навье – Стокса), замкнутой уравнениями неразрывности и сохранения вещества и энергии. Разделение исходных данных на теплый и холодный сезоны позволяет выявить диапазоны комфортных скоростей ветра для лета и зимы, а также учесть тем самым молекулярный и радиационный теплообмен, потоки влаги между воздухом, растительностью и деятельной поверхностью земли с учетом фазовых переходов. Таким образом методика задействует типологию погодно-климатических условий и обобщенно учитывает влияние на микроклиматические условия растительности, инсоляции, теплофизических характеристик зданий и сооружений, тепло- и влагообмена между воздухом и элементами благоустройства. Перечисленные особенности отличают методику в сочетании с возможностью выявления зон повышенных скоростей ветра для зимы и лета, а также застойных зон воздуха в летний период и разработкой решений по размещению малых архитектурных форм и озеленения для компенсации выявленных проблем.

Аэродинамическое и микроклиматическое моделирование выполнялось для 4-часового периода (с 12 до 16 часов). Летний период выбран исходя из того, что, с одной стороны, именно в летнее время застроенная городская территория в наибольшей степени используется для длительного пребывания населения с целью рекреации, пешеходных связей. С другой стороны – в летнее время днем в наибольшей степени развиты микроклиматические процессы, определяющие механизмы микромасштабной термической конвекции. Моделирование для января проводилось с целью определения степени опасности переохлаждения и обморожения населения. Кроме того, при моделировании зимних условий аэрации учитывалось отсутствие листвы на листопадных деревьях, что важно для расчета максимальных скоростей ветра при оценке степени его физического воздействия на население.

Критериями оптимальности проектно-планировочного решения городской застройки и ее климата являются:

- биоклиматические комфортные условия пребывания человека в городской и жилой среде, что обеспечивается соответствующими застройками и средствами благоустройства территории;
- расширение положительных влияний, погодных условий и ограничение отрицательных воздействий на человека, пребывающего вне здания;
- снижение затрат на оптимизацию температурного режима зданий.

На жизнедеятельность человека и его окружающую среду влияет аэрационный режим застройки, затрагивая все основные уровни планировочной структуры города (район, микрорайон-квартал, группа жилой застройки, домовладение). Благоустройство является системой компонентов, входящих в это окружение с самостоятельными функциями для каждого уровня планировочной структуры (табл. 2.1). Этапность учета аэрационного режима при разработке градостроительной документации и структура градостроительного планирования соответствует уровням планировочной структуры города (табл. 2.2). [8].

Таблица 2.1

## Структурные уровни градостроительного планирования [8]

№	Объект планирования	Объект управления	Субъект управления
1	Район 	Административный округ	Префектура
2	Микрорайон, квартал 	Муниципальный округ	Управа
3	Группа жилой застройки 		
4	Участок застройки 	Домовладение	Товарищество собственников жилья

Таблица 2.2

## Учет аэрационного режима при разработке документации о градостроительном планировании развития жилой застройки [8]

№	Объект планирования	Стадия планирования	Срок планирования	Этапы исследования аэрации	Результат
1	Район	«Прогноз», «Программа»	До 15 лет	Расчет аэрационного режима в застройке района на макро-, мезоуровнях	Оценка и прогноз аэрации застройки по типам развития и реконструкции
2	Микрорайон, квартал	«Программа»	До 10 лет	Расчет аэрационного режима в застройке квартала на мезо-, микроуровнях	Оценка и прогноз аэрации застройки по геометрическим параметрам
3	Группа застройки	«Программа», «Проект-регламент»	От 3 до 5 лет	В составе расчета аэрационного режима квартала возможен учет аэродинамических эффектов	Учет влияния аэрационного режима на благоустройство на микроуровне
4	Участок застройки	«Проект-регламент»	До 3 лет	В составе расчета аэрационного режима квартала	Корректировка благоустройства и аэрации на микро- и локальном уровнях

Для исследования микроуровня аэрационного режима застройки требуется расчетно-экспериментальное исследование, которое зависит от объектов шероховатостей макро- и мезоуровней. Оценка результатов исследования основывается как на ветровом зонировании жилой территории, так и на сезонных параметрах ветрового режима. Зонирование жилой территории по относительным скоростям ветра влияет на социально значимые компоненты системы благоустройства и включает физические, санитарно-гигиенические и психологические критерии.

На уровне от 2 м и выше, до верхней границы I яруса, ветровой режим будет зависеть от застройки, ее масштабов и планировки территории. Режим ветра наряду с застройкой в основном будет определяться сезоном, а элементы благоустройства будут влиять лишь на ветровой режим приземного слоя на высоте менее 2 м.

Компоненты благоустройства относятся к микрошероховатостям и влияют на ветровой режим в приземном слое атмосферы на высоту роста взрослого человека до 2 м. Это влияние касается в основном величины скорости и не существенно для направления воздушного потока.

Таким образом, различные компоненты благоустройства могут существенно изменять аэрационный режим среди застройки, что следует учитывать при планировании жилых территорий.

Физическая сущность взаимодействия посадок, малых архитектурных форм компонентов благоустройства с ветром, как и в случае взаимодействия ветра с застройкой, заключается в турбулизации воздушного потока, однако в отличие от застройки на компоненты благоустройства и озеленения действуют как аэродинамическая решетка, если это ажурные конструкции, так и аэродинамический диффузор, если это продуваемые конструкции. Повышение турбулентности происходит не только внутри конструкции, но и около ее поверхности.

Аэродинамическая тень полосы состоит из двух слоев воздуха — верхнего слоя завихрений и нижележащего слоя. Между этими слоями происходит наибольшее снижение скорости ветра. В зоне завихрений турбулентный обмен усилен, в нижнем слое — ослаблен. Это ослабление турбулентного обмена вблизи поверхности земли под влиянием насаждений и малых архитектурных форм, то есть в слое обитания человека, имеет особо важное значение для формирования микроклиматических условий.

Показатели микроклимата изменяются под влиянием градостроительных факторов, что предполагает их использование для регулирования микроклимата жилых территорий. В настоящее время дискомфорт городской среды настолько возрос, что для его оценки требуется использовать совокупный показатель, учитывающий основные сезонно-климатические, социальные, экологические изменения и условия комфорта.

Регулирование микроклимата для его приближения к комфортным условиям теплоощущений человека возможно только в сезонном рассмотрении исходных данных с помощью: плотности застройки; типов ограждающих поверхностей зданий и сооружений; типов покрытия дорог и площадок; озеленения территории.

Воздействие компонентов благоустройства на микроклимат территории и санитарно-гигиенические условия различно. Выделены три группы: покрытия автомобильных проездов, пешеходных тротуаров и плитуаров; пространство зеленых насаждений и водные поверхности; конструкции со значимой шероховатостью и ветрозащитные конструкции малых архитектурных форм. Покрытия проездов и пешеходных связей производят интенсивное тепловое излучение, которое является неблагоприятным воздействием на человека и почву, что сказывается на повышении температуры летом и создает у человека ощущение духоты.

Компоненты второй группы улучшают микроклимат с помощью изменения радиационного режима территории. Это происходит благодаря поглощению и использованию солнечной радиации на биологические процессы, проходящие в растениях, вместе с испарением влаги и снижением температуры воздуха (в среднем на 3–4 °С) и на поверхности (на 8–12 °С) [8].

Компоненты третьей группы повышают турбулентность и снижают скорость потоков воздуха в среднем на 5–25 %.

Все группы компонентов благоустройства территории значимы для развития жилой застройки. При оценке влияния благоустройства (элементов деятельной поверхности) и других градостроительных факторов на комфортное тепловое самочув-

ствии человека важно определить наименьшее напряжение терморегуляционного аппарата, что соответствует тепловому комфорту.

Компоненты системы благоустройства делятся по времени пребывания на те, которые жители быстро проходят или надолго там не задерживаются, и те, для которых необходимы учет и оценка аэрационного режима. Кратковременными местами пребывания человека являются в основном пешеходные дорожки и проезды.

В списке оцениваемых компонентов системы благоустройства присутствовали: площадка тихого отдыха, детская площадка, спортивная площадка, площадка для выгула собак, хозяйственно-бытовая площадка (для чистки ковров, мусоросборник), сад микрорайона (территория зеленых насаждений), зона хранения автотранспорта, обособленный пешеходный путь, пешеходный путь, сопряженный с дорожным проездом, остановочный пункт общественного транспорта.

Статистика пребывания человека на территории [8] была разделена на следующие составляющие: по продолжительности пребывания человека; по физической активности человека; по возрастным группам населения.

Таким образом, изучены особенности аэрационного воздействия на человека на территории жилой застройки. Критериями исследования пребывания человека являлись: по продолжительности (человек может там находиться до часа, 5 минут или меньше минуты); по физической активности (человек может там отдыхать или, наоборот, совершать какие-то активные действия, заниматься спортом); по возрастным группам населения (на территории могут находиться дети младшего, среднего, старшего возраста, взрослое население, люди пенсионного возраста).

Была выявлена группа объектов благоустройства, для которых исходя из параметров пребывания на них жителей необходимы учет и оценка аэрационного режима среды по санитарно-гигиеническому, физическому и психологическому критериям комфорта. Выявленные объекты благоустройства представлены детскими площадками, спортивными площадками, садом микрорайона и площадками для тихого отдыха.

Задачи исследования при рассмотрении аэрации жилой территории, создании комфорта жилой среды придомовой территории, входящей в состав социально-гарантированного качества застройки и благоустройства, включают в себя разработку информационной системы для формирования данных путем мониторинга о состоянии аэрационного режима на сложившихся территориях. Это позволит обоснованно выполнять градостроительное планирование развития территорий городской застройки и, следовательно, активно привлекать инвестиции.

Система сбора и обработки информации об аэрационном режиме жилой застройки в существующем положении и проектном служит основой мониторинга, который эффективно дополнит существующие системы и обеспечит полноценный процесс градостроительного планирования.

Для обоснования содержания проектов на каждом уровне градостроительного планирования застройки необходима специальная информация. Для формирования и изъятия при необходимости такой информации требуется система ее сбора и обработки. Количество вариантов проектных решений застройки, благоустройства при градостроительном планировании на стадии предпроектного анализа определяется по общей схеме обработки и исследования информации о сложившейся жилой застройке. Тем самым при помощи этой разработки создана основа для создания алгоритма действий специалиста-градостроителя, учитывающий аэрационный режим при градостроительном планировании.

Для формирования информации о существующей планировочной структуре территорий застройки, влияющей на характеристики компонентов благоустройства, информационная система должна учитывать:

- административно-территориальные уровни градостроительного планирования; типы территорий, подлежащих развитию (домовладение, группа застройки, квартал);
- показатели аэрационного режима:
  - 1 – совокупная застойная зона;
  - 2 – совокупная комфортная зона;
  - 3 – средневзвешенная скорость ветра;
  - 4 – совокупная дискомфортная зона.

Для организации и проведения мониторинга и создания базы данных о состоянии аэрационного режима в сложившейся жилой застройке предложена система сбора и обработки информации в виде таблиц 2.3, 2.4, 2.5, 2.6. Получаемая в ходе мониторинга информация позволит корректировать класс шероховатости жилой застройки и, следовательно, атласы, карты аэрации и ветрового режима города. Система мероприятий по регулированию воздушной среды жилой территории учитывает: административно-территориальные уровни градостроительного планирования; типы территорий, подлежащих реконструкции (домовладение, группа застройки, квартал, район); этапы расчета аэрации застройки.

$P_{ijkl}$  – объект «Р» в «i»-ом районе, в «j»-ом микрорайоне или квартале, в «k»-й группе жилой застройки, в «l»-ом участке жилой застройки (домовладении).

