

АНАЛІЗ ФАКТИЧНИХ, ТИПОВИХ ТА НОРМАТИВНИХ КЛІМАТИЧНИХ ДАНИХ В КОНТЕКСТІ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ БУДІВЕЛЬ

В даній статті проводиться аналіз фактичних та типових деталізованих кліматичних даних для м. Києва. Фактичні температури зовнішнього повітря протягом 2014-2021 рр. порівнювалися з нормативним показником відповідно до нормативних документів та найбільш поширених типових погодинних кліматичних файлів, що використовуються для енергетичного моделювання. Дані порівнювалися в помісячному розрізі та з використанням числа годин стояння зовнішньої температури, так як останній підхід дозволяє більш точно оцінювати показники ефективності енергоспоживання теплових насосів. Оскільки на енергопотребу та енергоспоживання будівель на опалення в значній мірі впливають теплонадходження за рахунок сонячної радіації, було також проведено порівняння нормативної величини загальної радіації на горизонтальну поверхню зі значенням з найбільш поширених типових кліматичних даних. Враховуючи сукупність проаналізованих факторів, в подальшому рекомендується для динамічного енергетичного моделювання використовувати погодинні дані Meteoropt для м. Києва. Також, з використанням програмного продукту DesignBuilder/EnergyPlus оцінювалися можливі відхилення у значеннях енергопотреби будівлі на опалення при використанні різних кліматичних даних.

Ключові слова: енергетичне моделювання, кліматичні дані, типовий метеорологічний рік, число годин стояння температур, енергопотреба.

Вступ. Останнім часом Україна робить значні кроки з імплементації директиви ЄС щодо енергоефективності будівель [1]. В рамках цього прийняті ряд законів та нормативних актів, що регулюють питання щодо мінімальних вимог до енергоефективності будівель [2, 3]. Також прийнятий національний план щодо збільшення кількості будівель з близьким до нульового енергоспоживанням – Nearly zero-energy buildings (NZEB) [4]. Енергоспоживання будівель залежить від великої кількості факторів: від площі проєктованої будівлі, її будівельного об'єму, компактності, ступеня скління фасадів та їх орієнтації за сторонами світу, рівня теплоізоляції зовнішніх конструкцій та інших факторів і, звичайно, від кліматичних характеристик району розташування. Для оцінки енергоспоживання будівель та роботи систем тепло- та холодопостачання використовуються як програмні продукти для динамічного енергетичного моделювання, такі як EnergyPlus/DesignBuilder, TRNSYS, eQuest, DOE-2, IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE), IESVE тощо, так і більш спрощені програмні продукти, такі як RETScreen (для розрахунку заходів з енергозбереження та систем теплопостачання) та GeoT*SOL (для розрахунку систем теплопостачання на базі теплових насосів).

Для дослідження показників енергоефективності будівель наразі регламентується використання помісячного квазістаціонарного розрахунку енергопотреби та енергоспоживання на опалення та охолодження [5, 6]. Однак, для аналізу складних інженерних систем з використанням відновлюваних джерел енергії часто застосовують більш деталізовані методи розрахунку. При цьому для проведення динамічного енергетичного моделювання будівель в спеціалізованих програмних продуктах необхідно використовувати погодинні кліматичні дані, що включають значний перелік показників. Також, результати енергетичного моделювання будуть в значній мірі залежати від того, які саме кліматичні дані будуть використані для розрахунку або моделювання.

