

УДК 628.8

Ж. В. Васильева, Н. Е. Подобед, М. Б. Петрякова

Мурманский арктический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ В ПОМЕЩЕНИЯХ УНИВЕРСИТЕТА В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

Представлены результаты комплексного исследования теплового комфорта в университетских помещениях в отопительный период 2021 г. в Мурманске, Россия. На первом этапе исследований проведена сравнительная оценка тепловой среды помещений университета на соответствие требованиям стандартов ГОСТ 30494—2011 и ГОСТ Р ИСО 7730—2009. Вторым этапом включал определение субъективных оценок студентов и анализ корреляций между субъективным восприятием и измеренными параметрами тепловой среды. Исследование основано на анализе 305 анкет студентов. Результаты показали, что модель PMV-PPD позволяет оценить все факторы внутренней среды в совокупности, в то время как ГОСТ 30494—2011 регламентирует каждый фактор отдельно, без учета взаимосвязей и последствий отклонений от регламентированных значений. Анализ субъективных и прогнозируемых оценок теплового восприятия окружающей среды студентами выявил различия в разных типах учебных помещений университета.

К л ю ч е в ы е с л о в а: тепловой комфорт, арктический регион, тепловая среда, здание.

Введение

Тепловой комфорт является важной составляющей благоприятной среды для учебного процесса, влияющей на качество и интенсивность учебы [1]. Многими исследованиями установлено влияние тепловой среды на успеваемость учащихся и способность эффективно выполнять учебные задания [1—3]. Исследования S. Barbhuiya и др. показали, что чрезмерно высокие или низкие температуры формируют неприемлемые тепловые условия и ведут к отвлечению внимания и снижению концентрации, замедляют прогресс в обучении [4]. Результаты различных исследований D. P. Wyon [5, 6] и P. Wargoski [7] показали, что изменения температуры на несколько градусов в диапазоне от +18 до +30 °С могут значительно повлиять на производительность обучающихся в целом ряде задач, включающем различные виды учебной деятельности, в т. ч. скорость чтения, умножения, понимания и запоминания слов.

Исследования, посвященные изучению теплового комфорта в зданиях высших учебных заведений, пока еще немногочисленны и проводились, как правило, в условиях средиземноморского [8, 9], субтропического [10], тропического [1, 11], умеренного и холодного [12—14] климата. Из проведенного авторами анализа зарубежной и отечественной литературы следует, что исследования в высших учебных заведениях в условиях субарктического или арктического климата не проводились.

Оценка теплового комфорта

Оценка теплового комфорта в настоящее время чаще всего основывается на математической модели Фангера, отраженной в международном стандарте

ISO 7730¹. Указанная модель базируется на необходимости обеспечения теплового баланса человека с учетом комплекса факторов, его обуславливающих: температуры, влажности, скорости движения воздуха, средней радиационной температуры, одежды, физической активности людей, находящихся в помещении. Результатом оценки параметров является предсказание теплоощущений человека: индекса PMV («predicted mean vote»), т. е. среднем числе голосов в оценке теплового комфорта, и показателя PPD («predicted percentage of dissatisfied»), т. е. процента людей, ощущающих тепловой дискомфорт. Эта модель прогнозирования на основе PMV стала международно признанной моделью для описания прогнозируемого среднего теплового комфорта жителей в помещениях.

При этом имеются многочисленные исследования, показывающие, что полученные в результате использования этого подхода значения PMV могут отклоняться от реального теплового комфорта [15—17]. Предположение модели теплового баланса о том, что люди являются просто пассивными восприимчивыми теплового среды, оспорено адаптивной моделью, отраженной в настоящее время в стандарте ANNSI/ASHARE 55². Адаптивная модель утверждает, что тепловой комфорт включает в себя возможность активной адаптации к тепловой среде, а не пассивного восприятия человеком условий, которым он подвергается.

Однако некоторое количество исследований показывает, что и применение адаптивной модели в соответствии со стандартом ASHRAE 55 не в полной мере позволяет предсказать реальный тепловой комфорт в обследованных помещениях [18]. При этом исследователи указывают различные возможные причины расхождений между реальными тепловыми ощущениями и прогнозными показателями PMV или адаптивной модели — ими могут являться различные показатели метаболизма, различные системы вентиляции, различные сценарии адаптивного поведения и т. д. [15, 16]. Таким образом, применение обоих обозначенных моделей требует дальнейшего изучения и корректировки.

Российские нормативные акты, регулирующие параметры теплового комфорта внутренней среды помещений

Относительно оценки теплового комфорта внутренней среды помещений с помощью нормативных документов, действующих в Российской Федерации, можно отметить следующее. Состояние теплового комфорта в сегодняшней российской практике оценивается лишь сочетанием нормативных требований к отдельным показателям микроклимата, в т. ч. температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха.

При этом в настоящее время в РФ принят государственный стандарт ГОСТ Р ИСО 7730—2009³, являющийся переводным аналогом

¹ ISO, EN ISO 7730: 2005. Ergonomics of the Thermal Environment — analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria, International Standardisation Organisation, Geneva, 2005.

² ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 55. Thermal environmental conditions for human occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2017.

³ ГОСТ Р ИСО 7730—2009. Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV

ISO 7730:2005, однако приведенный в нем метод оценки и интерпретации теплового комфорта не является обязательным. Более того, приведенная в официальном издании стандарта ГОСТ Р ИСО 7730—2009 формула расчета показателя PMV, как и компьютерная программа для вычисления PMV и PPD, содержат опечатки, которые делают невозможным использование данного стандарта в оценке приемлемости тепловой среды для человека [19].