Таблица 2.3

### Градостроительные характеристики и параметры жилой застройки АО

Планировочный элемент	Площадь территории, га	Количество зданий, из них жилых домов	Площадь жилого фонда, м <sup>2</sup>	Средняя этажность, м	Площадь застройки зданий, м <sup>2</sup>	Площадь в границах застройки, м <sup>2</sup>
Районы	$S_{т1}, S_{т2} \dots S_{ти}$	$N_1, N_2 \dots N_i$	$S_{жф1} \dots S_{жфи}$	$H_{ср1}, H_{ср2} \dots H_{сри}$	$S_{пз1} \dots S_{пзи}$	$S_{a1}, S_{a2} \dots S_{ai}$
Микрорайоны, кварталы	$\Sigma S_{тi}$	$\Sigma N_i$	$\Sigma S_{жфи}$	$H_{срj}$	$S_{пзj}$	$S_{aj}$
	<...>	<...>	<...>	<...>	<...>	<...>
Группы жилой застройки	$\Sigma S_{тk}$	$\Sigma N_k$	$\Sigma S_{жфk}$	$H_{срк}$	$S_{пзк}$	В составе квартала
	<...>	<...>	<...>	<...>	<...>	<...>
Участки жилой застройки	$\Sigma S_{тl}$	$\Sigma N_l$	$\Sigma S_{жфl}$	$H_{срl}$	$S_{пзl}$	В составе квартала
	<...>	<...>	<...>	<...>	<...>	<...>

Расчет аэрационного режима в предлагаемой методике ведется для стадий градостроительного планирования «Программа» и «Проект-регламент». При увеличении базы данных методика может использоваться на стадии планирования «Прогноз».



Таблица 2.4

**Средневзвешенная скорость ветра и площадь совокупной застойной зоны  
в жилой застройке для предпроектной стадии**

Планировочный элемент	Площадь в границах застройки, м <sup>2</sup>	Площадь застройки зданий, м <sup>2</sup>	$\sigma_{\Gamma}$ показатель горизонтальной плотности	Средняя этажность, м	Средневзвешенная скорость ветра $V_{cp}$	Застойная зона, %
Районы	$S_{a1}, S_{a2}, \dots, S_{ai}$	$S_{пз1} \dots S_{пзи}$	$\sigma_{\Gamma1}, \sigma_{\Gamma2}, \dots, \sigma_{\Gammai}$	$H_{cp1} \dots H_{cpi}$	$V_{cp1} \dots V_{cpi}$	$S_{зз1} \dots S_{ззи}$
Микрорайоны, кварталы	$S_{aj}$	$S_{пзj}$	$\sigma_{\Gamma j}$	$H_{cpj}$	$V_{cpj}$	$S_{ззj}$
Группы жилой застройки	В составе квартала	$S_{пзк}$	В составе квартала	$H_{cpк}$	В составе квартала	В составе квартала

Таблица 2.5

**Средневзвешенная скорость ветра и площадь совокупной застойной зоны  
в жилой застройке для стадии проект**

Планировочный элемент	Площадь в границах застройки, м <sup>2</sup>	Площадь застройки зданий, м <sup>2</sup>	$\sigma_{\Gamma}$ показатель горизонтальной плотности	Средняя этажность, м	Средневзвешенная скорость ветра $V_{cp}$	Застойная зона, %
Районы	$S_{a1}, S_{a2}, \dots, S_{ai}$	$S_{пз1} \dots S_{пзи}$	$\sigma_{\Gamma1}, \sigma_{\Gamma2}, \dots, \sigma_{\Gammai}$	$H_{cp1} \dots H_{cpi}$	$V_{cp1} \dots V_{cpi}$	$S_{зз1} \dots S_{ззи}$
Микрорайоны, кварталы	$S_{aj}$	$S_{пзj}$	$\sigma_{\Gamma j}$	$H_{cpj}$	$V_{cpj}$	$S_{ззj}$
Группы жилой застройки	В составе квартала	$S_{пзк}$	В составе квартала	$H_{cpк}$	В составе квартала	В составе квартала

Таблица 2.6

**Площадь застойных, комфортных, дискомфортных зон воздушных масс  
в жилой застройке для компонентов благоустройства**

Планировочный элемент	$\sigma_{\Gamma}$ показатель горизонтальной плотности	Средняя этажность, м	Средневзвешенная скорость ветра $V_{cp}$	$S_{зз}$ – застойная зона, %	$S_{дз}$ – дискомфортная зона, %	$S_{бл}$ – отн. площ. благоустр., %	$S_{бл.к}$ – отн. площ. комф. зон для благоустр., %
Районы	$\sigma_{\Gamma1}, \sigma_{\Gamma2}, \dots, \sigma_{\Gammai}$	$H_{cp1} \dots H_{cpi}$	$V_{cp1} \dots V_{cpi}$	$S_{зз1} \dots S_{ззи}$	$S_{дз1} \dots S_{дзи}$	$S_{бл1} \dots S_{бли}$	$S_{кзб1} \dots S_{кзби}$
Микрорайоны, кварталы	$\sigma_{\Gamma j}$	$H_{cpj}$	$V_{cpj}$	$S_{ззj}$	$S_{дзj}$	$S_{блj}$	$S_{кзбj}$
Группы жилой застройки	В составе квартала	$H_{cpк}$	В составе квартала	В составе квартала	В составе квартала	В составе квартала	В составе квартала

## 2.2. Алгоритм методики расчетно-экспериментального моделирования ветрового воздействия на участки городской застройки

Методика использует расчетно-экспериментальную базу отдельно для сезонов и стадий проектирования. В методике в виде алгоритма приведены действия специалиста-градостроителя, сопровождающие процесс проектирования.

Для организации градостроительного процесса предложены следующие формальные планировочные действия специалиста-градостроителя, объединенные в 9 последовательных блоков:

1. Проанализировать расчетную скорость ветра и наиболее повторяющиеся направления ветров по сезонам, полученные метеорологической службой с местного метеопоста или метеостанции (данные по открытому пространству на высоте 10 м), с учетом шероховатостей окружающих территорий (рис. 2.1, 2.2). При использовании климатического справочника необходима точка привязки его данных к местности. Далее определить статистически значимые направления ветра.

2. Определить по параметрам климата продолжительности холодного и теплого сезонов и соответствующие фоновые расчетные скорости и направления ветра для расчетно-экспериментального моделирования. Определить диапазон скорости ветра на основе сезонной комфортности в соответствии с физиолого-гигиеническими классами погод.

3. Определить геометрические параметры существующего и проектного положений застройки (ширина улицы, магистрали и границы жилой застройки и площадь в этих границах), а также влияние рельефа жилой территории, геометрических параметров застройки, показателей горизонтальной плотности — и средней этажности застройки (табл. 2.5).

4. В соответствии с полученными в п. 3 результатами выполнить физическую и численную модели исследуемой застройки на основе теории подобия и точности средств измерения и расчета.

5. Провести экспериментальные исследования в аэродинамической трубе на физических моделях для получения параметров средневзвешенной скорости ветра ( $V_{ср}$ ).

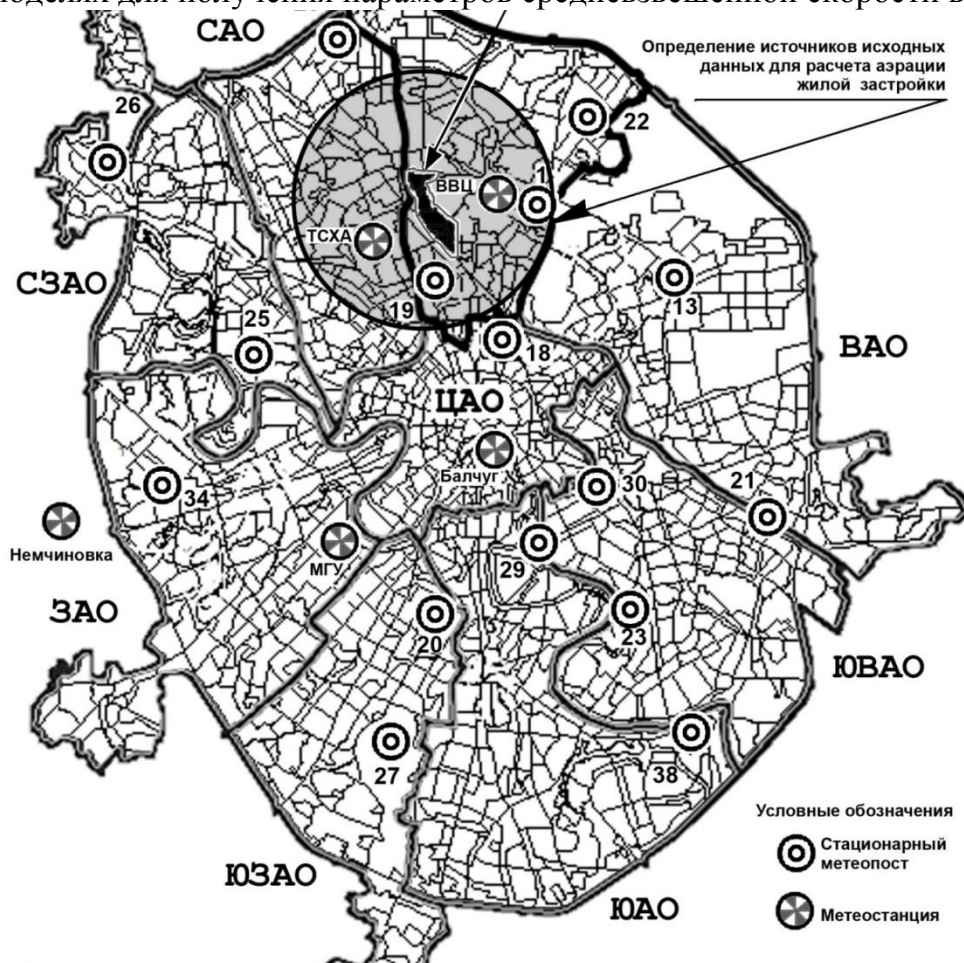


Рис. 2.1. Выявление расположения района с жилой застройкой, предназначенной к развитию и реконструкции, относительно метеопостов и метеостанций



Рис. 2.2. Определение ареалов влияния застройки и шероховатостей для расчета аэрации территории, предназначенной к развитию. Проект-прогноз

6. Рассчитать средневзвешенную скорость ветра ( $V_{cp}$ ) с верификацией по результатам физического эксперимента и застойные зоны воздуха ( $S_{3.3}$ ) и дискомфортные зоны воздуха ( $S_{д.3}$ ) на предпроектной стадии или стадии градостроительного проектирования квартала застройки «Проект планировки территории».

7. Рассчитать средневзвешенную скорость ветра ( $V_{cp}$ ) с верификацией по результатам физического эксперимента и застойные зоны воздуха ( $S_{3.3}$ ), дискомфортные зоны воздуха ( $S_{д.3}$ ) на стадии «Проект».

