

Державний вищий навчальний заклад  
«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**БОРДУН МАРИНА В'ЯЧЕСЛАВІВНА**

УДК 624.01:631.234:697.7–049.34

ДИСЕРТАЦІЯ

**КОНСТРУКЦІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СПОРУД ЗАКРИТОГО  
ГРУНТУ**

192 – Будівництво та цивільна інженерія

19 – Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ М.В. Бордун.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник: Савицький Микола Васильович, доктор технічних наук,  
професор

Дніпро – 2020

## АНОТАЦІЯ

*Бордун М. В.* Конструкції енергоефективних споруд закритого ґрунту. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (19 – Архітектура та будівництво). – Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Міністерства освіти і науки України, Дніпро, 2020.

Дисертаційна робота присвячена розробці та обґрунтуванню конструктивно-технологічних рішень енергоефективних споруд закритого ґрунту для індивідуальних фермерських господарств.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання дослідження, представлено новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію основних результатів дисертації, кількість публікацій, структуру та обсяг роботи.

**В першому розділі** «Об’ємно-планувальні та конструктивні рішення агроспоруд закритого ґрунту та їх обґрунтування» розглянуто та проаналізовано вітчизняні та закордонні наукові дослідження стосовно сучасних конструкцій споруд закритого ґрунту, наведено їх переваги та недоліки. Запропоновано класифікацію споруд закритого ґрунту за характерними ознаками, визначено основні способи підвищення енергоефективності, а саме: застосування нових енергоефективних матеріалів для світлопрозорих покриттів та конструкцій теплиці; розробка ефективних конструктивних рішень, геопросторового розташування, орієнтації за сторонами світу для збільшення сонячних теплонадходжень та зменшення теплових втрат через огорожуючі конструкції; системи добового і сезонного зберігання, перерозподілу та використання сонячної енергії в системах опалення споруд закритого ґрунту в холодний період.

Розглянуто типи світлопрозорих покриттів споруд закритого ґрунту, які є основним конструктивним елементом, запропоновано їх класифікацію. Виконано аналіз технічних характеристик світлопрозорих матеріалів для покриття споруд закритого ґрунту (плівка, скло і полікарбонат), визначено найбільш ефективний – сотовий полікарбонат.

Розглянуто методи дослідження процесів теплообміну в спорудах закритого ґрунту, а також розрахункові програмні комплекси для вирішення задач теплопередачі.

Виконаний аналіз відомих теоретичних і експериментальних досліджень, а також наявного практичного вітчизняного та закордонного досвіду дозволив підтвердити той факт, що розробка агроконструкцій закритого ґрунту з високими енергоефективними характеристиками є актуальною задачею, що має вагоме наукове та соціальне значення.

У **другому розділі** «Рациональне проектування світлопрозорого покриття споруд закритого ґрунту» виконано аналіз і узагальнення основних технічних характеристик сотового полікарбонату, а саме: опір теплопередачі, питома вага, світлопропускання, вартість та ін.; обґрунтовано його використання в якості світлопрозорого покриття для споруд закритого ґрунту, як такого, що має значні переваги серед представлених сьогодні на ринку матеріалів.

Розглянуто методи оцінки вартості життєвого циклу світлопрозорого покриття споруд закритого ґрунту: метод розрахунку чистої поточної (дисконтованої) вартості (NPV - net present value); метод розрахунку сукупної вартості (сукупних витрат, загальних витрат) (aggregate value - AV); метод розрахунку загальної річної вартості (aggregate annual value - AAV).

Теплиця, як і будь-який об'єкт будівництва, проходить наступні стадії життєвого циклу: створення, експлуатація і ліквідація. Тому, при оцінюванні вартості огорожуючих світлопрозорих конструкцій теплиці, необхідно враховувати витрати, пов'язані із життєвим циклом споруди. Для оцінювання вартості життєвого циклу споруди обрано метод розрахунку сукупної

вартості (сукупних витрат, загальних витрат) (aggregate value - AV), який полягає в перетворенні всіх витрат на будівництво, витрат на експлуатацію споруди за весь передбачуваний термін його служби та на ліквідацію споруди в розрахункову суму на рік очікуваного знесення споруди (так звані накопичені витрати).

У розділі встановлено залежність сукупної вартості життєвого циклу 1 кв. м теплиці від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування із різними відсотковими ставками на капітал.

На основі розрахунку сукупної вартості життєвого циклу при різних відсоткових ставках на капітал (aggregate value – AV), вартості енергії, капітальних затрат визначено раціональну товщину світлопрозорого покриття - полікарбонату - для споруд закритого ґрунту за критерієм енергоефективності і мінімальної вартості.

У **третьому розділі** «Розробка конструктивних рішень енергоефективних споруд закритого ґрунту» проведено дослідження радіаційного і теплового режиму світлопрозорого покриття, обґрунтовані параметри конструктивних рішень споруд закритого ґрунту з урахуванням основних факторів, які впливають на енергоефективність споруди, а саме: конструктивна форма, орієнтація і кут нахилу світлопрозорого покриття відносно сонячних променів, геопросторове розташування теплиці відносно поверхні землі.

Обрано найбільш раціональну конструктивну форму теплиці для умов м. Дніпра на основі порівняння обсягів сонячних теплонадходжень і теплових втрат через світлопрозорі конструкції теплиці протягом холодного періоду року (жовтень – квітень). Встановлено, що для форми типу «Веgetарій» різниця між тепловими втратами і сонячними тепло надходженнями є найменшою серед всіх розглянутих форм теплиць. Досліджено вплив орієнтації споруди відносно сторін світу на обсяг сонячних теплонадхожень протягом року. Встановлено, що найбільш вигідна орієнтація споруди за критерієм сонячних теплонадходжень є орієнтація в

південному напрямі. Також визначено, що із зміною орієнтації на південно-східний або південно-західний напрям теплонадходження до внутрішнього простору теплиці зменшуються лише на 1%.

Визначено найбільш раціональний кут нахилу світлопрозорого покриття в діапазоні від 20° до 90° в залежності від обсягу сонячних теплонадходжень. Найбільш раціональним кутом нахилу є діапазон від 35° до 45°.

Обґрунтовано раціональне геопросторове розташування теплиці відносно поверхні землі за критерієм сонячних теплових надходжень і теплових втрат через огорожувальні конструкції. Раціональним є наземне розташування теплиці. Із заглибленням теплиці в ґрунт теплові втрати через огорожуючі конструкції зменшуються, проте сонячне тепло надходження також зменшуються.

Запропоновані для подальшої реалізації енергоефективні конструктивні рішення споруд закритого ґрунту, можуть бути використані у практиці проектування і будівництва споруд закритого ґрунту для індивідуальних фермерських господарств. Розроблені конструктивні рішення впроваджено при розробці проектних пропозицій по реконструкції Центру-притулку Бетані в м. Малацки в рамках виконання міжнародного наукового проекту InStep Project International Sustainable Engineering Practices (Ref.21810098).

**В четвертому розділі** «Дослідження ефективності використання акумуляторів тепла в системі опалення споруд закритого ґрунту» проведено експериментальні дослідження температурно-вологісного режиму теплиці у весняний період (березень – квітень), розташованої в м. Дніпро, із розмірами в плані 7,9 x 7,3 і висотою 3,1 м, матеріал світлопрозорого огороження - сотовий полікарбонат товщиною 8 мм. Безперервні вимірювання температури і вологості повітря здійснювались в середині і зовні теплиці в період з 23.03.2019 р. – 06.04.2019 р. Вимірювання проводилися протягом встановленого періоду цілодобово з інтервалом вимірювань – 1 година. Встановлено, що діапазон коливань температур в теплиці протягом

експериментального періоду складає від  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $52\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що не відповідає встановленим нормам температури внутрішнього повітря для нормального росту і розвитку рослин.

Для зменшення коливань температур досліджено ефективність використання добового акумулятора тепла. Запропоновано теплотехнічну модель для розрахунку параметрів теплоакумулятора, яка враховує теплонадходження від сонячної радіації, теплові втрати через огорожуючі конструкції і тепло, яке накопичується в акумуляторі. На основі запропонованої математичної моделі теплотехнічних процесів в теплиці, як приклад, визначено раціональні параметри добового водяного теплоакумулятора для експериментальної теплиці. Запропонована математична модель теплиці дозволяє обрати оптимальний об'єм і розміри добового теплоакумулятора для будь-якої теплиці.

Досліджено ефективність використання сезонного теплоакумулятора із різними теплоакумуляуючими матеріалами для раціональної конструкції теплиці типу «Вегетарій» із розмірами в плані  $5,0 \times 8,0$  і висотою  $3,9$  м. Визначено найбільш ефективний матеріал для акумуляування теплової енергії - глауберова сіль.

Запропоновано технічне рішення сезонного багат шарового теплоакумулятора (пат. України 137026, А01G 9/14) для ефективного зберігання і використання теплової енергії в системі опалення теплиці. Використання в конструкції багат шарового теплоакумулятора мережі воздуховодів, обладнаних керованою системою датчиків і заслонок, теплоізоляційних шарів дозволяє зберігати тепло протягом тривалого часу, що в свою чергу знижує потребу в енергії при експлуатації споруди закритого ґрунту.

**Ключові слова:** споруда закритого ґрунту, теплиця, енергоефективність, сонячні теплонадходження, теплові втрати, світлопрозорі конструкції, акумуляція тепла, життєвий цикл.

## ABSTRACT

*Bordun M.V.* Energy-efficient structures of greenhouses. – Qualifying scientific work as a manuscript.

The dissertation for obtaining a degree of Doctor of Philosophy in specialty 192 «Construction and Civil Engineering» (19 – Architecture and Construction) – State Higher Education Institution “Prydniprovskya State Academy of Civil Engineering and Architecture”, Dnipro, 2021.

The research deals with the development and substantiation of structural and technological solutions for energy-efficient structures of greenhouses in private farming.

**In the introduction** the relevance of the research is grounded, the aim and the tasks are defined; originality and practical value of the findings are given. Information on the evaluation of results, the number of papers published, the structure and the length of the research are also provided.