В РФ существует целый ряд стандартов, регулирующих отдельные параметры теплового комфорта: ГОСТ 30494—2011, ГОСТ 12.1.005—88, СП 60.13330.2020, СанПиН 1.2.3685—21, ГОСТ Р 54964—2012, СП 44.13330.2011, СанПиН 2.2.4.548—96⁴.

При этом в описанных стандартах присутствуют существенные различия относительно набора определяющих параметров для оценки термического комфорта внутренней среды помещений, а также относительно значений допустимых и оптимальных параметров тепловой среды [20].

Проведенный авторами [20] анализ международных и российских нормативных документов и исследований в области оценки параметров тепловой среды помещений показал, что существующие подходы имеют определенные ограничения и пробелы при оценке теплового комфорта.

Одновременно многими исследователями отмечается необходимость большего охвата исследованиями зданий и помещений для разного уровня образования, особенно университетов. Это обусловлено потенциальным наличием в высших учебных заведениях большого числа адаптационных моделей поведения, влиянием особенностей культурной среды, различными стратегиями эксплуатации образовательных зданий и т. д. [1].

Целью настоящего исследования явилось проведение сравнительного анализа теплового комфорта в учебных помещениях университета согласно стандарта ГОСТ 30494—2011 и ГОСТ Р ИСО 7730—2009, аналога международного стандарта ISO 7730, отражающего интегрированный подход на основе модели теплового баланса (модели PMV-PPD). Для достижения поставленной цели *решены следующие задачи*:

- проведена оценка теплового комфорта в учебных помещениях университета в соответствии с ГОСТ 30494—2011 и ГОСТ Р ИСО 7730—2009;

и PPD и критериев локального теплового комфорта. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200076557>.

⁴ ГОСТ 30494—2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095053?ysclid=mbc7kexbxf167483524>.

ГОСТ 12.1.005—88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608?ysclid=mbc7lm1141315673346>.

СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573697256?ysclid=mbc7md4ptf25469044>.

СанПиН 1.2.3685—21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?ysclid=mbc7n8wu5g660752799>.

ГОСТ Р 54964—2012. Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/53289/>.

СП 44.13330.2011. Административные и бытовые здания. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084087?ysclid=mbc7p3r3u7363447631>.

СанПиН 2.2.4.548—96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. URL: <https://base.garant.ru/4173106/>.

- определено тепловое восприятие окружающей среды студентами в различных типах учебных помещений университета;
- установлены тенденции и корреляции между субъективным восприятием и фактическими (измеренными) параметрами окружающей среды.

Материалы и методы

В статье рассмотрены некоторые результаты комплексного исследования теплового комфорта учебных помещений университета, полученные в течение отопительного периода 2021 г. в г. Мурманске, Россия. Проведенное исследование включало в себя два основных этапа.

Первый этап представлял собой оценку тепловой среды помещений университета на соответствие требованиям российского стандарта, регулирующего параметры тепловой среды помещений — ГОСТ 30494—2011, и ГОСТ Р ИСО 7730—2009, аналогу международного стандарта ISO 7730:2005, по аналитическому определению и интерпретации теплового комфорта с использованием показателей PMV (прогнозируемая средняя оценка качества воздушной среды) и PPD (прогнозируемый процент недовольных).

Второй этап представлял собой работы по оценке теплового комфорта студентов в различных типах учебных помещений университета, определению их субъективных оценок, установлению тенденций и корреляций между субъективным восприятием и измеренными параметрами тепловой среды.

Мурманский арктический университет находится в Мурманске, расположенном в арктической зоне РФ. Кампус университета представляет собой цепь корпусов, связанных наземными и надземными переходами. Для проведения исследования выбраны учебные помещения корпусов П и В, планируемые к реконструкции (рис. 1, 2).

Для исследования параметров тепловой среды и оценки теплового комфорта студентов университета выбраны учебные помещения двух типов: помещения для чтения лекций с амфитеатром (далее «аудитории», рис. 2, а) и помещения для практических работ и проектирования (далее «учебные классы», рис. 2, б).

Аудитории имеют вместимость около 100 мест, площадь 130 м² и более, высоту потолков 4,2 м и более, механическую вентиляцию. Учебные классы имеют небольшую площадь (36..44 м²), высоту потолков 2,5 м, естественную вентиляцию. Обогрев во всех помещениях осуществляется с помощью нерегулируемых батарей центрального отопления.

Температуру, влажность, скорость воздушного потока определяли прибором контроля параметров воздушной среды — метеометром МЭС-200. Температуру воздуха определяли в трех точках по диагонали: 0,25 м от наружной стены, в центре помещения и 0,25 м от внутреннего угла комнаты. В каждой точке делали по 3 замера на высоте 0,25 м и 1,5 м от пола и 0,25 м от потолка. Также замерялась температура стен и батарей отопления.

Для измерения температуры кожи применялся поверхностный бесконтактный термометр Berrcom JXB-178, который подносился к коже с расстояния не более 3 см.

Для определения прогнозируемой средней оценки температурной комфортности использовались показатели PMV и PDD. Показатели рассчитывали в соответствии с ГОСТ Р ИСО 7730—2009 с учетом корректировок [19].

