

УДК 004.925.8:613.12

М.О. ТЕРЕЩУК

Київський національний університет будівництва і архітектури

О.О. ГОЛОВА, О.О. ЛЕБЕДЕВА

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Н.М. ЛИНОК, О.В. ГОЛОВЧЕНКО

Національний університет оборони України імені Івана Черняховського

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ

Питання мікроклімату, що створюється будівлями, як житлового, так і виробничого призначення, завжди доволі важливі. Це пов'язано з тим, що таким чином формується належне оточуюче людину середовище. Від якості останнього багато в чому залежить здоров'я, відчуття комфортного стану, наявність гарного настрою? п'юж.

У нинішній ситуації світової пандемії COVID-19 наведені завдання постали на ще більш відповідальному рівні, що вимагає вжиття необхідних санітарно-гігієнічних, організаційних, нормативних та інших заходів. Тому вдосконалення математичного моделювання процесів мікроклімату під час автоматизованого проектування різних споруд та подальшої їх експлуатації становить актуальну науково-прикладну задачу в теоретичному та практичному плані.

Відомо, що в порівнянні з рештою математичних моделей, геометричним притаманна така суттєва якісна перевага як наочність. Це є особливо корисним, зокрема, для інженерів-проектувальників будівельного профілю. У зазначений спосіб значно спрощується велике число розв'язуваних ними задач. Описаний напрямок наукових досліджень доволі привабливий стосовно сфери впровадження отриманих результатів і в інших галузях промисловості, освіти, медицині тощо.

У даній статті на прикладі аналітичного визначення теплового комфорту людини показано напрацьовану комп'ютерну технологію візуалізації складних функціональних залежностей. Також описано запропоновані графоаналітичні алгоритмічні моделі деяких параметрів мікроклімату. Показано ефективність такого підходу відносно його практичного використання.

Перспективним є впровадження розроблених геометричних засобів у сучасні BIM (Building Information Modeling) технології, оскільки доповнює їх можливості автоматизованого конструювання належними засобами дослідження створюваного мікроклімату в аспекті дотримання бажаних фізико-хімічних параметрів, таких як температура повітря, його вологість та рухливість, відсутність небажаних шкідливих речовин і т. п.

Отже, виконану працю присвячено подальшому розвитку комп'ютерних геометричних засобів моделювання параметрів мікроклімату різноманітних будівель, визначенню перспектив проведення належних наукових розвідок.

Ключові слова: геометричне моделювання, графоаналітичні алгоритмічні моделі, комфортний тепловий стан людини, параметри мікроклімату, BIM-технології.

Н.А. ТЕРЕЩУК

Київський національний університет строительства и архитектуры

О.А.ГОЛОВА, О.А. ЛЕБЕДЕВА

Национальный технический университет Украины

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Н.М. ЛИНОК, А.В. ГОЛОВЧЕНКО

Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА

Вопросы микроклимата, который создается зданиями, как жилого, так и производственного назначения, всегда достаточно важные. Это связано с тем, что таким образом формируется необходимая для человека окружающая среда. От качества последней во многом зависит здоровье, ощущение комфортного состояния, наличие хорошего настроения и т. д.

В нынешней ситуации мировой пандемии COVID-19 приведенные задания предстали на еще более ответственном уровне, что требует проведения надлежащих санитарно-гигиенических, организационных, нормативных и других мероприятий. Поэтому совершенствование математического моделирования процессов микроклимата при автоматизированном проектировании различных

сооружений и последующей их эксплуатации составляет актуальную научно-прикладную задачу в теоретическом и практическом плане.

Известно, что по сравнению с остальными математическими моделями, геометрическим присуще такое существенное качественное преимущество как наглядность. Это особенно полезно, в частности, для инженеров-проектировщиков строительного профиля. В указанный способ значительно упрощается большое число решаемых ими задач. Описанное направление научных исследований довольно привлекательно относительно сферы применения полученных результатов и в других отраслях промышленности, образовании, медицине и т. д.

