

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-45-55

**\*Бухезам Ф., Колесникова Т.Н.**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

\*E-mail: fahima.boh04@gmail.com

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ ПАТИО И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТЕПЛОВОЙ КОМФОРТ ГОРОДСКОГО ЖИЛЬЯ В ПОЛУСУХОМ КЛИМАТЕ АЛЖИРА

**Аннотация.** Статья направлена на обоснование роли патио и его влияния на тепловой комфорт в городском жилище, особенно в полусухих климатических зонах Алжира. В городах с полусухим климатом задача всегда состоит в том, чтобы избежать прямых солнечных лучей и стремиться к тени и прохладе в летний сезон. Действительно, патио является одним из биоклиматических архитектурных устройств, которое реагирует на поле внутренней тепловой среды и участвует в создании комфортной атмосферы. В рамках данного исследования мы попытались оценить влияние геометрии патио на тепловой комфорт внутри жилых помещений в условиях полусухого климата города Оум Эль Буаги. Исследование проводилось на основе метода математического моделирования, реализованного в программе ECOTECT, в рамках которого оценивалось влияние пропорционального коэффициента H/L (высота/ширина) на значение показателей PMV (прогнозируемая средняя оценка) и PPD (прогнозируемый процент недовольных температурной средой). Результаты этого исследования показывают, что патио играет важную роль в обеспечении теплового комфорта в городских жилищах. Патио значительно улучшает значение показателя PMV и уменьшает значение показателя PPD, увеличивая солнечные лучи зимой и обеспечивая пассивное охлаждение помещений летом. При этом, для обеспечения оптимального теплового комфорта значение пропорционального коэффициента H/L должно быть больше 2,5.

**Ключевые слова:** тепловой комфорт, городское жилье, полусухой климат, геометрия патио, ECOTECT, показатели PMV и PPD.

**Введение.** На протяжении многих лет человек стремился удовлетворить и обеспечить свое благополучие и комфорт, будь то тепловой, акустический или визуальный, чтобы создать подходящую среду обитания, отвечающую его потребностям. Человек всегда пытался адаптировать свою среду обитания к климату окружающей среды. Поэтому он разработал методы и системы в соответствии с местными условиями и материалами, чтобы спроектировать дом, который защищает его от негативных составляющих погодных условий (жара/холод).

Сегодня сектор жилищного строительства является одним из крупнейших потребителей энергии. Значительная часть этого потребления приходится на системы отопления и кондиционирования воздуха, которые обеспечивают комфортную температуру в помещении.

Решение заключается в адаптации жилищ средствами биоклиматической архитектуры [1], которая использует экологические подходы и пассивные процессы с низким энергопотреблением. Среди этих процессов применение патио является экологическим решением, которое обеспечивает определенный уровень комфорта при правильном дизайне.

Тепловой комфорт воспринимается как состояние удовлетворения человеческого восприятия по отношению к тепловой среде. Эта концеп-

ция требует энергетическую экономию в жилищном хозяйстве и обеспечивает проектирование архитектуры, уважающей окружающую среду и экологию [2]. Тепловой комфорт считается важным элементом качества окружающей среды, его собственной целью является устойчивое проектирование и энергоэффективность, с одной стороны, и улучшение качества жизни в жилищном хозяйстве – с другой.

Патио, как его назвал Изард [3], является одним из архитектурных устройств, которые реагируют на область тепловых атмосфер. Правильное понимание геометрического и физического влияния патио заключается в его положительном контроле тепловой среды помещений. Исходя из этого, в данном исследовании стоит задача ответить на следующий вопрос, который отражает проблематику данной статьи: *какое влияние оказывает патио на тепловой комфорт городского жилья в полусухом климате Алжира?*

Для решения этой проблемы, связанной с климатической дезадаптацией городского жилья, было использовано математическое моделирование с помощью программного обеспечения Ecotect для оценки влияния патио на тепловой комфорт.

**Степень научной разработанности темы.** Выбранное направление статьи является малоизученным в архитектурной науке.

Проблемы, связанные с взаимосвязью между городской средой обитания, климатом и тепловым комфортом, являются предметом научных статей и публикаций многих авторов. Среди них работы Пуэртолас Р.Ф., Итурра Э., Деваль Ж.-К., Жанно Й., Джаико Т., Селестин К., Грундстрем К., Йоханссон Э., Лебада Ф., Будраа Р., Телье Ф., Нехила С., Кемажу А., Тсеуеп А.

Вопросам тепловой эффективности патио уделено внимание в исследованиях Бенчериф Мериама, Салах Чауш, Укфиф Т., Алкала Б.Ж., Зохра Сааид Ф., Феззиуи Н., Беньямин М., Тадж Н., Драуи Б., Ларби С.

Показатели оценки теплового комфорта рассматриваются в работах авторов, таких как Хомод Р.З., Сахари К., Сатиш Б.К., Ханьцин В., Чуньхуа Х., Жицян Л., Гуанфа Т., Инъюнь Л., Чжиюн В., Хабиби С., Пуршагхи А., Омидвари М., Баббах С., Драуи А., Менезо К.Х., Йезу Р., Абделуахаб Ж., Экичи К., Альфано Ф.Р.Д.А., Ианниелло Э., Палелла Б.И., Карманн К., Скьявон С., Бауман Ф., Яо Ж., Эльнаклах Р., Цао С., Минг П., Чжао Х.

