

УДК 004: 519.81

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.1.7>

К.І.СОКОЛ

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0001-5155-7202

О.Є.ОГНЕВА

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0001-6206-0285

О.В. АНДРОНОВА

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0001-9597-8068

## ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ БУДІВЛІ З ПАСИВНОЮ СИСТЕМОЮ ОПАЛЕННЯ ЗАКРИТОГО ТИПУ

*В умовах постійного зростання цін на енергоресурси, прагнення до зменшення шкідливих викидів до атмосфери, а також, дефіциту викопних видів палива, що можуть бути використані для опалення, привертають до себе увагу методи підвищення енергоефективності та енергозбереження. Одним із таких методів є системи пасивного опалення, в яких процеси приймання, накопичення та використання сонячної енергії для підтримання теплового режиму будівлі, здійснюються природним шляхом, в архітектурно-будівельних елементах будівлі. Використання даних систем дозволяє значно зменшувати витрати енергоресурсів на опалення та охолодження будівлі. Для дослідження та візуалізації явищ і процесів, що відбуваються всередині фізичної системи, якою є будівля з пасивною системою опалення, використовуються різноманітні сучасні технології, зокрема, метод комп'ютерного моделювання.*

*У роботі розглянуто теплові процеси, необхідні для розуміння формування тепловтрат і теплонадходжень в будівлі, а також теплові схеми будівлі і її конструктивних елементів, що є основою для розробки комп'ютерної системи для моделювання теплових режимів будівлі та визначення об'ємно-планувальних та теплотехнічних параметрів. Метою даної роботи є створення теплових схем будівлі з пасивною системою опалення та її озгороджувальних конструкцій, визначення функцій та концептуальної моделі роботи комп'ютерної системи для дослідження теплового режиму будівлі. Основними результатами дослідження є запропоновані теплові схеми будівлі з пасивною системою опалення закритого типу та концептуальна модель запропонованої комп'ютерної системи. Розглянуті схеми дозволяють краще розуміти процеси теплопередачі, що відбуваються в конструкціях будівлі та пасивних системах опалення закритого типу, а також можуть стати якісним підґрунтям для подальших досліджень. Науковою новизною є побудовані теплові схеми та концептуальна схема запропонованої комп'ютерної системи.*

*Ключові слова: тепла схема; пасивна система опалення; тепловий режим будівлі; теплопередача; модель; стіна Тромбе; комп'ютерна система.*

К.И.СОКОЛ

Херсонский национальный технический университет

ORCID: 0000-0001-5155-7202

О.Е.ОГНЕВА

Херсонский национальный технический университет

ORCID: 0000-0001-6206-0285

Е.В. АНДРОНОВА

Херсонский национальный технический университет

ORCID: 0000-0001-9597-8068

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ЗДАНИЯ С ПАССИВНОЙ СИСТЕМОЙ ОТОПЛЕНИЯ ЗАКРЫТОГО ТИПА

*В условиях постоянного роста цен на энергоресурсы, стремления к уменьшению вредных выбросов в атмосферу, а также дефицита ископаемых видов топлива, которые могут быть использованы для отопления, привлекают к себе внимание методы повышения энергоэффективности и энергосбережения. Одним из таких методов являются системы пассивного отопления, в которых процессы приемки, накопления и использования солнечной энергии для поддержания теплового режима здания осуществляются естественным путем в архитектурно-строительных элементах здания. Использование данных систем позволяет значительно уменьшить расход энергоресурсов на отопление и*

охлаждение здания. Для исследования и визуализации явлений и процессов, происходящих внутри физической системы, как здание с пассивной системой отопления, используются разнообразные современные технологии, в частности, метод компьютерного моделирования.