В данной статье на примере аналитического определения теплового комфорта человека показано разработанную компьютерную технологию визуализации сложных функциональных зависимостей. Также описаны предложенные графоаналитические алгоритмические модели некоторых параметров микроклимата. Показана эффективность такого подхода при его практическом использовании.

Перспективным является внедрение разработанных геометрических средств в современные BIM (Building Information Modeling) технологии, поскольку дополняет их возможности автоматизированного конструирования надлежащими средствами исследования создаваемого микроклимата в аспекте соблюдения желаемых физико-химических параметров, таких как температура воздуха, его влажность и подвижность, отсутствие вредных веществ и т. д.

Таким образом, выполненную работу посвящено дальнейшему развитию компьютерных геометрических средств моделирования параметров микроклимата различных зданий, определению перспектив проведения надлежащих научных исследований.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, графоаналитические алгоритмические модели, комфортное тепловое состояние человека, параметры микроклимата, BIM-технологии.

M.O. TERESCHUK

Kyiv National University of Construction and Architecture

O.O.GOLOVA, O.O. LEBEDEVA

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,

N.M. LYNOK, O.V. GOLOVCHENKO

National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky

GEOMETRIC MODELING OF MICROCLIMATE PARAMETERS

The issues of the microclimate created by buildings, both residential and industrial, have always been quite important. This is due to the fact that in this way the environment necessary for a person is formed. The quality of the latter largely determines the health, feeling of comfort, the presence of a good mood, etc.

In the current situation of the global pandemic COVID-19, these tasks have arisen at an even more responsible level, which requires the necessary sanitary, organizational, regulatory and other measures. Therefore, the improvement of mathematical modeling of microclimate processes during the automated design of various structures and their subsequent operation is an urgent scientific and applied task in theoretical and practical terms.

It is known that in comparison with other mathematical models, geometric is characterized by such a significant qualitative advantage as clarity. This is especially useful, in particular, for construction engineers. This method greatly simplifies the large number of tasks they solve. The described direction of scientific research is quite attractive in the field of implementation of the obtained results in other industries, education, medicine, etc.

This article shows the developed computer technology of visualization of complex functional dependences on the example of analytical definition of thermal comfort of the person. The proposed graphic-analytical algorithmic models of some microclimate parameters are also described. The effectiveness of this approach is shown in relation to its practical use.

The introduction of the developed geometric tools in modern BIM (Building Information Modeling) technologies is promising, since it complements their capabilities for the automated design with appropriate means of studying the created microclimate in terms of observing the desired physicochemical parameters, such as air temperature, its humidity and mobility, the absence of unwanted harmful substances, etc.

Thus, the performed work is devoted to the further development of computer geometric tools for modeling the microclimate parameters of various buildings, determining the prospects for conducting appropriate scientific research.

Keywords: geometric modeling, graphic-analytical algorithmic models, comfortable thermal state of a person, microclimate parameters, BIM technologies.

Постановка проблеми

Створення комфортного середовища для людей у різних будівлях, як житлових, так і промислових, офісних, освітніх, медичних тощо, завжди є важливим. Проблемність питання полягає в тому, що, зазвичай, покращення зазначених умов потребує належних витрат багатьох матеріальних, енергетичних, фінансових та інших ресурсів. Для великої кількості людей це становить компроміс між їх бажаннями та можливостями. Тобто, як правило, на практиці маємо оптимізаційну задачу отримання максимальних вигод при обмежених витратах.

Нині, в умовах пандемії COVID-19, постає актуальною не тільки описана економічна ситуація, а й санітарно-гігієнічна. У даному разі на перший план виходить здоров'я людей.