Нормативні кліматичні дані наведені у стандарті з будівельної кліматології [7] та національному методі розрахунку енергопотреби та енергоспоживання на опалення та охолодження [6]. Такі кліматичні дані включають помісячні дані щодо температури навколишнього повітря, сумарної сонячної радіації на горизонтальну поверхню та вертикальні поверхні з різною орієнтацією, напрямку та швидкості вітру, відносної вологості, опадів тощо. Існує також ряд типових кліматичних файлів для України, що включають погодинні показники щодо температури сухого та вологого термометра / температури точки роси навколишнього повітря, прямої радіації на поверхню, перпендикулярну до кута падіння, розсіяної радіації на горизонтальну поверхню, напрямку та швидкості вітру, тиску тощо. В подальшому спеціалізована програма розраховує сумарну сонячну радіацію на горизонтальну поверхню та вертикальні поверхні з різною орієнтацією. Серед таких погодних файлів можна виділити наступні: International Weather for Energy Calculation – IWEC, що доступні для завантаження з офіційного веб-сайту програмного

забезпечення EnergyPlus [8], Meteonorm – файли можуть бути завантажені тільки маючи ліцензію на програму [9], Typical Meteorological Year (TMY) – доступний для завантаження на офіційному сайті JRC для Photovoltaic Geographical Information System tool [10], TMY Onebuilding – доступний на веб-сайті, де зібрані типові метеорологічні файли для багатьох країн світу [11].

Однак, жоден з цих кліматичних файлів не затверджений офіційно в Україні для енергетичного моделювання будівель, тому кожен з спеціалістів з енергетичного моделювання сам обирає кліматичний файл для використання в тому чи іншому програмному забезпеченні, що може бути прийнятно для аналізу різних сценаріїв або варіантів моделей.

Серед робіт присвячених питанню порівняння кліматичних даних для енергетичних розрахунків можна відмітити роботу [12], в якій проаналізовано вплив вибору кліматичної бази даних на розрахунок енергопотреб на опалення будівлі, а саме використання міжнародної бази даних IWEC, проте не враховано число годин стояння температур в певній місцевості. Останній аналіз є дуже необхідним для аналізу систем теплопостачання на базі теплових насосів.

Мета та завдання. Метою дослідження є порівняння різних кліматичних баз даних для умов України в контексті динамічного енергетичного моделювання будівлі з фокусом на системи теплозабезпечення на базі теплових насосів.

Для досягнення мети дослідження були поставлені наступні завдання:

- 1) Збір даних та аналіз фактичних температур зовнішнього повітря для м. Києва за 2014-2021 рр.;
- 2) Порівняння кліматичних даних (температура зовнішнього повітря та показники сонячної радіації) відповідно до нормативних документів та різних типових метеорологічних років, що використовуються для енергетичного моделювання будівлі;
- 3) Аналіз фактичних, нормативних та типових даних щодо числа годин стояння зовнішніх температур за опалювальний період;
- 4) Аналіз впливу використання кліматичних даних на показники енергопотреб на опалення житлової будівлі в м. Києві;
- 5) Висновок щодо подальшого використання кліматичних даних для аналізу систем теплопостачання на базі теплових насосів.

Матеріал і результати досліджень. Для проведення аналізу була обрана існуюча будівля, що розташована в м. Києві, тому кліматичні дані також аналізувалися саме для цього міста. В якості фактичних даних щодо зовнішньої температури були використані деталізовані (через кожні 3 години) дані спостережень за погодою на території Києва (аеропорт Жуляни) на сайті RP5 [13] протягом 2014-2021 років. Ці дані були використані як для розрахунку середньомісячних показників, так і для розрахунку числа годин стояння зовнішніх температур за опалювальний період.

Нормативні кліматичні показники, а саме середньомісячні дані щодо температури зовнішнього повітря та сумарної сонячної радіації на горизонтальну поверхню, обиралися відповідно до стандарту по будівельній кліматології [7] та національному методу розрахунку енергопотреб та енергоспоживання на опалення та охолодження [6]. В контексті помісячних кліматичних даних також проведений аналіз даних з програми RETScreen, що також може використовуватися при аналізі теплопостачання будівель на базі теплових насосів.

Також аналізувалися наступні типові метеорологічні роки: IWEC, Meteonorm, JRC TMY, TMY Onebuilding. Такі ж позначення використовуються в подальшому на рисунках та графіках при проведенні аналізу.