В Алжире вопросы проектирования биоклиматической архитектуры в полусухих районах рассматривали Ремини Б., Эме С., Араб Х., Хадди М.Л., Мехеннауи С., Морсли Б. Мазур М., Медеджель Н., Хамуди А., Руз Э., Ахмед Али-Аит Кади С., Бугагане М., Чирин А., Торкия А., Иссоло Р., Тахар А., Дербаль Н., Хаддам М., Ислам Т.

Программное обеспечение для математического моделирования с целью оценки теплового комфорта (ECOTECT) – в работах Ананд П., Деб К., Алур Р., Ву К., Жо Х.К., Чжан С., Фенг Б., Садафи Н., Саллех Е.

Нормативно-правовая база исследования опирается на ASHARE 55 и ISO 7730.

Однако специальные исследования, посвященные архитектурным решениям патио и их влиянию на тепловой комфорт городского жилья в условиях полусухого климата Алжира, практически отсутствуют, что делает исследование данной статьи актуальным.

**Цель.** Основная цель настоящей статьи заключается в оценке влияния патио на тепловой комфорт городского жилья, расположенного в полусухой климатической зоне, например, в городе Ум-эль-Буаги в Алжире, с использованием метода математического моделирования. Для достижения данной цели ставились следующие задачи:

- выявить величину теплового комфорта городского жилища без патио в полусухом климате;
- выявить влияние патио на режим теплового комфорта в условиях полусухого климата;

- определить оптимальную конфигурацию патио в зависимости от пропорционального коэффициента Н/Л в условиях полусухого климата.

#### **Материалы и методы.**

**Методологический подход.** Количественное исследование тепловых характеристик для городских жилищ в полусухом климате. Для этого был рассмотрен реальный жилой дом без патио, расположенный в полусухой зоне Алжира, после чего предложено интегрировать в жилище 2 типа патио и проанализировать влияние патио на тепловые характеристики этого жилища и виртуальных случаев предлагаемых моделей. Это количественное исследование основано на математическом моделировании с использованием программного обеспечения Ecotect для жаркого и холодного сезонов.

Математическое моделирование с использованием программного обеспечения ECOTECT позволит рассчитать показатели PMV и PPD для проведения оценки теплового качества реального городского жилища без патио и после интеграции патио. После этого будет проведен сравнительный анализ тепловых характеристик городского жилища без патио и после интеграции патио.

Синтез полученных результатов определит оптимальную благоприятную геометрию патио, отражающую пропорциональный коэффициент Н/Л [4] для полусухого климата Алжира.

**Математическое моделирование.** Математическое моделирование остается одним из самых передовых инструментов оценки тепловой комфортности. Использование имитационного программного обеспечения может осуществляться на всех стадиях проектирования и эксплуатации зданий; это позволяет нам наблюдать и оценивать существующую ситуацию и находить климатические и архитектурные решения.

Используя математическое моделирование, архитектор может определить мощность систем, которые будут установлены (отопление и кондиционирование воздуха), он должен иметь возможность проверить, не рискует ли его проект вызвать дискомфорт в определенное время года.

В последние годы математическое моделирование стало новаторским инструментом количественной оценки комфортности параллельно с экспериментами, основанными на натурных измерениях. Несколько исследователей использовали программное обеспечение ECOTECT для моделирования показателей PMV и PPD для оценки теплового комфорта в архитектурных пространствах [5–8]. Процесс осуществления данной исследовательской работы показан на рисунке 1.



Рис. 1. Процесс исследовательской работы

В качестве первого шага, моделирование проводилось в формате 2D с использованием программного обеспечения AUTOCAD.

Второй шаг заключается в экспорте моделей в формате (.dxf), чтобы они были совместимы с программным обеспечением ECOTEST. На этом этапе 3D-модели определяются и подразделяются на тепловые зоны.

Третий шаг касается импорта климатического файла и обмена метеорологическими данными города Умм-эль-Буаги с использованием программного обеспечения ECOTEST, зная, что климатические данные были экспортированы из программного обеспечения Meteororm.

Четвертый шаг заключается в проверке тепловых характеристик модели (реальное городское жилище без патио). И для того, чтобы проверить влияние патио на внутренний тепловой комфорт городского жилища, математическое моделирование должно быть проведено после интеграции патио в городское жилище, которое уже было изучено.

- Случай 1: интеграция патио с пропорциональным коэффициентом:  $H/L < 2,5$ .
- Случай 2: интеграция патио с пропорциональным коэффициентом:  $H/L > 2,5$ .

Тепловое моделирование моделей осуществляется путем анализа и оценки показателей:

- PMV (*прогнозируемая средняя оценка*).
- PPD (*прогнозируемый процент недовольных температурной средой*).

Для получения точного уровня теплового комфорта в помещении моделей, тепловое моделирование моделей выполнено:

- 21 июня (самый жаркий день в летний период).
- 21 декабря (самый холодный день в зимний период).

Пятый шаг заключается в переносе результатов, представленных в программе ECOTEST, в программу Excel в виде графических колонок и проведении сравнительного анализа.

**Показатели теплового комфорта: PMV/PPD.** Оценка теплового комфорта в помещениях является одним из ключевых параметров любого архитектурного проекта [9]. Наиболее распространенным способом оценки теплового комфорта в помещениях является использование уравнений комфорта, установленных Фангером (Fanger) [10]. Фангер разработал показатели теплового комфорта: PMV и PPD [11]. Первый прогнозирует средние тепловые ощущения большой группы людей, а второй – процент жильцов, неудовлетворенных тепловой средой [12].

PMV: показатель основан на усредненных мнениях по оценке комфортности с учетом энергетического метаболизма, теплового сопротивления, температуры воздуха, средней радиационной температуры, скорости воздуха [13]. Значения PMV варьируются от -3 до 3 (табл. 1) [14, 15].