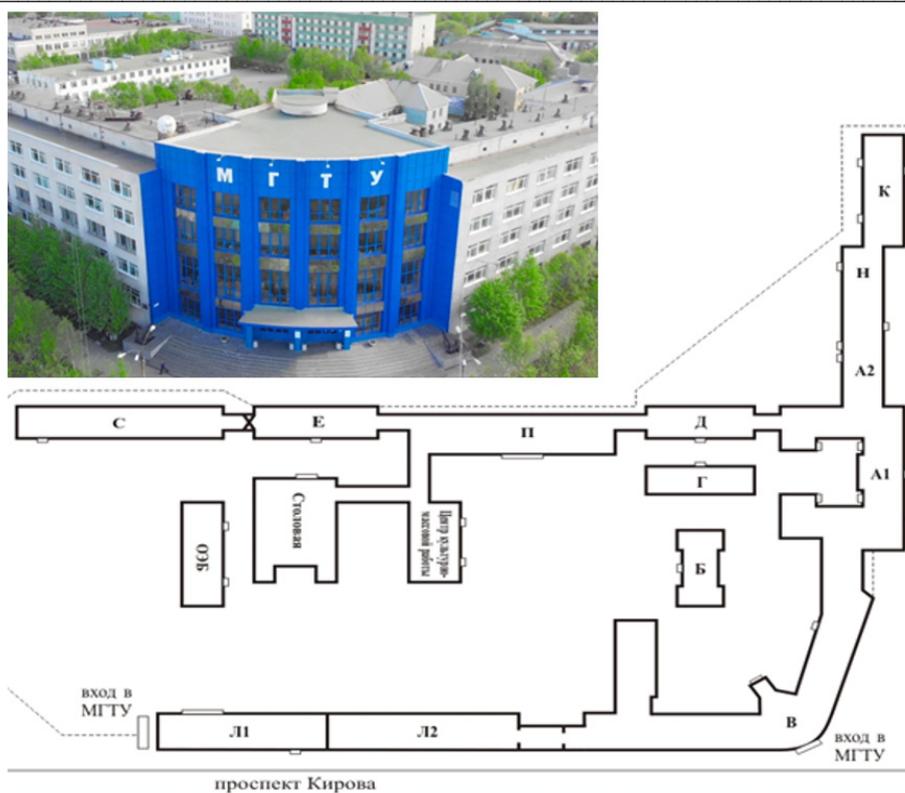


Рис. 1. Фотография и схематический план Мурманского арктического университета, Мурманск, РФ. Представлено авторами



а

б

Рис. 2. Учебные помещения университета: *а* — аудитория; *б* — учебный класс

Принимали, что PMV в диапазоне от $-0,5$ до $+0,5$ и PPD менее 10 % определяются как приемлемые условия для теплового комфорта [1].

Измерение субъективных теплоощущений студентов проводились по показателю TSV (значение теплового ощущения, англ. TSV — thermal sensation value) [17] и с помощью анкет. При анкетировании выяснялись следующие вопросы: пол, возраст, субъективная оценка комфортности микроклимата,

информация об одежде, оценка трудоспособности, температурные предпочтения.

Было обработано 305 анкет студентов, опрошенных с 18 января по 26 февраля 2021 г. Опросы проводились через 40 мин после начала занятий, чтобы избежать состояния, когда студенты только что пришли в помещение и не в полной мере могут оценить комфортность внутренней среды. Анкеты, применяемые к оцениваемым субъектам, основаны на стандартах ГОСТ Р ИСО 7730—2009 и ANSI/ASHRAE 55, для определения субъективной тепловой оценки использовалась 7-балльная шкала TSV: –3 — холодно; –2 — прохладно; –1 — немного прохладно; 0 — комфортно; +1 — немного тепло; +2 — тепло; +3 — очень жарко.

Результаты

Соответствие показателей микроклимата учебных помещений российскому стандарту ГОСТ 30494—2011

В данной части исследования анализируются основные показатели тепловой среды, устанавливаемые стандартом ГОСТ 30494—2011: температура помещения, относительная влажность, скорость движения воздуха.

В течение периода исследований температура наружного воздуха колебалась от –3 до –23 °С. При этом температура в учебных помещениях порой выходила за пределы допустимого ГОСТ 30494—2011 диапазона температур (+18...+23 °С). Температура в аудиториях отличалась наибольшей неустойчивостью и значительными колебаниями, как в пределах от +16 до +23 °С, так и зачастую за пределами установленных ГОСТ 30494—2011 допустимых значений. Температура в учебных классах лишь в один из дней вышла за пределы ГОСТ 30494—2011. На рисунке 3 представлен один из исследуемых периодов с установленными закономерностями.

Оптимальные показатели относительной влажности для учебных помещений согласно ГОСТ 30494—2011 должны находиться в диапазоне значений 30...45 %, допустимые значения могут составлять не более 60 %. Измеренные значения влажности как для аудиторий, так и для учебных классов составили от 15 до 28 % (рис. 4), что значительно меньше установленного оптимального диапазона и не отвечает требованиям ГОСТ 30494—2011.

Измеренные показатели скорости движения воздуха во всех учебных помещениях не превышали допустимых значений, установленных нормативом (не более 0,3 м/сек) и составляли от 0,01 до 0,18 м/с.

Исследование параметров, регламентируемых национальным стандартом ГОСТ 30494—2011, показало, что исследуемые типы помещений в разной степени отвечают установленным требованиям к параметрам тепловой среды. Так, аудитории отличаются нестабильной температурой, зачастую выходящей за пределы установленных нормативных значений, что вызвано очевидно плохой регулировкой механической вентиляции в большом помещении в виде амфитеатра в сочетании с невозможностью регулировки батарей центрального отопления.

Температура в учебных классах в целом оставалась в пределах допустимого ГОСТ 30494—2011 диапазона температур (18...23 °С) в течение всего периода исследований.