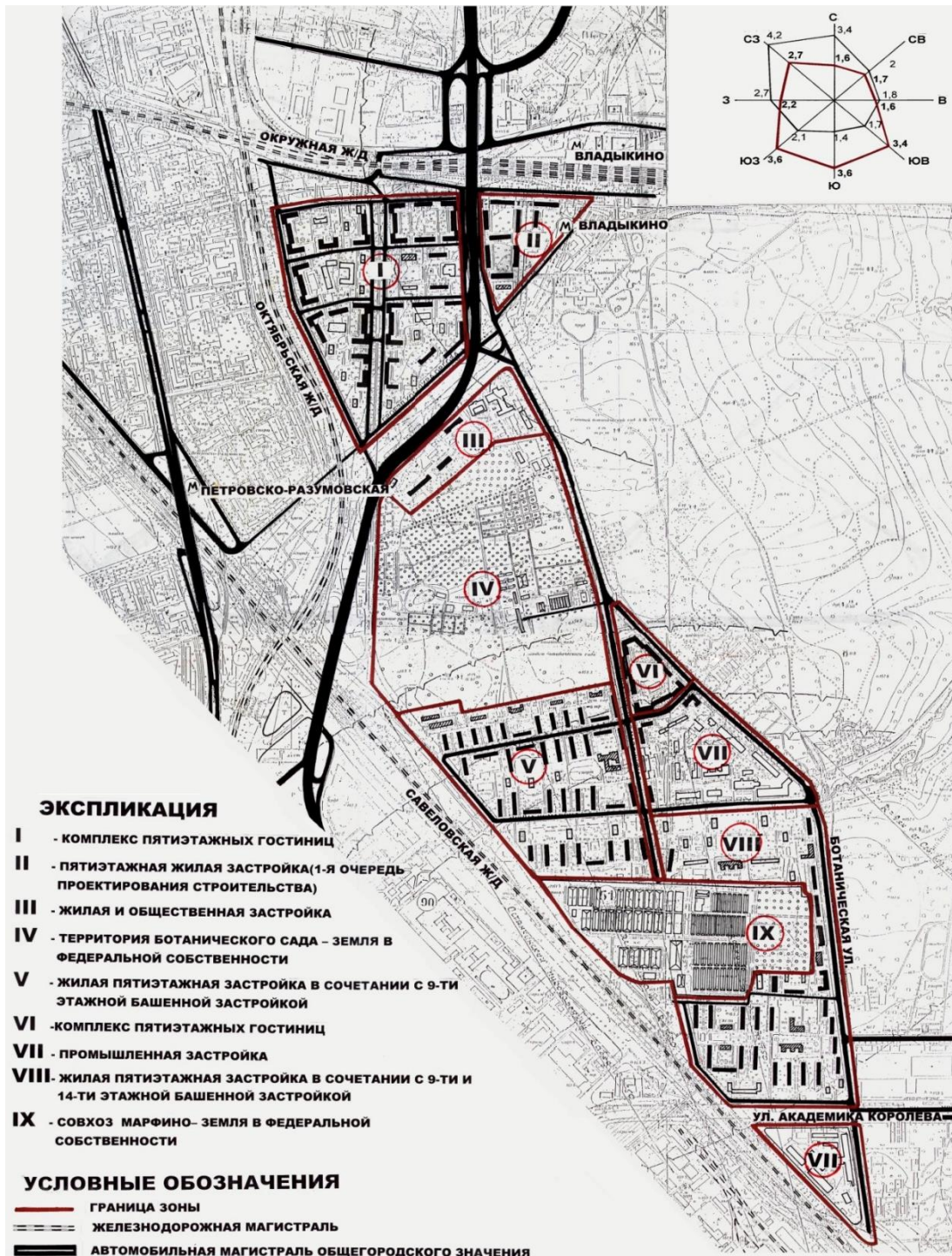


Рис. 2.3. Опорный план жилого района. Проект-программа (проект планировки территории)

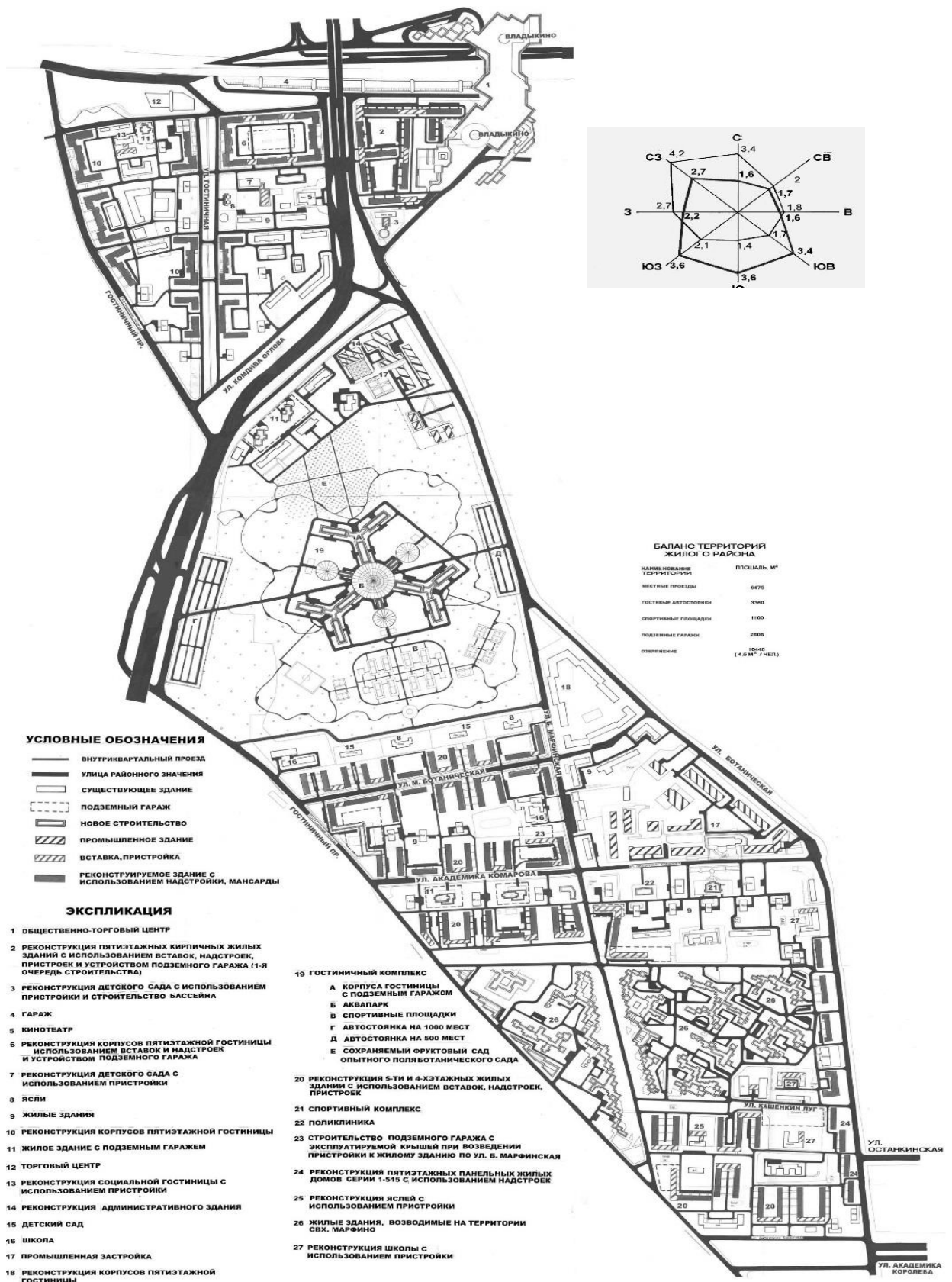


Рис. 2.4. Жилой район. Проектное положение. Вариант. Проект-программа (Проект планировки территории)

8. При обеспечении условий сходимости расчета средневзвешенной скорости ветра ( $V_{cp}$ ) с результатами физического эксперимента выполнить расчет площади со-

вокупной зоны с комфортной воздушной средой, пригодной для размещения значимых элементов благоустройства.

9. Провести анализ и сравнение результатов по моделированию ветрового воздействия на участки городской застройки. Для этого необходимо полученные поля скоростей ветра в приземном пространстве жилой территории по каждому направлению ветра разделить и сгруппировать по сезонам и определить их массовой долю в сезоне. Далее определить статистически значимые совокупное за сезон ветровое зонирование.

10. На основе диапазона скорости ветра по сезонной комфортности (п. 2) построить по данным ветрового зонирования совокупные застойные, дискомфортные и комфортные зоны для лета и совокупные дискомфортные и комфортные зоны для зимы на стадии проект-регламент (стадия «Проект»).

11. Оценить участки застройки по совокупному ветровому зонированию за сезон, совместив полученные зоны с проектным решением территории по комплексному благоустройству и озеленению.

12. Выявить места пересечения сезонных совокупных застойных и дискомфортных зон со значимыми элементами благоустройства (детские, спортивные площадки, площадки тихого отдыха, сады микрорайона).

13. Оценить проектное решение по расположению малых архитектурных форм и озеленения в сезонных совокупных застойных и дискомфортных зонах на значимых элементах благоустройства.

14. Разработать или применить типовые проектные решения по комплексному благоустройству для компенсации биоклиматического дискомфорта малыми архитектурными формами и озеленением.

15. При разработке нового проектного решения провести расчетно-экспериментальное исследование фрагмента участка застройки с учетом нового размещения малых архитектурных форм и озеленения для подтверждения компенсации биоклиматического дискомфорта. При необходимости скорректировать и повторить исследование.

### **3. ОБРАБОТКА МЕТЕОДАНЫХ С ЦЕЛЬЮ УТОЧНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ БИОКЛИМАТИЧЕСКОЙ КОМФОРТНОСТИ**

Первый блок методики расчетно-экспериментального моделирования ветрового воздействия на участки городской застройки предполагает анализ расчетной скорости ветра и наиболее повторяющихся направлений ветров по сезонам, полученные метеорологической службой с местного метеопоста или метеостанции. Для реализации данного блока в НИУ МГСУ разработана методика проверки статистической значимости связи между различными скоростями ветров и направлениями.

Метеорологические параметры климатических нагрузок фактически представляют внешнее воздействие региона строительства, здание может рассматриваться как барьер, который ограждает внутреннюю среду от внешних климатических нагрузок. Климатические условия, которые формируют и определяют местный климат, называются элементами климата, которые могут включать в себя различные параметры, такие как погодные температуры, влажность, движение воздуха, скорости ветра, данные о снеговом покрове и солнечной радиации. Процесс идентификации, понимание и контроль климатических воздействий на строительной площадке является, пожалуй, одной из самых ответственных частей строительного проекта.

Метеоданные, имеющие ключевое значение при проектировании, включают в себя: сведения о географии (например, широта и долгота); данные о температуре; данные о влажности; данные о солнечной радиации; данные о ветровом режиме (скорость, направление ветра); данные о характере снежного покрова.

#### **3.1. Исходные данные**

При анализе любой информации ключевую роль играют исходные данные, а в основе исследования по обработке данных должно лежать использование репрезентативной выборки. Если входные данные недостоверны, а выборка нерепрезентативна, то даже применение даже самой надежной и многократно апробированной методики, содержащей обоснованные статистические критерии, никогда не приведет к достоверному результату, а ценность самого исследования будет сведена на нет.

Именно поэтому исходные данные о метеорологических условиях должны обладать высокой степенью релевантности, что наталкивает на первую историческую проблему анализа и обработки метеоданных: статистические данные о погоде, как правило, колеблются в широких пределах из-за исторических проблем метеорологии – отсутствие полных почасовых данных, несовместимых форматов и отсутствие стандартных критериев отбора. Также следует всегда помнить, что даже метеоданные, полученные для одного и того же населенного пункта на двух различных, пусть даже оснащенных передовым и высокоточным измерительным оборудованием станциях, могут сильно отличаться, поскольку результаты измерений зависят от различных факторов (высота установки метеоприборов над уровнем моря; местные особенности рельефа, а также значительные препятствия – большие дома, группы деревьев – вокруг места наблюдений на расстоянии ближе 100 м).

Очевидно, что для корректного анализа и последующей обработки исходные данные, предоставляемые метеостанциями, должны быть достоверными и качественными, при этом, чем шире временной охват метеорологических измерений, тем качественнее, достовернее и репрезентативнее будут полученные в ходе дальнейшей статистической обработки исходных данных результаты. Считается, что для использова-

ния метеоданных в инженерных приложениях база метеоданных должна содержать сведения о погоде как минимум за 30-летний период. Здесь возникает вторая историческая проблема сбора метеоданных: на практике длина метеозаписей очень сильно зависит от расположения объекта, особенно это касается отдаленных районов. При этом следует иметь в виду, что качество записей в ранние годы и в настоящее время сильно отличаются, поскольку цифровые метеостанции появились сравнительно недавно и в настоящее время не все метеостанции перешли на цифровой формат.

Главным документом для получения исходных метеоданных на территории Российской Федерации по-прежнему остается «СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\* (с Изменением № 2)», введенный в 1982 году и последний раз обновленный в 2012 году. Очевидно, что за последние 5 лет сведения о погоде обновились, многие метеостанции были оснащены более точным современным оборудованием, и данный документ нуждается в актуализации. Таким образом, на сегодняшний день анализ метеоданных зачастую строится на лучшей из имеющейся информации, поскольку качественные данные, собранные с помощью современного оборудования, имеют период около 20 лет, и то только в центральных регионах, а главный документ, который используют проектировщики при различного рода расчетах на климатические нагрузки, последний раз актуализовался в 2012 году. В настоящее время существует большое количество онлайн сервисов, собирающих статистические сведения с метеостанций для большого географического охвата. С их помощью можно узнать статистику по практически любому климатическому параметру за довольно большой временной интервал; однако при расчетах на климатические нагрузки ссылаться на подобные данные в настоящее время нельзя, а документ, на который ссылаться можно, морально устарел и зачастую не содержит все необходимые для расчета сведения. Необходимость иметь актуальные и полные метеоданные, на которые возможно официально ссылаться, приводит к тому, что зачастую организациям, работающим с метеоданными, приходится заказывать различные справки из метеостанций, расположенных вблизи участка строительства.

