

Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов

Urban and rural settlement planning

Научная статья

УДК 711.6+624.042.41

DOI: 10.14529/build260201

ВЛИЯНИЕ МАШРАБИЙ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЕТРОВОГО КОМФОРТА В ЗОНАХ ОТДЫХА В ЖАРКОМ КЛИМАТЕ

Б.Я.А. Альбатаине, В.Д. Оленьков, А.О. Колмогорова[✉]

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

[✉]kolmogorovaao@susu.ru

Аннотация. Тепловой эффект от солнечной радиации и непредсказуемость ветрового комфорта на уровне пешеходов являются двумя проблемами для мест отдыха на открытом воздухе в жарком климате. Непредсказуемость выражается в том, что ветер может варьировать от неприятного застоя воздуха в затененных местах до резких порывов вокруг городских сооружений. В данной статье машрабия рассматривается как сквозная решетка, которая фильтрует поток воздуха, а не препятствует ему, и обеспечивает тень. Предлагается комплексная концепция, учитывающая микроклиматологию, моделирование ветра, комфорт пешеходов и стандарты ветровой комфортности при проектировании зон отдыха, дорожек и рекреационных площадей. В статье предпринимается попытка превратить машрабию из декоративного элемента в воспроизводимый и проверяемый инструмент регулирования климатических характеристик, опираясь на последние научные и экспериментальные исследования характеристик машрабий в жарком климате.

Ключевые слова: ветровой режим, PET, UTCI, AutoCAD, машрабия, жаркий климат, Ansys Discovery Live, комфорт для пешеходов

Для цитирования. Альбатаине Б.Я.А., Оленьков В.Д., Колмогорова А.О. Влияние машрабий на обеспечение ветрового комфорта в зонах отдыха в жарком климате // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2026. Т. 26, № 2. С. 5–12. DOI: 10.14529/build260201

Original article

DOI: 10.14529/build260201

THE EFFECT OF MASHRABIYAS IN ACHIEVING WIND COMFORT IN RECREATION AREAS IN HOT CLIMATES

B.Y.A. Albataineh, V.D. Olenkov, A.O. Kolmogorova[✉]

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

[✉]kolmogorovaao@susu.ru

Abstract. The thermal stress from solar radiation and the unpredictability of wind comfort at the pedestrian level are two challenges for outdoor recreation areas in hot climates. This unpredictability is expressed in the fact that the wind can vary from uncomfortable air stagnation in shaded areas to abrupt wind surges around urban structures. This article examines mashrabiya as porous covering that filters airflow, rather than obstructs it, and provides shade. The authors propose a comprehensive concept that takes into account microclimatology, wind simulation, pedestrian comfort, and wind comfort standards when designing rest areas, pathways, and recreational spaces. The paper attempts to transform the mashrabiya from a decorative element into a reproducible and verifiable climate performance tool, drawing on the latest scientific and experimental research on the performance of mashrabiya in hot climates.

Keywords: wind regime, PET, UTCI, AutoCAD, mashrabiya, hot climate, Ansys Discovery Live, pedestrian comfort

For citation. Albataineh B.Y.A., Olenkov V.D., Kolmogorova A.O. The effect of mashrabiya in achieving wind comfort in recreation areas in hot climates. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2026;26(2):5–12. (in Russ.). DOI: 10.14529/build260201

© Альбатаине Б.Я.А., Оленьков В.Д., Колмогорова А.О., 2026.

Введение

Машрабия, традиционный архитектурный элемент, издавна ассоциируется с проветриванием, тенью и уединением. Однако именно её способность выступать в качестве свето- и воздухофильтра делает её наиболее ценной в современных жарких зонах отдыха. Благодаря своей пористости, рисунку, глубине и направлению она изменяет скорость и турбулентность воздуха позади себя, одновременно уменьшая воздействие прямых солнечных лучей. Сочетание контроля воздушного потока и затенения делает машрабию идеальной для мест, где люди часто собираются и сидят. Это объясняется тем, что полная открытость ветру неуместна, если она создает неприятные порывы или увеличивает уровень пыли, а простое затенение недостаточно, если оно приводит к застою воздуха [1].

Эстетическая привлекательность и разнообразие доступных видов деятельности больше не являются единственными факторами, используемыми для оценки качества зон отдыха в жарких городах; они также должны быть пригодны для использования в течение длительного времени в течение всего года. По определению, зоны отдыха предназначены для осуществления различных видов активностей умеренной интенсивности – сидения, общения, ожидания и приема пищи. В результате экономический и социальный успех пространства в значительной степени зависит от его тепловых и ветровых характеристик. Ветер при умеренной скорости помогает рассеивать тепло, но когда он усиливается или отклоняется от курса, обтекая углы здания, он может стать некомфортным или опасным [2, 3].