Таблица 1

#### Соответствие между PMV и шкалой тепловых ощущений человека

Значения показателя PMV	3	2	1	0	-1	-2	-3
Человеческие ощущения	Жарко	Тепло	Немного тепло	Нейтрально	Немного прохладно	Прохладно	Холодно

Определение PMV равен 0, позволяет получить формулу для прогнозирования сочетания параметров активности, одежды и окружающей среды, которые, как правило, предоставляет *нейтральную температурную чувствительность* [16].

PPD: Из-за физиологических различий невозможно удовлетворить каждого, удовлетворяя «идеальным» условиям, и PPD выражает в процентах «недовольных» субъектов данной тепловой среды [17].

В оптимальной ситуации ( $PMV = 0$ , ни жарко, ни холодно) уровень неудовлетворенности составляет 5 % среди людей, испытывающих одинаковые тепловые, метаболические и одежные условия [16, 18].

Уровень неудовлетворенности возрастает одинаково, если PMV отклоняется от 0 в сторону холода и в сторону тепла.

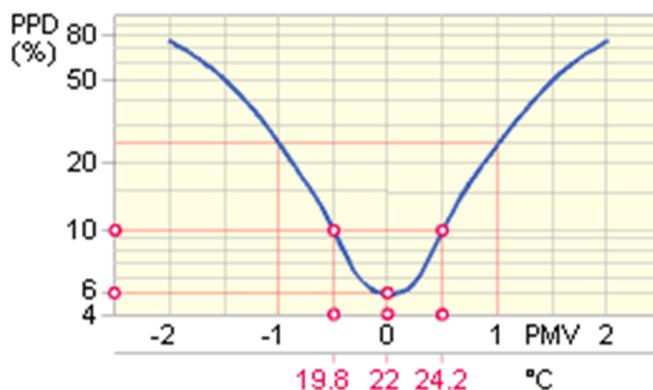


Рис. 2. PPD, основанный на PMV. [Из ASHRAE 55. 2013. С. 23]

Стандарт ISO 7730 предусматривает, что для нахождения в зоне теплового комфорта необходимо, чтобы:  $-0,5 < PMV < 0,5$  либо  $PPD < 10 \%$  [19–21].

**Климатические характеристики города Ум-эль-Буаги.** Контекст данного исследования ограничен регионами с полусухим климатом, в качестве примера можно привести город Ум-Эль-Буаги ( $35^\circ N, 7^\circ E$ ). Город Ум-Эль-Буаги характеризуется полусухим климатом. По данным

таблицы 2 и 3, а также диаграммы температуры и осадков (рис. 3 и 4) видно, что это климат с двумя периодами (холодная зима) и (жаркое и сухое лето). В этом городе выражено интенсивное солнечное излучение с очень высокими температурами летом (максимум  $34,49^\circ C$ ) в августе. Средняя относительная влажность, большое количество осадков зимой и редкие осадки летом.

Таблица 2

Метеорологические данные (температуры) города Ум-эль-Буаги

	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек
Максимальные месячные температуры	11.64	12.11	16.12	19.73	24.69	30.41	30.41	34.49	28.38	24.16	16.91	12.31
Минимальные месячные температуры	1.18	1.25	4.08	7.1	10.33	15.05	18.01	18.06	14.47	11.01	5.43	2.24
Среднемесячные температуры	6.8	6.68	10.21	13.70	17.67	21.83	26.4	26.31	21.58	17.58	11.15	7.64

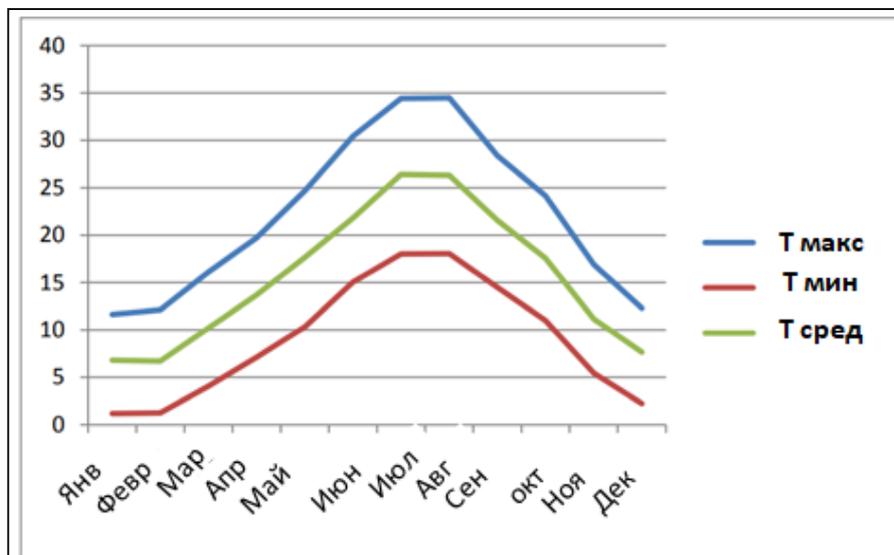


Рис. 3. Диаграмма изменения температуры по месяцам

Таблица 3

**Метеорологические данные (осадки) города Ум-эль-Буаги**

	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек
Количество осадков (мм)	30.89	31.77	33.75	37.29	51.66	22.42	9.34	17.57	41.44	27.45	33.82	44.67