Таким образом, любая методика по обработке метеоданных начинается со сбора информации с метеорологических станций, причем использование недостоверных исходных приведет к ошибочным результатам исследования. Здесь следует всегда помнить о приведенных ключевых проблемах метеорологии и понимать, что результаты, полученные по методике обработки данных для метеостанции мегаполиса и метеостанции отдаленного района, будут обладать разной степенью достоверности.

Климат представляет собой архисложную систему, которая имеет множество переменных, действующих нелинейно на широком пространственно-временном диапазоне. Любая статистическая методика по обработке метеоданных будет приводить к результату, содержащему погрешности, которые возникают из-за изменчивости самого климата (климатические модели являются одними из самых сложных с точки зрения математического моделирования), невозможности получить метеорологические данные в любой пространственно-временной точке, несовершенства исходных данных. Поэтому любая применяемая для статистической обработки метеоданных методика должна давать не только лучшую оценку, но и ее погрешность.



### **3.2. Анализ ветровых воздействий**

Согласно существующей классификации ветры делятся на слабые (до 6 м/с), умеренные (6–10 м/с), сильные (10–20 м/с) и ураганные (свыше 20 м/с). В настоящее время по данным нормативных документов возможно построение только осредненной розы ветров, которая показывает общую повторяемость ветров по направлениям. Очевидно, что чаще всего повторяются ветра умеренных скоростей, и фактически роза ветров отражает только их распределение, в то время как на практике полезно иметь данные по преобладающим направлениям сильных, экстремальных и слабых ветров; ведь преобладающие направления для умеренных и, например, экстремальных ветров могут отличаться. С точки зрения практического применения данные о ветрах умеренных скоростей полезны при расчетах пешеходной комфортности, данные о сильных и экстремальных ветрах – для более детального исследования аэродинамического поведения зданий и сооружений на этих направлениях; данные о слабых ветрах – для определения застойных зон. Так, для направлений, где реализуются экстремальные скорости ветров, целесообразно уменьшить шаг продувки; при установлении по итогам исследования неблагоприятной с точки зрения аэродинамики картины на этих направлениях необходимо предложить мероприятия по устранению нежелательных аэродинамических эффектов (обустройство малых архитектурных форм, изменение геометрии для снижения аэродинамических коэффициентов и пр.).

Кроме того, в ходе аэродинамического эксперимента необходимо проводить исследования как минимум при 16 направлениях ветра, в то время как классическая роза ветров содержит данные только овосьми.

Данная методика заключается в построении гистограммы частот повторяемости ветров различной силы по 16 направлениям ветра с целью получения уточненной розы ветров.

С этой целью на основании данных метеостанции о повторяемости различных ветров по 16 направлениям будет построена таблица сопряженности двумерных частотных распределений; произведен анализ наличия статистической связи между направлениями и повторяемостью; при условии наличия статистической связи для данного региона будет построена уточненная роза ветров с помощью разработанной программы ЭВМ. При проведении подобного рода исследования необходимо помнить, что связь между скоростью и направлением в изыскиваемом регионе должна быть статистически значимой, построение гистограммы без доказательств значимости связи не является целесообразным, поскольку не обладает прогностической ценностью.

### **3.3. Проверка статистической значимости связи между различными скоростями ветров и направлениями**

Методика проверки статистической значимости между различными скоростями ветров и направлениями выглядит следующим образом:

1) формулируется нулевая гипотеза  $H_0$  и альтернативная гипотеза  $H_1$ :  $H_0$  – между скоростями ветра и направлением связи нет;  $H_1$  – связь между скоростью ветра и направлениями статистически значима;

2) в качестве функции статистики задается статистика хи-квадрат – критерий, используемый для проверки статистической значимости наблюдаемых связей в таблицах сопряженности признаков

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}, \quad (3.3.1)$$

где  $i$  – номер строки (от 1 до  $r$ );  $j$  – номер столбца (от 1 до  $c$ );  $O_{ij}$  – наблюдаемые частоты (observed),  $E_{ij}$  – ожидаемые частоты (expected).

Если при анализе многопольных таблиц ожидаемое число наблюдений принимает значения менее 5 более чем в 20 % ячеек или ожидаемая частота меньше 10 хотя бы в одной ячейке для четырехпольных таблиц, то критерий хи-квадрат должен рассчитываться с поправкой Йейтса

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(|O_{ij} - E_{ij}| - 0,5)^2}{E_{ij}}; \quad (3.3.2)$$

3) фиксируется уровень значимости,  $\alpha \in (0,1)$  – допустимая для данной задачи вероятность ошибки первого рода, т.е. того, что нулевая гипотеза на самом деле верна, но будет отвергнута процедурой проверки. На практике часто полагают  $\alpha = 0,05$ ;

4) выделяется критическое множество наименее вероятных значений статистики хи-квадрат со степенью свободы  $f = (r - 1)(c - 1)$ , соответствующее тому, что нулевая гипотеза должна быть отвергнута. Остальная часть множества значений является допустимой, т.е. не опровергает нулевую гипотезу;

б) вычисляется значение статистики по формулам 3.3.1 или 3.3.2;

7) проверяется, куда попадает значение статистики. Если в допустимое множество, то принимается нулевая гипотеза. Если в критическое, то нулевая гипотеза отвергается. Если нулевая гипотеза принимается, то построение гистограммы нецелесообразно ввиду отсутствия прогностической ценности.

### 3.4. Пример расчета

Постановка задачи: требуется установить преобладающие направления ветров для низких, умеренных, сильных и экстремальных скоростей для объекта.

Для этого сначала необходимо установить наличие статистической связи между скоростью ветра и направлениями в данном регионе.

Формулируется нулевая гипотеза  $H_0$  и альтернативная гипотеза  $H_1$ :  $H_0$  – между скоростями ветра и направлением в данном регионе связи нет;  $H_1$  – связь между скоростью ветра и направлениями статистически значима.

Основываясь на данных расположенной в данном районе метеообсерватории за десятилетний период с 2001 по 2010 год, строим таблицу сопряженности для частот повторяемости различных скоростей ветра по направлениям.

Таблица 3.1

## Наблюдаемые частоты скоростей ветра по направлениям

$V$ , м/с	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ	С	Всего
0–1		2		2	10	3	1		1	2		1		1			23
1–2	11	12	9	12	33	23	11	15	5	5	9	5	7	5	8	9	179
2–3	29	25	12	15	59	54	32	6	5	5	11	8	7	6	19	24	317
3–4	57	34	10	48	39	26	27	19	8	4	11	22	23	9	16	89	442
4–5	85	60	22	32	33	14	20	16	11	13	18	20	34	21	9	67	475
5–6	130	80	24	12	26	14	22	9	9	17	11	19	8	9	28	117	535
6–7	140	59	27	20	10	17	18	12	5	4	3	15	5	4	13	148	500
7–8	147	90	33	14	10		9	1	5		1	11	15	1	12	104	453
8–9	136	145	23				9	5			2	15	10		6	96	447
9–10	95	129	15					1			3	7			8	82	340
10–11	71	101	19							2	5	15			5	70	288
11–12	59	34	19								1	10			6	54	183
12–13	46	20	3								3	5			6	49	132
13–14	24	10													14	14	62
14–15	16	6													10	12	44
15–16	17															18	35
16–17	5															4	9
	1068	807	216	155	220	151	149	84	49	52	78	153	109	56	160	957	4464

Вычисляются теоретические (ожидаемые) частоты.

Таблица 2.3.2

## Теоретические частоты скоростей ветра по направлениям

V, м/с	ССВ	СВ	BCB	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ	С	Всего
<b>0-1</b>	5,502688	4,15793	1,112903	0,798611	1,133513	0,778002	0,767697	0,432796	0,252464	0,267921	0,401882	0,788306	0,561604	0,28853	0,824373	4,93078	<b>23</b>
<b>1-2</b>	42,82527	32,35954	8,66129	6,215278	8,821685	6,054884	5,974686	3,36828	1,96483	2,085125	3,127688	6,135081	4,370744	2,24552	6,415771	38,37433	<b>179</b>
<b>2-3</b>	75,8414	57,30712	15,33871	11,00694	15,62276	10,72289	10,58087	5,965054	3,479615	3,692652	5,538978	10,86492	7,740367	3,976703	11,36201	67,95901	<b>317</b>
<b>3-4</b>	105,7473	79,90457	21,3871	15,34722	21,78315	14,95116	14,75314	8,317204	4,851703	5,148746	7,723118	15,14919	10,79256	5,544803	15,84229	94,75672	<b>442</b>
<b>4-5</b>	113,6425	85,8703	22,98387	16,49306	23,4095	16,06743	15,85461	8,938172	5,213934	5,533154	8,299731	16,28024	11,59834	5,958781	17,02509	101,8313	<b>475</b>
<b>5-6</b>	127,9973	96,71707	25,8871	18,57639	26,36649	18,097	17,8573	10,0672	5,872536	6,232079	9,348118	18,33669	13,0634	6,71147	19,17563	114,6942	<b>535</b>
<b>6-7</b>	119,6237	90,38978	24,19355	17,36111	24,64158	16,91308	16,68907	9,408602	5,488351	5,824373	8,736559	17,1371	12,20878	6,272401	17,92115	107,1909	<b>500</b>
<b>7-8</b>	108,379	81,89315	21,91935	15,72917	22,32527	15,32325	15,1203	8,524194	4,972446	5,276882	7,915323	15,52621	11,06116	5,682796	16,23656	97,11492	<b>453</b>
<b>8-9</b>	106,9435	80,80847	21,62903	15,52083	22,02957	15,1203	14,92003	8,41129	4,906586	5,206989	7,810484	15,32056	10,91465	5,607527	16,02151	95,82863	<b>447</b>
<b>9-10</b>	81,34409	61,46505	16,45161	11,80556	16,75627	11,5009	11,34857	6,397849	3,732079	3,960573	5,94086	11,65323	8,301971	4,265233	12,18638	72,88978	<b>340</b>
<b>10-11</b>	68,90323	52,06452	13,93548	10	14,19355	9,741935	9,612903	5,419355	3,16129	3,354839	5,032258	9,870968	7,032258	3,612903	10,32258	61,74194	<b>288</b>
<b>11-12</b>	43,78226	33,08266	8,854839	6,354167	9,018817	6,190188	6,108199	3,443548	2,008737	2,13172	3,197581	6,272177	4,468414	2,295699	6,55914	39,23185	<b>183</b>
<b>12-13</b>	31,58065	23,8629	6,387097	4,583333	6,505376	4,465054	4,405914	2,483871	1,448925	1,537634	2,306452	4,524194	3,223118	1,655914	4,731183	28,29839	<b>132</b>
<b>13-14</b>	14,83333	11,20833	3	2,152778	3,055556	2,097222	2,069444	1,166667	0,680556	0,722222	1,083333	2,125	1,513889	0,777778	2,222222	13,29167	<b>62</b>
<b>14-15</b>	10,52688	7,954301	2,129032	1,527778	2,168459	1,488351	1,468638	0,827957	0,482975	0,512545	0,768817	1,508065	1,074373	0,551971	1,577061	9,432796	<b>44</b>
<b>15-16</b>	8,373656	6,327285	1,693548	1,215278	1,72491	1,183916	1,168235	0,658602	0,384185	0,407706	0,611559	1,199597	0,854615	0,439068	1,25448	7,50336	<b>35</b>
<b>16-17</b>	2,153226	1,627016	0,435484	0,3125	0,443548	0,304435	0,300403	0,169355	0,09879	0,104839	0,157258	0,308468	0,219758	0,112903	0,322581	1,929435	<b>9</b>
	<b>1068</b>	<b>807</b>	<b>216</b>	<b>155</b>	<b>220</b>	<b>151</b>	<b>149</b>	<b>84</b>	<b>49</b>	<b>52</b>	<b>78</b>	<b>153</b>	<b>109</b>	<b>56</b>	<b>160</b>	<b>957</b>	<b>4464</b>

Поскольку в табл. 3.2 ожидаемые частоты принимают значения менее 5 в 40 % случаев, используется статистика хи-квадрат с поправкой Йейтса по формуле 3.2

$$\chi^2 = 1857.$$

Задается уровень значимости  $\alpha = 0,05$  – нулевая вероятность того, что нулевая гипотеза на самом деле верна, но будет отвергнута процедурой проверки.