Отже, в кожному з розглянутих випадків маємо справу з підтриманням на необхідному доцільному рівні таких параметрів мікроклімату будівель як температура внутрішнього повітря, його вологість, рухливість і т. п. Наведені величини застосовуються при здійсненні теплотехнічних розрахунків, визначенні характеристик систем опалення, вентиляції, кондиціонування тощо. Успішному вирішенню окреслених завдань сприяють сучасні комп'ютерні інформаційні технології, в тому числі засоби автоматизованого геометричного моделювання. Акцентованим задачам присвячено цю наукову працю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Застосування BIM (Building Information Modeling) -технологій для відтворення процесів життєвого циклу об'єктів будівництва розглядається у працях [1, 2], безпосередній опис конкретних автоматизованих систем викладається в публікаціях [3, 4]. У наведених виданнях геометричним засобам приділено достатньо велику увагу, підкреслено їх провідну роль. У роботах [5–9] подано питання формування потрібного мікроклімату приміщень, будівельної фізики, вплив на це огорожувальних конструкцій, систем вентиляції та кондиціонування. Окреслена тематика свідчить про актуальність проведення наукових досліджень стосовно комп'ютерного геометричного моделювання параметрів мікроклімату різноманітних приміщень.

Мета дослідження

Завдання статті полягає у висвітленні запропонованого підходу щодо створення графоаналітичних алгоритмічних моделей параметрів мікроклімату та комп'ютерної візуалізації відповідних складних аналітичних залежностей.

Викладення основного матеріалу дослідження

На комфортний тепловий стан людини найбільший вплив мають температура, вологість та рухливість повітря. Опрацюванню цих параметрів геометричними комп'ютерними засобами і присвячено дану публікацію.

Під комфортними вважаються метеорологічні умови, за яких особа не відчуває холоду або перегріву та небажаного руху повітря навколо себе. Це відбувається коли кількість вироблюваного організмом тепла дорівнює його тепловтратам у навколишнє середовище.

У праці [8], яка присвячена системам вентиляції, подано діаграму (рис. 1, а) зон комфортного стану людини в залежності від відносної вологості ϕ та температури t оточуючого повітря. Як відомо, перевагою суто графічних моделей є їх наочність, що й підтверджує наведене зображення.

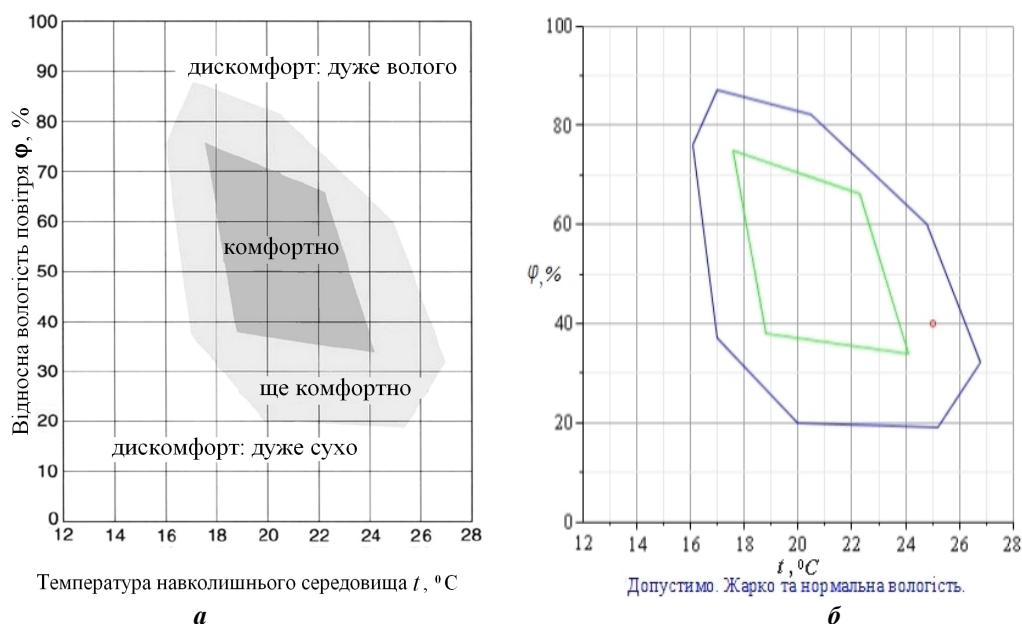


Рис. 1. Моделі зон комфортності:
а – графічна; б – графоаналітична алгоритмічна

Для успішного використання в середовищі ВІМ-технологій розглянутих даних рекомендується представляти їх у формі комп'ютерних графоаналітичних алгоритмічних моделей (рис. 1, б).