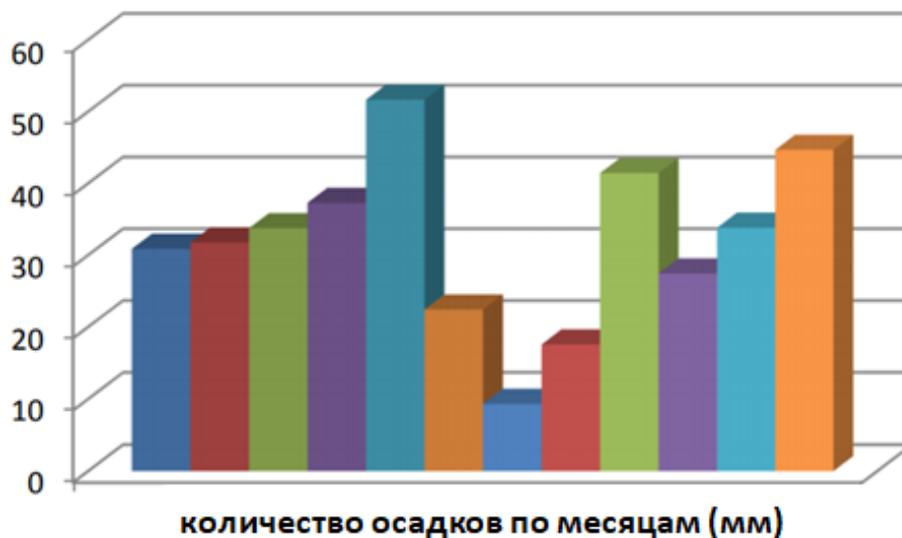


Рис. 4. Диаграмма количества осадков по месяцам

**Презентация изучаемого городского жилища.** Исследование проводилось в городском жилище, расположенном на северо-западе города Оум Эль Буаги. Район под названием Сите Эль

Мустакбель. Географическое положение исследуемого городского жилища представлено на рис 5, 6.

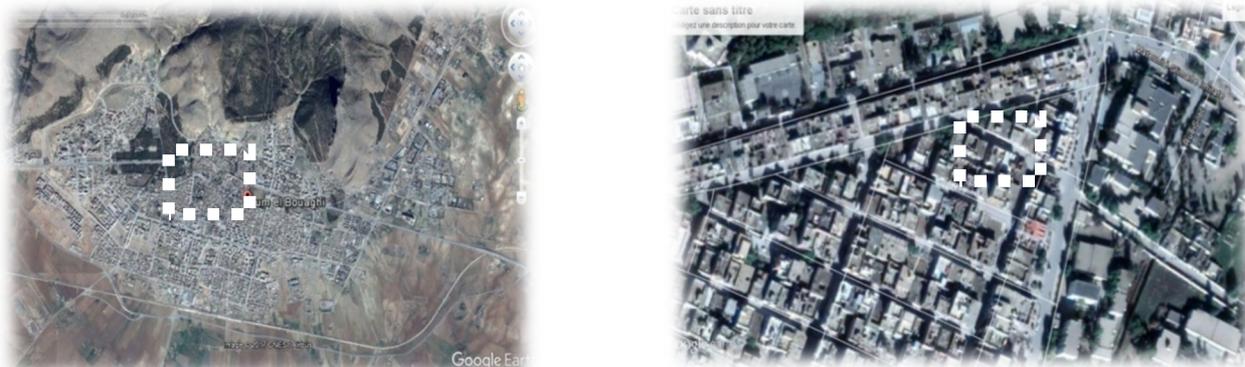


Рис. 5, 6. Географическое положение исследуемого городского жилья. [изображения по «Google Earth»]



Рис. 7. План первого этажа

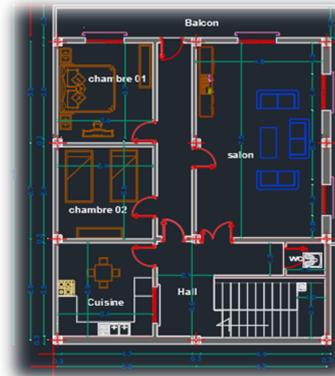


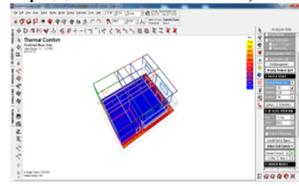
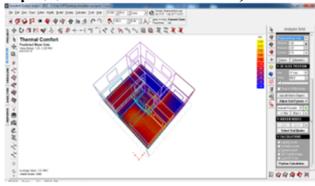
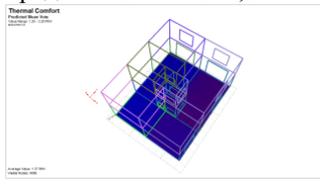
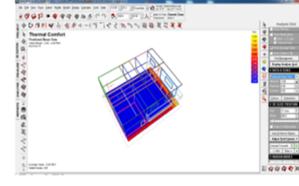
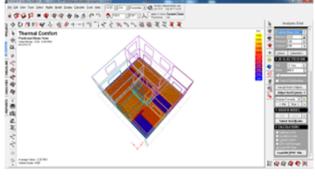
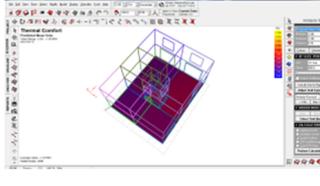
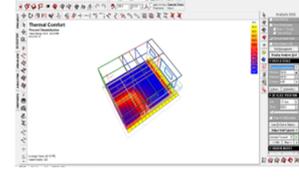
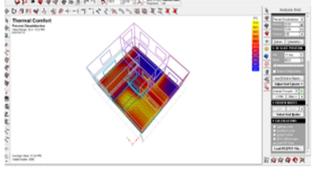
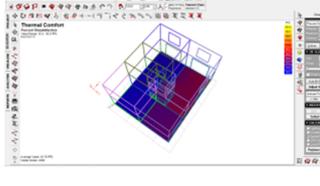
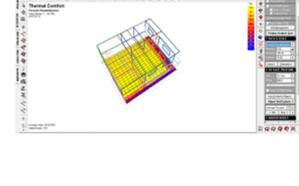
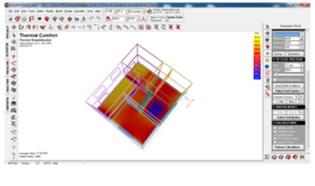
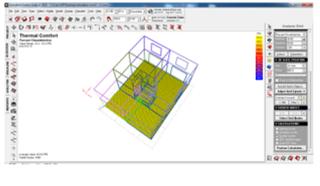
Рис. 8. План второго этажа