Вычисляется критическая область хи-квадрат для уровня значимости  $\alpha = 0,05$  со степенью свободы  $f = (17 - 1)(16 - 1) = 240$ :

$$\chi^2(0,05;240) > 277,14.$$

Поскольку значение статистики  $\chi^2 = 1857$  попадает в критическую область, то нулевая гипотеза опровергается, и связь является статистически значимой, то есть существуют статистически преобладающие направления ветров для низких, умеренных, сильных и экстремальных скоростей для данного объекта.

Гистограмма строится с использованием разработанной программы ЭВМ на языке программного обеспечения «Gnuplot»:

Полученная для табл. 3.1 гистограмма розы ветров представлена на рис. 3.1. Как следует из рис. 3.1, преобладающим направлением для ветров умеренных скоростей являются: ССВ, СВ, ЮЗ, СЗ. Сильные ветра чаще имеют следующие направления: ССВ, СВ, ВСВ, В, ВЮВ, ЮВ, ЮЮЗ, Ю. Преобладающим направлением для слабых ветров являются В и ЮВ.

Таким образом, для направлений ССВ, СВ, ВСВ, В, ВЮВ, ЮВ, ЮЮЗ, Ю в ходе аэродинамического моделирования необходимо уменьшить шаг продувки, в случае если в ходе эксперимента окажется, что на этих направлениях реализуются неблагоприятные аэродинамические сценарии, то необходимо предпринять меры по устранению нежелательных аэродинамических эффектов.

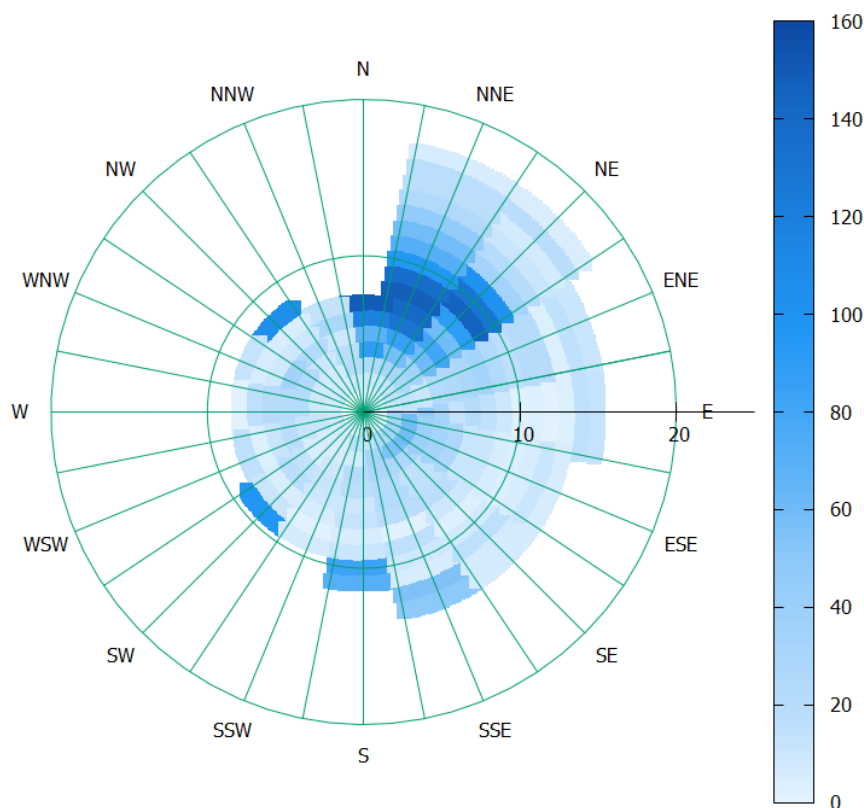


Рис. 3.1. Гистограмма распределений скоростей ветра по направлениям

С целью демонстрации преимуществ розы ветров, построенной на основе двумерных частотных распределений, произведем сравнение с классической розой ветров. В табл. 3.3 приведены данные по повторяемости ветра по направлениям без учета силы ветра, полученные по табл. 3.1.

Таблица 3.3

**Повторяемость ветра по направлениям**

С	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ
21,4	23,9	18,1	4,8	3,5	4,9	3,4	3,3	1,9	1,1	1,2	1,7	3,4	2,4	1,3	3,6

Соответственно на рис. 2.3.3 представлена классическая роза для того же региона, что и уточненная гистограмма повторяемости 2.3.2, построенная на основе анализа частот повторяемости ветров различной силы по направлениям.

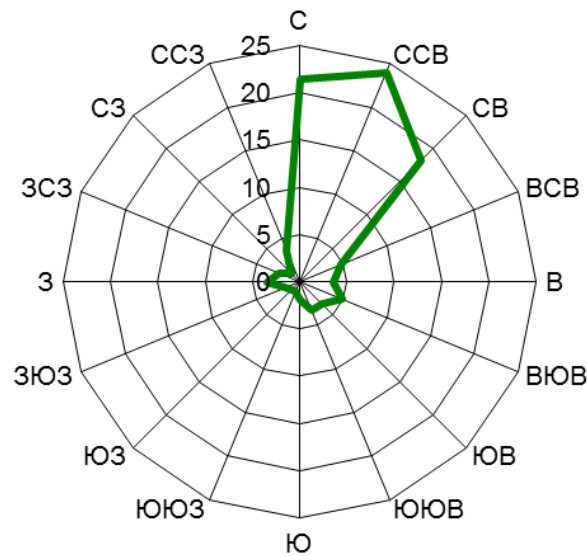


Рис. 3.2. Классическая роза ветров для того же региона

Как следует из сравнения рис. 3.1 и 3.2, при построении классической розы ветров происходит потеря значимой с точки зрения прикладных исследований информации.

## 4. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ В ANSYS FLUENT 14.5

### 4.1. Математическая формулировка задачи гидродинамики

В основе практически всех задач вычислительной гидродинамики лежит система уравнений Навье – Стокса, определяющая течение любой однофазной жидкости или газа. Уравнения выведены из второго закона Ньютона применительно к движению жидкости с учетом ньютоновской реологии.

$$\begin{aligned}\frac{\partial V_1}{\partial t} + V_1 \frac{\partial V_1}{\partial x_1} + V_2 \frac{\partial V_1}{\partial x_2} + V_3 \frac{\partial V_1}{\partial x_3} &= F_1 - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_1} + \nu \nabla^2 V_1, \\ \frac{\partial V_2}{\partial t} + V_1 \frac{\partial V_2}{\partial x_1} + V_2 \frac{\partial V_2}{\partial x_2} + V_3 \frac{\partial V_2}{\partial x_3} &= F_2 - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_2} + \nu \nabla^2 V_2, \\ \frac{\partial V_3}{\partial t} + V_1 \frac{\partial V_3}{\partial x_1} + V_2 \frac{\partial V_3}{\partial x_2} + V_3 \frac{\partial V_3}{\partial x_3} &= F_3 - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_3} + \nu \nabla^2 V_3,\end{aligned}\tag{4.1}$$

где  $V_i$  – компоненты скорости;  $F_i$  – компоненты внешней силы;  $x_i$  – координаты точки в пространстве;  $t$  – время,  $P$  – давление,  $\rho$  – плотность,  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости.

Совместно с уравнением неразрывности для несжимаемой жидкости система (4.1) описывает движение любой жидкости.

$$\frac{\partial V_1}{\partial x_1} + \frac{\partial V_2}{\partial x_2} + \frac{\partial V_3}{\partial x_3} = 0.\tag{4.2}$$

Впервые на основании соображений о взаимодействии молекул эти уравнения были получены Навье в 1822 году и Пуассоном в 1829 году, а затем Сен-Венаном в 1843 году и Стоксом в 1845 году.

Аналитического решения уравнений Навье – Стокса для задачи об обтекании геометрически сложного объекта, каким является практически любое строительное сооружение, получить невозможно. Поэтому на практике применяются методы численного моделирования, позволяющие получать приближенные решения с высокой точностью с применением современной компьютерной техники.

Наибольшее распространение на сегодняшний день получил метод RANS\URANS (осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье – Стокса), который является одним из базовых методов и представлен в инструментариях CFD (computationalfluidynamics) в программах наиболее известных производителей ANSYS, CD-ADAPCO, ESI. Впервые он был предложен в работе Осборна Рейнольдса, опубликованной в 1894 году. Суть метода описания турбулентных течений заключается в представлении мгновенных значений всех гидродинамических величин (скорости, плотности, температуры и т.д.) в виде суммы осредненных по времени и пульсационных (турбулентных) составляющих. Однако этот метод не позволяет получить решение той или иной задачи в рамках строгой математической постановки, так как уравнения Рейнольдса являются незамкнутыми.

Для реализации данного метода решаются уравнения Навье – Стокса (4.1, 4.2) осредненные по Рейнольдсу. После применения процедуры осреднения уравнения Навье – Стокса могут быть записаны в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial V_{m1}}{\partial t} + V_{m1} \frac{\partial V_{m1}}{\partial x_1} + V_{m2} \frac{\partial V_{m1}}{\partial x_2} + V_{m3} \frac{\partial V_{m1}}{\partial x_3} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P_m}{\partial x_1} + \nu \nabla^2 V_{m1} - \left( \frac{\partial}{\partial x_1} (\overline{V_{p1} V_{p1}}) + \frac{\partial}{\partial x_2} (\overline{V_{p2} V_{p1}}) + \frac{\partial}{\partial x_3} (\overline{V_{p3} V_{p1}}) \right) \\
 \frac{\partial V_{m2}}{\partial t} + V_{m1} \frac{\partial V_{m2}}{\partial x_1} + V_{m2} \frac{\partial V_{m2}}{\partial x_2} + V_{m3} \frac{\partial V_{m2}}{\partial x_3} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P_m}{\partial x_2} + \nu \nabla^2 V_{m2} - \left( \frac{\partial}{\partial x_1} (\overline{V_{p1} V_{p2}}) + \frac{\partial}{\partial x_2} (\overline{V_{p2} V_{p2}}) + \frac{\partial}{\partial x_3} (\overline{V_{p3} V_{p2}}) \right) \\
 \frac{\partial V_{m3}}{\partial t} + V_{m1} \frac{\partial V_{m3}}{\partial x_1} + V_{m2} \frac{\partial V_{m3}}{\partial x_2} + V_{m3} \frac{\partial V_{m3}}{\partial x_3} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P_m}{\partial x_3} + \nu \nabla^2 V_{m3} - \left( \frac{\partial}{\partial x_1} (\overline{V_{p1} V_{p3}}) + \frac{\partial}{\partial x_2} (\overline{V_{p2} V_{p3}}) + \frac{\partial}{\partial x_3} (\overline{V_{p3} V_{p3}}) \right) \\
 \frac{\partial V_{m1}}{\partial x_1} + \frac{\partial V_{m2}}{\partial x_2} + \frac{\partial V_{m3}}{\partial x_3} &= 0.
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

Уравнения (4.3) также еще называют уравнениями Рейнольдса и рассматривают как уравнения переноса импульса  $V_{mj}$ . Уравнения (4.3), служащие для определения  $V_{mj}$ , содержат в своем составе «моменты второго порядка»  $\overline{V_{pj} V_{pk}}$ , делающие эту систему незамкнутой. Уравнения, которые должны определять входящие в (4.3) «моменты второго порядка», содержат «моменты третьего порядка» и т.д.

#### Модели турбулентности

Среди последних работ, внесших существенный вклад в развитие полуэмпирических моделей турбулентности, следует особо отметить работу Ментора [102].