The first section “Spatial and structural solutions for greenhouses” deals with the analysis of national and foreign scientific studies on modern greenhouse structures, considering their benefits and drawbacks.

The classification of greenhouses according to specific features was proposed. The main methods to improve energy-efficiency were defined. It was proposed to use new energy-efficient materials for light transparent coverings of greenhouses, to develop functional structural solutions, geospatial location, orientation to cardinal directions for better solar heat and lower heat losses due to protective structures, as well as systems for 24-h and seasonal storage, redistribution and application of solar energy in heating greenhouses in cold period.

The types of light transparent covering for greenhouses as a key structural element were considered. The classification of these materials was presented.

The analysis of technical characteristics of light transparent coverings for greenhouses (plastic sheet, glass, polycarbonate) was carried out. As a result,

cellular polycarbonate was defined as the most effective.

The research methods for heat transfer in greenhouses, as well as software packages to solve heat transfer problems were studied.

The analysis of well-known theoretical and experimental studies, along with national and foreign experience made possible to prove that the design and development of greenhouses with high energy-efficient characteristics is quite relevant and is of significant scientific and social value.

**The second section** “Rational design of light transparent covering of greenhouses” deals with the analysis and synthesis of the main technical characteristics of cellular polycarbonate, such as heat transfer resistance, specific weight, light transmission, price, etc. The application of this material for greenhouses as the beneficial one was substantiated.

The assessment methods for the lifecycle cost of light transparent coverings of greenhouses: NPV (net present value) method, AV (aggregate value) method, AAV (aggregate annual value) method were considered.

A greenhouse, as any other construction facility, has the following lifecycle stages: construction, maintenance and disposal. Therefore, assessing the cost of protective light transparent coverings, it is necessary to take into account the expenditures on the lifecycle of the structure. The total cost calculation method (aggregate value - AV) was chosen to assess the value of the life cycle of the structure. This method implies that all construction costs, operating costs during the entire service life and costs on the disposal of the structures will be equal to the total cost of the building estimated on year of the expected demolition (so-called accumulated costs).

The dependence of the total cost of 1 sq. m of greenhouse life cycle on the thickness of polycarbonate, taking into account discounting with different interest rates, is shown in the section.

Based on the aggregate value, energy cost, capital expenditures, it was possible to identify rational thickness of the light transparent covering – polycarbonate – for energy-efficient greenhouses at low cost.



**In the third section** “Structural solutions for energy-efficient greenhouses” the investigation of radiation and thermal behavior of light transparent covering was conducted. The parameters of structural solutions for greenhouses were grounded. They are based on the main factors which influence the energy-efficiency of the structure: its design shape, orientation and inclination angle of the light transparent covering towards sun rays, geospatial location towards ground surface.

The most rational design shape of the greenhouse for the climatic conditions of Dnipro was chosen based on the compared amount of solar heat and heat losses through the light transparent coverings over the cold period (October – April).

It was found out that for the “Vegetarium” design, the difference between heat losses and solar heat is the lowest among all designs considered.

It was studied how the orientation of the structure to the cardinal directions influences the amount of solar heat during a year. It was found that the south is the best direction. If orientation changes to the south-eastern or south-western direction the heat gains to the inside space of greenhouse will reduce by one per cent.

The most efficient inclination angle of the light transparent covering is at the range from  $20^{\circ}$  to  $90^{\circ}$ , depending on solar heat. The most efficient inclination angle is from  $35^{\circ}$  to  $45^{\circ}$ .

The rational geospatial location of a greenhouse towards ground surface according to solar heat and losses through protective covering was explained. It was concluded that the greenhouse should be located on the ground. When the greenhouse is made deeper into the ground, heat losses through the enclosing structures will decrease, but solar heat gains also will decrease.

The suggested energy-efficient structural solutions could be used in the further design and construction of greenhouses for individual farms. The developed solutions were implemented into design proposal for the Betany shelter reconstruction in Malatsky under the InStep Project, International Sustainable Engineering Practices (Ref.21810098).

**The fourth section** “Investigation of heat accumulators efficiency in heating greenhouses” provides the experimental results of the temperature and humidity conditions in the greenhouse in spring (March-April), located in Dnipro. The dimensions in the plan are as follows: 7.9 x 7.3, height - 3.1 m, the material of the light transparent covering - cellular polycarbonate, 8-mm thickness. Continuous measurements of temperature and humidity were carried out inside and outside of the greenhouse in the period from 23.03.2019 to 06. 04.2019. The measurements were taken during the established period around the clock with a measurement interval of 1 hour.

It was identified that the temperature fluctuation range in the greenhouse over the experimental period was from -1 °C to 52 °C, which does not conform to the indoor temperature rate to provide regular growth of plants.

To reduce temperature fluctuations, the efficiency of 24-h heat accumulator was studied. A heating model to calculate the heat accumulator parameters was proposed. It takes into account solar heat, solar losses through protective covering, as well as heat in the accumulator. Based on the proposed mathematical model of heating processes in the greenhouse, rational parameters of a 24-h water heat accumulator for the experimental greenhouse were defined as an example. The proposed mathematical model of the greenhouse allows choosing the optimal volume and size of the daily heat accumulator for any greenhouse.

The efficiency of seasonal heat accumulator with different heat-retaining materials for the rational design of “Vegetarium” greenhouse (5,0 x 8,0 and 3,9 m height) was studied. Sodium sulphate decahydrate was found as the most efficient material to retain heat energy.

A seasonal multilayer heat accumulator as a technical solution (patent of Ukraine 137026, A01G 9/14) was proposed for effective storage and application of heat energy in the greenhouse heating system. The network of ducts equipped with a controlled system of sensors and dampers, and also thermal insulation layers between accumulator material layers in a multilayer heat accumulator allows storing heat for a long time, which in its turn reduces energy needs during

operation of the greenhouse. It can store the heat for a long time, which makes the greenhouse energy efficient.

**Key words:** greenhouse, energy-efficiency, solar heat, solar losses, transparent protective covering, heat accumulation, lifecycle.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

### Наукові праці, у яких опубліковані основні результати дисертації

1. Бабенко М. М., Бордун М. В., Несін О. А. та ін. Рациональне проектування теплиці за критерієм вартості життєвого циклу. *Строительство, материаловедение, машиностроение* : Сб. науч. трудов. Дніпро, 2017. Вып. 99. С. 15 – 21.

2. Савицький М. В., Бабенко М. М., Несін О. А., Бордун М. В. Оптимізація геопросторового розташування теплиці за критерієм енергоефективності. *Строительство, материаловедение, машиностроение* : Сб. науч. трудов. Дніпро, 2017. Вып. 100. С. 124 – 130.

3. Savytskiy M., Bordun M., Spyrydonenkov V. The Sustainable Design of the Greenhouse by Criteria of Heat Losses and Solar Heat Gains. *Proceedings of EcoComfort 2020. Lecture Notes in Civil Engineering*. Lviv, 2020. Vol. 100. P. 393 – 401. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_48). (Scopus).

4. Bordun M., Savytskiy M., Babenko M., Rabensiefer R. Energy Efficiency of Greenhouses in Accordance with its Geospatial Location. *Hungarian Building Engineering Journal*. Budapest, 2019. № 1-2. P. 33 – 36. URL: <http://epgeplap.hu/lapszamok/cikk/2019/1/1116>.

### Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

5. Бордун М. В., Савицький М. В., Данішевський В. В. Використання теплоаккумуляторів в системах теплопостачання споруд закритого ґрунту. *Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-цивільного, промислового і транспортного призначення* : Тези XVII міжнар. наук.-практ. конф., м. Одеса, 9 – 13 верес. 2019 р. Дніпро, 2019. С. 8.

6. Бордун М. В., Савицький М. В., Данішевський В. В. Акумуляція сонячної енергії для опалення теплиць. *Проблеми механіки залізничного транспорту: Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження* : Тези допов. XV міжнар. конф., м. Дніпро, 22 – 23 жовт. 2020 р., Дніпро, 2020. С. 17 – 21.

7. Адегов О. В., Бордун М. В., Сопільняк А. М., Шляхов К. В. Індивідуальний житловий будинок з інтегрованою енергоефективною спорудою (вегетарієм). *Моделювання та оптимізація будівельних композитів* : матеріали міжнар. семін., м. Одеса, 21 – 22 листоп., 2019. Одеса, 2019. С. 7 – 9.

### **Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації**

8. Бабенко М. М., Бордун М. В., Савицький М. В. та ін. Зелені будівлі для сталого розвитку житлового будівництва : монографія. Дніпро : Удовиченко О. М., 2018. 99 с.

9. Babenko M. M., Savytskyi M. V., Bordun M. V., Shekhorkina S. Y. and other. Inspiring materials for triple zero buildings design : monograph. Dnipro : Udovichenko O. M., 2019. 127 p.

10. Savytskyi M., Babenko M., Bordun M., Yurchenko Ye., Koval O. The efficiency of using solar energy for heating of greenhouses. *Innovative lifecycle technologies of housing, industrial and transportation objects* : monograph / under the gen. ed. M. Savytskyi. Dnipro, 2018. P. 61 – 67.

11. Bordun M. V. Residential buildings with integrated agro-industrial energy-efficient constructions. *Science and technology: perspectives of the XXI century* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, м. Дніпро, 30 – 31 берез., 2017 р. Дніпро, 2017. С. 23 – 24.