В работе рассмотрены тепловые процессы, необходимые для понимания формирования теплопотерь и теплопоступлений в здании, а также тепловые схемы здания и его конструктивных элементов, являющихся основой для разработки компьютерной системы для моделирования тепловых режимов здания и определения объемно-планировочных и теплотехнических параметров. Целью данной работы является создание тепловых схем здания с пассивной системой отопления и его ограждающих конструкций, определение функций и модели работы компьютерной системы для исследования теплового режима здания. Основными результатами исследования есть предложенные тепловые схемы здания с пассивной системой отопления закрытого типа и концептуальная модель предлагаемой компьютерной системы. Рассмотренные схемы позволяют лучше понимать процессы теплопередачи, происходящие в конструкциях здания и пассивных системах отопления закрытого типа, а также могут стать качественной основой для дальнейших исследований. Научной новизной построены тепловые схемы и концептуальная схема предлагаемой компьютерной системы.

Ключевые слова: тепловая схема; пассивная система отопления; тепловой режим строения; теплопередача; модель; стена Тромбе; компьютерная система.

K.SOKOL

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0001-5155-7202

O.OHNIEVA

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0001-6206-0285

O. ANDRONOVA

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0001-9597-8068

## DESIGN OF A COMPUTER SYSTEM FOR INVESTIGATION OF THE THERMAL REGIME OF A BUILDING WITH A PASSIVE CLOSED HEATING SYSTEM

*With the constant rise in energy prices, the desire to reduce harmful emissions into the atmosphere, as well as the shortage of fossil fuels that can be used for heating, attract attention to methods of improving energy efficiency and energy conservation. One of such methods is passive heating systems, in which the processes of reception, accumulation and use of solar energy to maintain the thermal regime of the building are carried out naturally, in the architectural and building elements of the building. The use of these systems can significantly reduce energy costs for heating and cooling the building. Various modern technologies are used to study and visualize the phenomena and processes that take place inside the physical system, which is a building with a passive heating system, in particular, the method of computer modeling.*

*The paper considers the thermal processes necessary to understand the formation of heat loss and heat in the building, as well as thermal diagrams of the building and its structural elements, which is the basis for developing a computer system for modeling thermal modes of the building and determining spatial and thermal parameters. The purpose of this work is to create thermal schemes of a building with a passive heating system and its enclosing structures, to determine the functions and conceptual model of a computer system for studying the thermal regime of the building. The main results of the research are the proposed thermal schemes of the building with a passive closed heating system and the conceptual model of the proposed computer system. The considered schemes allow to better understand the heat transfer processes occurring in building constructions and passive closed heating systems, and can also become a qualitative basis for further research. The scientific novelty is the constructed thermal schemes and the conceptual scheme of the proposed computer system.*

*Keywords: thermal scheme; passive heating system; thermal regime of the building; heat transfer; model; Trombe wall; computer system.*

### Постановка проблеми

Пасивні системи опалення є перспективною технологією вирішення проблеми надмірної залежності підприємств теплопостачання від викопних енергоресурсів, адже такі системи функціонують за рахунок використання сонячної енергії. Проектування енергоефективних будівель з пасивною системою опалення потребує дослідження теплотехнічних процесів з врахуванням низки факторів, таких як об'ємно-планувальні і теплотехнічні параметри будівлі, режими експлуатації та кліматичні умови, що передбачає застосування методів комп'ютерного моделювання, які дозволяють більш детально досліджувати системи та взаємодії основних її компонентів.

Передумовою створення комп'ютерної системи для дослідження теплового режиму будівлі з пасивною системою опалення є розробка теплових схем будівлі та її огорожувальних конструкцій, а також визначення функцій та концептуальної моделі роботи комп'ютерної системи.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженням та створенням методів розрахунку та проектування пасивних систем опалення займалися такі вчені як Ольгей, Андерсен, Марзія, Лебенс, Балкомб, Байер, Даффі, Бекмен, Мхітарян, Чірась, Бейнбрідж та інші.

Роботи Франсіско Мансано-Агульєро, Г. Монтойя, Андрес Сабіо-Ортега, Амос Гарсія-Крус, Барбара Відера, Умар Алію Мохаммед, Халіл Зафер Алібаба, Адекунле, Ніколопулу присвячені питанням біокліматичної архітектури та дослідженню термального комфорту будівель в залежності від кліматичних умов місцерозташування. Визначено область температурно-вологісних умов, для яких показано застосування пасивних систем опалення.