Архитектура в жарких регионах исторически предлагала пассивные решения, сочетающие проветривание и затенение, рассматривая ограждающие конструкции, проемы и тени не просто как формальные элементы, а как «устройства климат-контроля». Отличным источником для понимания причин использования этих элементов для изменения местного климата в жарких и засушливых условиях и снижения зависимости от механического кондиционирования воздуха является книга Хасана Фати «Природная энергия и местная архитектура». Эта стратегия дополнительно подкрепляется современной литературой по «климатической архитектуре», которая связывает такие решения, как ориентация, затенение и воздушный поток, с экологическими показателями на уровне здания и города [4, 5].

В данной статье ставится цель продвинуть научное понимание вклада машрабий в ветровые условия в зонах отдыха в жарком климате путем уточнения концепции внешнего теплового/ветрового комфорта и его определяющих факторов. Достигается это интерпретацией машрабии как пористой оболочки, изменяющей поток воздуха, опираясь на научные данные и стандарты, позволяющие проводить измерения и сравнения,

а также предлагая структуру проектирования и оценки, сочетающую индикаторы и моделирование. Используются такие индикаторы, как PET (Physiological Equivalent Temperature – физиологически эквивалентная температура) и UTCI (Universal Thermal Climate Index – это универсальный биоклиматический индекс, оценивающий тепловое ощущение человека на открытом воздухе от холодного до теплового стресса), поскольку они основаны на моделях теплового равновесия тела и учитывают влияние ветра, излучения и влажности при оценке, а также используются рекомендации по моделированию ветра на уровне пешеходов для обеспечения качества моделирования, когда моделирование является частью процесса верификации [6, 7].

Качество открытых пространств достигается за счет интеграции городского дизайна с местными ветровыми потоками для снижения теплового напряжения, а не только за счет затенения, согласно классической и современной литературе по городскому планированию в жарком климате. В своем исследовании городского развития в жарком климате Римша (1979) подчеркнул, что понимание тенденций ветра и радиации и их учет в планировании и архитектурных решениях имеют важное значение для эффективных климатических решений [8]. Чтобы предотвратить зоны застоя или некомфортного ускорения на уровне пешеходов, В.Д. Оленьков (2002) подчеркивает важность методичного учета данных о ветре при строительстве зданий и прилегающих к ним пространств. Это демонстрирует необходимость хорошо спроектированных фасадных/ограждающих элементов, включая машрабии, которые помогают контролировать поток ветра и повышать комфорт в зонах отдыха [9].

1. Машрабия как пористое покрытие

Для понимания влияния машрабии на комфорт в ветреную погоду наиболее полезно рассматривать ее как «пористую сетку» с параметрами потока, которые можно математически исследовать, такими как пористость, толщина/глубина, форма отверстий и пространственный градиент. Мигель в своих исследованиях воздушного потока через пористые сетки отмечает, что, поскольку сетка «регулирует» прохождение и распределение воздуха, а не полностью блокирует его, способность прогнозировать скорость потока и потери давления по всей сетке имеет решающее значение для ее выбора и расчета. Это объясняет, как машрабия может повысить комфорт в ветреную погоду в зонах отдыха: она обеспечивает обновление воздуха, а не образование зон застоя в тени, одновременно уменьшая порывы ветра за счет рассеянных потерь давления [10].

В городских условиях ветер на уровне пешеходов зависит не только от окружающей среды в целом, но и от того, как он взаимодействует с мас-

сивными зданиями и фасадами, создавая вихри на углах и перекрестках, нисходящие потоки на высоких фасадах и ускоряясь в тесных пространствах. Согласно обзору Б. Блокена, «модуляция» потока также важна для проектирования, как и затенение, поскольку эти явления измеряются и моделируются с помощью аэродинамической трубы и вычислительной гидродинамики, а результаты часто представляются в виде усиления скорости ветра у земли по сравнению с эталонным состоянием [3].

Стандарты COST 732 предлагают методическую основу для передовых методов моделирования воздушных потоков в городских условиях, поскольку использование CFD (computational fluid dynamics) – моделирования для принятия проектных решений требует высокого уровня обеспечения качества. В эту основу включены ограничения использования моделей турбулентности по уравнениям Рейнольдса в условиях нейтральной стратификации, выбор граничного поля, представление турбулентности и проверка чувствительности к решетке. Эта парадигма позволяет избежать частых ошибок моделирования и делает результаты моделирования более достоверными при изучении влияния пористых элементов, таких как машрабии, на скорости и турбулентность на уровне пешеходов [7].