12. Теплиця з багатошаровим теплоаккумулятором: Пат. 137026 Україна: МПК А01G 9/14 (2006.01). № u201902967; заявл. 26.03.2019; опубл. 25.09.2019, Бюл. № 18.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ .....	2
ВСТУП .....	16
РОЗДІЛ 1. ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ АГРОСПОРУД ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ ТА ЇХ ОБҐРУНТУВАННЯ .....	22
1.1. Класифікація культиваційних споруд закритого ґрунту .....	22
1.2. Способи підвищення енергоефективності споруд закритого ґрунту .	31
1.3. Методи дослідження процесів теплообміну в спорудах закритого ґрунту.....	45
1.4. Короткі висновки і завдання даного дослідження .....	50
1.5. Список використаних джерел у розділі 1 .....	51
РОЗДІЛ 2. РАЦІОНАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ СВІТЛОПРОЗОРОГО ПОКРИТТЯ СПОРУД ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ .....	52
2.1. Основні технічні характеристики сотового полікарбонату.....	52
2.2. Методи оцінки вартості життєвого циклу світлопрозорого покриття споруд закритого ґрунту.....	54
2.3. Раціональне проектування світлопрозорого покриття із сотового полікарбонату для споруд закритого ґрунту за критерієм вартості життєвого циклу .....	58
2.4. Висновки до розділу 2 .....	67
2.5. Список використаних джерел у розділі 2 .....	67
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СПОРУД ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ .....	68
3.1. Основні фактори, що впливають на ефективність конструкцій споруд закритого ґрунту.....	68

	14
3.2. Залежності для дослідження радіаційного режиму світлопрозорих поверхонь .....	71
3.3. Вибір конструктивної форми теплиці за критерієм сонячних теплонадходжень і теплових втрат .....	75
3.4. Вплив орієнтації теплиці і куту нахилу світлопрозорого покриття на показники енергоефективності .....	90
3.5. Дослідження геопросторового розташування теплиці за критерієм енергоефективності .....	95
3.6. Висновки до розділу 3 .....	109
3.7. Список використаних джерел у розділі 3 .....	111
<b>РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АКУМУЛЯТОРІВ ТЕПЛА В СИСТЕМІ ОПАЛЕННЯ СПОРУД ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ .....</b>	<b>112</b>
4.1. Експериментальні дослідження температурно-вологісного режиму теплиці у ранньо-весняний період .....	112
4.2. Результати досліджень ефективності використання добового акумулятора тепла .....	116
4.3. Результати досліджень ефективності використання сезонного акумулятора тепла .....	124
4.4. Конструкція сезонного теплоакумулятора для теплиці типу «Вегетарій» .....	136
4.5. Висновки до розділу 4 .....	139
4.6. Список використаних джерел у розділі 4 .....	140
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>141</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>145</b>
<b>ДОДАТОК А. Список публікацій здобувача та відомості про апробацію ...</b>	<b>160</b>

ДОДАТОК Б. Сукупна вартість життєвого циклу 1 кв. м теплиці в залежності від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування .....	163
ДОДАТОК В. Теплові втрати і теплові надходження до об'єму теплиць ....	168
ДОДАТОК Г. Експериментальні дані зміни температури і вологості повітря всередині і зовні теплиці .....	185
ДОДАТОК Д. Акти впровадження.....	199

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Однією з першочергових цілей Сталого розвитку, прийнятих на саміті ООН у 2015 році є «Zero Hanger» - подолання голоду, досягнення продовольчої безпеки, поліпшення харчування і сприяння сталому розвитку сільського господарства. Відповідно до Глобальних цілей сталого розвитку, забезпечення населення якісними і доступними продуктами харчування в достатній кількості є одним із найголовніших питань для будь-якої держави.

Сьогодні агропромисловий сектор є однією з найбільш значущих галузей національної економіки України. Майже 90% потреб у продовольстві населення країни задовольняється за рахунок продукції вітчизняного виробництва. Але існують проблеми, які несуть потенційні загрози продовольчій безпеці. Насамперед, це відсутність збалансованості у харчуванні українців. Так, пересічний громадянин, споживає приблизно на 45 % менше відповідно до науково обґрунтованих норм якісних продуктів харчування. Це пояснюється тим, що в умовах світової кризи вартість продуктів харчування постійно зростає, а рівень доходів населення - знижується. Обмежена купівельна спроможність населення змушує виробників стримувати зростання цін за рахунок зниження якості продукції. Популярність застосування хімікатів при промисловому виробництві продукції рослинництва, що завдає шкоди здоров'ю людей, змушує частину споживачів задуматися про альтернативні джерела продовольства.

Вагомим рішенням цієї проблеми є використання споруд закритого ґрунту (присадибних теплиць) для малих і середніх індивідуальних фермерських господарств. Рослинництво закритого ґрунту при використанні методу органічного землеробства дозволяє забезпечити населення свіжою та екологічною продукцією протягом всього року.

Теплиці, які функціонують цілий рік, являють собою складні і енергоємні технічні об'єкти з розгалуженою інфраструктурою електро-, тепло- і водопостачання. А в умовах постійного зростання цін на енергетичні



ресурси визначальним фактором формування собівартості тепличної продукції стають витрати на енергоносії. В собівартості тепличних овочів частка витрат на енергоресурси складає від 30 до 70%.

За часів СРСР в Україні були створені значні тепличні комплекси, конструктивні рішення яких обумовлювалися наявними на той момент матеріалами і низькою ціною енергоресурсів, що не відповідає сьогоденним реаліям.

На сьогодні, існуючі конструктивні рішення споруд закритого ґрунту недостатньо обґрунтовані, тому розробка агроконструкцій закритого ґрунту з високими енергоефективними характеристиками є актуальною задачею, що має вагоме наукове та соціальне значення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** Дисертаційна робота відповідає основним напрямкам наукових досліджень кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». Робота виконувалася у рамках держбюджетних тем: «Наукові основи створення будівельно-аграрних кластерів із замкнутим циклом матеріальних та енергетичних потоків», номер державної реєстрації 0117U00367 (термін виконання 2017-2018 рр., виконавець) та «Науково-практичні засади проектування автономних екобудівель за концепцією «потрійний нуль», номер державної реєстрації 0117U006728 (термін виконання 2017 – 2020 рр., відповідальний виконавець).

**Мета та задачі дослідження.** Метою роботи є наукове обґрунтування конструктивно-технологічних рішень енергоефективних споруд закритого ґрунту для індивідуальних фермерських господарств.

Поставлена мета визначила перелік задач дослідження:

- виконати аналіз існуючих об'ємно-планувальних, конструктивних та технологічних рішень, визначити вплив визначальних факторів на енергоефективність споруд закритого ґрунту;

- обґрунтувати тип і дослідити ефективність світлопрозорого покриття споруд закритого ґрунту за критерієм енергоефективності і вартості життєвого циклу;

- запропонувати об'ємно-планувальні та конструктивні рішення споруд закритого ґрунту і виконати їх дослідження для підвищення енергоефективності;

- провести експериментальні дослідження температурно - вологісного режиму теплиці; визначити і обґрунтувати конструктивні рішення акумуляторів тепла добового і сезонного накопичення, зберігання і використання сонячної енергії при експлуатації споруд закритого ґрунту.

**Об'єкт дослідження** – процес забезпечення енергоефективності споруд закритого ґрунту агропромислового призначення для індивідуальних фермерських господарств.

**Предмет дослідження** – закономірності теплофізичних, енергетичних і техніко-економічних характеристик споруд закритого ґрунту при зміні визначальних параметрів.

**Методи дослідження.** Аналіз і синтез існуючих досліджень підвищення енергоефективності споруд закритого ґрунту; методи оцінки вартості життєвого циклу споруди; експериментальні дослідження температурно-вологісного режиму теплиці; математичне моделювання процесів теплообміну в теплиці.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- вперше розроблено метод визначення раціональних характеристик світлопрозорого покриття для споруд закритого ґрунту з урахуванням життєвого циклу споруди;

- удосконалено метод визначення раціональної форми, орієнтації та геопросторового розташування споруд закритого ґрунту для індивідуальних фермерських господарств за критерієм енергоефективності;

- дістало подальшого розвитку визначення раціональних параметрів добового і сезонного акумуляторів тепла для вирівнювання коливань

температур в споруді;

- вперше запропоноване конструктивне рішення енергоефективної теплиці з багатошаровим сезонним теплоакумулятором.

**Практичне значення отриманих результатів:**

- розроблена методика визначення раціонального світлопрозорого покриття для споруд закритого ґрунту за критерієм енергоефективності і вартості життєвого циклу споруди може бути використана при виборі типу світлопрозорого покриття для споруд закритого ґрунту для індивідуальних фермерських господарств;

- запропоновані для подальшої реалізації енергоефективні конструктивні рішення споруд закритого ґрунту, які можуть бути використані у практиці проектування і будівництва споруд закритого ґрунту. Розроблені конструктивні рішення впроваджено при розробці проектних пропозицій по реконструкції Центру-притулку Бетані в м. Малацки (в рамках виконання міжнародного наукового проекту InStep Project International Sustainable Engineering Practices Ref.21810098);

- розроблено методику визначення раціональних параметрів добового акумулятора тепла для вирівнювання температурних коливань в теплиці у ранньо - весняний період, яка дозволяє обрати розміри добового акумулятора тепла для будь-якої теплиці;

- запропоноване технічне рішення енергоефективної теплиці з багатошаровим теплоакумулятором захищене патентом України (№137026), дозволить знизити витрати енергоресурсів при експлуатації теплиці і може бути використане у практиці проектування і будівництва споруд закритого ґрунту.

Результати роботи знайшли практичне впровадження у навчальному процесі, зокрема у дипломному проектуванні, магістерських програмах для студентів напряму підготовки 192 – будівництво та цивільна інженерія.

**Особистий внесок здобувача** в наукових працях опублікованих у співавторстві: досліджено основні характеристики світлопрозорих покриттів

споруд закритого ґрунту за критеріями енергоефективності і вартості життєвого циклу [1]; виконано оптимізацію геопросторового розташування теплиці за критерієм енергоефективності [2]; проведено теоретичні і експериментальні дослідження щодо ефективності використання сонячної енергії в системі опалення теплиць [4, 10]; обґрунтовано вибір об'ємно-планувальних та конструктивних рішень споруд закритого ґрунту [3, 7, 11], досліджено ефективність використання добової і сезонної акумуляції тепла в системах опалення споруд закритого ґрунту [5, 6]; у запатентованому технічному рішенні за участю автора запропоновано енергоефективну конструкцію теплиці з багат шаровим теплоакумулятором [12].