Вчені Саметі Мохаммад, Касаєян Алібахш, Чарватова Хана, Прохазка Алеш, Залешак Мартін займалися аналізом пасивних систем опалення на основі комп'ютерних моделей.

Однак, усі вище зазначені дослідження не дають можливості комплексно оцінити можливості використання пасивних систем опалення та їх ефективність для економії енергоресурсів, що потребує розробки концепції комп'ютерної моделі з більш широкими функціональними можливостями.

#### Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є створення теплових схем будівлі з пасивною системою опалення та її огорожувальних конструкцій, визначення функцій та концептуальної моделі роботи комп'ютерної системи для дослідження теплового режиму будівлі.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Тепловий режим будівлі з пасивною системою опалення моделюється з урахуванням тепловтрат та теплонадходжень крізь зовнішні огорожувальні конструкції: стіни, дах, підлогу, вікна і пасивну систему опалення закритого типу (стіну Тромбе), які з'єднано у теплову схему будівлі паралельно (рис. 1). У теплових схемах огорожувальних конструкцій враховано теплообмін випромінюванням між зовнішніми огорожувальними конструкціями та зовнішнім середовищем (ЗС) (нагрівання за рахунок надходження сонячної радіації та радіаційні тепловтрати в оточуюче середовище), радіаційний теплообмін між зовнішніми та внутрішніми огорожувальними конструкціями (термальною масою будівлі), конвективні тепловтрати та теплопровідність конструкційних матеріалів огорожувальних конструкцій [1-5, 8].

Для створення теплових схем огорожувальних конструкцій використовуються блоки, що описують явища теплопередачі.

Блок теплопередачі теплопровідністю (Т) описує передачу тепла в мережі шляхом кондуктивності через шар матеріалу. Потужність теплового потоку описується законом Фур'є і пропорційна різниці температур, теплопровідності матеріалу, площі, нормальній напрямку теплового потоку, і обернено пропорційна товщині шару:

$$Q = \lambda(t_1 - t_2) \frac{S}{\delta}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);

$\delta$  – товщина, м;

$S$  – площа, м<sup>2</sup>;

$t_{1,2}$  – температури поверхонь шару матеріалу, К.

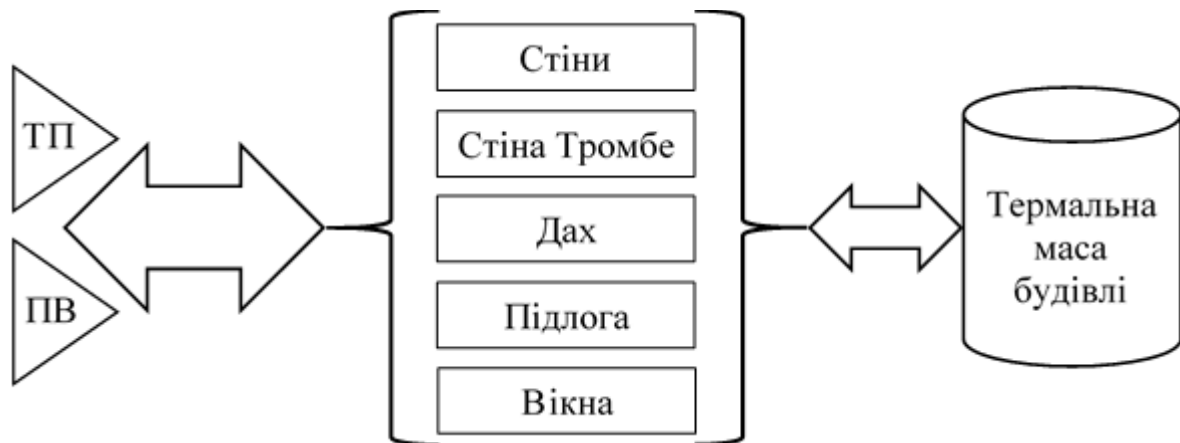


Рис. 1. Теплова схема моделі будівлі з пасивною системою опалення закритого типу

Блок теплопередачі випромінюванням (В) описує передачу тепла в тепловій мережі шляхом випромінювання між двома поверхнями. Передача тепла описується законом Стефана-Больцмана. Коефіцієнт випромінювання залежить від геометричної конфігурації та поверхневих випромінювань взаємодіючих тіл:

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot S \cdot (T_2^4 - T_1^4), \text{Вт}, \quad (2)$$

де  $\varepsilon$  - приведена ступінь чорноти в системі двох тіл;

Для опису конвективної тепловіддачі використовується блок К, а кількість теплоти визначається за рівнянням Ньютона-Ріхмана:

$$Q = \alpha(t'_1 - t'_2)S, \text{Вт} \quad (3)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт теплопередачі конвекцією, (Вт/(м<sup>2</sup>·К));

$t'_1$  – температура повітря, К;

$t'_2$  – температура поверхні, К.

Блок термальної маси описує акумулювання енергії в тепловій мережі, а саме у огорожувальних конструкціях. Він враховує внутрішню теплоємність будівлі та визначає інерційність теплової мережі [1-5, 8].

Теплова схема стіни (рис. 2) складається з паралельно включених блоків теплопередачі конвекцією та випромінюванням, до яких під'єднано блоки температури зовнішнього повітря та сонячної радіації відповідно. Процес теплопередачі кондуктивністю крізь стіну задається двома блоками теплопровідності, що ділять її навпіл, а між ними знаходиться термальна маса матеріалу стіни. Внутрішня поверхня стіни змінює свою температуру також за рахунок теплообміну із внутрішнім середовищем будівлі за рахунок конвекції та випромінювання [1-5, 8].

Теплова схема підлоги (рис. 3) відрізняється від схеми стіни відсутністю блоків теплопередачі конвекцією та випромінюванням зі сторони зовнішнього середовища, так як фундамент будівлі знаходиться на ґрунті [1-5, 8].

Вікна, 70÷80% площі яких складають прозорі для сонячного випромінювання елементи, частково пропускають сонячну радіацію, що призводить до нагріву не тільки віконних конструкцій, а й внутрішніх огорожувальних конструкцій під дією сонячного випромінювання. Теплова схема (рис. 4) враховує цей потік випромінювання на внутрішні огорожувальні конструкції, що розраховується з урахуванням коефіцієнта пропускання склопакету. Відповідно, тепло до термальної маси внутрішнього повітря будівлі передається вже від внутрішніх стін [1-5, 8].