В свете вышесказанного машрабия может быть геометрически определена как пористый слой, добавленный к архитектуре участка для локального изменения полей скорости и турбулентности, а не просто выполняющий декоративную или историческую функцию. Это позволяет перейти от «выбора формы» к «проектированию функциональности» на основе расчетов и проверки: выбор пористости, глубины и схемы отверстий, соответствующих активности пользователя (ходьба или сидение) и текущим ветровым условиям, а затем оценка результата посредством измерений или моделирования с использованием надежных методик [7, 11, 12].

2. Почему машрабия особенно подходит для зон отдыха с жарким климатом?

Для зон отдыха необходим баланс, которого нет во многих других пространствах. Во-первых, затенение имеет решающее значение для снижения средней температуры воздуха вокруг человека, которая является основным фактором внешнего теплового стресса, а также для снижения влияния прямого солнечного излучения. В «Руководстве по стратегиям городского охлаждения» (опубликованном UNSW/CRC Low Carbon Living) подчеркивается, что характеристики поверхности, растительность, затенение и ориентация являются критически важными переменными на общественных площадях и пешеходных дорожках и что эффективные решения часто представляют собой сочетание пассивных и активных мер в зависимости

сти от формы пространства, климата и типа вмешательства [13].

Во-вторых, для комфортного пребывания человека в зоне отдыха необходим мягкий, а не порывистый воздух. Хотя многие современные решения могут обеспечить хорошую тень, они также могут создавать неудобные застойные или турбулентные воздушные зоны, особенно когда они взаимодействуют с массивными зданиями, вызывая ускорение на углах или вихри вблизи уровня пешеходов. Поскольку городское планирование оказывает значительное влияние на комфорт пешеходов при ветре, оценка комфорта или дискомфорта требует знания полей скорости и турбулентности ветра вблизи земли, а не только общей интенсивности ветра. Это подтверждает целесообразность использования пористых элементов (таких как машрабии) для изменения потока, а не для его прерывания или случайного ускорения [14, 15].

В-третьих, машрабия может использоваться для создания микроклиматических зон в рамках одного проекта, поскольку ее можно устанавливать модульными блоками и регулировать в зависимости от вида деятельности и ориентации. Этот аргумент подтверждается эмпирическими исследованиями машрабии, которые показывают, что она может быть гибким компонентом для улучшения проветривания и снижения температуры в жарком климате, как показывают исследования, оценивающие ее включение в стратегии аэрации в жарких условиях [1, 16]. Машрабия представляет собой пористое покрытие, которое уменьшает блики и блокирует прямые солнечные лучи, сохраняя при этом циркуляцию воздуха, как показано на рис. 1. На рис. 1 также показано, как машрабия улучшает тепловой и ветровой комфорт в зонах отдыха, фильтруя и смягчая движение ветра и создавая более мягкий бриз внутри зон отдыха.

3. Моделирование воздушного потока через машрабии с использованием программного обеспечения ANSYS Discovery Live

Данное исследование проводилось с использованием программного комплекса ANSYS Discovery Live. Одним из наиболее существенных преимуществ программы является значительное сокращение времени, необходимого для проведения численных экспериментов, поскольку программа разработана как инструмент моделирования, позволяющий быстро проводить аэродинамические исследования без необходимости сложных и углубленных расчетов [17].

В исследовании представлены модели машрабий в двух вариантах А и Б, как показано на рис. 2 и 3. Эти стили машрабий распространены особенно на Ближнем Востоке и изготавливаются в формах из гипса, дерева или пластика. Их размеры варьируются в зависимости от формы покрывае-