Исследуемое городское жилище имеет площадь 118 м<sup>2</sup>, состоит из двух этажей. На первом этаже отделан небольшой гараж и лестничная клетка. Второй этаж жилой – гостиная, кухня, санузел и две жилые комнаты. Планировочные решения жилого дома представлены на рис. 7 и 8.

**Результаты и обсуждение.** Результаты математического моделирования ДО и ПОСЛЕ интеграции патио в структуру жилого дома приведены в таблице 4.

Таблица 4

**Результаты математического моделирования ДО и ПОСЛЕ интеграции патио**

		Исследовано городского жилья без патио	<u>Вариант1:</u> после интеграции патио с пропорциональным коэффициентом: $N/L < 2,5$	<u>Вариант2:</u> после интеграции патио с пропорциональным коэффициентом: $N/L > 2,5$
<b>PMV</b>	<b>Жаркий период</b>	Интервал результата: (Мин 1,50; Макс 11,50) Средняя величина: <b>2,58</b> 	Интервал результата: (Мин 1,2; Макс 2,2) Средняя величина: <b>1,51</b> 	Интервал результата: (Мин 1,2; Макс 3,2) Средняя величина: <b>1,37</b> 
	<b>Холодный период</b>	Интервал результата: (Мин -3; Макс 2) Средняя величина: <b>-2,64</b> 	Интервал результата: (Мин -5; Макс 0) Средняя величина: <b>-2,06</b> 	Интервал результата: (Мин -2; Макс -1) Средняя величина: <b>-1,72</b> 
<b>PPD</b>	<b>Жаркий период</b>	Интервал результата: (Мин 54; Макс 94) Средняя величина: <b>69,19 %</b> 	Интервал результата: (Мин 32; Макс 72) Средняя величина: <b>51,54 %</b> 	Интервал результата: (Мин 35; Макс 95) Средняя величина: <b>45,78 %</b> 
	<b>Холодный период</b>	Интервал результата: (Мин 5; Макс 105) Средняя величина: <b>86,08 %</b> 	Интервал результата: (Мин 54; Макс 94) Средняя величина: <b>77,69 %</b> 	Интервал результата: (Мин 35; Макс 55) Средняя величина: <b>62,63 %</b> 

**Сопоставление результатов.** Используя Microsoft office Excel, результаты моделирования представлены на рисунках (рис. 9–12).