**Апробація матеріалів дисертації.** Результати дисертаційної роботи доповідалися та отримали позитивні оцінки на: міжнародній міжвузівській науково-практичній конференції молодих вчених «Наука і техніка: перспективи ХХІ століття», м. Дніпро, ПДАБА (30 – 31 березня 2017 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Створення високотехнологічних соціоекокомплексів в Україні на основі концепції збалансованого стійкого розвитку», м. Львів (22 - 26 травня, 2017 р.); XV міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-цивільного, промислового і транспортного призначення», м. Львів (вересень, 2017 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Sustainable housing and human settlement (SHHS 2018)» (травень 2018 р.), м. Братислава, Словацький технологічний університет (Словаччина); XVI міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-цивільного, промислового і транспортного призначення" (вересень, 2018 р.), м. Львів; XVII міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-цивільного, промислового і транспортного призначення» (9–13 вересня 2019 р.), м. Одеса; II міжнародній науковій конференції «Ecosomfort and current issues of civil engineering» (16 – 18 вересня, 2020 р.), м. Львів, НУ «Львівська політехніка»; XV Міжнародній

конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту. Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження» (22 – 23 жовтня 2020 р.), м. Дніпро, ДНУЗТ; масштабному міждисциплінарному Кросс-секторі навчання в рамках проекту InStep (15 – 17 травня 2019 р.), м. Братислава, Словацький технологічний університет (Словаччина); міжнародному семінарі «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» (21 – 22 листопада 2019 р.), м. Одеса, ОДАБА.

**Публікації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи опубліковані в 12 наукових працях, з яких: 2 статті у наукових фахових виданнях, які відповідають переліку МОН України, 1 – у виданні, що включене до міжнародної наукометричної бази Scopus; 1 публікація у періодичному науковому виданні держави Європейського Союзу; 3 публікації апробаційного характеру; 4 додаткові публікації; 1 патент України на корисну модель.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 129 найменувань та 5 додатків. Загальний обсяг роботи складає 201 сторінка, у тому числі 123 сторінки основного тексту, 68 рисунків та 19 таблиць.

## РОЗДІЛ 1.

# ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ АГРОСПОРУД ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ ТА ЇХ ОБҐРУНТУВАННЯ

### 1.1. Класифікація культиваційних споруд закритого ґрунту

Культиваційні споруди - це споруди агропромислового призначення в яких створюються сприятливі штучні умови для вирощування різних видів рослинницької продукції. Основними типами культиваційних споруд є парники і теплиці.

Парники - вид споруди закритого ґрунту, конструкція яких складається із легкого каркасу і з'ємного покриття. Такі споруди мають невеликі розміри і не обладнані інженерними системами для забезпечення внутрішнього мікроклімату, і розраховані, переважно, на нетривале ранньо - весняне і весняне вирощування овочів і розсади.

Теплиці є основними спорудами в сучасному промисловому рослинництві захищеного ґрунту і призначені, переважно, для цілорічного вирощування різних видів сільськогосподарської продукції. На відміну від парників вони мають значно більші розміри, що дає можливість створення всередині теплиці штучного мікроклімату і встановлення режиму, при якому забезпечуватиметься швидке зростання і висока врожайність овочевих культур незалежно від пори року і погодних умов.

Теплиці класифікують за багатьма ознаками, а саме: за функціональним призначенням, за часом експлуатації, за технологіями вирощування рослин, за видами світлопрозорого огородження, за матеріалами елементів конструкцій, за геопросторовим розташуванням, за об'ємно-планувальними і конструктивними рішеннями, за інженерним оснащенням – видами опалення, вентиляції і водопостачання.

За функціональним призначенням теплиці поділяють на овочеві, розсадні (виробництво розсади для відкритого ґрунту), квіткові (оранжереї), селекційні, теплиці для вирощування грибів. За часом експлуатації – на

цілорічні (з штучним обігріванням) і весняно – літньо – осінні (з обігріванням за рахунок сонячної радіації і влаштуванням додаткового опалення [1].

За технологією вирощування рослин відрізняють наступні моделі закритого сільського господарства: ґрунтові - вирощування сільськогосподарських культур на ґрунтових сумішах (рис. 1.1, а); гідропонні - вирощування сільськогосподарських культур на штучних субстратах, у басейнах або стелажах (рис. 1.1, б); аеропонні - вирощування рослин в повітряному середовищі без використання ґрунту, при якому поживні речовини до коренів рослин доставляються у вигляді аерозолу (рис. 1.1, в); аквапонні - високотехнологічний спосіб ведення сільського господарства, що поєднує розведення риби і гідропоніки (рис. 1.1, г) [2, 3, 4].

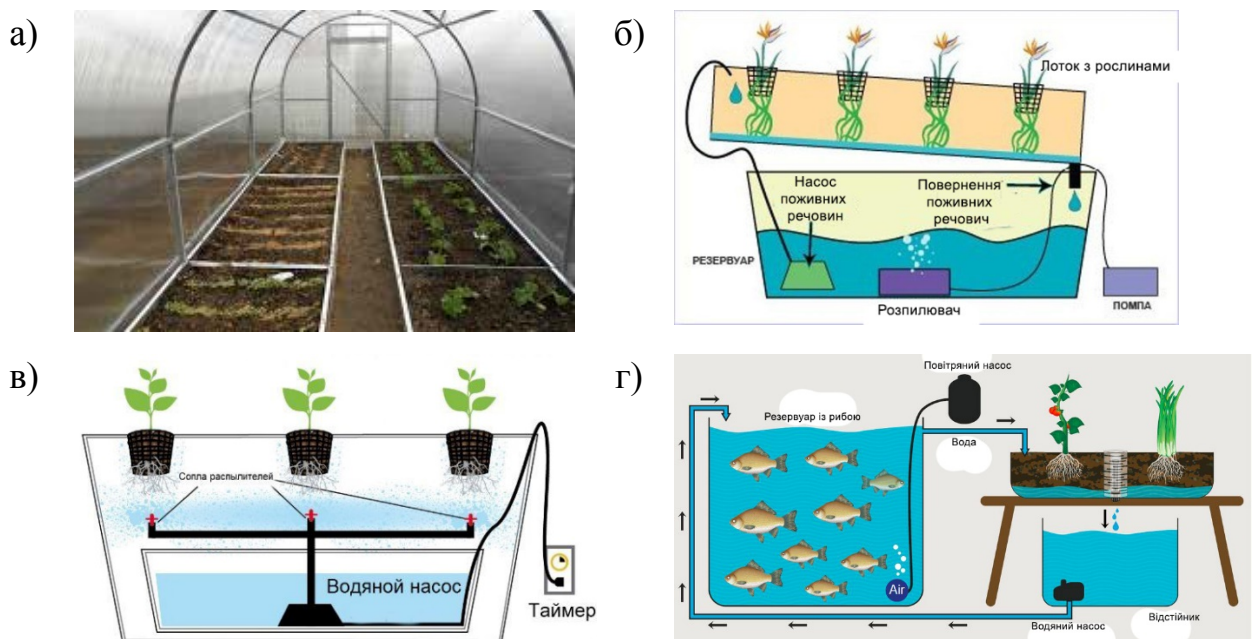


Рисунок 1.1 – Моделі закритого сільського господарства: а) ґрунтова; б) гідропонна; в) аеропонна; г) аквапонна

За видами світлопрозорого огороження розрізняють плівкові, скляні і теплиці з покриттям із полімерних матеріалів (полікарбонат). Кожне з цих покриттів має як переваги, так і недоліки. Світлопрозорі огорожуючі конструкції є основним конструктивним елементом теплиці. Сонячне

випромінювання, що проникає в теплицю через світлопрозорі конструкції, створює необхідний світловий і температурно-вологісний режим для нормального росту і розвитку рослин в теплицях.

Види світлопрозорих покриттів, які використовують в спорудах закритого ґрунту представлені на рис. 1.2.

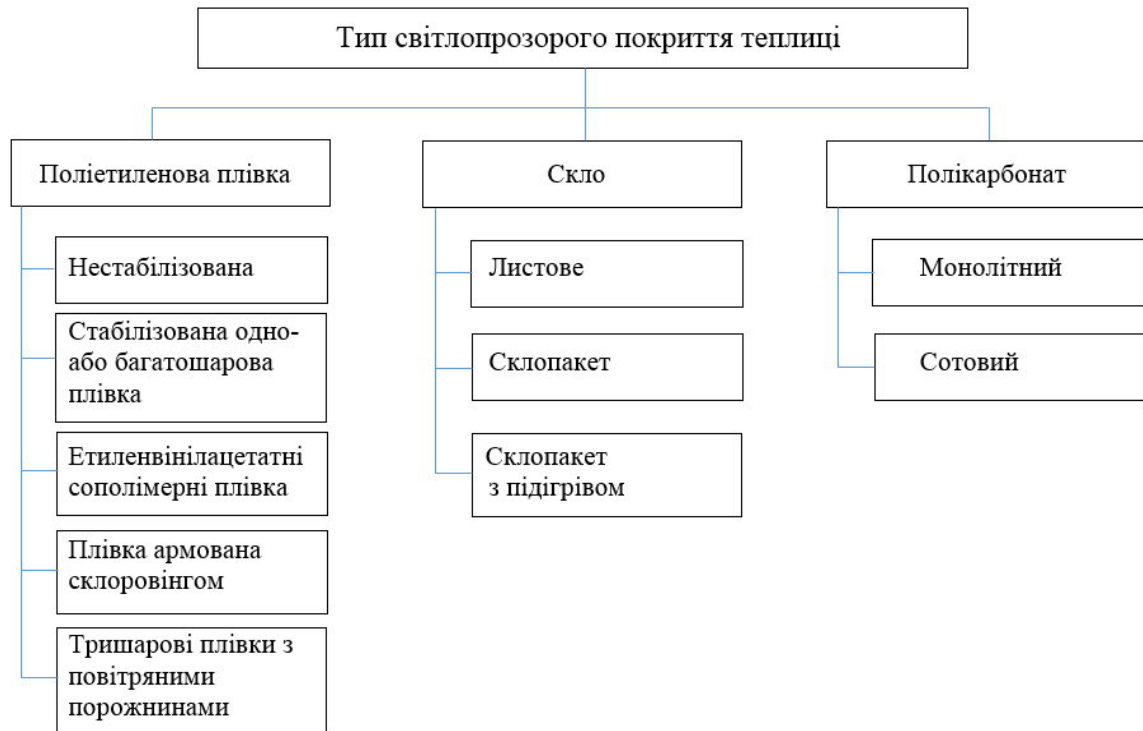


Рисунок 1.2 – Типи світлопрозорих покриттів теплиць  
(класифікація автора)

На вибір матеріалу для світлопрозорих покриттів споруд закритого ґрунту впливають різні фактори: призначення споруди, фізичні і механічні характеристики матеріалу (міцність, світлопрозорість, теплозахисні властивості, морозостійкість, вага), вартість, довговічність, простота і зручність монтажу.