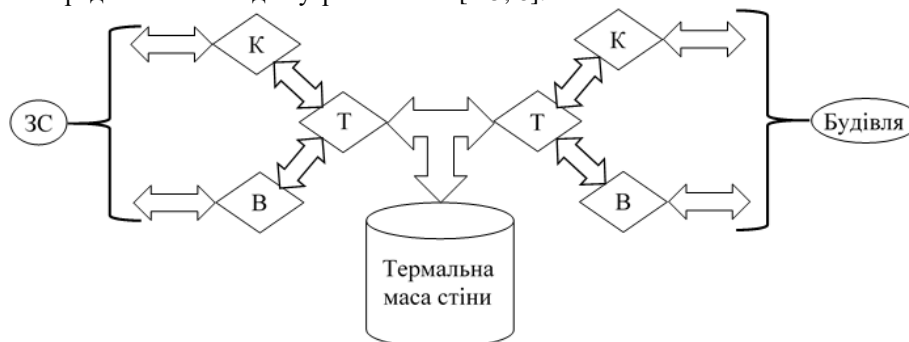


Рис. 2. Теплова схема стіни



Рис. 3. Теплова схема підлоги

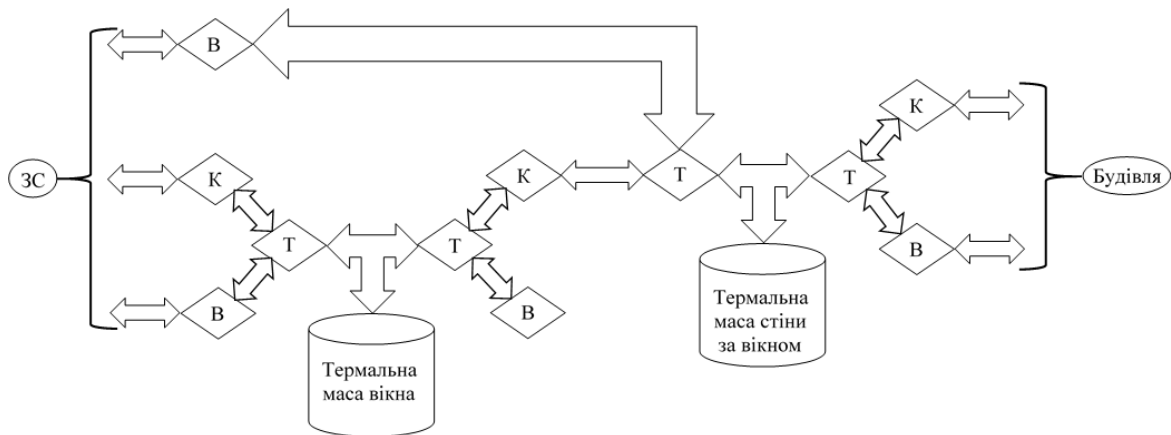


Рис. 4. Теплова схема вікон

Стіна Тромбе являє собою засклену ззовні стіну з невентильованим повітряним прошарком. Теплова схема стіни Тромбе (рис. 5) відрізняється від схеми вікна врахуванням трьох способів теплопередачі крізь повітряний прошарок. Частина сонячної радіації надходить на поверхню стіни, що має високу поглинальну здатність. Акумульоване стіною тепло передається до приміщення шляхом конвекції та випромінювання [1-5, 8].

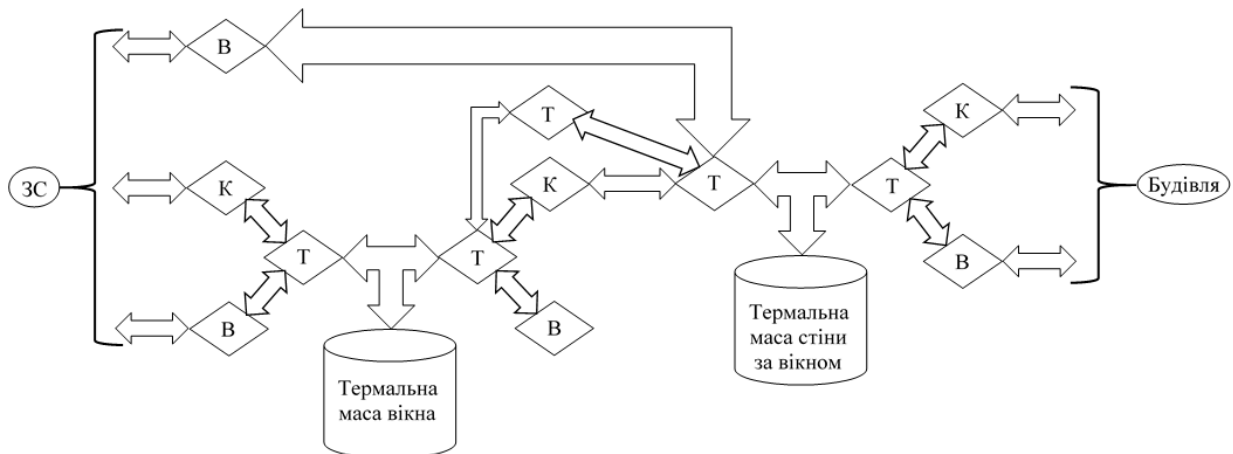


Рис. 5. Теплова схема стіни Тромбе

Для моделювання характеристик всіх наведених блоків теплових схем пропонується спроектувати комп'ютерну систему, функціональні можливості якої наведено на рис. 6, а концептуальна схема – на рис.7. Принцип роботи даної схеми наступний:

1. Дослідник задає вхідні параметри для проектування, якими є опалювальна площа майбутньої будівлі, кількість та висота поверхів, місцезнаходження будівлі.