Рис. 9. График сравнения значения PMV в жарком периоде

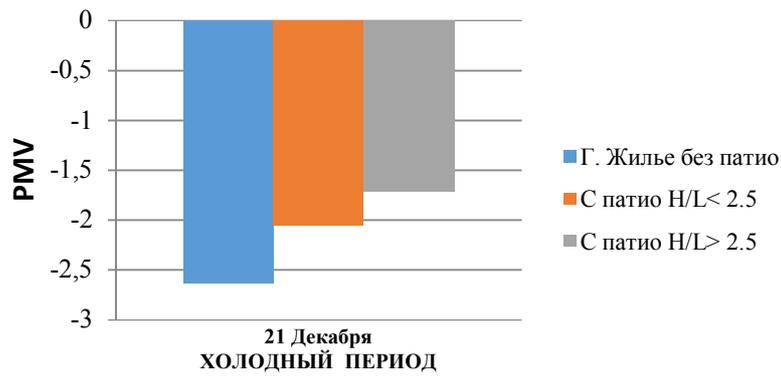


Рис. 10. График сравнения значения PMV в холодном периоде

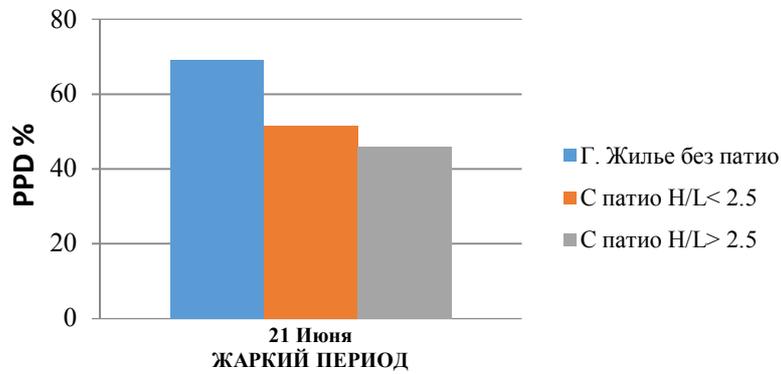


Рис. 11. График, сравнивающий процент PPD в жарком периоде

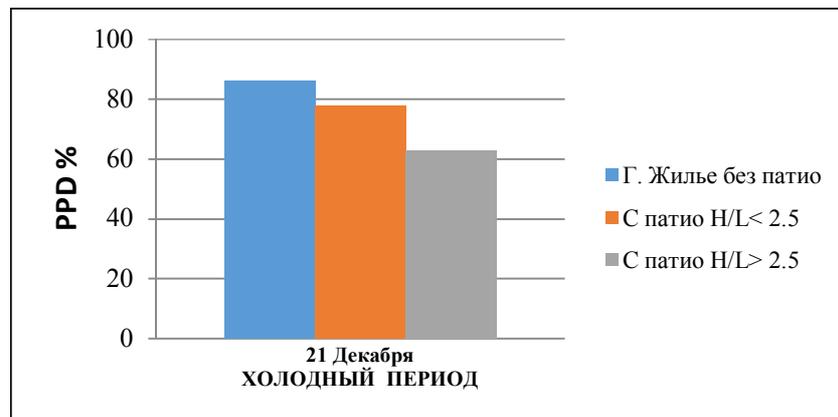


Рис. 12. График, сравнивающий процент PPD в холодном периоде

Данные, характеризующие тепловой вклад модели патио с пропорциональным коэффициентом  $N/L < 2,5$ , полученные в результате данного исследования, обобщены в таблице 5.

Данные, характеризующие тепловой вклад модели патио с пропорциональным коэффициентом  $N/L > 2,5$ , полученные в результате данного исследования, обобщены в таблице 6.

Таблица 5

Тепловой вклад модели патио  $N/L < 2,5$ 

	<u>Тепловой вклад</u>	<u>Тепловое ощущение</u>
<b>Жаркий период</b>	Уменьшение величины PPD с 69,19 % до 51,54 % внутри жилища в среднем на 17,65 %, что отражает теплую атмосферу	Снижение значения PMV с 2,58 до 1,51, что свидетельствует о преобразовании интервала ощущения жарка в интервале ощущения тепла
<b>Холодный период</b>	Уменьшение среднего значения PPD внутри жилища с 86,06 % до 77,69 %, которое равно 8,37 %, что отражает прохладную атмосферу	Увеличение значения PMV с -2,64 до -2,06, что свидетельствует о преобразовании интервала ощущения холодна в интервале ощущения прохладна

Таблица 6

Тепловой вклад модели патио  $N/L > 2,5$ 

	<u>Тепловой вклад</u>	<u>Тепловое ощущение</u>
<b>Жаркий период</b>	Уменьшение величины PPD с 69,19 % до 45,78 % внутри жилища в среднем на 23,41 %, что отражает немного теплую атмосферу	Снижение значения PMV с 2,58 до 1,37, что свидетельствует о преобразовании интервала ощущения жарка в интервале ощущения немного тепла
<b>Холодный период</b>	Уменьшение среднего значения PPD внутри жилища с 86,06 % до 62,63 %, которое равно 23,43 %, что отражает прохладную атмосферу	Увеличение значения PMV с -2,64 до -1,72, что свидетельствует о преобразовании интервала ощущения холодна в интервале ощущения прохладна

**Выводы.** Тема данной статьи «Моделирование архитектурных решений патио и их влияние на тепловой комфорт городского жилья в полусухом климате Алжира» была посвящена экспериментальному исследованию влияния патио на повышение уровня комфортности проживания в жилье в полусухих климатических районах Алжира, таких как город Ум-эль-Буаги, связанных с климатическими проблемами.

Результаты этой работы являются позитивными в плане прояснения параметров положительного воздействия патио в полусухих районах. Благодаря моделированию с использованием программного обеспечения «ECOTECT» было показано, что патио является термическим регулятором, используемым для защиты конструкции и повышения ее тепловых и энергетических характеристик в условиях зимнего и летнего периода и в соответствии со специфическими ограничениями данного типа климата.

На основе результатов, полученных в ходе моделирования исследуемого случая и виртуальных случаев предлагаемых моделей, можно подтвер-

ждено значительное воздействие патио на тепловой комфорт в помещениях, а также на значения PMV и PPD в полусухом климате. Таким образом, чтобы быть точным, патио, который характеризуется пропорциональным коэффициентом  $N/L > 2,5$ , наиболее эффективен. При этом, для достижения оптимального уровня комфорта могут использоваться и другие стратегии, такие как атриум, вода и растительность.

В ходе этой работы мы попытались максимально обосновать концепцию патио на основе анализа его влияния на тепловой комфорт внутри городских жилищ, путем оценки показателей тепловой комфортности (PMV, PPD), в сочетании с выбором оптимальной геометрической формы патио в соответствии с коэффициентом  $N/L$  пропорционального проектирования, без специализации изучения каждого параметра, оставляя возможность для продолжения исследований оптимизации в этой области.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Puertolas R.F. et al. A bioclimatic building in Madrid: Analysis of the thermal response and

long-term comfort indices review // *Developments in the Built Environment*. 2020. Vol. 3. 100015.

2. Iturra E.E.M. Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique. Doctoral dissertation. Université Laval. Canada. 2011. 164 p.

3. Bencherif M., Chaouche S. La maison urbaine à patio, réponse architecturale aux contraintes climatiques du milieu aride chaud // *Science et changements planétaires/Sécheresse*. 2013. Vol. 24. Iss. 3. Pp. 203–213.