Дані порівняння середньомісячних температур зовнішнього повітря в м. Києві для різних джерел наведені на рис. 1. В якості «еталонного» значення для розрахунку середньоквадратичного відхилення приймалися нормативні дані. Найбільш близькими до нормативних значень для місяців опалювального періоду виявилися наступні кліматичні дані: RETScreen, IWEC, Meteonorm.

Але з огляду на те, що сонячні теплонадходження в значній мірі можуть впливати на показники енергоспоживання будівель, приймати рішення щодо використання тих чи інших кліматичних даних тільки на основі зовнішньої температури не є доцільним.

Дані порівняння середньомісячних значень сумарної сонячної радіації на горизонтальну поверхню в м. Києві для різних джерел наведені на рис. 2. Аналогічно в якості «еталонного» значення для розрахунку середньоквадратичного відхилення приймалися нормативні дані. Найбільш близькими до нормативних значень для місяців опалювального періоду виявилися наступні кліматичні дані: Meteonorm, RETScreen. Решта кліматичних даних показали значне відхилення в значеннях для сумарної сонячної радіації на горизонтальну поверхню.

Виходячи з аналізу помісячних даних щодо температури зовнішнього повітря та значень сумарної сонячної радіації на горизонтальну поверхню найбільш близькими до нормативних значень є детальні погодинні значення з файлу Meteonorm та помісячні дані з програми RETScreen.

Але для аналізу систем теплопостачання будівель на базі теплового насосу не раціонально використовувати середньомісячні показники, оскільки це не дозволяє врахувати залежність ефективності

теплового насоса від температури зовнішнього повітря або температури теплоносія в ґрунтовому контурі та використання резервного джерела теплопостачання при низьких температурах повітря. Саме тому додатково проведений аналіз числа годин стояння температур зовнішнього повітря, що дозволяє більш детально аналізувати режими роботи систем теплопостачання будівель (рис. 3).