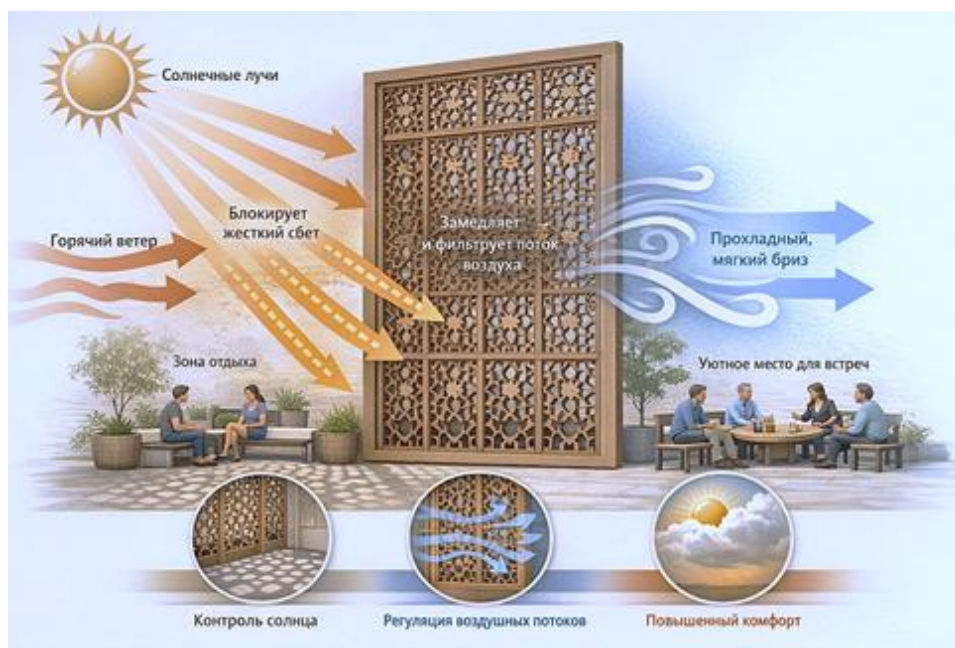


Рис. 1. Модель рабочего механизма машрабии

мого пространства, что делает их универсальными и подходящими для всех типов помещений.

В этих двух моделях каждая машрабия покрывает площадь 45 квадратных метров, имеет длину 15 метров и высоту 3 метра, но отличается друг от друга рисунком, задающим её проницаемость. Это исследование проводилось для изучения влияния машрабий на открытые зоны отдыха, в частности, в плане обеспечения проветривания и комфорта, особенно в жарких и засушливых регионах.

Эти рисунки машрабий были созданы с помощью программного обеспечения AutoCAD в

виде 2D-фигур, а затем преобразованы в 3D-модели для создания корпусов машрабий. После расчета распределения пространства было установлено, что машрабия варианта А содержит 70 % пустого пространства и 30 % сплошного материала на квадратный метр. Аналогично машрабия варианта Б имеет 50 % пустого пространства и 50 % сплошного материала на квадратный метр.

4. Результаты исследования

В рамках исследования было проведено численное моделирование испытания на устойчивость к ветру машрабий, показанных на рис. 2 и 3, ис-

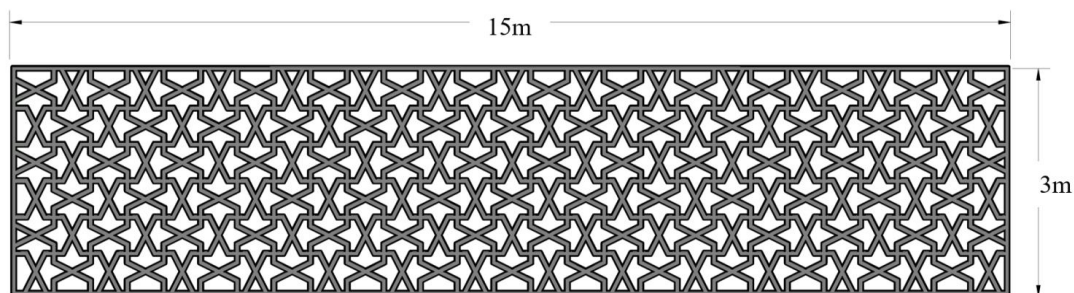


Рис. 2. Машрабия, вариант А с коэффициентом проницаемости 70 %

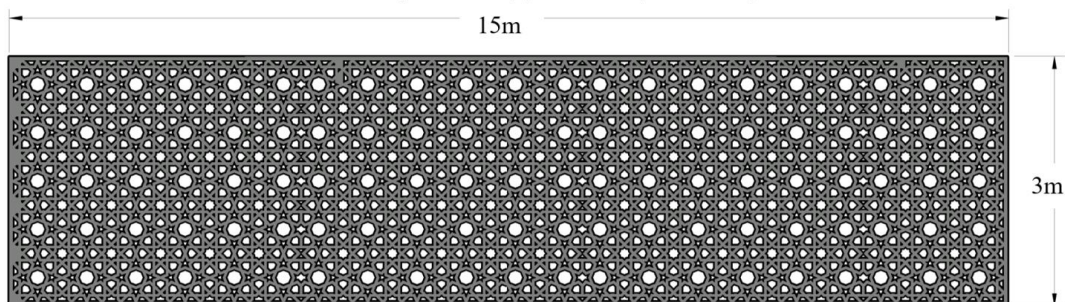


Рис. 3. Машрабия, вариант Б с коэффициентом проницаемости 50 %

пользуя программное обеспечение ANSYS Discovery Live, предполагая начальную скорость ветра 5 м/с. Было замечено, что скорость ветра снижалась после прохождения через машрабии.