Для цього спочатку на основі вихідної діаграми аналітично визначено границі комфортної та некомфортної зон, чим графічну модель перетворено у графоаналітичну. Її алгоритмічна частина повинна для точки $r(t, \varphi)$ давати відповідь про розташування останньої в *комфортній, допустимій* чи *некомфортній* зоні.

Алгоритми дефініції розміщення точки в багатокутнику відомі, наприклад, кутового і променевого тестування з попереднім габаритним оцінюванням. Їх застосування дозволяє визначити її приналежність вказаним зонам. Для розробленого нового алгоритму використано те, що кожному значенню температури відповідає проміжок із нижньою та верхньою величинами відносної вологості. Тому межі модельованих зон поділено на верхні й нижні частини. Це спростило та підвищило продуктивність напрацьованої обчислювальної процедури.

Габаритними точками проєкцій зон комфортності на осі температур і відносної вологості кожна з них поділено на п'ять проміжків

$$T = (t_I, t_{II}, t_{III}, t_{IV}, t_V), \quad \Phi = (\varphi_I, \varphi_{II}, \varphi_{III}, \varphi_{IV}, \varphi_V), \quad (1)$$

де t_I – холодно, t_{II} – прохолодно, t_{III} – тепло, t_{IV} – жарко, t_V – спекотно;

φ_I – дуже сухо, φ_{II} – сухо, φ_{III} – нормальна вологість, φ_{IV} – волого, φ_V – дуже волого.

Діапазонами (1) діаграма рис. 1, а розбивається на 25 уточнюючих зон, які дозволяють деталізувати метеорологічні характеристики досліджуваної точки $r(t, \varphi)$. Їх назви є результатом декартового добутку даних множин. Рис. 1, б ілюструє роботу створеної комп'ютерної програми, що не тільки визначає комфортність наявної температури та відносної вологості повітря, а й може бути складовою автоматизованих систем більш високого рівня в середовищі сучасних ВІМ-технологій.

На рис. 2, а показано залежність швидкості V повітря від його температури t_L і температури t_S огорожувальних поверхонь приміщення [8]. Рис. 2, б слугує прикладом її адаптації до конкретних умов проектування видаленням графіка зі швидкістю повітря 1,5 м/с, подальшою інтерполяцією та екстраполяцією необхідних величин.