Поліетиленова плівка найбільш поширений і дешевий матеріал для покриття теплиць. Інтенсивний розвиток теплиць під плівку прийшовся на 60 - ті роки ХХ століття, чому сприяла поява полімерної плівки. Для покриття теплиць, зазвичай, застосовується стабілізована поліетиленова плівка 150 - 200 мікрон. За рахунок введення в плівку світлостабілізуючих



добавок вона набуває стійкості до руйнуючого ультрафіолетового випромінювання. Залежно від кліматичних характеристик використовується одинарна або подвійна плівка. Подвійна плівка більш міцна, але і має меншу ступінь світлопропускання [5].

Вибір плівкових світлопрозорих покриттів для теплиць в останні роки значно розширився, для покриття теплиць також використовують етиленвінілацетатні сополімерні плівки, армовані склоровінгом та тришарові плівки з повітряними порожнинами [6, 7].

Основний недолік поліетиленової плівки – це її недовговічність (1 - 2 роки експлуатації для звичайної немодифікованої плівки, до 5 років – для модифікованої плівки). Вона сприйнятлива до механічного руйнування під впливом підвищених температур, сонячної радіації і вітру. Крім того, з часом погіршується її світлопроникність [8, 9, 10]. Серед переваг плівки можна відзначити її вкрай малу вагу -  $0,19 \text{ кг/м}^2$ , легкість транспортування і монтажу, невисоку вартість, високу ступінь прозорості - до 93% [5].

Скло - традиційний матеріал для покриття теплиць, якому багато років не було альтернативи. Більшість теплиць, побудованих в минулі роки, мають скляні світлопрозорі покриття. Безсумнівними перевагами скла є висока прозорість, що не змінюється з часом - до 92%. Завдяки низькому пропусканню в області інфрачервоного випромінювання, скло забезпечує створення «тепличного», або «парникового», ефекту і тим самим, сприятливого температурно-вологісного режиму в теплиці. Хімічна інертність і висока стійкість до абразивних впливів дають можливість поверхні скла зберігати бездоганний зовнішній вигляд необмежений час. Термін служби скла перевершує всі інші матеріали - до 50 років. Проте, скло - достатньо крихкий матеріал, часто б'ється, не витримує снігового навантаження і ударів граду. Значним недоліком скляного покриття є його вага, яка, в середньому, складає  $10 \text{ кг/м}^2$ , тому слід враховувати той факт, що будівництво каркасу і фундаменту теплиці із скла – це значні капітальні витрати у порівнянні із іншими матеріалами, такими як поліетиленова плівка

і сотовий полікарбонат. Також скло має високу теплопровідність 0,72-1,0 Вт/м<sup>2</sup>·К, що підвищує витрати на додатковий обігрів теплиці в холодний період [5].

Іноді в якості світлопрозорого покриття для теплиць використовують однокамерні та двокамерні склопакети. Також нещодавно на будівельному ринку були представлені склопакети з електропідігрівом, в яких на внутрішню поверхню склопакету нанесено тонку низькоемісійну плівку на основі оксидів металів, що виступає в якості нагрівального елемента [11, 12]. Але значна вартість таких конструктивних рішень на даний час обмежує їх використання.

Сьогодні для улаштування світлопрозорих покриттів споруд закритого ґрунту все частіше використовують сотовий полікарбонат. Полікарбонат відноситься до класу синтетичних полімерів і є складним полієфіром вугільної кислоти та фенолів.

Сотовий полікарбонат має дуже високу прозорість (82 - 86%), є надзвичайно стійким до ударів матеріалом, а також володіє високою міцністю на розрив і вигин, тепло- і вогнестійкістю. Його властивості мало змінюються з підвищенням температури, а критично низькі температури, що ведуть до крихкості, знаходяться за межами можливих негативних температур експлуатації.

Завдяки ультрафіолетовому (УФ) захисному шару, який нанесено методом соекструзії, полікарбонат є стійким до УФ-випромінювання [13, 14, 15].

Основними технічними характеристиками, якими керуються при виборі світлопрозорого матеріалу для покриття споруд закритого ґрунту є світлопропускання, опір теплопередачі, питома вага, міцність, термін експлуатації і вартість.

Технічні характеристики світлопрозорих матеріалів (поліетиленова плівка, скло, сотовий полікарбонат) для покриття споруд закритого ґрунту наведено в таблиці 1.1 [5, 6, 16, 17].

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики світлопрозорих матеріалів для покриття споруд закритого ґрунту

Показники характеристик матеріалу	Плівка поліетиленова (0,200 мм)	Скло (4 - 6 мм)	Сотовий полікарбонат (6 мм)
Питома вага, кг/м <sup>2</sup>	0,2	10..15	1,2...1,3
Ступінь прозорості, %	88...90	89...92	82...86
Теплопровідність, Вт/м К	0,3...0,5 підвищується із зниженням температури	0,72...1,0	0,19...0,22
Коефіцієнт теплопередачі, Вт/м <sup>2</sup> К		5,8	3,4
Термін експлуатації, рік	2...5	до 50	10...15

Порівняння і аналіз характеристик світлопрозорих матеріалів для покриття споруд закритого ґрунту (плівка, скло і полікарбонат) показує, що, на сьогодні, сотовий полікарбонат має значні переваги серед інших матеріалів, які представлені на ринку. При високій ступені прозорості до 86%, сотовий полікарбонат міцніший за інші матеріали, має значно вищі теплозахисні властивості, у порівнянні із плівкою і склом. Він значно легший за скло, що скорочує витрати на улаштування каркасу теплиці. Але, в існуючих дослідженнях недостатньо даних про вплив теплозахисних властивостей світлопрозорих покриттів на вартість життєвого циклу споруди, тому це питання потребує додаткового вивчення.

Важливим конструктивним елементом теплиці є каркас - несуча конструкція споруди до якої монтується світлопрозоре покриття. До каркасу теплиці висувають досить високі вимоги, він сприймає всі навантаження, а саме вітрові, снігові, навантаження від світлопрозорої огорожі, забезпечує стійкість споруди при різних умовах. Тому він є одним із елементів теплиці, який впливає на надійність і довговічність споруди.

Вибір матеріалу для елементів каркасу залежить від багатьох факторів і потребує індивідуального підходу. Для виготовлення каркасу теплиці застосовують дерево, метал (легкі сталеві тонкостінні конструкції, профільний метал, сплави), полімерні матеріали, або комбіновані конструкції. Кожен з цих матеріалів має свої особливості при зведенні та експлуатації каркасу споруди (табл. 1.2 класифікація автора).

Таблиця 1.2 – Характеристика матеріалів каркасу теплиць

<b>Матеріал каркасу теплиць</b>	<b>Переваги</b>	<b>Недоліки</b>
Деревина	легкість монтажу; невисока вартість; низька теплопровідність; екологічність.	низька вологостійкість і біостійкість (потребує регулярної антигрибкової обробки).
Металевий профіль	міцність; довговічність; несуча здатність; морозостійкість.	висока вартість; складний монтаж; потребує антикорозійного захисту; висока теплопровідність.
Легкі сталеві тонкостінні конструкції (ЛСТК)	висока корозійна стійкість; легкість монтажу; низька вартість; довговічність; морозостійкість; екологічність.	велика кількість елементів кріплення; обмежена стійкість до снігового навантаження; висока теплопровідність.
Алюмінієвий профіль	висока корозійна стійкість; міцність; довговічність; вогнестійкість; легкість монтажу; екологічність.	висока вартість; висока теплопровідність.
Полімерні матеріали	легкість монтажу; довговічність; гідрофобність; низька теплопровідність; легка вага.	низька несуча здатність.

Перш за все, на вибір матеріалу каркасу впливають об'ємно-планувальні та конструктивні рішення.

За об'ємно-планувальними рішеннями теплиці поділяють на ангарні (однопрогонові) та блочні (багатопрогонові) (рис. 1.3).

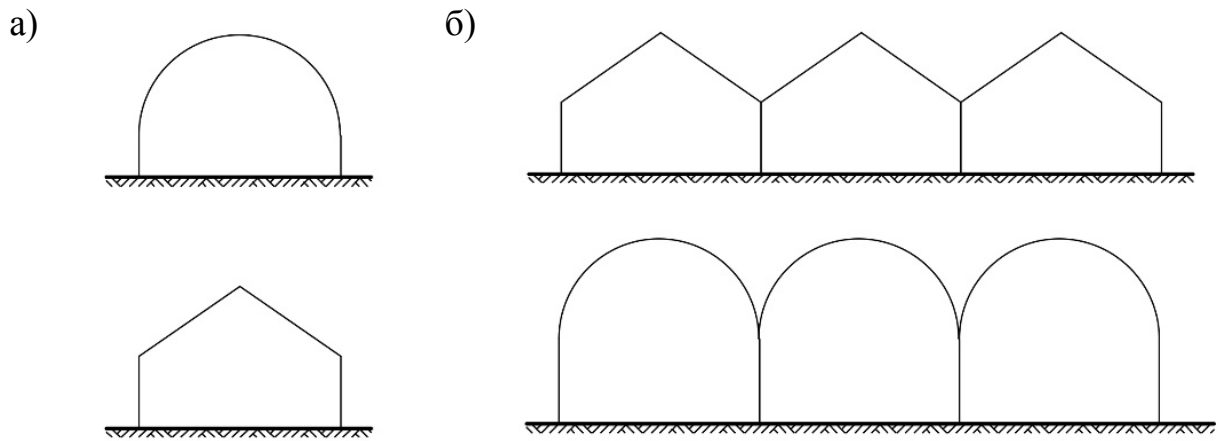


Рисунок 1.3 – Типи теплиць за об'ємно-планувальними рішеннями:

а) ангарні (однопрогонові); б) блочні (багатопрогонові)

За формою теплиці класифікують на односхилі теплиці, двосхилі теплиці з рівномірним і нерівномірним покриттям, на теплиці з двосхилим рівномірним покриттям і похилими стінами, аркові (рис. 1.4).