На рис. 4 и 5 представлены поля скоростей ветра, полученные в результате моделирования ветра вокруг машрабий, – в горизонтальной плоскости на высоте полутора метров на уровне пешехода, а также в вертикальном разрезе, показывающем скорость ветра по всей высоте машрабии.

На основании полученных результатов определены значения скорости ветра 3–4 метра в секунду после прохождения ветрового потока через машрабию варианта А, показанные на рис. 4. Это указывает на то, что скорость ветра снизилась на один-два метра в секунду.

Во втором эксперименте получены скорости ветра 2,8–3,4 метра в секунду после прохождения ветрового потока через машрабию варианта Б, как показано на рис. 5. Это указывает на то, что ско-

рость ветра снизилась примерно до половины от скорости набегающего потока ветра. Причиной этой разницы между скоростями, полученными в первом и втором экспериментах, является коэффициент проницаемости машрабии; то есть чем выше коэффициент проницаемости, тем выше скорость ветра, и наоборот.

5. Применение дизайна машрабии в местах отдыха

Сплошная тень от твердых предметов может создавать «застойные» воздушные зоны на дорожках и открытых рынках в жарких городах, из-за чего даже в тени становится жарче. В этом случае можно использовать ширмы машрабии в качестве пористых боковых экранов или крыш с пористыми подоконниками или бордюрами, пропускающими воздух через отверстия. Цель состоит не в том, чтобы «максимизировать скорость», а в том, чтобы избежать застоя и сохранить умеренный, стабиль-

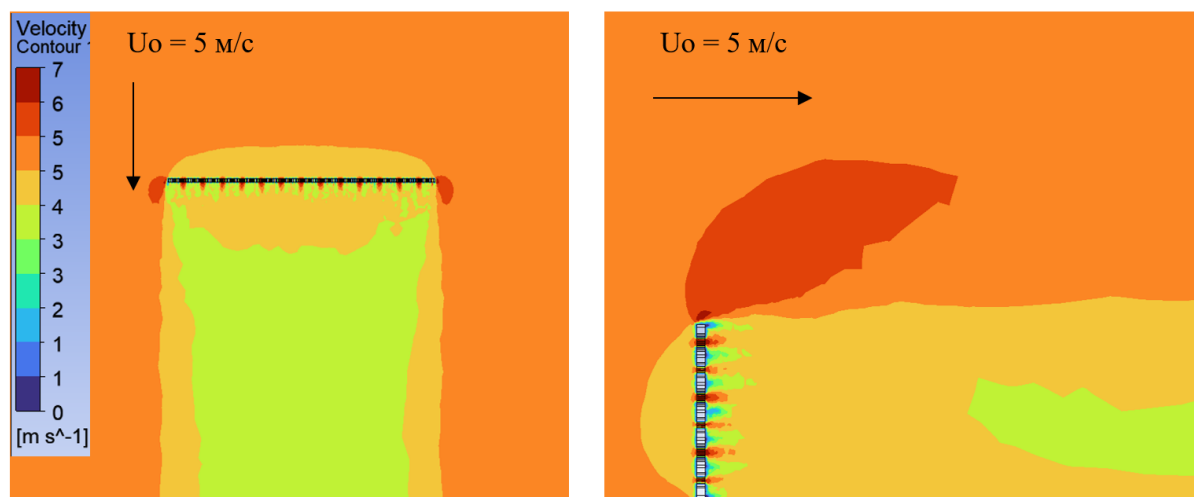


Рис. 4. Результаты моделирования ветрового потока сквозь машрабию варианта А в программе ANSYS в плане и в разрезе