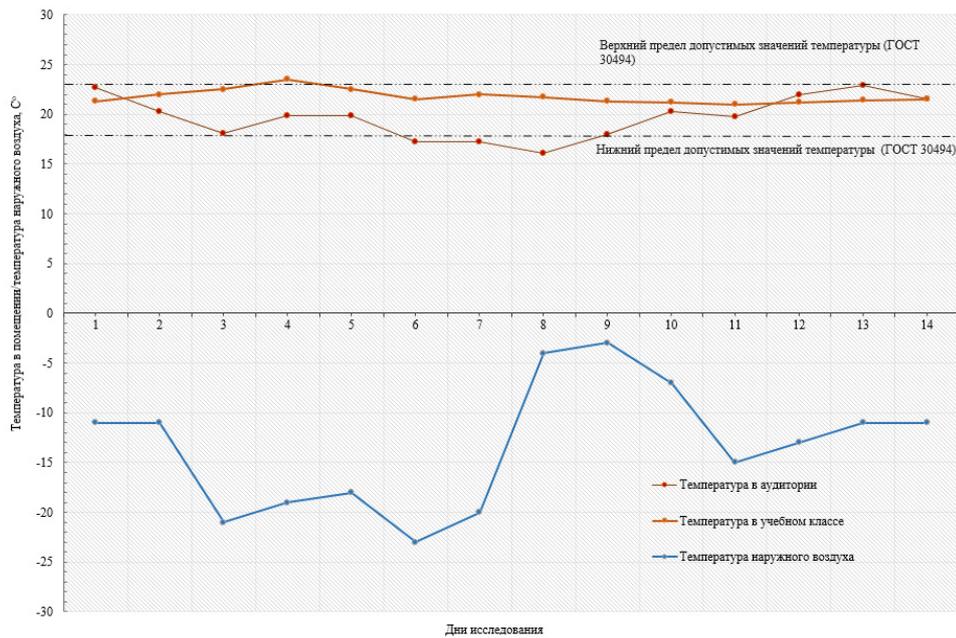


Рис. 3. Ежедневное распределение температуры в помещении и на улице во время исследования (две недели)

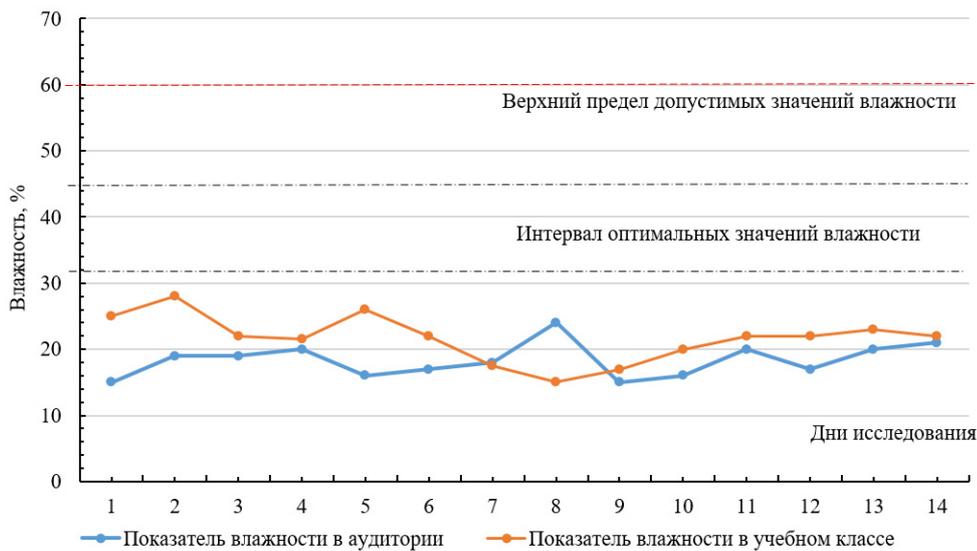


Рис. 4. Суточное распределение влажности в помещениях (две недели)

Измерения влажности во всех исследованных помещениях показало значительное несоответствие установленным стандартом параметрам. Значение влажности за весь период наблюдений не поднималось выше показателя 30 %, колеблясь в диапазоне 15...28 %. Сухость воздуха в помещении может объясняться интенсивной работой отопительных систем в сочетании с неудовлетворительным уровнем циркуляции свежего воздуха.

Полученные результаты показывают необходимость корректировки работы систем отопления и вентиляции, в т. ч. возможной реконструкции системы отопления и соответствующей регулировки системы вентиляции. Результаты измерений с соответствующими рекомендациями переданы в технический отдел университета.

Исследование теплоощущений студентов и прогнозируемой средней оценки согласно стандарта ГОСТ Р ИСО 7730—2009

Проведенная оценка параметров PMV позволила установить существенные отличия в параметрах комфортности для разных типов учебных помещений — учебных классов и аудиторий, и корреляции их с субъективной оценкой TSV (табл. 1, 2).

Так, показатель PMV для всех оцениваемых учебных классов (см. табл. 1) находился в пределах от 0,0 до 0,24, т. е. незначительно отклонялся от 0,0, что соответствует значению «нейтрально» или определяется как приемлемое условие для теплового комфорта.

Субъективная оценка теплоощущений студентов (TSV) для учебных классов (табл. 1) показала незначительные отклонения от показателя PMV (в пределах 1 балла) при измерении во всех помещениях этого типа. Полученные результаты хорошо коррелируют с данными измерения параметров микроклимата учебных классов, приведенными выше и показавшими свое соответствие требованиям ГОСТ 30494—2011.