Основываясь на том, что модели турбулентности типа k-ε лучше описывают свойства свободных сдвиговых течений, а модели k-ω типа имеют преимущества при моделировании пристеночных течений, Ментор предложил модель, сочетающую в себе указанные сильные стороны k-ε и k-ω моделей. Для этого k-ε модель переформулировалась в терминах k и ω, а затем в полученные в результате модельные введена эмпирическая функция  $F_\omega$ , обеспечивающая плавный переход от k-ω модели в пристеночной области к k-ε модели вдали от твердых стенок. Таким образом модель Ментора записывается путем суперпозиции моделей k-ε и k-ω, помноженных соответственно на весовую функцию  $F_\omega$  и  $(1-F_\omega)$ . Функция  $F_\omega$  конструируется таким образом, чтобы быть равной единице на верхней границе пограничного слоя и стремиться к нулю при приближении к стенке. Сшивка предполагается в области следа пограничного слоя.

Второй важный шаг, сделанный Ментором, состоял в видоизменении стандартной связи между k, ω и турбулентной вязкостью  $\nu_t$ . В эту связь был введен специальный ограничитель (MSST), обеспечивающий переход от нее к формуле Бердшоу, согласно которой турбулентное напряжение трения пропорционально кинетической энергии турбулентности

$$\overline{V_{pj} V_{pk}} = 0.31 k_\omega. \tag{4.4}$$

Этот прием, получивший название SST (shearstresstransport), в дальнейшем с успехом применялся и в других двухпараметрических моделях турбулентности.

Модель переноса сдвиговых напряжений (SST) Ментора имеет следующие характерные черты:

– SST модель включает демпфирующий член с перекрестными производными в уравнении для ω;



- при определении турбулентной вязкости принимается во внимание перенос турбулентных сдвиговых напряжений в рамках подхода Джонсона-Кинга;
- модельные константы несколько отличаются от аналогичных значений в исходных моделях.

Модель Ментора прошла длительную апробацию. Она детально описана в ряде работ [31, 32].

## 4.2. Требования к расчетной области и конечно-объемной сетке

Входные, выходные и боковые границы расчетной области должны быть удалены от исследуемого объекта на рассеяние  $L$ , которое должно быть не меньше 15 калибров (рис.4.1). За калибр принимается диаметр окружности ( $D$ ), охватывающей исследуемую жилую застройку.

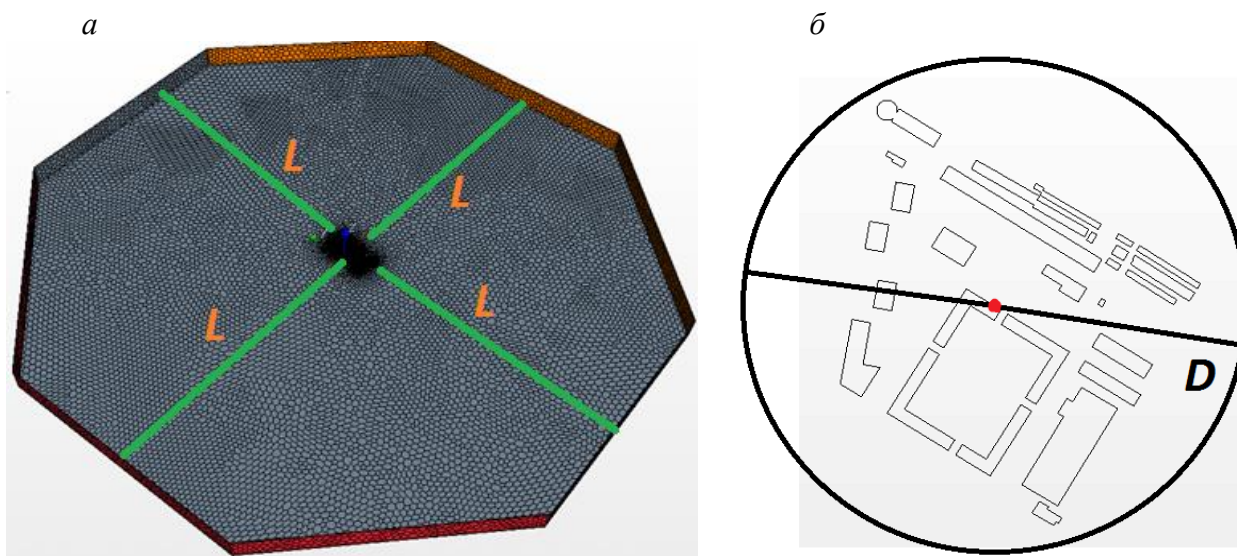


Рис. 4.1. Геометрия расчетной области: *a* – общий вид; *б* – исследуемая застройка

Высота расчетной области должна быть не менее  $5H_{\max}$ , где  $H_{\max}$  – высота самого большого здания в исследуемой застройке.

На границах тел исследуемой застройки толщину первой ячейки призматического слоя, разрешающего пограничный слой, следует подбирать исходя из требования  $y_+ \leq 5$ . На наименьший размер  $D \times Ш \times В$  каждого здания или сооружения застройки должно приходиться не менее 20 ячеек, при этом характерный размер поверхностного элемента сетки на каждом здании или сооружении не должен превышать 0,5 м (для масштаба 1:1). В пределах охвата  $2D$  от центра исследуемого объекта следует использовать дополнительное сгущение расчетной сетки.

## 5. ТИПОВЫЕ ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО КОМПЛЕКСНОМУ БЛАГОУСТРОЙСТВУ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ДИСКОМФОРТА МАЛЫМИ АРХИТЕКТУРНЫМИ ФОРМАМИ

### 5.1. Классификация малых архитектурных форм и озеленения по влиянию на биоклиматическую комфортность

Малые архитектурные формы классифицируются с точки зрения архитектурно-строительной аэродинамики как шероховатости и ветрозащитные элементы:

тип 1.1. Воздухопроницаемая со значимой шероховатостью конструкция (плотность сечения конструкции по потку ветра менее 60 %, высота до 1 м, площадь установки до 2 кв.м). Снижение скорости ветра на 5 %;

тип 1.2. Воздухонепроницаемые со значимой шероховатостью конструкция (плотность сечения конструкции по потку ветра более 60 %, высота до 1 м, площадь установки до 2 кв.м). Снижение скорости ветра на 7–10 %;

тип 2.1. Воздухопроницаемая ветрозащитная конструкция (плотность сечения конструкции по потку ветра менее 40 %, высота свыше 1 м, площадь установки до 2 кв.м). Снижение скорости ветра на 20–30 %;

тип 2.2. Воздухонепроницаемая ветрозащитная конструкция (плотность сечения конструкции по потку ветра более 40 %, высота свыше 1 м, площадь установки до 2 кв.м) Снижение скорости ветра на 25–40 %.

Таблица 5.1




#### Ветрозащитное влияния различных конструкций озеленения (по С.Д. Соколову)


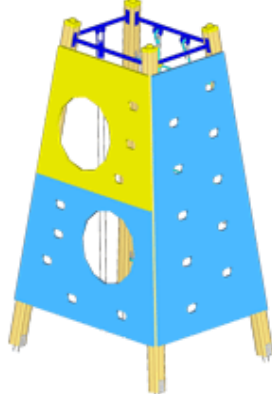
– I. Многосекционное здание			
– высота полосы относительно высоты здания (H = 15 м)	– интервал между полосой и зданием, Н	– средний процент снижения скорости ветра	– Примечания
– А. Непродуваемая конструкция полосы			
– 1/4	– 1–5	– 5–10	– % Различия 10–45
– 1/2	– 3–5	– 25–40	
– 3/4	– 1–3	– 10–15	
– 3/4	– 3–5	– 40–50	
– 3/4	– 1–3	– 15–20	
– Б. Продуваемая конструкция полосы			
– 1/4	– 1–5	– 35–45	– Различия в пределах точности опыта
– 1/2	– 1–5	– 35–45	
– 3/4	– 1–5	– 35–40	
– В. Ажурная конструкция полосы			
– 1/4	– 1–5	– 45–55	– То же
– 1/2	– 1–5	– 50–55	
– 3/4	– 1–5	– 45–55	
– II. Точечное здание			
– интервал, м	– Средний процент снижения скорости ветра		– за полосой озеленения при наличии здания
	– за полосой озеленения		
– А. Непродуваемая конструкция полосы			
– 45	– 55	– 24	
– 15	– 30	– 21	
– Б. Продуваемая конструкция полосы			
– 45	– 30	– 15	

– I. Многосекционное здание			
– высота полосы относительно высоты здания (H = 15 м)	– интервал между полосой и зданием, Н	– средний процент снижения скорости ветра	– Примечания
– 15	– 25	– 15	
– В. Ажурная конструкция полосы			
– 45	– 60	– 15	
– 15	– 60	– 20	

Таблица 5.2

**Примеры типов малых архитектурных форм**



Тип по воздухопроницаемости	Наименование	Эскиз	Снижение скорости ветра
Тип 1.1	Скамья 0,7x2,0x0,6		5 %
Тип 1.1	Урна 0,4x0,4x0,7		5 %
Тип 1.2	Игровой комплекс 2,0x1,8x0,7		10 %
Тип 2.1.	Скамья 0,7x2,0x1,5		7 %





Тип по воздухопроницаемости	Наименование	Эскиз	Снижение скорости ветра
Тип 2.1	Пергола	<p style="text-align: center;"><b>A6</b></p>  <p style="text-align: center;">H=2000 2100</p>	15 %
Тип 2.1	Спортивный комплекс 2,0x3,7x2,4		10 %
Тип 2.1	Беседка 2,4x2,4x3,4		10 %
Тип 2.2	Игровой комплекс горка 1,5x1,5x2,1		32 %



Тип по воздухопроницаемости	Наименование	Эскиз	Снижение скорости ветра
Тип 2.2	Стенд 0,5x1,5, 1,8		25%

Таблица 5.3

### Примеры озеленения

№	Наименование	Эскиз
1	Береза	
2	Туя	

№	Наименование	Эскиз
3	Дуб	
4	Клен	
5	Спирея японская	
6	Барбарис	

№	Наименование	Эскиз
7	Рябина обыкновенная	
8	Карагана желтая	

## 5.2. Описание проектных решений по комплексному благоустройству, применению малых архитектурных форм и озеленения

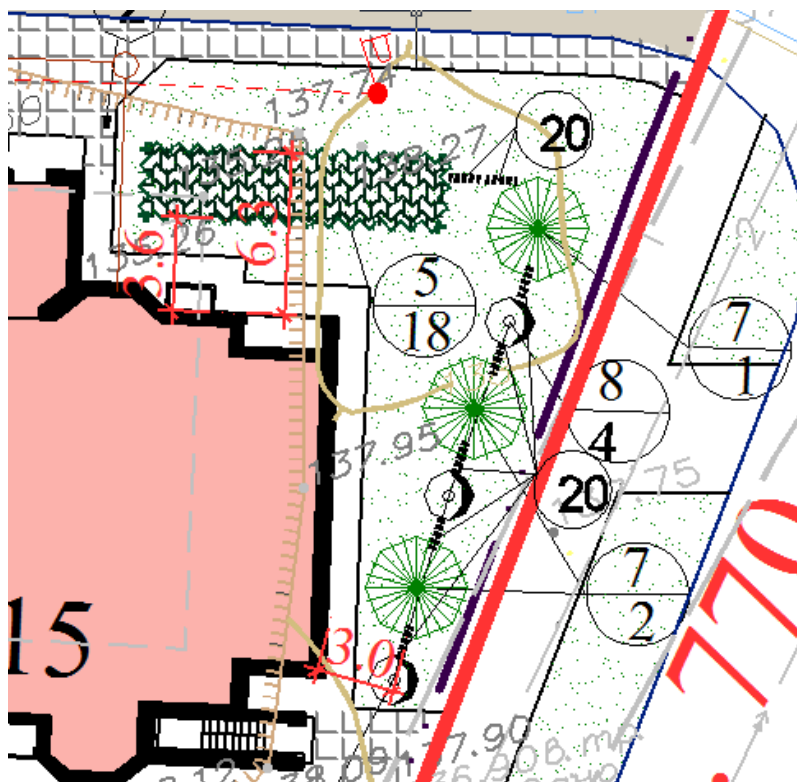


Рис. 5.1. Придомовая территория (зона 15 м от здания)

Ветрозащитное озеленение:

1. № 5. Спирея японская – 18 шт. (высота – 1,8 м., ширина – 1,8 м., длина, 6,5 м, ажурность – 25 %, плотность посадки – 3 куста на 1 п.м., расстояние от стены здания – 1,8–2,8 м).