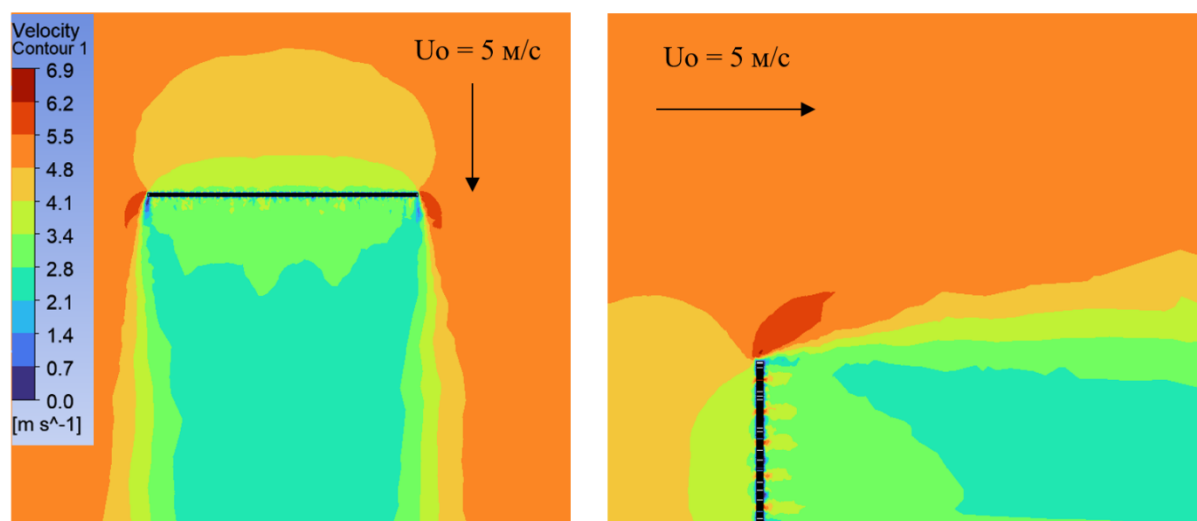


Рис. 5. Результаты моделирования ветрового потока сквозь машрабию варианта Б в программе ANSYS в плане и в разрезе

ный поток воздуха внутри затененной зоны. Любое незначительное увеличение потока воздуха в жаркую погоду напрямую влияет на комфорт людей, что определяется такими показателями, как PET (показатель теплового комфорта) [18].

В кафе и на открытых террасах «утечка воздуха» становится менее важной, чем «очистка воздуха». Сидения портятся сильными порывами ветра и частыми возмущениями, особенно перед крупными объектами, которые вызывают турбулентность позади них или вблизи углов. В отличие от сплошных перегородок, значение машрабии как «пористого фильтра» становится очевидным в этом случае, поскольку часть воздуха проходит через рассеянные отверстия, уменьшая турбулентные порывы и снижая резкие изменения скорости за экраном. Согласно литературе по пористым экранам, контроль потерь давления за счет характеристик экрана (пористость, толщина и форма отверстий) имеет важное значение, поскольку даже небольшое изменение этих характеристик может существенно повлиять на поведение воздушного потока [10].

В больших общественных местах, особенно вдоль ветровых осей или вблизи набережных, ветер может быть сильным и непредсказуемым. Это требует решений, которые снижают скорость ветра в зонах остановки, не закрывая их полностью и не вызывая застоя воздуха. В таких случаях можно стратегически разместить экраны из машрабии в качестве охлаждающих элементов или использовать их в качестве «пористого пояса» для рассеивания сильных ветров и смягчения потока на уровне пешеходов. Результаты следует оценивать по четкому критерию комфорта/опасности ветра, например, NEN 8100, и, при необходимости, на основе методик анализа ветра вокруг зданий (непосредственные измерения, моделирование ветра в аэродинамической трубе или CFD), чтобы гарантировать, что вмешательство повышает комфорт и не создает опасных или неудобных зон [3, 19].

Несмотря на очевидные преимущества машрабии в плане повышения теплового и ветроустойчивого комфорта, их эффективность не является абсолютной и зависит от проектных ограничений, которые необходимо должным образом учитывать. Затененные участки могут застревать за машрабией в тенистых местах, если ее пористость слишком низка или если она функционирует как полутвердый элемент. Это усилит ощущение жары, а не обеспечит облегчение. С другой стороны, если пористость очень высока, эффективность затенения может снизиться или влияние изменения воздушного потока может уменьшиться, что при-

ведет к отсутствию существенного повышения теплового комфорта. Кроме того, размещение машрабий без полного понимания поведения ветра вокруг зданий может иметь негативные последствия, такие как концентрация воздушного потока в небольших пространствах или образование вихрей в углах – явления, хорошо известные в области городской ветровой динамики. Для предотвращения этих опасностей до начала реализации проекта в литературе, посвященной ветровым нагрузкам на уровне пешеходов, подчеркивается необходимость полевых измерений или проверки с помощью моделирования в соответствии с утвержденными правилами качества, такими как обзор Блокена и рекомендации COST 732 [3, 12].

Выводы

Данное исследование предполагает, что машрабия обладает реальным потенциалом для улучшения ветроустойчивости в зонах отдыха, расположенных в жарком климате, если ее переосмыслить как пористое, климатически устойчивое покрытие, а не просто декоративный элемент. Эта способность достигается за счет сбалансированного сочетания изменения воздушного потока за счет пористости и геометрической градации и снижения солнечной радиации за счет затенения, что обеспечивает умеренную аэрацию без застоя воздуха или неприятных сквозняков в местах отдыха. Такой подход – «проектирование с учетом эксплуатационных характеристик» – предлагает прочную научную основу для использования машрабии в жарких зонах отдыха, что подтверждается литературой по пористым экранам, исследованиями ветра на уровне пешеходов и текущими экспериментальными исследованиями характеристик машрабии.