Прямокутна теплиця з двосхилим рівномірним покриттям - традиційна форма окремо розташованих теплиць. У класичного варіанту всі стіни знаходяться під прямим кутом до землі. Оптимальний кут нахилу покриття 25-40 градусів і залежить від умов освітленості і особливостей клімату в регіоні - чим більші снігові навантаження, тим більше кут нахилу (рис. 1.4, а).

Прямокутні теплиці з двосхилим нерівномірним покриттям. В теплицях з нерівномірним двосхилим покриттям, зазвичай, збільшують площу однієї сторони похилого покриття, яка орієнтована в південному напрямку, для збільшення кількості сонячної теплової енергії, що надходить в теплицю. Іноді, іншу сторону виконують із непрозорих будівельних матеріалів, для зниження теплових втрат (рис. 1.4, б).

Також прикладом теплиці з двосхилим нерівномірним покриттям може бути теплиця Мітглайдера [20]. Основною відмінністю теплиці Мітглайдера від звичайної двосхилої теплиці є конструктивне рішення улаштування в різних рівнях коньків схилів покриття і улаштування між ними додаткових отворів для вентиляції об'єму теплиці.

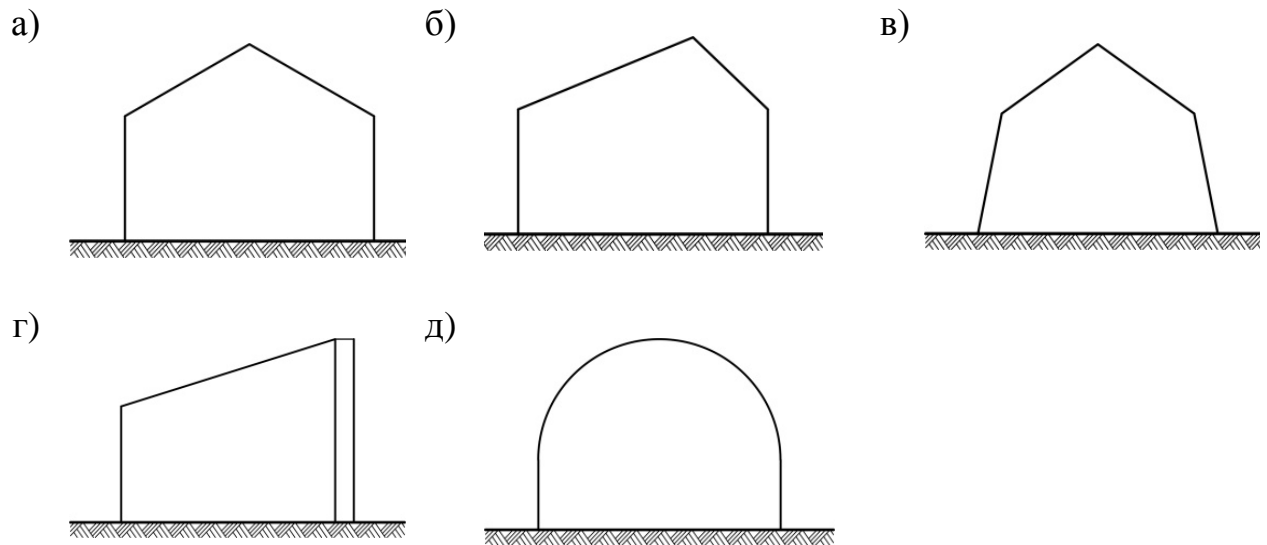


Рисунок 1.4 – Найбільш поширені конструктивні форми теплиць:

- а) прямокутна теплиця з двосхилим рівномірним покриттям; б) прямокутна теплиця з двосхилим нерівномірним покриттям; в) прямокутні теплиці з двосхилим покриттям і похилими стінами; г) односхила теплиця; д) аркова теплиця

В прямокутних теплицях з двосхилим покриттям і похилими стінами (голландська теплиця) останні влаштовують з нахилом в середину під незначним кутом. За рахунок цього збільшується основа теплиці, що дає більше місця для розташування грядок (рис. 1.4, в).

Односхила теплиця має одну непрозору капітальну стіну, яка, зазвичай, орієнтована на північ, і односхилу покрівлю орієнтовану в південному напрямку. Така форма теплиці сприяє зниженню теплових втрат через огорожувальні конструкції, завдяки наявності непрозорої стіни, і збільшенню сонячної теплової енергії, що потрапляє в середину теплиці, завдяки збільшеній площі похилого покриття у порівнянні із звичайною теплицею (рис. 1.4, г). Прикладом такої теплиці є відомий вегетарій Іванова А.В. [18, 19].

Аркова форма дозволяє робити теплиці меншої висоти, ніж вимагають

конструкції з вертикальними стінами. Така конструкція пропускає більшесонячного світла всередину приміщення, оскільки має меншу відбивну поверхню. Проте догляд за рослинами в таких конструкціях дещо ускладнений із-за округлої форми стін (рис. 1.4, д).

Існують також і інші форми теплиць, наприклад, краплеподібні, багатокутні, купольні, призматичні, пірамідальні, але ці форми менш поширені із-за складності монтажу, або збільшення капітальних витрат на улаштування такої теплиці порівняно із звичайною формою теплиці [21].

За геопросторовим розташуванням теплиці розрізняють: за орієнтацією відносно сторін світу, відносно рівня поверхні ґрунту (розташовані на поверхні, заглиблені в ґрунт, підземні), а також комбіновані з різними будівлями – житловими, агропромисловими (рис. 1.5).

Класифікація автора споруд закритого ґрунту наведена на рис. 1.6.

## **1.2. Способи підвищення енергоефективності споруд закритого ґрунту**

Першочергове призначення споруд закритого ґрунту – це створення оптимального мікроклімату для росту і розвитку рослин незалежно від зовнішніх кліматичних умов.

Зазвичай споруди закритого ґрунту використовують для вирощування рослинницької продукції в місцевостях де географічні фактори або сезонні кліматичні умови не дозволяють вирощувати рослини у відкритому ґрунті. Але навіть наявність самої конструкції теплиці не вирішує в повній мірі задачі забезпечення оптимальних умов для вирощування рослин.

У звичайній теплиці протягом доби спостерігається широкий діапазон коливань температур і вологості повітря. Різниця денних і нічних температур всередині споруди може сягати 40 °С і більше і це тільки у вегетаційний період. Що стосується теплиць, які експлуатуються протягом року, то температурний режим всередині теплиці у холодний період майже не відрізняється від зовнішнього температурного фону, якщо така теплиця не оснащена системою обігріву.

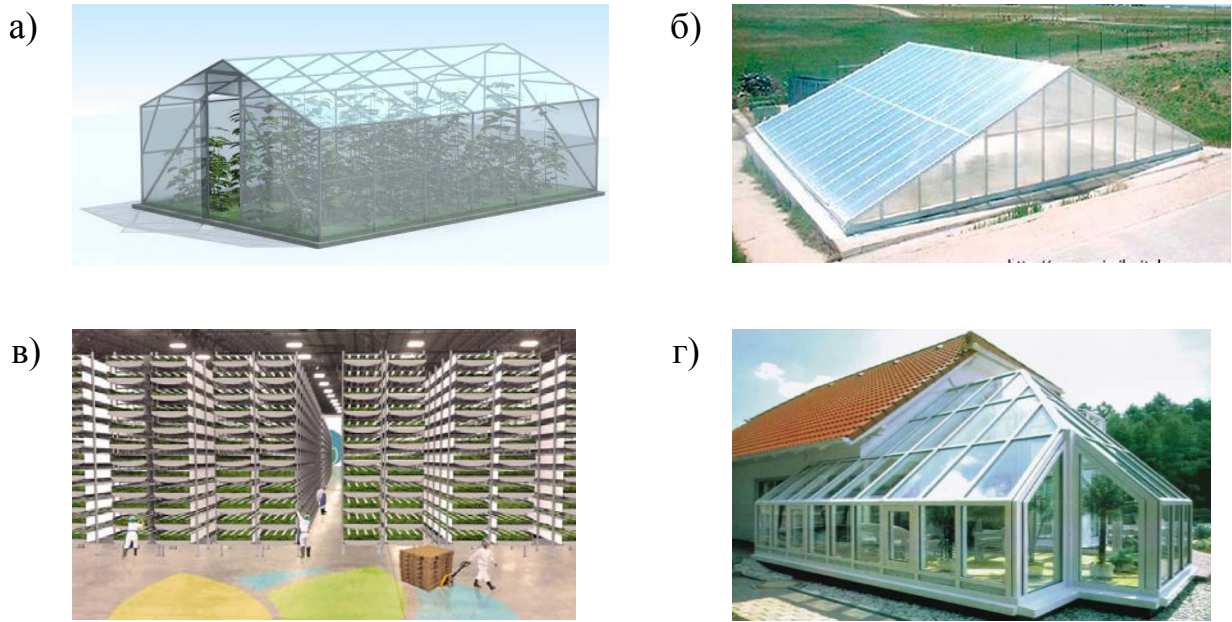


Рисунок 1.5 – Геопросторове розташування теплиць: а) на поверхні ґрунту; б) заглиблені в ґрунт; в) підземні теплиці; г) комбіновані з будівлями



Рисунок 1.6 – Класифікація споруд закритого ґрунту (класифікація автора)

Для забезпечення стабільного температурно-вологісного режиму теплиці оснащують різними інженерними системами: опалення, вентиляції,



освітлення та ін. Такі системи для своєї роботи потребують багато енергії, особливо якщо теплиця експлуатується протягом року. Для опалення сучасних теплиць в залежності від доступності використовують різні види енергоносіїв, а саме, природний газ, тверде і рідке паливо, електричну енергію і альтернативну енергію (сонячна енергія, вітрова, геотермальна).