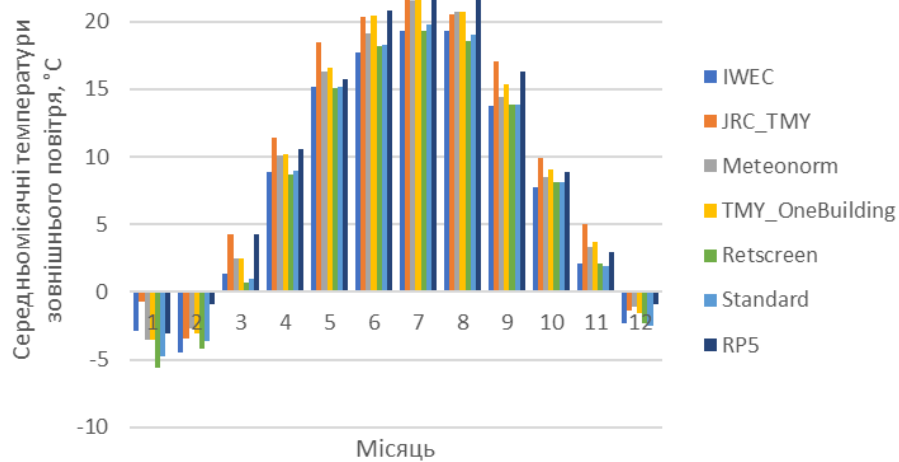


Рисунок 1 – Середньомісячні температури зовнішнього повітря за різними джерелами

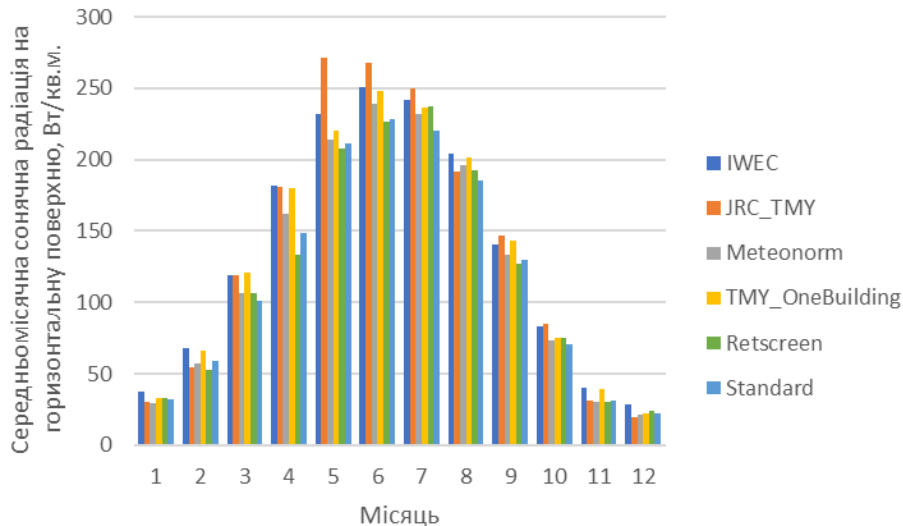


Рисунок 2 – Середньомісячні значення сумарної сонячної радіації на горизонтальну поверхню за різними джерелами

Стандартні значень для тривалості стояння температур зовнішнього повітря регламентувалися стандартом [14]. Оновлені стандартні дані для м. Києва відсутні, тому в якості «еталонних» показників для розрахунку середньоквадратичного відхилення використовувалися фактичні дані з сайту RP5. Найбільш близькими до еталонних значень для місяців опалювального періоду виявилися наступні кліматичні дані: TMY Onebuilding, Meteororm.

Виходячи з аналізу як помісячних даних щодо температури зовнішнього повітря та значень сумарної сонячної радіації на горизонтальну поверхню найбільш, так і тривалості стояння зовнішньої температури для проведення енергетичного моделювання будівлі з тепловими насосами буде використовуватися кліматичний файл Meteororm для м. Києва.

Для оцінки впливу різних кліматичних даних на показники енергопотребі на опалення була побудована енергетична модель 2-поверхової житлової будівлі в м. Києві з використанням програмного забезпечення DesignBuilder/EnergyPlus.

Опалювальна площа будівлі складає 216 м², опалювальний об'єм – 648 м³. Загальний вигляд геометрії моделі можна побачити на рис. 4. Коефіцієнти теплопередачі огорожувальних конструкцій (ОК): зовнішня стіна – 0,264 Вт/м²·К, перекриття неопалювального горища – 0,235 Вт/м²·К, світлопрозорі ОК – 1,333 Вт/м²·К, підлога по ґрунту – 0,35 Вт/м²·К. В моделі враховувалися внутрішні теплові надходження: 4 мешканця, 2 Вт/м² для освітлення та 2 Вт/м² для обладнання, графік використання – 112 год/тиждень. Природна вентиляція задавалася на рівні 0,5 год⁻¹, задана температура опалення – 20°C.