В данной статье предлагается интегрированная система оценки, которая начинается со стандартизированного мониторинга теплового режима и применения индексов теплового комфорта на открытом воздухе PET и UTCI, чтобы преобразовать этот теоретический потенциал в надежную и полезную проектную практику. Система также подчеркивает важность установления точного стандарта для оценки ветровой опасности и комфорта, регистрации пороговых значений активности, а также применения CFD-моделирования и микроклиматического моделирования. Этот методический подход сохраняет культурную и идентичностную ценность машрабии в рамках современной научной концепции, одновременно делая ее воспроизводимым и проверяемым решением для создания мест отдыха в жарких регионах.

Список литературы

1. Bagasi A.A., Calautit J.K., Karban A.S. Evaluation of the integration of the traditional architectural element Mashrabiya into the ventilation strategy for buildings in hot climates // *Energies*. 2021. Vol. 14, no. 3, pp. 530.
2. Gál C.V., Kántor N. Modeling mean radiant temperature in outdoor spaces, A comparative numerical simulation and validation study // *Urban Climate*. 2020. Vol. 32, no. 100571, pp. 100571.
3. Blocken B., Stathopoulos T., Van Beeck J.P.A.J. Pedestrian-level wind conditions around buildings: Review of wind-tunnel and CFD techniques and their accuracy for wind comfort assessment // *Building and Environment*. 2016. Vol. 100, pp. 50–81.
4. Fathy H. *Natural energy and vernacular architecture: Principles and examples with reference to hot arid climates*. Chicago; London: University of Chicago Press, 1986. 172 p.
5. Givoni B. *Climate considerations in building and urban design*. New York: John Wiley & Sons. 1998. 480 p.
6. Höppe P. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment // *International Journal of Biometeorology*. 1999. Vol. 43, no. 2, pp. 71–75.
7. Franke J., Hellsten A., Schlunzen K.H., Carissimo B. The COST 732 Best Practice Guideline for CFD simulation of flows in the urban environment: a summary // *International Journal of Environment and Pollution*. 2011. Vol. 44, no. 1–4, pp. 419–427.
8. Римша А.Н. Градостроительство в условиях жаркого климата: учебник для вузов по спец. «Архитектура». М.: Стройиздат, 1979. 312 с.
9. Оленьков В.Д. Нарушенные территории в градостроительстве: восстановление, использование, аэрационный режим: монография. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. 192 с.
10. Miguel A.F. Airflow through porous screens: from theory to practical considerations // *Energy and Buildings*. 1998. Vol. 28, no. 1, pp. 63–69.
11. Hörteborn E., Zboinska M.A., Chernoray V., Ander M. Architectural Knitted Windbreaks for Improved Wind Comfort in the City: A Wind Tunnel Study of Custom-Designed Porous Textile Screens // *Buildings*. 2023. Vol. 13, no. 1, pp. 34.
12. Marchand O.C., Ramanarivo S., Duprat C., Josserand C. Three-dimensional flow around and through a porous screen // *Journal of Fluid Mechanics*. 2024. Vol. 987, pp. A20.
13. Osmond P., Sharifi E. *Guide to urban cooling strategies*, Low Carbon Living CRC., Australian Government, Department of Industry, Innovation and Science, Business Cooperative Research Centres Programme, 2017, p72, Australia.
14. Janssen W.D., Blocken B., van Hooff T. Pedestrian wind comfort around buildings: Comparison of wind comfort criteria based on whole-flow field data for a complex case study // *Building and Environment*. 2013. Vol. 59, pp. 547–562.
15. Reiter S. Assessing wind comfort in urban planning // *Environment and Planning B: Planning and Design*. 2010. Vol. 37, no. 5, pp. 857–873.
16. Bay-Şahin E., Shah N. Retrofitting vernacular screens in contemporary facades in hot and dry regions: A climate control study using energy and CFD simulations // *Megaron*. 2025. Vol. 20, no. 4, pp. 573–593.
17. ANSYS Fluent: вычислительная гидродинамика (CFD): [программное обеспечение] / ANSYS, Inc. Canonsburg: ANSYS, Inc.
18. Höppe P. A universal index for the assessment of the thermal environment – the physiological equivalent temperature PET // *Proceedings of the 15th International Congress of Biometeorology and International Conference on Urban Climatology*, Sydney, 1999.
19. NEN 8100:2006. Wind Comfort and Wind Danger in the Built Environment, 2006.