2. № 8. Карагана желтая (высота – 2,5 м, ажурность – 35 %, диаметр кроны – 1,5 м) и № 7 Рябина обыкновенная (высота – 7,5 м, ажурность – 50 %, диаметр кроны – 6,0 м). Шаг ветрозащитной полосы – 4 м. Расстояние от стены здания – 2,2–6,5 м. Снижение скорости ветра на 10–15 % в радиусе 10 м.

Оценка конструкций МАФ по влиянию на снижение скорости ветра в радиусе 3 м:

№ 20. Пергола Тип 2.1 (длина – 2,0 м) – 10 %

Итого снижение на площадке скорости ветра на 10 %.

С учетом озеленения на 15 %.



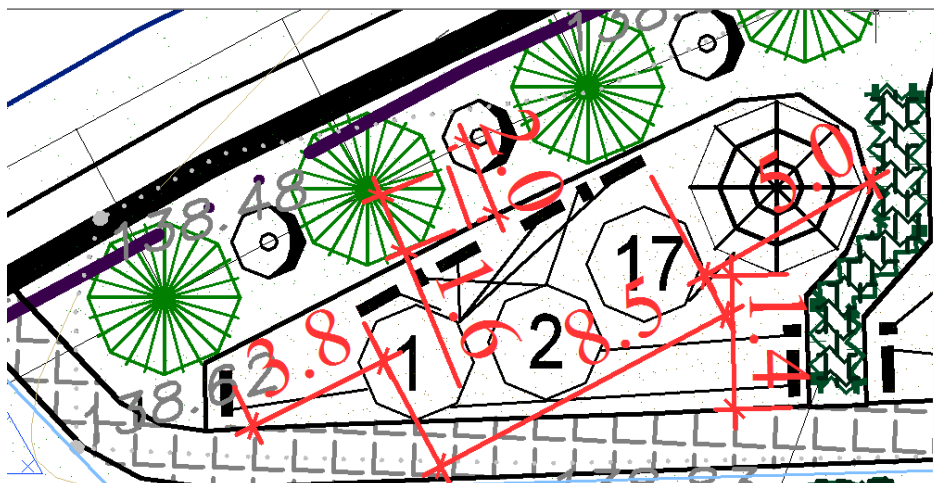


Рис. 5.2. Площадка тихого отдыха

Ветрозащитное озеленение:

1. № 5. Спирея японская – 18 шт. (высота – 1,8 м, ширина – 1,8, длина – 8,5 м, ажурность – 25 %, плотность посадки – 3 куста на 1 п.м., расстояние от площадки тихого отдыха – 0,5 м).

2. № 8. Карагана желтая (высота – 2,5 м, ажурность – 35 %, диаметр кроны – 1,5 м) и № 7 Рябина обыкновенная (высота – 7,5 м, ажурность – 50 %, диаметр кроны – 6,0 м). Шаг ветрозащитной полосы – 4 м. Расстояние от площадки тихого отдыха 0,5–2,5 м.

Снижение скорости ветра на 10–15 % в радиусе 5 м.

Оценка конструкций МАФ по влиянию на снижение скорости ветра в радиусе 3 м:

№ 1. Скамья Тип 1.2 – 7 %

№ 2. Урна Тип 1.1 – 5%

№ 17. Беседка Тип 2.1 – 10%

Итого на площадке снижение скорости ветра на 10%.

С учетом озеленения на 15 %.

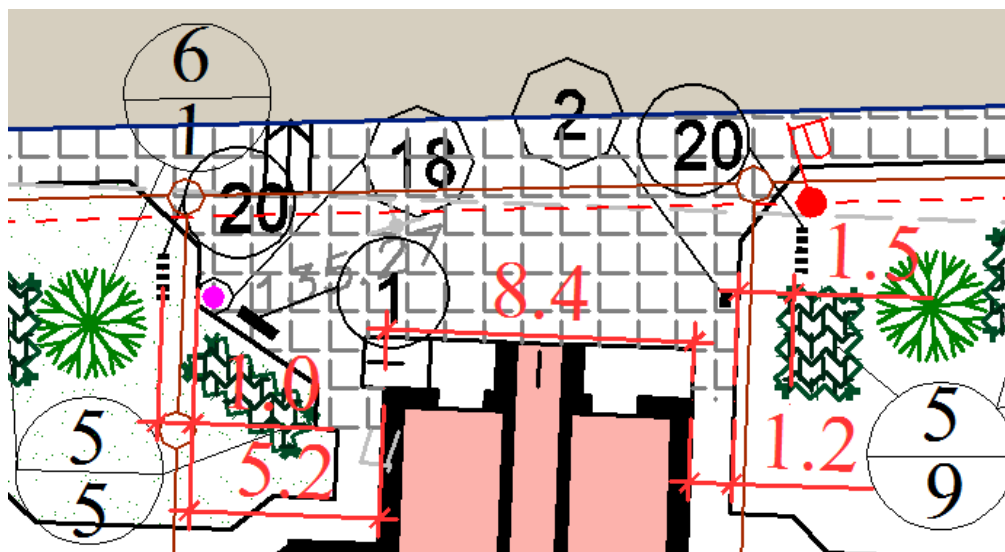


Рис. 5.3. Благоустройство входной группы. Место тихого отдыха

Ветрозащитное озеленение:

1. № 5. Спирея японская – 18 шт. (высота – 1,8 м, ширина – 1,8, длина – 8,5 м, ажурность – 25 %, плотность посадки–3 куста на 1 п.м., расстояние от места тихого отдыха 0,5 м).

№ 6. Рябина обыкновенная (высота – 7,5 м, ажурность – 50 %, диаметр кроны – 6,0 м). Шаг ветрозащитной полосы 2 м. Расстояние от площадки тихого отдыха 0,5–2,5 м.

Снижение скорости ветра на 10–15 % в радиусе 5 м.

Оценка конструкций МАФ по влиянию на снижение скорости ветра в радиусе 3 м:

№ 1. Скамья Тип 1.2 –7%

№ 2. Урна Тип 1.1 – 5 %

№ 20. Пергола Тип 2.1 (длина 2,0 м) – 10 %

Итого снижение на площадке скорости ветра на 10 %.

С учетом озеленения на 15 %.

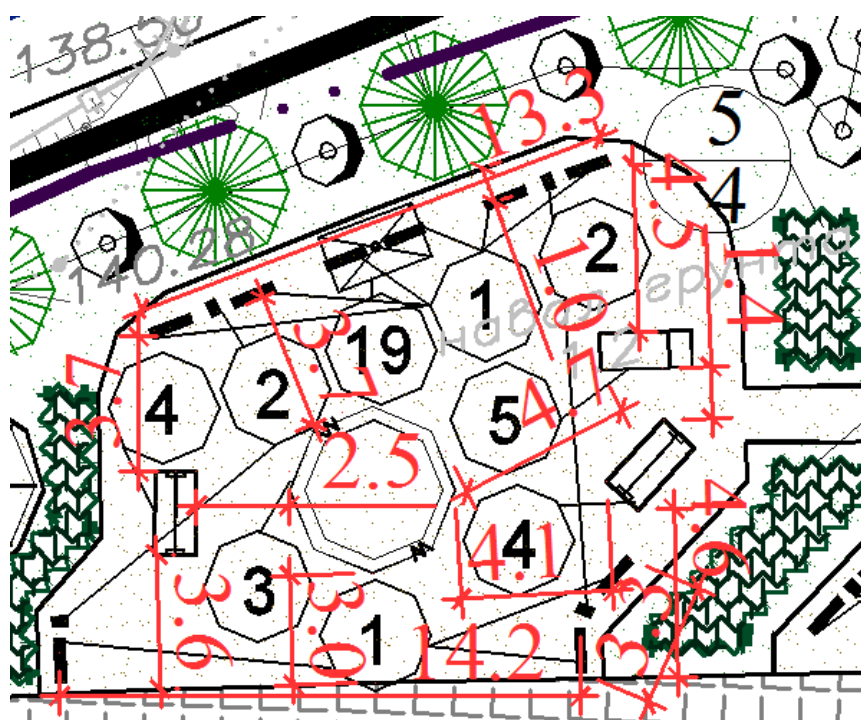


Рис. 5.4. Детская площадка 1

Ветрозащитное озеленение:

1. № 5. Спирея японская – 18 шт. (высота – 1,8 м, ширина – 1,8, длина – 10,5 м, ажурность – 25 %, плотность посадки – 3 куста на 1 п.м., расстояние от площадки – 0,5 м).

2. № 8. Карагана желтая (высота – 2,5 м, ажурность – 35%, диаметр кроны – 1,5 м) и № 7. Рябина обыкновенная (высота – 7,5 м, ажурность – 50 %, диаметр кроны – 6,0 м). Шаг ветрозащитной полосы 4 м. Расстояние от детской площадки 0,5–2,5 м.

Снижение скорости ветра на 10–15 % в радиусе 5 м.

Оценка конструкций МАФ по влиянию на снижение скорости ветра в радиусе 3 м:

№ 1. Скамья Тип 1.2 – 7 %; № 2. Урна Тип 1.1 – 5 %;

№ 4. Качели Тип 1.2 – 7%; № 5 Горка Тип 2.1 – 10 %;

№ 19. Навес Тип 2.1 – 10 %;

Итого снижение на площадке скорости ветра на 10 %.

С учетом озеленения на 15 %.



Рис. 5.5. Детская площадка 2

Ветрозащитное озеленение:

1. № 5. Спирея японская – 18 шт. (высота – 1,8 м, ширина – 1,8, длина – 6,5 м, ажурность – 25 %, плотность посадки – 3 куста на 1 п.м., расстояние от площадки – 0,5 м).

2. № 8. Карагана желтая (высота – 2,5 м, ажурность – 35%, диаметр кроны – 1,5 м), № 7. Рябина обыкновенная (высота – 7,5 м, ажурность – 50 %, диаметр кроны – 6,0 м), № 1. Береза бородавчатая (высота – 10,5 м, ажурность – 60 %, диаметр кроны – 5,0 м). Шаг ветрозащитной полосы – 2 м. Расстояние от площадки 0,5–2,5 м.

Снижение скорости ветра на 10–15 % в радиусе 5 м.

Оценка конструкций МАФ по влиянию на снижение скорости ветра в радиусе 3 м:

№ 1. Скамья Тип 1.2 – 7 %; № 2. Урна Тип 1.1 – 5 %;

№ 4. Качели 1 Тип 1.2 – 7 %; № 5 Горка Тип 2.1 – 10 %;

№ 19 Навес Тип 2.1 – 10 %; № 7. Карусель Тип 1.2 – 7 %; № 12. Качели 2 Тип 2.1 – 10 %; № 13. Бум-балансир Тип 1.2 – 7%;

Итого снижение на площадке скорости ветра на 10 %.

С учетом озеленения на 15 %.