Для всех обследованных аудиторий показатель PMV (см. табл. 2) преимущественно составлял отрицательные значения и находился в пределах от $-0,03$ до $-1,15$, что соответствует значениям «нейтрально» — «немного прохладно» и определяется за пределами диапазона от $-0,5$ до $+0,5$ как неприемлемые условия для теплового комфорта.

Показатели TSV для аудиторий значительно (более чем на 1 балл) отличались от соответствующих показателей PMV. Вероятно, это связано с ограниченной возможностью тепловой адаптации в прохладном помещении с механической вентиляцией и нерегулируемыми батареями центрального отопления. Закономерно вырастает и доля «недовольных» комфортностью внутренней среды студентов (табл. 2).

Доля студентов, недовольных тепловыми условиями (оценки +2 «тепло» или +3 «жарко», а также -2 «прохладно» или -3 «холодно») в аудиториях составляла от 31 до 69 %. Так, в аудитории 06 относительно комфортно ощущали себя лишь 31 % студентов, аналогичной была картина и для других аудиторий этого типа, в то время как для всех учебных классах ощущения шкалы «жарко» «тепло», «прохладно», «холодно» отсутствовали в TSV.

Также проведен динамический анализ изменения показателей PMV и TSV в отдельно взятых помещениях двух типов — аудитории и учебном классе 01 в течение 8 дней (рис. 5). Анализ также показал различную картину по оценке теплового комфорта в помещениях разного типа.

Так, сравнение величин PMV и TSV показало, что полученная прогнозируемая оценка в разной степени согласуется с субъективной. При этом степень расхождения субъективной и прогнозируемой оценок значительно отличается в зависимости от типа учебного помещения.

Таблица 1

Сравнение показателей PMV, PPD и TSV для учебных классов

Показатель	Значение					
	Учебный класс 01	Учебный класс 02	Учебный класс 03	Учебный класс 04	Учебный класс 05	
PMV	0,10	0,24	0,16	0,0	0,11	
PPD	5,2	6,2	5,5	5,0	5,3	
TSV	0,3	0,5	0,15	-0,34	-0,33	
TSV, %						
Шкала комфорта	-3	0	0	0	0	0
	-2	0	0	0	0	0
	-1	10	15	14	67	33
	0	60	60	57	0	67
	+1	30	35	29	0	0
	+2	0	0	0	33	0
	+3	0	0	0	0	0

Таблица 2

Сравнение показателей PMV, PPD и TSV для аудиторий

Показатель	Значение						
	Аудитория 01	Аудитория 02	Аудитория 03	Аудитория 04	Аудитория 05	Аудитория 06	
PMV	-0,03	-0,89	-0,01	-1,15	-0,2	-0,4	
PPD	5,0	21,9	5,0	32,7	5,5	8,0	
TSV	-1,16	-1,18	-0,44	-1,68	-0,26	-2,0	
TSV, %							
Шкала комфорта	-3	20	18	9	41	0	41
	-2	12	35	17	23	23	28
	-1	44	18	26	18	19	28
	0	12	12	22	5	27	0
	+1	12	12	9	9	23	3
	+2	0	6	17	5	8	0
	+3	0	0	0	0	0	0

PMV и TSV незначительно различались по величине в случае пребывания студентов в учебных классах — от -0,17 до +0,28 в отношении PMV и от +0,01 до +0,24 в отношении TSV, что во всех случаях относится к приемлемым условиям для теплового комфорта.

При оценке теплового комфорта в аудиториях в эти же дни наблюдались оценки от +0,07 до -1,69. При этом оценки TSV ниже -0,5 за 8 обсуждаемых дней встречались 7 раз, что говорит о преимущественно некомфортных тепловых условиях. Одновременно можно отметить значительные расхождения между установленными величинами PMV и TSV.

Для дальнейшего анализа тепловых оценок испытуемых и прогнозных оценок построены линейные регрессионные модели оценок в зависимости от температуры воздуха в помещении. Температура воздуха является одним из наиболее прямых показателей тепловой оценки окружающей среды.

Установленную корреляцию между температурой воздуха и оценками теплового комфорта можно наблюдать на рис. 6.

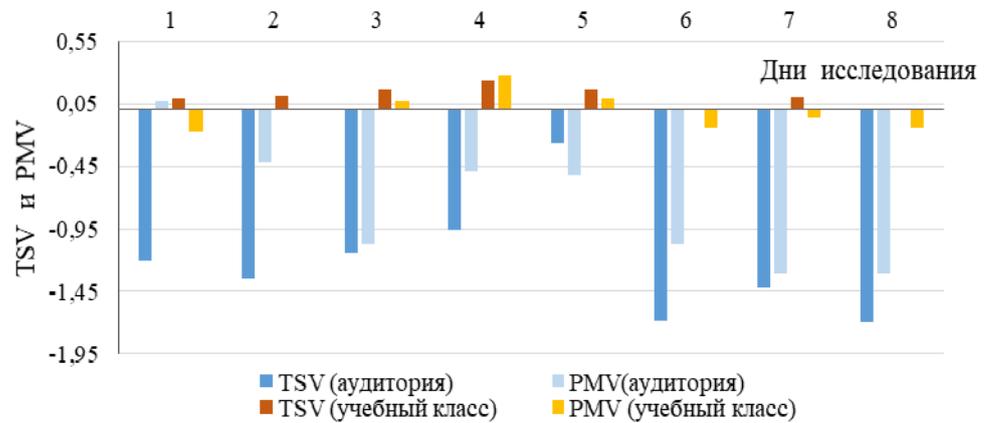


Рис. 5. Суточное распределение значений PMV и TSV в аудитории и учебном классе

Уравнения регрессии PMV и TSV для учебных классов представлены в следующих формах:

$$PMV = 0,0126t_a - 0,246; R^2 = 0,0315;$$

$$TSV = 0,0173t_a - 0,2138; R^2 = 0,233.$$

Уравнения регрессии PMV и TSV для аудиторий представлены в следующих формах:

$$PMV = 0,2261t_a - 5,0435; R^2 = 0,9654;$$

$$TSV = 0,1008t_a - 3,1451; R^2 = 0,2913.$$

Значения TSV в случае учебных классов всегда были немного выше значений PMV, это означает, что студенты субъективно чувствовали себя теплее, чем объективно прогнозируемые значения, основанные на PMV. Но в целом различия между оценками PMV и TSV очень незначительные, из чего можно сделать вывод о том, что студенты привыкли к данным условиям тепловой среды в учебных классах и чувствуют себя комфортно.

Обратная ситуация наблюдается в случае тепловых оценок для аудиторий, когда значения TSV распределяются, как правило, значительно ниже PMV, что говорит о серьезном несоответствии объективной и субъективной оценок. Во-первых, как уже было сказано, помещения такого типа обогреваются с помощью нерегулируемых батарей центрального отопления, при этом оборудованы механической вентиляцией, что значительно сокращает возможности тепловой адаптации в отношении регулирования тепловых параметров помещения. Во-вторых, особенности организации учебного процесса ведут к тому, что такие аудитории используются для чтения лекций большому количеству смешанных групп студентов, обладающих разными тепловыми предпочтениями и разными культурными особенностями осуществления тепловой адаптации. Это приводит к значительному разбросу субъективных оценок студентов, что математически отражается низким коэффициентом

достоверности аппроксимации в указанной линейной регрессии TSV для аудиторий (рис. 6).

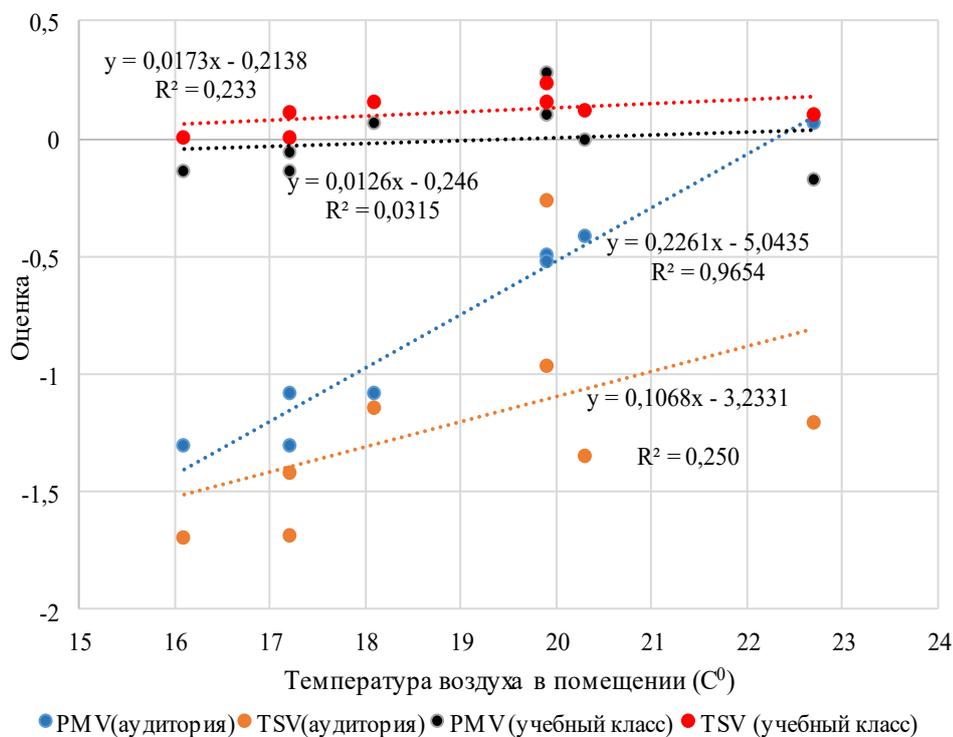


Рис. 6. Зависимость PMV/TSV от температуры воздуха в помещении

Обсуждение

Сравнение результатов оценки тепловой среды учебных помещений согласно ГОСТ 30494—2011 и ГОСТ Р ИСО 7730—2009, которые используют разные подходы к оценке теплового комфорта, было проведено впервые в рамках этого исследования. Анализ литературных источников показал, что подобных отечественных исследований ранее не проводилось.

Проведенная исследовательская работа в целом показала идентичность выводов о тепловом комфорте в учебных помещениях университета как относительно оценки по стандарту ГОСТ 30494—2011, так и относительно оценки по российскому аналогу международного стандарта ГОСТ Р ИСО 7730—2009.

Так, показатель PMV соответствовал оценке «нейтрально» в тех же случаях, когда измеренная температура помещений находилась в диапазоне, регламентированном ГОСТ 30494—2011, и напротив, показатель PMV отклонялся от нейтрального значения, когда температура выходила за пределы, предписанные российским стандартом. В этих же случаях субъективная оценка TSV показывала неудовлетворенность учащихся условиями внутренней среды помещения.