2. Виходячи з заданих користувачем параметрів, система пропонує оптимальну геометрію та орієнтацію будівлі, що є максимально ефективною з точки зору уловлювання сонячної енергії та зменшення тепловтрат в опалювальний період.

3. Виходячи з обраної геометрії, проводиться розрахунок об'ємно-планувальних параметрів будівлі, основним з яких є несуча здатність будинку та конструктивних її елементів, таких як стіни, фундамент тощо.

4. Обирається розташування віконних прорізів та розраховується їх кількість.

5. Виконується підбір будівельних матеріалів, що забезпечують несучу здатність будівлі та задовольняють вимогам енергоефективності.

6. Проводиться вибір склопакетів з оптимальним співвідношенням пропускної здатності та опору теплопередачі.

7. Розраховуються параметри теплоізоляційної оболонки будівлі: густина та товщина шару утеплювача, матеріал якого задовольняє протипожежним вимогам.

8. Визначення режимів використання ізоляції стіни Тромбе, що виступає в ролі або затінюючого елемента, запобігаючи перегріву будівлі, або відбиваючого екрану, зменшуючи тепловтрати стіни Тромбе в оточуюче середовище.

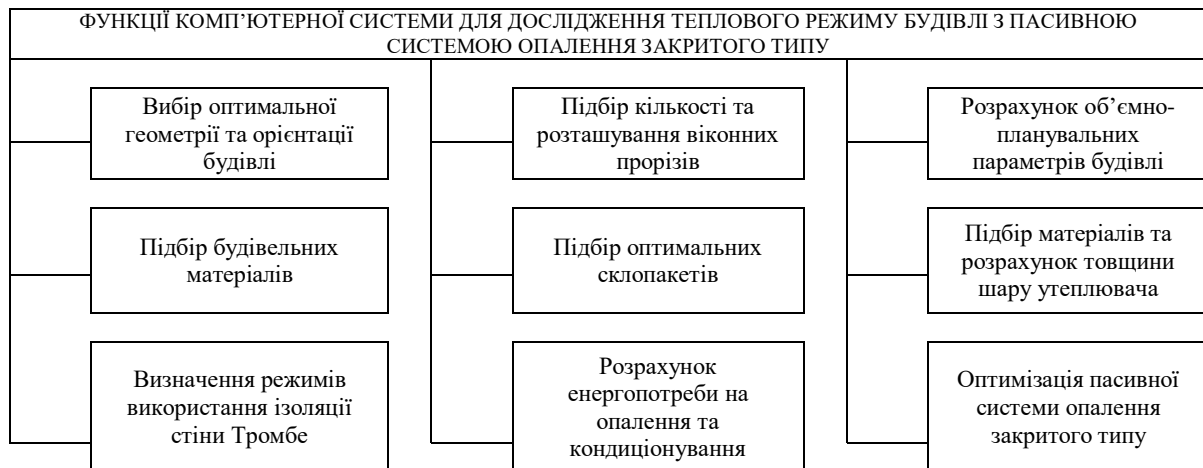


Рис.6. Функціональні можливості запропонованої комп'ютерної системи

9. Розрахунок енергопотребі на опалення та кондиціонування будівлі.

10. Після отримання всіх даних система проводить оптимізацію наявної системи пасивного опалення шляхом, описаним в [9].

У результаті, дослідник має повне уявлення про тепловий режим майбутньої будівлі, отримуючи всі необхідні таблиці значень та графіки у фінальному вікні.