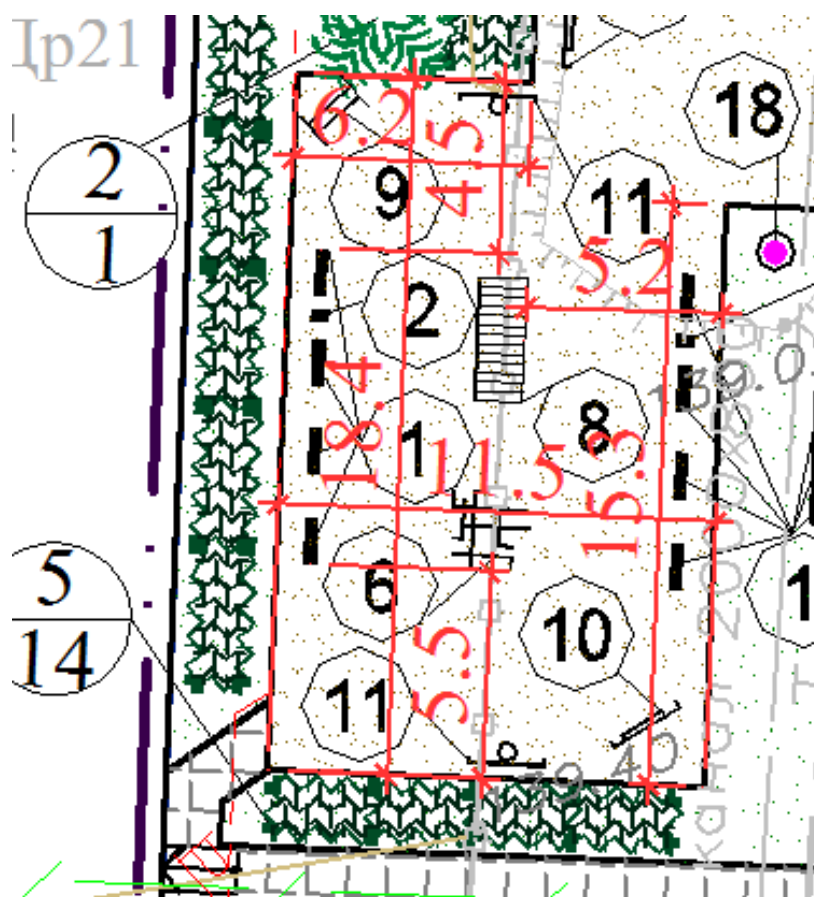


Рис. 5.6. Спортивная площадка

Ветрозащитное озеленение:

1. № 5. Спирея японская – 18 шт. (высота – 1,8 м, ширина – 1,8, длина – 6,5 м, ажурность – 25 %, плотность посадки 3 куста на 1 п.м, расстояние от площадки тихого отдыха – 0,5 м).

2. № 2. Липа мелколистная (высота – 10,5 м, ажурность – 60 %, диаметр кроны – 8,0 м, расстояние от спортивной площадки 0,5–2,5 м).

Снижение скорости ветра на 10–15 % в радиусе 5 м.

Оценка конструкций МАФ по влиянию на снижение скорости ветра в радиусе 3 м:

№ 1. Скамья Тип 1.2 – 7 %; № 2. Урна Тип 1.1 – 5 %; № 9. Турник Тип 2.1 – 10 %; № 9. Турник Тип 2.1 – 10 %; № 10. Шведская стенка Тип 2.1 – 10 %; № 11. Баскетбольное кольцо Тип 2.1 – 10 %; № 6. Спорткомплекс 1 Тип 2.2 – 25 %; № 8. Спорткомплекс 2 Тип 2.2 – 25 %; № 18. Цветник Тип 1.1 – 5 %;

Итого снижение на площадке скорости ветра на 10 %.

С учетом озеленения на 15 %.

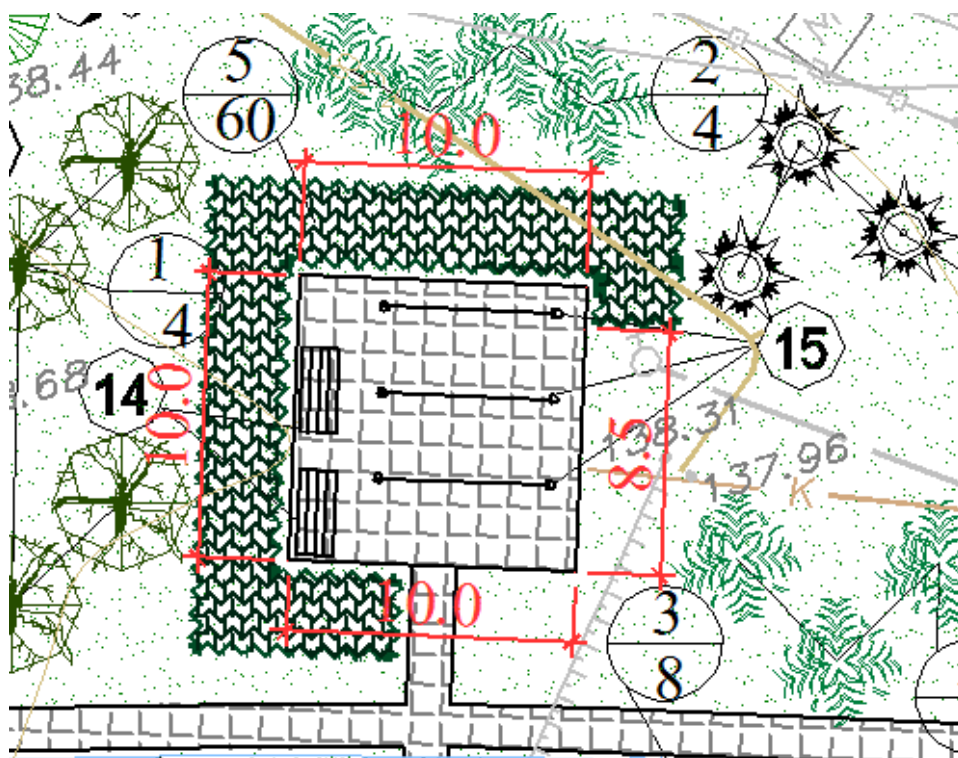


Рис. 5.7. Хозяйственная площадка

Ветрозащитное озеленение:

1. № 5. Спирея японская – 18 шт. (высота – 1,8 м, ширина – 1,8, длина – 6,5 м, ажурность – 25 %, плотность посадки – 3 куста на 1 п.м., расстояние от площадки тихого отдыха – 0,5 м).

2. № 2 Липа мелколистная (высота – 10,5 м, ажурность – 60 %, диаметр кроны – 8,0 м). № 1 Береза бородавчатая (высота – 10,5 м, ажурность – 60 %, диаметр кроны – 5,0 м). № 3. Ель колючая (высота – 10,5 м, ажурность – 20 %, диаметр кроны – 4,0 м, расстояние от площадки – 0,5–2,5 м). Шаг ветрозащитной полосы – 4 м. Расстояние от площадки тихого отдыха 0,5–2,5 м.

Снижение скорости ветра на 10–15 % в радиусе 5 м.

Оценка конструкций МАФ по влиянию на снижение скорости ветра в радиусе 3 м:

№ 14. Стол Тип 1.2 – 7 %

№ 15. Стойка для чистки Тип 2.1 – 10 %

Итого снижение на площадке скорости ветра на 10 %.

С учетом озеленения на 15 %.

## Библиографический список

1. Алексеев Ю.В. Аэродинамические особенности пятиэтажной застройки / Ю.В. Алексеев, И.В. Дуничкин // Жилищное строительство. 2004. № 12. С. 5–8.
2. Алексеев Ю.В. Градостроительные основы развития и реконструкции жилой застройки : монография / [Ю.В. Алексеев, А.Н. Топилин, Г.Ю. Сомов и др.]. М.: Изд-во АСВ, 2009. 640 с.
3. Андреева С.А. Прогнозирование изменений микроклимата высотной застройки и оценка их влияния на окружающую среду / С.А. Андреева, О.И. Поддаева, И.В. Дуничкин // Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях : сборник докладов VI Международной научно-практической конференции. 2014. С. 135–139.
4. Вайсман А.А. Градостроительство и ветер. СПб.: Изд-во Буковского, 2000.
5. Васильев О.В. Градостроительное планирование системы благоустройства жилой территории при реконструкции : дис. ... канд. техн. наук. М., 2002.
6. Гиясов А. Регулирование микроклимата застройки городов в условиях жаркого штилевого климата : дис. ... д-ра техн. наук. М., 2004.
7. Дуничкин И.В. Особенности аэрационного режима при развитии территории пятиэтажной застройки // Материалы 3-й Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и докторантов «Строительство – формирование среды жизнедеятельности». М., 2005. С. 52–54.
8. Дуничкин И.В. Особенности аэрационного режима жилой застройки при развитии и реконструкции (на примере пятиэтажной застройки Москвы 1950–60-х годов, не подлежащей сносу) : дис. ... канд. техн. наук. М., 2005.
9. Дуничкин И.В. Влияние аэродинамических параметров высотной застройки на микроклимат и аэрацию городской среды / И.В. Дуничкин, Д.А. Жуков, А.А. Золотарев // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 9. С. 39–41.
10. Дуничкин И.В. Ветровой режим аравийского полуострова как фактор локального регионализма архитектуры Йеменской республики / И.В. Дуничкин, А.Э. Тоторкулов, Д.А. Жуков // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 9. С. 15–18.
11. Егорычев О.О. Вопросы прогнозирования микроклимата городской среды для оценки ветроэнергетического потенциала застройки / О.О. Егорычев, И.В. Дуничкин // Вестник МГСУ. 2013. № 6. С. 123–131.
12. Коваленко П.П. Городская климатология / П.П. Коваленко, Л.Н. Орлова. М.: Стройиздат, 1993. 134 с.
13. Ковнат В.В. Компоновка групп городских зданий с учетом их аэродинамических характеристик : дис. ... канд. техн. наук. М., 1988.
14. Лазарева И.В. О современных проблемах преобразования и использования территорий для градостроительства // Науч. тр. ЦНИИП градостроительства. М., 1978.
15. Леонтьева К.С. Влияние застройки и элементов благоустройства на микроклимат жилой территории. М., 1968.
16. Лицкевич В.К. Жилище и климат. М.: Стройиздат, 1984. 288 с.
17. МГСН 1.02-02. Нормы и правила проектирования комплексного благоустройства на территории г. Москвы. Введение. 06.08.2002.
18. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3: Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 8: Москва и Московская область. Л.: Гидрометеиздат, 1990.
19. Оленьков В.Д. Градостроительная безопасность. М.: Изд-во ЛКИ, 2007. 104 с.
20. Поддаева О.И. Влияние пространственной организации реконструируемой жилой застройки на ветроэнергетический потенциал среды / О.И. Поддаева, И.В. Дуничкин, Т.В. Прохорова // Вестник МГСУ. 2013. № 2. С. 157–165.
21. Поддаева О.И. Устойчивое проектирование на основе экспериментальных исследований архитектурно-строительной аэродинамики и аэроакустики / Г.В. Орехов, И.В. Дуничкин, О.А. Кочанов // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании : сборник. М.: МГСУ, 2012. С. 133–138.

22. Реттер Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика. М.: Стройиздат, 1984. 294 с.
23. Рекомендации по учету природно-климатических факторов в планировке, застройке и благоустройстве городов и групповых систем населенных мест. М.: ЦНИИП градостроительства, 1980. 101 с.
24. Руководство по оценке и регулированию ветрового режима жилой застройки. М.: Стройиздат, 1986. 63 с.
25. Семашко К.И. Оценка ветрового режима жилой застройки и его регулирование архитектурно-планировочными средствами : дис. ...канд. техн. наук. М., 1978.
26. Серебровский Ф.Л. Аэрация жилой застройки. М.: Стройиздат, 1971. 112 с.
27. Тимофеев Н.В. Застройка жилых групп с учетом аэродинамических характеристик зданий в связи с оздоровлением воздушной среды : дис. ...канд. техн. наук. М., 1984.
28. Туранов Е.Н. Вопросы учета аэрации при создании комфортной среды жизнедеятельности // Информационный бюллетень Мосгосэкспертизы. 2001. № 2 (5).
29. Туранов Е.Н. О влиянии температуры поверхности объектов застройки на аэрацию в окружающем пространстве // Актуальные проблемы городского строительства и хозяйства : сборник научных трудов факультета ГСХ, посвященный 80-летию МГСУ. М., 2001.
30. Фадл Х.М. Учет аэродинамического режима среды при формировании жилой застройки в условиях региона Йемена : дис. ...канд. техн. наук. М., 2002.
31. Чистякова С.Б. Исследование архитектурно-планировочных вопросов благоустройства жилой зоны микрорайона : дис. ...канд. арх. М., 1960.
32. Gandemer J., Guyot A. Integration du phenomene vent dans la conception du milieu bati // Secretaire General du Groupe Central des Villes Nouvelles, Paris, 1976.
33. NWS, 1992: Winter Weather Warnings (C-42). Weather Service Operations Manual, Issuance 92-5.
34. Tew M., G. Battel, and C.A. Nelson, 2002: Implementation of a new Wind Chill Temperature Index by the National Weather Service. Preprints, 18th Int. Conf. on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, Orlando, FL, Amer. Meteor. Soc.