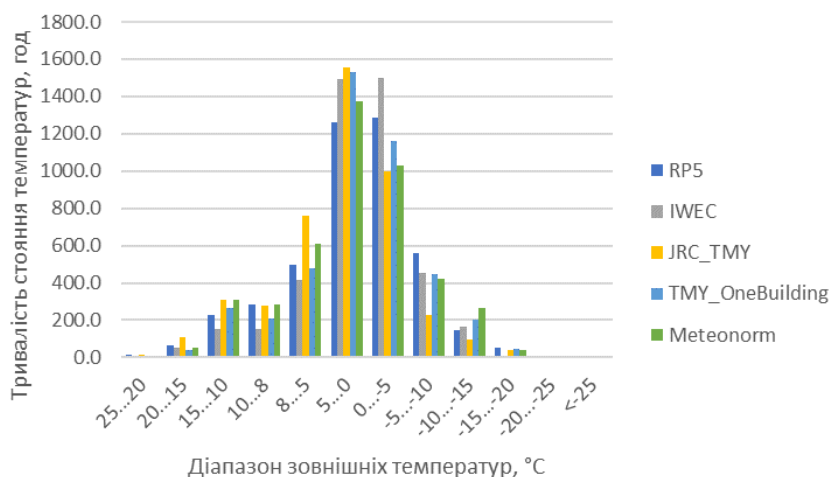


Рисунок 3 – Тривалість стояння зовнішніх температур

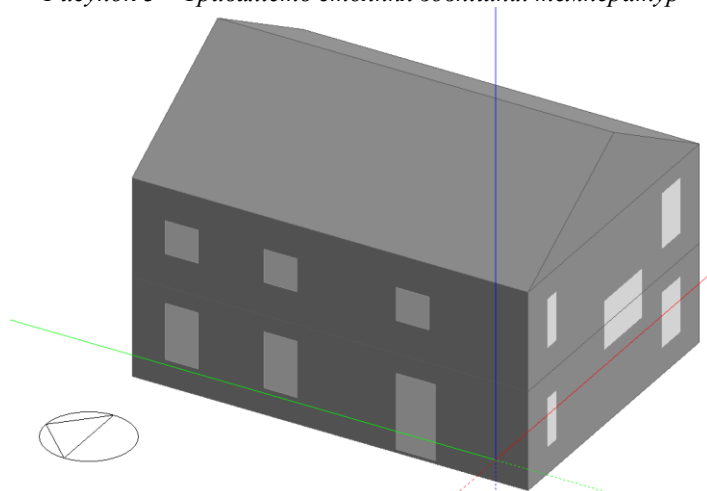


Рисунок 4 – 3-D геометрія моделі житлової будівлі

В залежності від використаних кліматичних даних енергопотреба на опалення житлової будівлі знаходиться в межах 13000...15000 кВт·год (рис. 5). Найменший показник енергопотреби характерний для кліматичних даних JRC TMY, найбільший – IWEC, а Meteonorm та TMY Onebuilding – дають схожі результати.

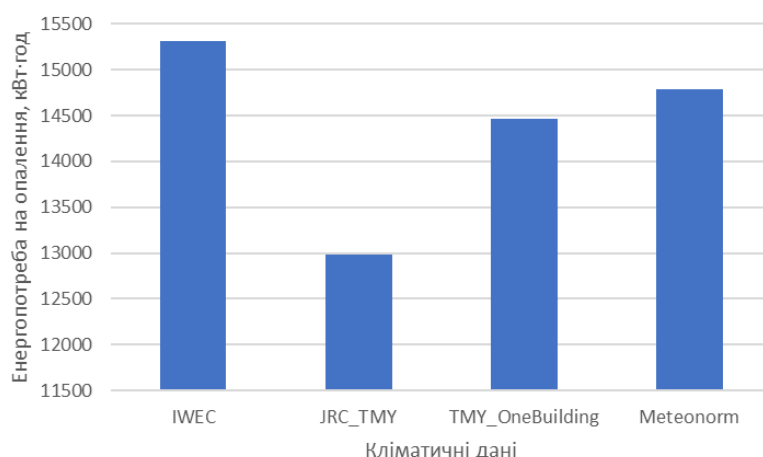


Рисунок 5 – Енергопотреба на опалення житлової будівлі

Для порівняння більш деталізованих даних щодо температур зовнішнього повітря та енергопотреби на опалення були обрані добові інтервали. Результати аналізу для січня наведені на рис. 6 та 7. В межах місяця можуть бути значні відмінності як для температури зовнішнього повітря, так і для енергопотреби на опалення. Це обумовлено різними джерелами даних щодо кліматичних параметрів та підходів до створення типових метеорологічних файлів від різних розробників.