У відповідності з нормами технологічного проектування сільського господарства [22] системи інженерного забезпечення мікроклімату при вирощуванні овочевих культур повинні підтримувати температуру внутрішнього повітря від 15...18 (вночі) до 26...30°C (вдень), відносну вологість повітря від 60 до 90%, температуру ґрунту від 15 до 24°C в залежності від культури і періоду її вегетації.

Наявність великих площ світлопрозорого огороження також сприяє втратам енергії. Так, в теплий період завдяки світлопрозорим огорожуючим конструкціям температура повітря в теплиці швидко підвищується до рівня, який значно перевищує необхідний температурний режим, і іноді, лише тільки природної вентиляції повітря недостатньо для видалення надлишків тепла. В холодний період, навпаки, через прозорі покриття теплиць тепло дуже швидко втрачається і для підтримки оптимального мікроклімату приміщення теплиць потребують постійного опалення. Це все призводить до значних витрат енергії, що робить рослинництво закритого ґрунту найбільш енергоємним і витратним напрямом сільського господарства.

В зв'язку з цим, останнім часом все більше уваги приділяється пошуку проектних рішень для створення стійких і енергоефективних теплиць, які функціонують з мінімальними витратами енергії, але мають високу продуктивність.

За радянських часів на території України було створено масштабні тепличні комплекси, конструктивно-планувальні рішення яких базувались на наявності матеріальної бази і низької вартості енергоресурсів [23].

На сучасному етапі реформування аграрного сектору України в умовах постійного зростання цін на енергетичні ресурси визначальним фактором

формування собівартості сільськогосподарської продукції стають витрати на енергоносії. Основний вид витрат енергії при експлуатації більшості теплиць – це витрати на їх обігрів при понижених температурах. Так, для обігрівання 1 га теплиць потрібно від 10 до 30 ГДж теплоти за годину в залежності від району будівництва [24].

Зменшення енергоспоживання і суттєві досягнення в енергозбереженні при експлуатації теплиць можливі тільки через вдосконалення існуючих та впровадження нових енергозберігаючих технологій, а саме: використання сонячної енергії в системі теплопостачання теплиць, застосування нових матеріалів і енергоефективних об'ємно-планувальних та конструктивних рішень, які сприяють отриманню максимальної кількості сонячної енергії і мінімізують теплові втрати через огорожуючі конструкції [25, 26].

Одним з перспективних напрямків підвищення енергоефективності теплиць є використання сонячної енергії в системі обігріву теплиць. Аналіз і узагальнення світових досягнень експлуатації об'єктів з сонячним обігрівом показують, що достатньо ефективними для опалення споруд закритого ґрунту можуть бути пасивні системи сонячного опалення.

Пасивна система сонячного опалення (ПСО) – це така енергетична система, в якій процеси приймання, накопичення і використання сонячної енергії для потреб опалення відбуваються природним шляхом в архітектурно-будівельних системах, споруди з мінімальним використанням додаткової енергії і спеціального геліотехнічного обладнання. Такі системи відрізняються, насамперед, тим, що мають прості конструктивні рішення і економічність, зручність експлуатації, не потребують спеціально навченого обслуговуючого персоналу, відсутністю спеціального геліотехнічного обладнання, яке потребує його промислового виробництва [27].

По способу обігріву ПСО розділяються на системи прямого і непрямого обігріву.

В системах прямого обігріву тепло сонячної радіації надходить через скління в приміщення, де поглинається, накопичується в огорожуючих

конструкціях або акумуляторах тепла і використовується для вирівнювання коливань температури в приміщенні [28]. Проте використання для опалення лише систем прямого обігріву в спорудах закритого ґрунту малоефективне.

В системах непрямого обігріву сонячна радіація, яка проходить через скління, нагріває розташовані за ним огорожуючі конструкції, а потім шляхом теплопровідності і природної циркуляції повітря тепло подається в приміщення. Прикладом системи непрямого обігріву є використання в конструкції будівлі або споруди стіни Тромба [28, 29].

Для опалення споруд закритого ґрунту рекомендується використання:

- системи прямого обігріву різних типів;
- системи непрямого обігріву з використанням акумулятора теплоти та контуру конвективної циркуляції повітря.

Модель теплиці з пасивною системою опалення була запропонована українським фізиком Івановим О. В., так званий «сонячний вегетарій» (рис.1.7) [18]. Характерні особливості теплиці типу «сонячний вегетарій»: розташування її на південному схилі з ухилом від 5° до 40°, односхиле покриття влаштовувалось паралельно поверхні ґрунту з орієнтацією в південному напрямку для максимального уловлювання сонячного випромінення, наявність непрозорої північної стіни для зменшення тепловтрат, оснащення системою акумуляції сонячної енергії для обігріву в холодний період. Іванов О. В. стверджував, що експлуатація такої теплиці без додаткового опалення, а тільки за рахунок добової акумуляції сонячного тепла, можлива до -15 °С.

Удосконалення ідеї Іванова О. В. відображено у роботах О. О. Іванько, А. П. Калініченко, М. А. Шмата [19]. В дослідженні збережені основні принципи улаштування енергоефективної теплиці типу «вегетарій», більш повно розкрито питання стосовно архітектурно-конструктивних рішень, розроблено низку архітектурних проектів для фермерських і індивідуальних господарств. Але в дослідженнях [18, 19] розглядається лише добова акумуляція сонячної енергії для обігріву споруди, також не надано достатньо

інформації стосовно ефективності такої системи обігріву при мінусових зовнішніх температурах.



Рисунок 1.7 – Конструкція «Сонячного вегетарія» Іванова О. В.

Недоліком пасивної системи опалення є значні добові коливання температури повітря в приміщенні. Можливим рішенням цієї проблеми може стати використання акумуляторів тепла [28].

В якості теплоаккумуляторів в теплиці можуть використовуватись елементи її конструкцій (підлога, стіни, основа або фундамент) і встановлені в ній окремі предмети (ємності з водою, каміння та ін.) [28, 30].

Акумулятори тепла можна класифікувати за характером процесів, що протікають в теплоакумуючому матеріалі: акумулятори ємнісного типу, в яких використовується теплоємність акумулюючого матеріалу, що нагрівається (охолоджується) без зміни його агрегатного стану; акумулятори фазового переходу речовини, в яких використовується теплота плавлення (затвердіння) речовини; акумулятори енергії засновані на виділенні і поглинанні теплоти при оборотних хімічних і фотохімічних реакціях [28, 30, 31].

Ділянки в теплицях, де може бути розміщено теплоаккумулятор прямого обігріву, обмежені. Більша частина стін і покрівля оснащені світлопрозорим покриттям, основна поверхня підлоги відведена для вирощування рослин. Залишається лише невелика частина підлоги і північна стіна. Тому в більшості теплиць з пасивною системою опалення використовують теплоаккумулятори прямого і непрямого обігріву одночасно.

Споруда закритого ґрунту цілорічного використання була запропонована канадськими фахівцями Community Greenhouse «Groundswell» в Британській Колумбії. Теплиця «Groundswell» має піваркову форму і південну орієнтацію, з північної сторони – непрозору утеплену стіну, яка обладнана піщаним теплоаккумулятором, і систему сезонної акумуляції тепла, що розташована в підземній частині споруди і захищена шаром теплоізоляційного матеріалу. Споруда також оснащена системою воздуховодів, вентиляторів і датчиків за допомогою яких збирається, транспортується сонячна енергія до теплового аккумулятора, де вона накопичується протягом теплового періоду року. Обігрів теплиці в холодні місяці відбувається за рахунок конвекції накопиченого тепла (рис. 1.8) [32, 33].



Рисунок 1.8 – Система обігріву канадської геліотеплиці «Groundswell»

А. Vazgaoua, Н. Fatnassi та інші були проведені експериментальні дослідження ефективності одночасного використання теплоаккумуляторів прямого і непрямого обігріву для опалення теплиць в холодний період.

Надлишок теплової енергії, що знаходиться в теплиці, зберігався в кам'яному шарі – теплоаккумулятор непрямого обігріву і у водяних прямого обігріву (рис. 1.9).

Результати дослідження показують, що така система опалення може покращувати нічну температуру повітря всередині взимку на 3–5 °С у ясні дні та на 2–3 °С в похмурі / дощові дні, зменшує відносну вологість повітря

на 10 – 15 % і знижує коливання температур [34].

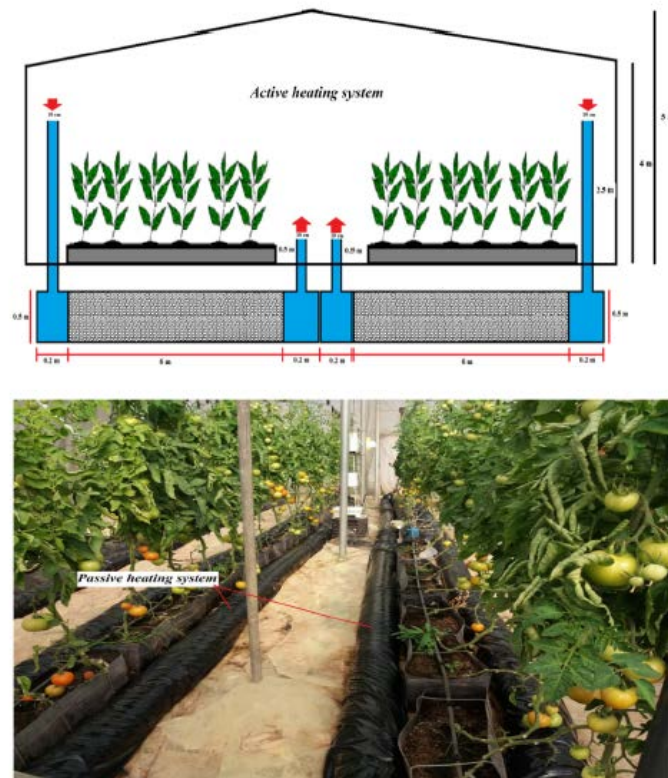


Рисунок 1.9 – Теплиця з комбінованою системою прямого і непрямого пасивного обігріву

З усіх теплоаккумулюючих матеріалів вода має найбільшу теплоємність. В якості водяного теплоаккумулятора можна використовувати різні ємності наповнені водою.