Однако важно отметить, что показатели PMV, PDD и TSV позволяют оценить все факторы внутренней среды в совокупности, в виде единой

интегрированной оценки комфортности, в то время как ГОСТ 30494—2011 регламентирует каждый фактор отдельно, не учитывая их взаимосвязи и последствий отклонений от регламентированных значений. Так, показатели относительной влажности помещений не соответствовали оптимальным требованиям ГОСТа, однако во многих случаях учащиеся оценили такую среду как комфортную, т. е. отклонение влажности нивелировалось фактическим состоянием одежды, движения воздуха и др. факторами. Таким образом, показатели PMV, PDD и TSV являются эффективными инструментами комплексной оценки качества среды в помещениях.

Проведенные далее сравнение и анализ субъективной и прогнозируемой оценок теплового восприятия окружающей среды студентами в различных типах учебных помещений университета показали следующее. В помещениях типа «учебный класс» с естественной вентиляцией PMV и TSV незначительно отличались друг от друга по величине и во всех исследованных случаях находились в диапазоне приемлемых условий теплового комфорта (от +0,01 до +0,28). При оценке теплового комфорта в аудиториях с механической вентиляцией показатели TSV значительно (более чем на 1 балл) отличались от соответствующих показателей PMV. Полученные данные вполне согласуются с ранее сделанными выводами аналогичных исследований [1], о том, что это может быть связано с ограниченными возможностями тепловой адаптации в прохладном помещении с механической вентиляцией и нерегулируемыми батареями центрального отопления.

Анализ корреляции между субъективным восприятием и измеренными параметрами окружающей среды показал, что субъективное значение теплового ощущения (TSV) в небольших помещениях учебных классов с естественной вентиляцией всегда выше объективного PMV. И, напротив, в больших по площади аудиториях с механической вентиляцией субъективные значения TSV распределялись, как правило, значительно ниже PMV, наблюдался серьезный разброс субъективных оценок. Полученные результаты подтверждают выводы, сделанные в исследовании [17], что предпочтительные комфортные температуры различаются в зависимости от типа помещений. Это может быть связано с повышенным уровнем физиологической и психологической тепловой адаптации в небольших помещениях, чем в аудиториях, благодаря более высокому уровню свободы в принятии адаптивного поведения.

Приведенные результаты, по наблюдению авторов, свидетельствует не только о низких адаптационных возможностях в больших помещениях, но и о возможном существовании других адаптационных моделей, связанных, в т. ч. с разными культурными представлениями о возможностях адаптационного поведения. Все вышесказанное говорит о необходимости дальнейшего исследования ограничений и проблем при оценке теплового комфорта с помощью моделей, отраженных в стандартах ГОСТ Р ИСО 7730—2009 и ANSI/ASHRAE 55.

Выводы

Проведен анализ объективных и субъективных оценок теплового комфорта в учебных помещениях университета с естественной и механической вентиляцией в условиях субарктического климата. На основе значений PMV, рассчитанных с помощью объективных измерений и значений TSV, полученных с помощью анкетирования обучающихся, установлена высокая корреляция

между прогнозируемыми и субъективными оценками для помещений с естественной вентиляцией. Для помещений с механической вентиляцией установлена низкая степень корреляции показателей PMV и TSV.

Дальнейшие исследования в условиях различных климатических районов могут быть полезны для получения более глубоких знаний о природе теплового комфорта, различных адаптационных моделях поведения в условиях зданий, расположенных в субарктическом климате, а также для разработки стратегий управления тепловым состоянием заданий образовательных учреждений.

Полученные исследовательские результаты будут использованы при реконструкции и модернизации учебных помещений университета.

Благодарности. Работа выполнена в рамках международного научно-исследовательского проекта КО 1089 project “Green Construction in the Arctic Region” (Green Arctic Building — GrAB).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Interaction between Thermal Comfort, Indoor Air Quality and Ventilation Energy Consumption of Educational Buildings: A Comprehensive Review / L. R. Jia, J. Han, X. Chen, Q. Y. Li, C. C. Lee, Y. H. Fung // *Buildings*. 2021. Vol. 11. P. 591. DOI: 10.3390/buildings11120591.
2. Mendell M. J., Heath G. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature // *Indoor Air*. 2005. 15. Pp. 27—52. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2004.00320.x.
3. Wargocki P., Porras-Salazar J. A., Contreras-Espinoza S. The relationship between classroom temperature and children's performance in school // *Build. Environ.* 2019. Vol. 157. Pp. 197—204. DOI: 10.1016/j.buildenv.2019.04.046.
4. Barbhuiya S., Barbhuiya S. Thermal comfort and energy consumption in a UK educational building // *Build. Environ.* 2013. Vol. 68. Pp. 1—11.
5. Wyon D. P., Andersen I. B., Lundqvist G. R. The effects of moderate heat stress on mental performance // *Scand. J. Work Environ. Health*. 1979. Vol. 5. Pp. 352—61.
6. Wyon D. P. Indoor environmental effects on productivity // *Proc. IAQ 96 “Paths to Better Building Environments”*. 1996. Atlanta : ASHRAE, 1996. Pp. 5—15.
7. Wargocki P., Wyon D. Ten questions concerning thermal and indoor air quality effects on the performance of office work and schoolwork // *Building and Environment*. 2016. Vol. 112. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.11.020.
8. Corgnati S., Filippi M., Viazzo S. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort // *Building and Environment — BLDG ENVIRON*. 2007. Vol. 42. Pp. 951—959. DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.10.027.
9. Rincón J. Thermal comfort indoors: A factor that influences the environmental perception of the occupants (Case study: Student community of the Autonomous University of Baja California) // *5th World Congress of Research in Education*. 2017.
10. Mishra A., Ramgopal M. Thermal comfort field study in Baj laboratories — An analysis of occupant perceptions // *Building and Environment*. 2014. Vol. 76. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.03.005.
11. Experimental Study and Analysis of Thermal Comfort in a University Campus Building in Tropical Climate / M. Balbis, R. Milen, J. Hernandez, C. Amaris, E. Gómez, J. San, Rey-Martínez, F. Javier // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Iss. 18. DOI: 10.3390/su12218886.
12. Gonca Ö. Y., Fatma K. V., Perihan Ç. Investigation of Thermal Comfort in University Offices: The Case of the Bingöl University // *Civil Engineering and Architecture*. 2021. Vol. 9. Iss. 7. Pp. 2441—2451. DOI: 10.13189/cea.2021.090729.
13. Ning H., Wang Zh., Zhang X., Ji Y. Adaptive thermal comfort in university dormitories in the severe cold area of China // *Building and Environment*. 2016. Vol. 99. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.01.003.
14. Wang Zh., Li A., Ren J., He Y. Thermal adaptation and thermal environment in university classrooms and offices in Harbin // *Energy and Buildings*. 2014. Vol. 77. Pp. 192—196. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.03.054.