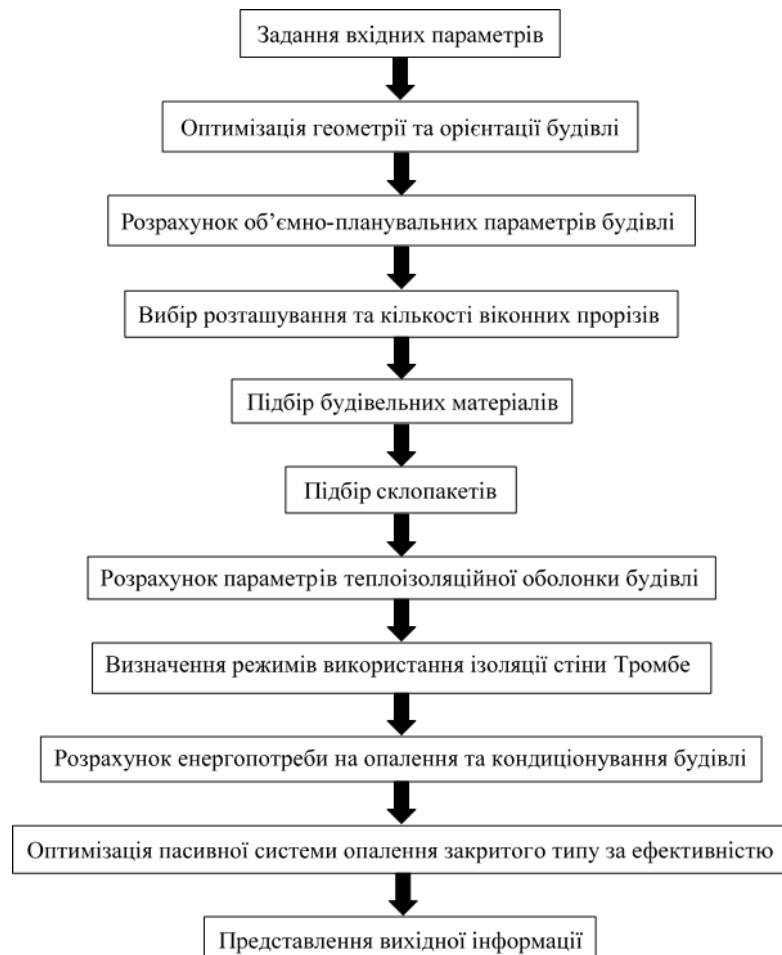


Рис.7. Концептуальна схема запропонованої комп'ютерної системи

Спроектвана комп'ютерна система дозволить автоматизувати процес розрахунків, швидко та якісно надати математично прораховані рекомендації щодо об'ємно-планувальних та теплотехнічних параметрів будівлі, дозволяє дослідити тепловий режим будівлі з пасивною системою опалення закритого типу.

**Висновки**

1. Досліджено теплові процеси, необхідні для розуміння формування тепловтрат та теплонадходжень в будівлі.
2. Створено теплову схему будівлі з пасивною системою опалення та її огорожувальних конструкцій, зокрема, теплову схему стіни Тромбе, які покладено в основу проекту комп'ютерної системи для дослідження теплового режиму будівлі з пасивною системою опалення закритого типу.
3. Запропоновано концептуальну схему роботи та означено функції комп'ютерної системи для визначення об'ємно-планувальних та теплотехнічних параметрів будівлі, та дослідження теплового режиму будівлі з пасивною системою опалення закритого типу.