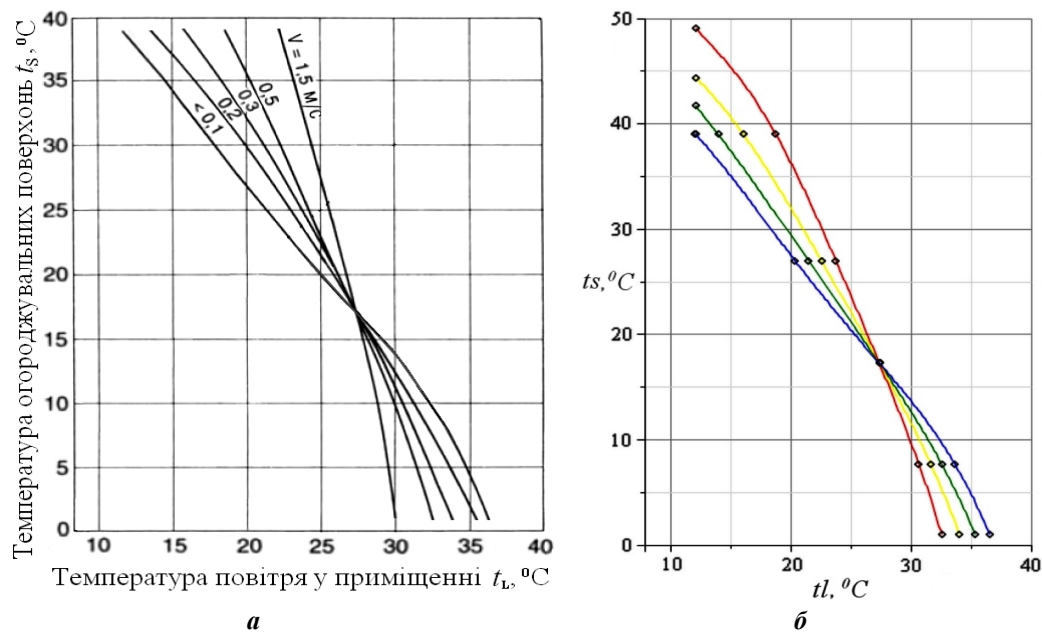


Рис. 2. Моделі мікроклімату приміщення:
 а – графічна; б – графоаналітична двовимірна

Рис. 3, що спирається на попереднє зображення, ілюструє більшу наочність геометричних проектних моделей мікроклімату у тривимірному, ніж двовимірному просторі. Шляхом додавання алгоритму дефініції для досліджуваних діапазонів температур і швидкостей руху повітря належних проміжків змінювання температури огорожувальних поверхонь отримано потрібну комп'ютерну графоаналітичну алгоритмічну модель, реалізовану в математичному пакеті Maple. Суттєвою перевагою останньої є забезпечення динамічного обертання та масштабування зображення, що аналізується.

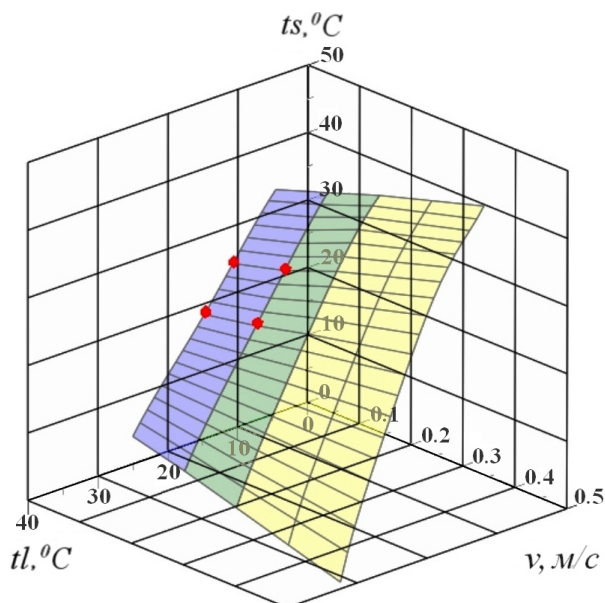


Рис. 3. Графоаналітична алгоритмічна тривимірна модель мікроклімату приміщення

Запропонований спосіб візуалізації складних функціональних залежностей проілюстровано на прикладі інтерпретації аналітичного визначення комфортного теплового стану людини на основі розрахунків показників *PMV* (*predicted mean vote*),

тобто прогнозованої середньої оцінки.

Необхідні формули згідно з роботою [10] мають вигляд:

$$PMV = TS \cdot (MW - HL1 - HL2 - HL3 - HL4 - HL5 - HL6), \quad (2)$$

де $TS = 0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028$ – коефіцієнт температурної чутливості, m^2/Vt ;
 $HL1 = 3,05 \cdot 0,001 \cdot (5733 - 6,99 \cdot MW - Pa)$ – втрата тепла через шкіру, Vt/m^2 ;
 $HL2 = \max(0; 0,42 \cdot (MW - MET1))$ – втрата тепла внаслідок потіння, Vt/m^2 ;
 $HL3 = 1,7 \cdot 0,00001 \cdot M \cdot (5867 - Pa)$ – прихована втрата тепла при диханні, Vt/m^2 ;
 $HL4 = 0,0014 \cdot M \cdot (34 - ta)$ – втрата тепла при сухому диханні, Vt/m^2 ;
 $HL5 = 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot fcl \cdot ((tcl + 273)^4 - (tr + 273)^4)$ – втрата тепла випромінюванням, Vt/m^2 ;
 $HL6 = fcl \cdot hc \cdot (tcl - ta)$ – конвективна тепловіддача людини, Vt/m^2 ;
 M – швидкість обміну речовин, Vt/m^2 ;
 W – ефективна механічна енергія, Vt/m^2 ;
 $MW = (M - W)$;