15. *Ahmad S., Aisyah S., Bahadur H., Hagishima A.* Adaptive thermal comfort in university classrooms in Malaysia and Japan // *Build. Environ.* 2017. Vol. 122. Pp. 294—306. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.06.016.

16. *Teli D., Jentsch M. F., James P. A. B.* Naturally ventilated class-rooms: an assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children // *Energy Build.* 2012. Vol. 53. Pp. 166—182. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.06.022.

17. *Yang B., Olofsson T., Wang F.* Thermal comfort in primary school classrooms: A case study under subarctic climate area of Sweden // *Building and Environment.* 2018. Vol. 135. Pp. 237—245. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.03.019.

18. Field study on adaptive thermal comfort in typical air conditioned classrooms / *Z. Fang, S. Zhang, Y. Cheng, A. M. L. Fong, M. Olaide, Z. Lin* // *Build. Environ.* 2018. Vol. 133. Pp. 73—82. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.02.005.

19. *Васильева Ж. В., Васильев А. Г., Курдишова Е. А.* Анализ неточностей и несоответствий в актуальной редакции стандарта ГОСТ Р ИСО 7730-2009 // *Вестник МГТУ.* 2023. Т. 26. № 1. С. 45—56. DOI: 10.21443/1560-9278-2023-26-1-45-56.

20. *Васильева Ж. В., Тришина А. С.* Анализ отечественных и международных нормативных документов, регулирующих качество внутренней среды помещений // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура.* 2024. Вып. 4(97). С. 284—296. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_284.

© *Васильева Ж. В., Подобед Н. Е., Петрякова М. Б., 2025*

Поступила в редакцию
24.03.2025

Ссылка для цитирования:

Васильева Ж. В., Подобед Н. Е., Петрякова М. Б. Исследование и анализ параметров теплового комфорта для обеспечения оптимальных условий в помещениях университета в Арктическом регионе // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура.* 2025. Вып. 2(99). С. 77—91. DOI: 10.35211/18154360_2025_2_77.

Об авторах:

Васильева Жанна Вячеславовна — канд. техн. наук, доц., зав. каф. экологии и техносферной безопасности, Мурманский арктический университет (МАУ). Российская Федерация, 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13; kuchugura@mail.ru

Подобед Наталья Евгеньевна — канд. техн. наук, доц. каф. экологии и техносферной безопасности, Мурманский арктический университет (МАУ). Российская Федерация, 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13

Петрякова Мария Борисовна — зав. лаб. каф. экологии и техносферной безопасности, Мурманский арктический университет (МАУ). Российская Федерация, 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13

Zhanna V. Vasileva, Nataliya E. Podobed, Maria B. Petryakova

Murmansk Arctic University

STUDY AND ANALYSIS OF THERMAL COMFORT PARAMETERS TO ENSURE OPTIMAL CONDITIONS IN UNIVERSITY PREMISES IN THE ARCTIC REGION

The results of a comprehensive study of thermal comfort in university premises during the heating period of 2021 in Murmansk, Russia, are presented. At the first stage of the research, a comparative assessment of the thermal environment of the university premises was carried out in accordance with the requirements of GOST 30494 and GOST R ISO 7730—2009 standards. The second stage included the determination of students' subjective assessments and the analysis of correlations between subjective perception and the measured parameters of the thermal environment. The study is based on an analysis of 305 student questionnaires. The results showed that the PMV-PPD model makes it possible to evaluate all environmental factors together, while GOST 30494—2011 regulates each factor separately, without taking into account the interrelationships and consequences

of deviations from the regulated values. The analysis of subjective and predicted assessments of students' thermal perception of the environment revealed differences in different types of university classrooms.

K e y w o r d s: thermal comfort, Arctic region, thermal environment, building.

For citation:

Vasileva Zh. V., Podobed N. E., Petryakova M. B. [Study and analysis of thermal comfort parameters to ensure optimal conditions in university premises in the Arctic region]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2025, iss. 2, pp. 77–91. DOI: 10.35211/18154360_2025_2_77.

About authors:

Zhanna V. Vasileva — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Murmansk Arctic University. 13, Sportivnaya st., Murmansk, 183010, Russian Federation; kuchugura@mail.ru

Nataliya E. Podobed — Candidate of Engineering Sciences, Murmansk Arctic University. 13, Sportivnaya st., Murmansk, 183010, Russian Federation

Maria B. Petryakova — Head of the Laboratory, Murmansk Arctic University. 13, Sportivnaya st., Murmansk, 183010, Russian Federation