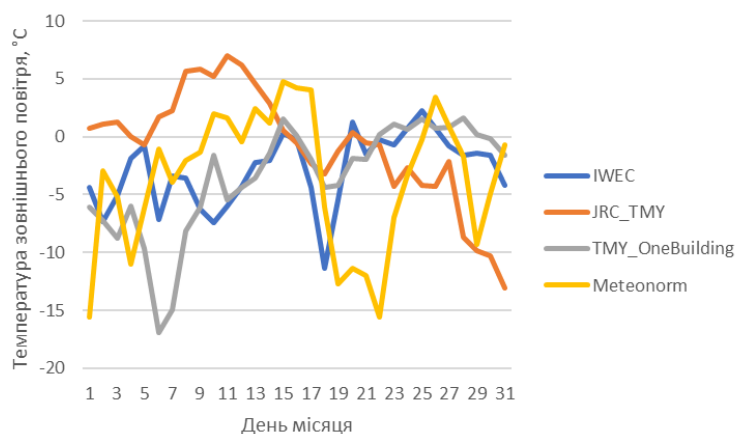


Рисунок 6 – Середньодобові значення температури зовнішнього повітря для січня

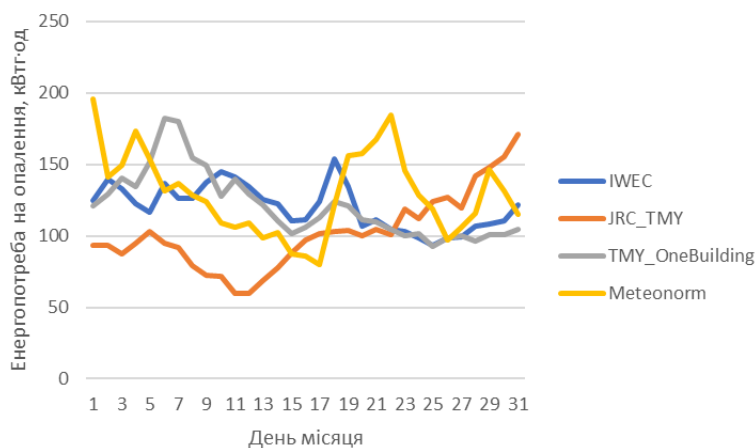


Рисунок 7 – Середньодобові значення енергопотреб на опалення для січня

Висновки. Результати енергетичного моделювання будівель з тепlopостачанням на базі теплового насоса в значній мірі будуть залежати від кліматичних даних, які будуть використовуватися. Особливо це стосується теплових насосів, у яких в якості низькопотенційного джерела теплоти виступає зовнішнє повітря. Проведений аналіз кліматичних даних з різних джерел дозволяє обрати погодинні кліматичні дані, що є найближчими до середньомісячних нормативних даних по температурі зовнішнього повітря та сонячній радіації, для подальшого використання при енергетичному моделюванні. А для теплових насосів вибір кліматичних даних також може базуватися на основі порівняння з фактичною тривалістю стояння зовнішніх температур (2014-2021 рр.). Для подальшого аналізу систем тепlopостачання на базі теплових насосів планується використання програмного продукту RETScreen та GeoT*SOL, а також DesignBuilder/EnergyPlus з використанням кліматичних даних Meteonorm для м. Києва.

Список використаної літератури

1. Директива Європейського Парламенту і Ради 2010/31/ЄС від 19 травня 2010 року про енергетичні характеристики будівель. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011-10#Text
2. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» №2118-VIII від 22.06.2017. Голос України. 22.07.2017. №134. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19>
3. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. К.: Мінбуд України, 2017. 37 с.
4. Національний план збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/88-2020-%D1%80#Text>
5. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання при опаленні та охолодженні. К: НДІБК, 2011. 229 с.
6. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. К. Мінрегіонбуд України, 2016. 205 с.
7. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. К. 2011. 135 с.
8. Кліматичні дані IWEC для України. Режим доступу: https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR/UKR_Kiev.333450_IWEC
9. Кліматичні дані Meteonorm. Режим доступу: <https://meteonorm.com/en/>
10. Кліматичні дані TMY JRC. Режим доступу: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

11. Кліматичні дані ТМУ Onebuilding. Режим доступу: <https://climate.onebuilding.org/>
12. В.І. Дешко, І.Ю. Білоус, Г.О. Гетманчук. Бази кліматології для визначення енергетичних характеристик будівель. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2017. № 4, с.67-73.
13. Архів фактичних кліматичних даних. Режим доступу: <http://rp5.ua/>
14. СНиП 2 01 01 82 Строительная климатология и геофизика/Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1983. 136 с.