$$tcl = 35,7 - 0,028 \cdot MW - Icl \cdot (3,96 \cdot 10^{-8} \cdot fcl \cdot ((tcl + 273)^4 - (tr + 273)^4) + fcl \cdot hc \cdot (tcl - ta)) \quad (3)$$

температура поверхні одягу, $^{\circ}C$;

$$hc = \begin{cases} 2,38 \cdot |tcl - ta|^{0,25} & \text{для } 2,38 \cdot |tcl - ta|^{0,25} \geq 12,1 \cdot \sqrt{Var}, \\ 12,1 \cdot \sqrt{Var} & \text{для } 2,38 \cdot |tcl - ta|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{Var} \end{cases} \quad (4)$$

коефіцієнт конвективного теплообміну, $Vt/(m^2 \cdot K)$;

$$fcl = \begin{cases} 1 + 1,29 \cdot Icl & \text{для } Icl \leq 0,5 \cdot CLOI, \\ 1,05 + 0,645 \cdot Icl & \text{для } Icl > 0,5 \cdot CLOI \end{cases} \quad (5)$$

коефіцієнт площі поверхні одягу;

Icl – опір теплопередачі одягу, $m^2 \cdot K/Vt$;

ta – температура повітря, $^{\circ}C$;

tr – середня радіаційна температура випромінювання, $^{\circ}C$;

Var – відносна швидкість руху повітря, m/c ;

Pa – парціальний тиск водяної пари, Па,

$$Pa = Rh \cdot 10 \cdot \exp\left(16,6536 - \frac{4030,183}{ta + 235}\right); \quad (6)$$

Rh – відносна вологість повітря, %.

$MET1 = 1 \text{ мет}$;

$CLOI = 1 \text{ кло}$.

Залежності (2) – (6) не мають достатньої наочності для проектувальника мікроклімату. Величина tcl у виразі (3) обчислюються за допомогою ітерацій, що ускладнює виконання розрахунків. Є також логічні співвідношення (4) і (5).

Деякі результати створеної в системі Maple комп'ютерної програми показано на рис. 4. При цьому функція f прогнозованої середньої оцінки залежить від шести

змінних

$$PMV = f(M, Icl, ta, Va, Rh, tr) = f(x_i)_1^n = f(x_i)_1^6. \quad (7)$$

Загальне співвідношення (7) проілюстровано на прикладі православних храмів, для яких величина $x_1=M=1,2$ мет ≈ 70 Вт/м² є сталою, що відповідає типовій діяльності у вигляді відпочинку стоячи й характеризує стан парафіян під час молитви.

Тоді формула (7) зводиться до п'ятивимірного простору. У якості неперервних змінних обрано $x_3=ta$, $x_4=Va$, дискретними величину $x_2=Icl=(Icl_1, Icl_2)=((0,5$ кло; 0,75 кло; 1 кло), (1,5 кло; 2 кло)), де Icl_1, Icl_2 – опір теплопередачі одягу для теплового, холодного й перехідного періоду року, а також $x_5=Rh=(40$ %, 50 %, 60 %) і $x_6=tr=x_3+dtr=ta+dtr$, де $dtr \in (-5$ °С, 0 °С, 5 °С) – різниця між середньою радіаційною температурою випромінювання та температурою повітря.