4. Benlatreche T. Effets thermo-radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les édifices publics. Magister dissertation. Université Mentouri. Constantine. 2006. 103–104 p. URL : <http://193.194.84.142/theses/architecture/BEN4480.pdf>.

5. Anand P., Deb C., Alur R. A simplified tool for building layout design based on thermal comfort simulations // *Frontiers of Architectural Research*. 2017. Vol.6. Iss. 2. Pp. 218–230.

6. Wu Q., Jo H.K. A study on Ecotect application of local climate at a residential area in Chuncheon, Korea // *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2015. Vol. 3. Iss. 2. Pp. 94–101.

7. Zhang S., Feng B. Analysis of thermal environment of Existing Residential Building Envelope Energy-saving in ECOTECH simulation // In 3rd International Conference on «Materials Engineering, Manufacturing Technology and Control». Atlantis Press, (2016, April). 2016. Pp. 442–446.

8. Sadafi N., Salleh E., Haw L.C., Jaafar M.F.Z. Potential design parameters for enhancing thermal comfort in tropical Terrace House: A case study in Kuala Lumpur // *ALAM CIPTA Journal*. 2012. Vol. 3. Iss. 1.

9. Homod R.Z. et al RLF and TS fuzzy model identification of indoor thermal comfort based on PMV/PPD // *Building and Environment*. 2012. Vol. 49. Pp. 141–153.

10. Satish B.K. Beyond Energy-efficient Built Environment—Examining the Relationship between the Users' Cultural Values and Energy Consumption // *IOP Conference Series «Earth and Environmental*

*Science»*. IOP Publishing, (2019, September). 2019. Vol. 329. №1. 012024.

11. Hanqing W., Chunhua H., Zhiqiang L., Guangfa T., Yingyun L., Zhiyong W. Dynamic evaluation of thermal comfort environment of air-conditioned buildings // *Building and environment*. 2006. Vol. 41. Iss. 11. Pp. 1522–1529.

12. Habibi S. The promise of BIM for improving building performance // *Energy and Buildings*. 2017. Vol. 153. Pp. 525–548.

13. Pourshaghaghay A., Omidvari M. Examination of thermal comfort in a hospital using PMV–PPD model // *Applied ergonomics*. 2012. Vol.43. Iss. 6. Pp. 1089–1095.

14. Babbah S., Draoui A., Menezo C.H., Yezou R., Abdelouahab J.B. Evaluation Energétique des Bâtiments au Nord du Maroc // «12èmes Journées Internationales de Thermique». 2005. P. 235–238.

15. Ekici C. Measurement uncertainty budget of the PMV thermal comfort equation // *International Journal of Thermophysics*. 2016. Vol. 37. Iss. 6. Pp. 48.

16. ГОСТ Р ISO 7730-2009. Эргономика термальной среды. М.: Стандартинформ. 2009.

17. Alfano F.R.D.A., Ianniello E., Palella B. I. PMV–PPD and acceptability in naturally ventilated schools // *Building and Environment*. 2013. Vol. 67. Pp. 129–137.

18. Karmann C., Schiavon S., Bauman F. Thermal comfort in buildings using radiant vs. all-air systems: A critical literature review // *Building and Environment*. 2017. Vol. 111. Pp. 123–131.

19. Yao J. Teaching indoor thermal comfort using computer technologies with inexpensive instruments // *Proceeding of World Transactions on Engineering and Technology Education*. 2013. Vol. 11. Iss. 3. Pp. 293–296.

20. Elnaklah R. et al. Thermal comfort standards in the Middle East: Current and future challenges // *Building and Environment*. 2021. Vol. 200. Pp. 107899.

21. Cao S., Ming P., Zhao X. Fuzzy comprehensive evaluation of human thermal comfort in simulating natural wind environment // *Building and Environment*. 2021. Vol. 188. Pp. 107447.

#### Информация об авторах

**Бухезам Фахима**, аспирант кафедры архитектуры. E-mail: fahima.boh04@gmail.com. Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. Россия, 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95.

**Колесникова Татьяна Николаевна**, доктор архитектуры, доцент, заведующий кафедрой архитектуры. E-mail: kolesnikovoj@yandex.ru. Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. Россия, 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95.

Поступила 30.06.2021 г.

© Бухезам Ф., Колесникова Т.Н., 2021

**\*Bouhezam F., Kolesnikova T.N.**  
 Oryol State University named after I.S. Turgenev  
 \*E-mail: fahima.boh04@gmail.com

## MODELING OF PATIO ARCHITECTURAL SOLUTIONS AND THEIR EFFECT ON THE THERMAL COMFORT OF URBAN HOUSING IN THE SEMI-ARID CLIMATE OF ALGERIA

**Abstract.** The article aims to substantiate the role of the patio and its effect on thermal comfort in urban housing, especially in the semi-arid climatic zones of Algeria. In semi-dry cities, the aim is always to avoid direct sunlight and to seek shade and freshness in the summer season. Indeed, the patio is one of the bioclimatic architectural devices that responds to the field of indoor thermal environments and contributes to the creation of comfortable atmosphere. In this study, authors tried to assess the impact of patio geometry on thermal comfort inside housing in the semi-arid climate of Oum El Bouaghi. The study is based on the method of mathematical modeling implemented in the program ECOTECT. It evaluates the impact of the proportional coefficient H/L (height/width) on the value of PMV (Predicted Mean Vote), and PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). The results of this study show that the patio plays an important role in thermal comfort in urban housing. The patio significantly improves the PMV value and reduces the PPD value, increasing sunlight in winter and providing passive space cooling in summer. However, for optimal thermal comfort, the proportional H/L value must be greater than 2.5.