I.O. Sukhodub, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0002-5895-1306

V.I. Shklyar, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0001-6879-7501

V.V. Dubrovska, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0003-4765-0484

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

ANALYSIS OF ACTUAL, TYPICAL AND NORMATIVE CLIMATE DATA IN THE CONTEXT OF BUILDINGS ENERGY MODELING

*This article analyses the actual, normative monthly and typical detailed climatic data for the city of Kyiv. Data on actual outdoor air temperatures during 2014-2021 were compared with indicators in accordance with Ukrainian regulations and the most common typical hourly climate files used for building energy modeling: International Weather for Energy Calculations (IWEC), Meteororm, Typical Meteorological Year (TMY) from PVGIS tool and Onebuilding web-site. The values for outside air temperatures were compared on an average monthly basis and using the number of hours of outside air temperature duration. The latter approach allows to more accurately assess the energy efficiency indicators and energy consumption of heat supply systems with heat pumps. As the buildings energy need and energy consumption for heating values are significantly affected by heat gains due to solar radiation, a comparison of the normative value of global radiation on the horizontal surface with the values from the most common typical climatic data was also performed based on an average monthly basis. Taking into account the set of analysed climatic factors using monthly indicators for outside air temperatures and number of hours of outside air temperature duration, it is decided to use Meteororm hourly data for Kyiv for further dynamic energy modeling of building with heat supply system based on different types of heat pumps, including the air-to-water and water(brine)-to-water ones. Also, climatic data used in RETScreen program show similar figures as normative values and therefore this program will be used for further technical and economic analysis as well and the results will be compared to the specialised program for heat pumps calculations GeoT*SOL, which also provides the detailed calculation of heat pumps system technical performance and economic calculations. In addition, possible deviations in the values of energy need for heating of the building when using different climatic data were estimated using the DesignBuilder / EnergyPlus software product. The potential deviation of energy need for heating results can be around -10...+6.5%.*

Key words: energy modelling, climatic data, typical meteorological year, number of hours of air temperature duration, energy need.

1. DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011-10#Text
2. On the energy efficiency of buildings: Law of Ukraine № 2118-VIII, 22.06.2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19>
3. DBN B.2.6-31:2016. Thermal insulation of buildings. K.: Ministry of Construction of Ukraine, 2017. 37 p.
4. National plan to increase the number of nearly zero-energy buildings. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/88-2020-%D1%80#Text>
5. DSTU B EN ISO 13790: 2011. Energy efficiency of buildings. Calculation of energy consumption for heating and cooling. K: NDIBK, 2011. 229 p.
6. DSTU B A.2.2-12: 2015. Energy efficiency of buildings. Method of calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply. K. Ministry of Regional Development of Ukraine, 2016. 205 p.
7. DSTU-N B B.1.1-27: 2010. Protection against dangerous geological processes, harmful operational influences, from fire. Construction climatology. K. 2011. 135 p.
8. IWEC climatic data for Ukraine. URL: https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR/UKR_Kiev.333450_IWEC
9. Meteororm climatic data. URL: <https://meteororm.com/en/>
10. TMY JRC climatic data. URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
11. TMY Onebuilding climatic data. URL: <https://climate.onebuilding.org/>
12. Deshko V., Bilous I., Hetmanchuk H. Bases of climatic for buildings energy performance determination. Power Engineering: Economics, Technique, Ecology. 2017. No 4, p.67-73.
13. Archive of actual climatic data. URL: <http://rp5.ua/>
14. СНиП 2 01 01 82 Building climatology and geophysics / Gosstroy USSR. M.: Stroyizdat, 1983. 136 p.

Надійшла 3.06.2022

Received 3.06.2022