Вище вказувалось, що комфортний тепловий стан людини відповідає умовам, за яких особа не відчуває холоду або перегріву та небажаного руху повітря навколо себе. Це відбувається коли кількість вироблюваного організмом тепла дорівнює його тепловтратам у навколишнє середовище, тобто приблизно нульовим величинам виразу (2). Останній, як свідчить формула (7), залежить від кількох факторів, що здатні певним чином компенсувати дію один одного. Проведення математичного дослідження співвідношень (2) – (6) з метою виявлення необхідних раціональних комбінацій наведених параметрів становить для інженерів-проектувальників доволі важку задачу. Побудовані ж комп'ютерні геометричні моделі дозволяють суттєво полегшити ці завдання. Запропоновані прийоми аналізу ілюструє рис. 4.

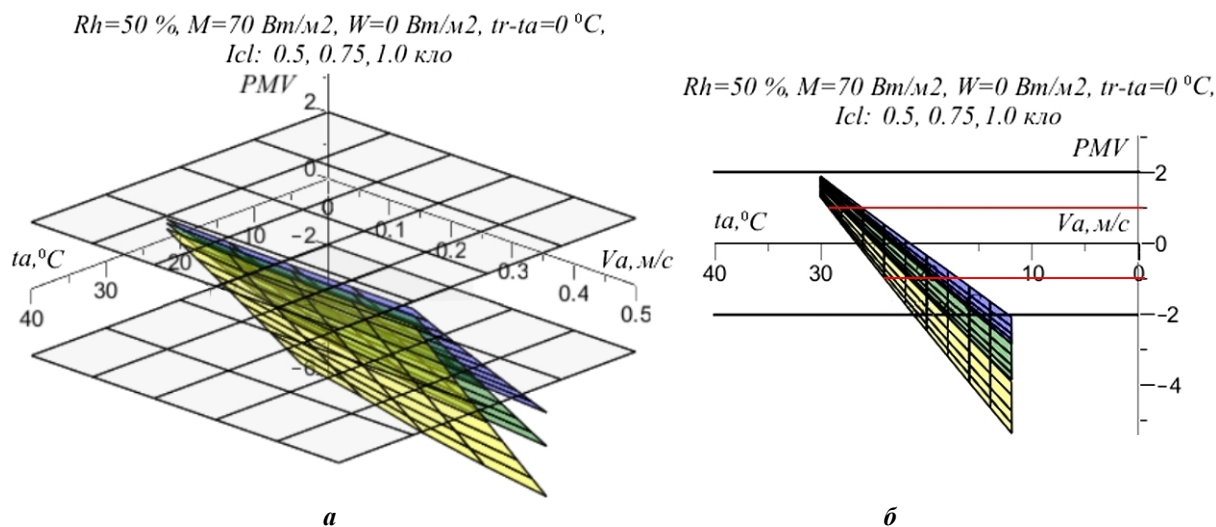


Рис. 4. Візуалізація комфортності теплового стану людини на основі прогнозованої середньої оцінки:
a – комп'ютерна геометрична модель; *б* – графоаналітичний аналіз

Головна ідея полягає в інтерактивному варіюванні параметрів (7) та оцінюванні їх впливу (див. рис. 4, *a*) на величину PMV . При цьому додатково застосовуються допоміжні геометричні фігури (лінії, площини тощо) та належні побудови (див. рис. 4, *б*) які уточнюють отримувану інформацію. Остання лежить в основі прогнозованого керування мікрокліматом приміщень.

Отже, вище на прикладі аналітичного визначення теплового комфорту людини викладено напрацьовану комп'ютерну технологію візуалізації складних функціональних залежностей, також описано розроблені графоаналітичні алгоритмічні моделі деяких параметрів мікроклімату. Показано ефективність такого підходу стосовно практичного

використання.

Висновки

Викладені у статті відомості здатні слугувати основою для реалізації в середовищі сучасних BIM-технологій запропонованого підходу до геометричного моделювання параметрів мікроклімату. Це твердження спирається на те, що поданий інструментарій доповнює наявні засоби автоматизованого проектування апаратом ефективного дослідження таких метеорологічних властивостей повітря приміщень як його температура, вологість, рухливість тощо.