References

1. Bagasi A.A., Calautit J.K., Karban A.S. Evaluation of the integration of the traditional architectural element Mashrabiya into the ventilation strategy for buildings in hot climates. *Energies*, 2021, vol. 14, no. 3, p. 530.
2. Gál C.V., Kántor N. Modeling mean radiant temperature in outdoor spaces, A comparative numerical simulation and validation study. *Urban Climate*, 2020, vol. 32, 100571.
3. Blocken B., Stathopoulos T., Van Beeck J.P.A.J. Pedestrian-level wind conditions around buildings: Review of wind-tunnel and CFD techniques and their accuracy for wind comfort assessment. *Building and Environment*, 2016, vol. 100, pp. 50–81.
4. Fathy H. *Natural energy and vernacular architecture: Principles and examples with reference to hot arid climates*. Chicago; London, University of Chicago Press, 1986. 172 p.
5. Givoni B. *Climate considerations in building and urban design*. New York, John Wiley & Sons, 1998. 480 p.
6. Höppe P. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 1999, vol. 43, no. 2, pp. 71–75.

7. Franke J., Hellsten A., Schlunzen K.H., Carissimo B. The COST 732 Best Practice Guideline for CFD simulation of flows in the urban environment: a summary. *International Journal of Environment and Pollution*, 2011, vol. 44, no. 1-4, pp. 419–427.
8. Rimsha A.H. *Gradostroitel'stvo v usloviyakh zharkogo klimata: uchebnik dlya vuzov po spets. "Arkhitektura"* [Urban development in hot climates: textbook for universities on spec. "Architecture"]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1979. 312 p. (in Russ.)
9. Olenkov V.D. *Narushennye territorii v gradostroitel'stve: vosstanovlenie, ispol'zovanie, aeratsionnyy rezhim: monografiya* [Disturbed areas in urban development: restoration, use, aeration regime: monograph]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2002. 192 p. (in Russ.)
10. Miguel A.F. Airflow through porous screens: from theory to practical considerations. *Energy and Buildings*, 1998, vol. 28, no. 1, pp. 63–69.
11. Hörteborn E., Zboinska M.A., Chernoray V., Ander M. Architectural Knitted Windbreaks for Improved Wind Comfort in the City: A Wind Tunnel Study of Custom-Designed Porous Textile Screens. *Buildings*, 2023, vol. 13, no. 1, p. 34.
12. Marchand O.C., Ramanarivo S., Duprat C., Josserand C. Three-dimensional flow around and through a porous screen. *Journal of Fluid Mechanics*, 2024, vol. 987, A20.
13. Osmond P., Sharifi E. Guide to urban cooling strategies, Low Carbon Living CRC., Australian Government, Department of Industry, Innovation and Science, Business Cooperative Research Centres Programme, 2017, p. 72, Australia.
14. Janssen W.D., Blocken B., van Hooff T. Pedestrian wind comfort around buildings: Comparison of wind comfort criteria based on whole-flow field data for a complex case study. *Building and Environment*, 2013, vol. 59, pp. 547–562.
15. Reiter S. Assessing wind comfort in urban planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2010, vol. 37, no. 5, pp. 857–873.
16. Bay-Şahin E., Shah N. Retrofitting vernacular screens in contemporary facades in hot and dry regions: A climate control study using energy and CFD simulations. *Megaron*, 2025, vol. 20, no. 4, pp. 573–593.
17. ANSYS Fluent. Computational fluid dynamics (CFD) software [Computer software]. Canonsburg, PA: ANSYS, Inc.
18. Höppe P. A universal index for the assessment of the thermal environment – the physiological equivalent temperature PET. *Proceedings of the 15th International Congress of Biometeorology and International Conference on Urban Climatology*, Sydney, 1999.
19. NEN 8100:2006. Wind Comfort and Wind Danger in the Built Environment, 2006.

Информация об авторах:

Альбатинне Билал Яхья Абдельрахим, аспирант кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; bataineh9009@gmail.com

Оленьков Валентин Данилович, доктор технических наук, профессор кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; olenkovvd@susu.ru, centernasledie@mail.ru

Колмогорова Алена Олеговна, старший преподаватель кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; kolmogorovaao@susu.ru

Information about the authors:

Bilal Y.A. Albataineh, Post-graduate student, Department of Town Planning, Engineering Networks and Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, bataineh9009@gmail.com

Valentin D. Olenkov, Doctor of Science in Engineering, Professor, Department of Town Planning, Engineering Networks and Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, olenkovvd@susu.ru, centernasledie@mail.ru

Alena O. Kolmogorova, Senior Lecturer, Department of Town Planning, Engineering Networks and Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, kolmogorovaao@susu.ru

Статья поступила в редакцию 10.03.2026, принята к публикации 25.03.2026.

The article was submitted 10.03.2026, approved after reviewing 25.03.2026.