**Keywords:** Thermal comfort, urban housing, semi-arid climate, geometry of patio, ECOTECT, PMV and PPD.

### REFERENCES

- Puertolas R.F. et al. A bioclimatic building in Madrid: Analysis of the thermal response and long-term comfort indices review. *Developments in the Built Environment*. 2020. Vol.3. 100015.
- Iturra E.E.M. Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique. Doctoral dissertation. Laval University. Canada. 2011. 164 p.
- Bencherif M., Chaouche S. La maison urbaine à patio, réponse architecturale aux contraintes climatiques du milieu aride chaud. *Science and Global Change/Drought*. 2013. Vol. 24. Iss. 3. Pp. 203–213.
- Benlatreche T. Effets thermo-radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les édifices publics. Magister dissertation. University Mentouri. Constantine. 2006. 103–104 p. URL : <http://193.194.84.142/theses/architecture/BEN4480.pdf>.
- Anand P., Deb C., Alur R. A simplified tool for building layout design based on thermal comfort simulations. *Frontiers of Architectural Research*. 2017. Vol.6. Iss. 2. Pp. 218–230.
- Wu Q., Jo H. K. A study on Ecotect application of local climate at a residential area in Chuncheon, Korea. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2015. Vol.23. Iss. 2. Pp. 94–101.
- Zhang S., Feng B. Analysis of thermal environment of Existing Residential Building Envelope Energy-saving in ECOTECT simulation. In 3rd International Conference on "Materials Engineering, Manufacturing Technology and Control" . Atlantis Press, (2016, April). 2016. Pp. 442–446.
- Sadafi N., Salleh E., Haw L.C., Jaafar, M. F.Z. Potential design parameters for enhancing thermal comfort in tropical Terrace House: A case study in Kuala Lumpur. *ALAM CIPTA Journal*. 2012. Vol. 3. Iss. 1.
- Homod R.Z. et al. RLF and TS fuzzy model identification of indoor thermal comfort based on PMV/PPD. *Building and Environment*. 2012. Vol. 49. Pp. 141–153.
- Satish, B. K. Beyond Energy-efficient Built Environment—Examining the Relationship between the Users' Cultural Values and Energy Consumption. *IOP Conference Series "Earth and Environmental Science"*. IOP Publishing, (2019, September). 2019. Vol. 329. No. 1. 012024.
- Hanqing W., Chunhua H., Zhiqiang L., Guangfa T., Yingyun L., Zhiyong W. Dynamic evaluation of thermal comfort environment of air-conditioned buildings. *Building and environment*. 2006. Vol. 41. Iss 11. Pp. 1522–1529.
- Habibi S. The promise of BIM for improving building performance. *Energy and Buildings*. 2017. Vol. 153. Pp. 525–548.
- Pourshaghagh A., Omidvari M. Examination of thermal comfort in a hospital using PMV–PPD model. *Applied ergonomics*. 2012. Vol. 43. Iss. 6. Pp. 1089–1095.
- Babbah S., Draoui A., Menezo C.H., Yezou R., Abdelouahab J.B. Evaluation Energétique des Bâtiments au Nord du Maroc. "12èmes Journées Internationales de Thermique". 2005. Pp. 235–238.
- Ekici C. Measurement uncertainty budget of the PMV thermal comfort equation. *International*

Journal of Thermophysics. 2016. Vol. 37. Iss. 6. Pp. 48.

16. GOST P ISO 7730-2009. Ergonomics of thermal environment [GOST R ISO 7730-2009 Ergonomika termal'noy sredy]. Moscow: Standartinform. 2009. (rus)

17. Alfano F.R.D.A., Ianniello E., Palella B.I. PMV–PPD and acceptability in naturally ventilated schools. Building and Environment. 2013. Vol. 67. Pp. 129–137.

18. Karmann C., Schiavon S., Bauman F. Thermal comfort in buildings using radiant vs. all-air systems: A critical literature review. Building and Environment. 2017. Vol. 111. Pp. 123–131.

19. Yao J. Teaching indoor thermal comfort using computer technologies with inexpensive instruments. Proceeding of World Transactions on Engineering and Technology Education. 2013. Vol. 11. Iss. 3. Pp. 293–296.

20. Elnaklah R. et al. Thermal comfort standards in the Middle East: Current and future challenges. Building and Environment. 2021. Vol. 200. 107899.

21. Cao S., Ming P., Zhao X. Fuzzy comprehensive evaluation of human thermal comfort in simulating natural wind environment. Building and Environment. 2021. Vol. 188. Pp. 107447.

#### *Information about the authors*

**Bouhezam, Fahima.** Postgraduate student. E-mail: fahima.boh04@gmail.com. Oryol State University named after. I.S. Turgenev. Russia, 302026, Orel, st. Komsomolskaya, 95.

**Kolesnikova, Tatyana N.** DSc, Assistant professor, head of the Department of Architecture. E-mail: kolesnikovoj@yandex.ru. Oryol State University named after. I.S. Turgenev. Russia, 302026, Orel, st. Komsomolskaya, 95.

---

*Received 30.06.2021*

#### **Для цитирования:**

Бухезам Ф., Колесникова Т.Н. Моделирование архитектурных решений патио и их влияние на тепловой комфорт городского жилья в полусухом климате Алжира // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 9. С. 45–55. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-45-55

#### **For citation:**

Bouhezam F., Kolesnikova T.N. Modeling of patio architectural solutions and their effect on the thermal comfort of urban housing in the semi-arid climate of Algeria. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 9. Pp. 45–55. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-45-55