**Список використаної літератури**

1. Duffie, J.A., & Beckman, W.A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
2. Francisco Manzano-Agugliaro. Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort / Francisco Manzano-Agugliaro, Francisco G.Montoya, AndrésSabio-Ortega, Amós García-Cruz // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2015. – № 49. – с. 736-755. – Бібліогр.: 196 назв.
3. Barbara Widera. Bioclimatic architecture / Barbara Widera // *Journal of Civil Engineering and Architecture Research*. – 2015. - № 4. – с. 567-578. – Бібліогр.: 20 назв.
4. Umar Aliyu Mohammed. Application of Bioclimatic Design Strategies to Solve Thermal Discomfort in Maiduguri Residences, Borno State Nigeria // Umar Aliyu Mohammed, Assoc. Prof. Dr. Halil Zafer Alibaba. – *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*. – 2018. - № 1. – с. 227-233. – Бібліогр.: 17 назв.
5. Adekunle, T.; Nikolopoulou, M. Thermal comfort, summertime temperatures and overheating in prefabricated timber housing. *Build. Environ.* 2016, 103, 21–35
6. Charvátová, Hana & Procházka, Aleš & Zálešák, Martin. (2020). Computer Simulation of Passive Cooling of Wooden House Covered by Phase Change Material. *Energies*. 13. 10.3390/en13226065.
7. Sameti, Mohammad & Kasaeian, Alibakhsh. (2015). Numerical simulation of combined solar passive heating and radiative cooling for a building. *Building Simulation*. 8. 10.1007/s12273-015-0215-x.
8. Андропова О.В., Курак В.В., Сокол К.І. Тепловий режим будівлі з пасивною системою опалення. О.В. Андропова, В.В. Курак, К.І. Сокол // *Вісник Херсонського національного технічного університету. Інженерні науки*. – № 1(72), Ч. 1. – ХНТУ, березень 2020. – с. 9-17. (DOI:<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.1>).
9. Сокол К.І., Огнева О.Є. Розробка системи комп'ютерного моделювання для оптимізації параметрів пасивної системи опалення закритого типу / К.І. Сокол, О.Є. Огнева // *Проблеми інформаційних технологій*. – № 27. – ХНТУ, лютий 2020. – с. 69-77. (DOI: <https://doi.org/10.35546/2313-0687.2020.27.69-77>).

**References**

1. Duffie, J.A., & Beckman, W.A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
2. Francisco Manzano-Agugliaro. Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort / Francisco Manzano-Agugliaro, Francisco G.Montoya, AndrésSabio-Ortega, Amós García-Cruz // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. - 2015. - № 49. - p. 736-755. - Bibliography: 196 titles.
3. Barbara Widera. Bioclimatic architecture / Barbara Widera // *Journal of Civil Engineering and Architecture Research*. - 2015. - № 4. - p. 567-578. - Bibliography: 20 titles.
4. Umar Aliyu Mohammed. Application of Bioclimatic Design Strategies to Solve Thermal Discomfort in Maiduguri Residences, Borno State Nigeria // Umar Aliyu Mohammed, Assoc. Prof. Dr. Halil Zafer Alibaba. - *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*. - 2018. - № 1. - p. 227-233. - Bibliography: 17 titles.
5. Adekunle, T.; Nikolopoulou, M. Thermal comfort, summertime temperatures and overheating in prefabricated timber housing. *Build. Environ.* 2016, 103, 21–35
6. Charvátová, Hana & Procházka, Aleš & Zálešák, Martin. (2020). Computer Simulation of Passive Cooling of Wooden House Covered by Phase Change Material. *Energies*. 13. 10.3390/en13226065.
7. Sameti, Mohammad & Kasaeian, Alibakhsh. (2015). Numerical simulation of combined solar passive heating and radiative cooling for a building. *Building Simulation*. 8. 10.1007/s12273-015-0215-x.
8. Andronova O., Kurak V., Sokol K. Teplovyy rezhym budivli z pasyvnoyu sistemoyu opalennya [Thermal regime of a building with a passive heating system]. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Inzhenerni nauky*. [Bulletin of Kherson National Technical University. Engineering sciences], 2020, № 1(72), pp. 9-17.
9. Sokol K., Ohnyeva O. Rozrobka systemy komp'yuternoho modelyuvannya dlya optymizatsiyi parametriv pasyvnoyi systemy opalennya zakrytoho typu [Development of computer modeling system for optimization of parameters of closed type passive heating system]. *Problemy informatsiynykh tekhnolohiy* [Problems of information technologies], 2020, № 27, pp. 69-77.