Список використаної літератури

1. Барабаш М. С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла объектов строительства. Киев: Сталь, 2014. 301 с.
2. Талапов В. В. Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. Москва: ДМК Пресс, 2015. 410 с.
3. Ланцов А. Л. Компьютерное проектирование в архитектуре. ArchiCAD 11. Москва: ДМК-Пресс, 2009. 800 с.
4. Бессонова Н. В. Архитектурное параметрическое моделирование в Autodesk Revit Architecture 2014. Новосибирск: НГАСУ, 2016. 116 с.
5. Бодров В. И., Бодров М. В., Трифонов Н. А., Чурмеева Т. Н. Микроклимат зданий и сооружений. Нижний Новгород: Арабеск, 2001. 394 с.
6. Полосин И. И., Новосельцев Б. П., Шершнева В. Н. Теоретические основы создания микроклимата в помещении. Воронеж: ВГАСУ, 2005. 146 с.
7. Протасевич А. М. Строительная теплофизика ограждающих конструкций и микроклимат помещений. Минск: БНТУ, 2016. 453 с.
8. Беккер А. Системы вентиляции. Москва: Техносфера, 2007. 240 с.
9. Стефанов Е. В. Вентиляция и кондиционирование. Санкт-Петербург: АВОК Северо-Запад, 2005. 400 с.
10. ДСТУ Б EN ISO 7730:2011. Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту. Київ: Мінрегіон України, 2012. 74 с.

References

1. Barabash, M. S. (2014). *Kompyuternoe modelirovanie protsessov zhiznennogo tsikla ob'ektov stroitelstva*. Kiev: Stal.
2. Talapov, V. V. (2015). *Tehnologiya BIM: sut i osobennosti vnedreniya informatsionnogo modelirovaniya zdaniy*. Moskva: DMK Press.
3. Lantsov, A. L. (2009). *Kompyuternoe proektirovanie v arhitekture. ArchiCAD 11*. Moskva: DMK-Press.
4. Bessonova, N. V. (2016). *Arhitekturnoe parametricheskoe modelirovanie v Autodesk Revit Architecture 2014*. Novosibirsk: NGASU.
5. Bodrov, V. I., Bodrov, M. V., Trifonov, N. A., & Churmeeva, T. N. (2001). *Mikroklimat zdaniy i sooruzheniy*. Nizhniy Novgorod: Arabesk.
6. Polosin, I. I., Novoseltsev, B. P., & Shershnev, V. N. (2005). *Teoreticheskie osnovyi sozdaniya mikroklimata v pomeschenii*. Voronezh: VGASU.
7. Protasevich, A. M. (2016). *Stroitel'naya teplofizika ograzhdayuschih konstruktsiy i mikroklimat pomescheniy*. Minsk: BNTU.
8. Bekker, A. (2007) *Sistemyi ventilyatsii*. Moskva: Tehnosfera.
9. Stefanov, E. V. (2005). *Ventilyatsiya i konditsionirovanie*. Sankt-Peterburg: AVOK Severo-Zapad.

10. DSTU B EN ISO 7730:2011. (2012). Erhonomika teplovoho seredovyshcha. Analitychne vyznachennia ta interpretatsiia teplovoho komfortu na osnovi rozrakhunkiv pokaznykiv PMV I PPD i kryteriiv lokalnoho teplovoho komfortu. Kyiv: Minrehion Ukrainy.

Терещук Микола Олександрович – аспірант кафедри архітектурних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури, e-mail: nikolatereschuk@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4444-3677.

Голова Ольга Олександрівна – доцент кафедри нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», e-mail: fire19@ukr.net. ORCID: 0000-0002-4903-4450.

Лебедева Ольга Олександрівна – старший викладач кафедри нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», e-mail: meganom8@ukr.net. ORCID: 0000-0003-1569-5987.

Линок Назар Михайлович – викладач кафедри управління військами Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського, e-mail: nazar.linok@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4489-2472.

Головченко Олег Володимирович – ад'юнкт Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського, e-mail: golovchenko19850306@gmail.com. ORCID: 0000-0003-3715-7872.