Для акумулювання сонячної енергії способом прямого обігріву використовують традиційні пластикові (поліетиленові) баки для води різної конфігурації, які встановлюють в приміщенні теплиці [31], поліетиленові рукава, розкладені вздовж грядок [34, 35], поліетиленові жорсткі труби, що розміщують на одній лінії з сонячними променями між склінням і робочим простором теплиці (рис. 1.10.), утворюючи, так звану, «водяну стіну» [31, 36], а також звичайні пластикові пляшки [37, 38].

Основна особливість водяних теплоаккумуляторів полягає в тому, що у великих ємностях з водою тепло зберігається довше, але воно повільніше

передається розташованим знизу шаром води.

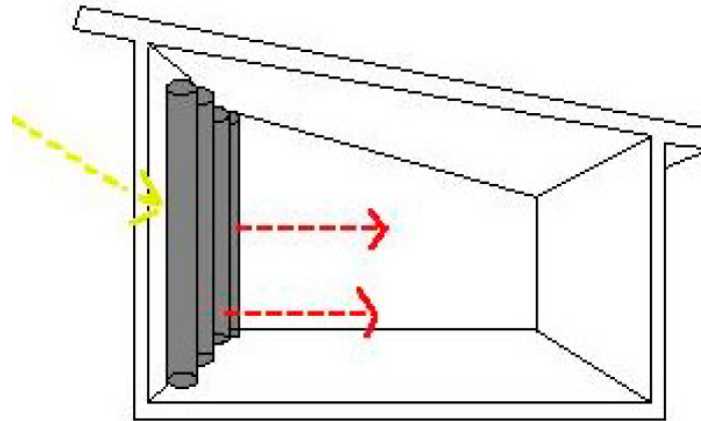


Рисунок 1.10 – Акумулявання сонячної енергії за допомогою системи «водяна стіна»

Ємності невеликого розміру швидко реагують на зміну температури, що дозволяє уникнути перегріву теплиці всередині, проте вони занадто швидко передають в повітря теплиці накопичене тепло.

Враховуючи викладене вище, можна зробити висновок, що невеликі за розміром ємності доцільно використовувати для вирівнювання добових коливань температур в приміщенні теплиці.

Що стосується сезонного акумулявання теплової енергії з використанням водяних теплоакумуляторів, то зазвичай баки-акумулятори, повинні мати більший об'єм, бути теплоізовані для запобігання надмірної втрати тепла, а також система опалення повинна бути обладнана додатковими інженерними пристроями (насос і система датчиків, тощо).

Цікаве рішення запропонували V.K. Firfiris, V.P. Fragos [39]. Досліджувана інноваційна теплиця, яка розміщена в Thessaloniki, Greece, має двошарове світлопрозоре покриття з поліетиленової плівки із повітряним прошарком між шарами. Вздовж верхньої частини покриття прокладена поліетиленова водопровідна трубка з розпилювачами, які розпилюють воду на зовнішній бік внутрішнього поліетиленового покриття. Накопичувальний

резервуар для води, який використовується для подачі води для функціонування системи, було розміщено під землею, щоб запобігти можливому замерзанню води (рис. 1.11). Така система накопичення енергії за допомогою водяного акумулятора одночасно виконує функції і теплової завіси в холодний період під час низьких зовнішніх температур, і майже не зменшує при цьому світлопрозорі властивості покриття. За даними досліджень при використанні такої системи обігріву економія енергії на опалення складає до 50% порівняно із звичайною теплицею з поліетиленовим покриттям. І, що найголовніше, досліджувана система перешкоджає зниженню внутрішньої температури теплиці нижче  $0^{\circ}\text{C}$  при зовнішній температурі  $-10^{\circ}\text{C}$  навіть без додаткового обігріву.

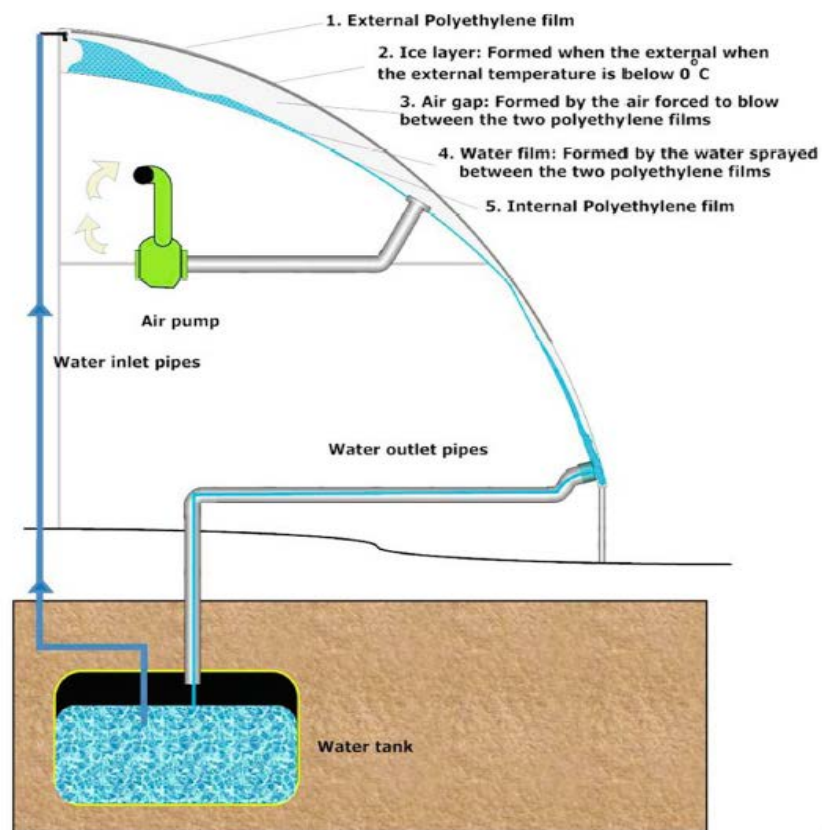


Рисунок 1.11 – Система опалення теплиці з водяним теплоакумулятором і тепловою завісою, Thessaloniki, Greece [39]

Використання ґрунту, як акумулятора теплової енергії є одним з найбільш дешевих і доступних способів обігріву теплиці. Проте порівняно з



водою ґрунт має меншу теплоакумулюючу здатність і для підвищення ефективності ґрунтового тепло акумулятора використовують додаткові системи вентиляторів і підземних воздуховодів [30, 40, 41].

Ефективність ґрунтового акумулятора тепла з використанням системи підземних труб-воздуховодів розглянуто в дослідженнях [40, 41]. Визначено, що взимку температура повітря в теплиці підвищується, а влітку температура знижується зі збільшенням довжини труб, зменшенням діаметра труб, збільшенням глибини до 4 м і зменшенням швидкості повітря всередині труб.

Теплоакумулятор з природнього і штучного каміння має високу теплоакумулюючу здатність і при влаштуванні додаткового обладнання - систем воздуховодів і вентиляторів може використовуватися як сезонний.

В сонячних повітряних системах теплостачання теплиць зазвичай застосовують галькові акумулятори теплоти, які мають вигляд ємності прямокутного перетину і містять гальку розміром 20 - 50 мм. Гальковий акумулятор може розташовуватися в теплиці, як вертикально, так і горизонтально, а також в ґрунтовому шарі (рис. 1.12, 1.13) [28, 30, 34, 42].

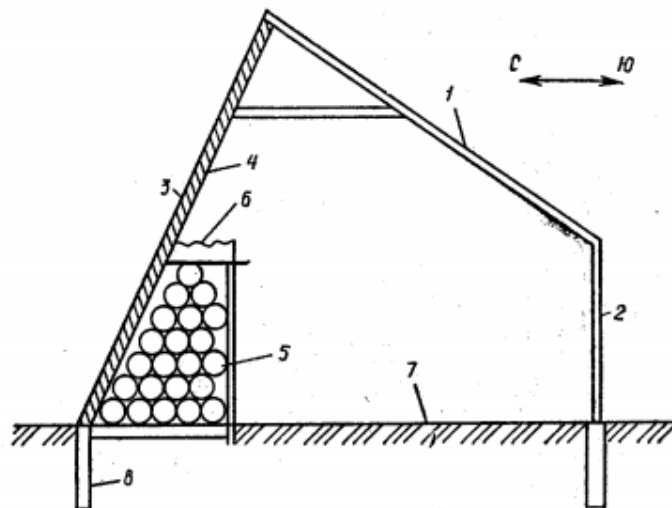


Рисунок 1.12 – Теплиця з гальчним акумулятором теплоти:

- 1, 2 – світлопрозоре покриття, 3 – північна стіна, 4 – теплоізоляція, 5 – гальковий акумулятор, 6 - покриття, 7 – захищений ґрунт, 8 – теплоізолюваний фундамент

Деякі будівельні матеріали також можуть використовуватися для акумулювання теплової енергії (бетон, цегла, пісок, щебінь, ін.). Бетон використовується в конструкціях підлоги і стін та має достатні теплоакумулюючі властивості. За даними [30] оптимальна товщина бетонної стіни для теплоакмуляції становить 200 – 250 мм.

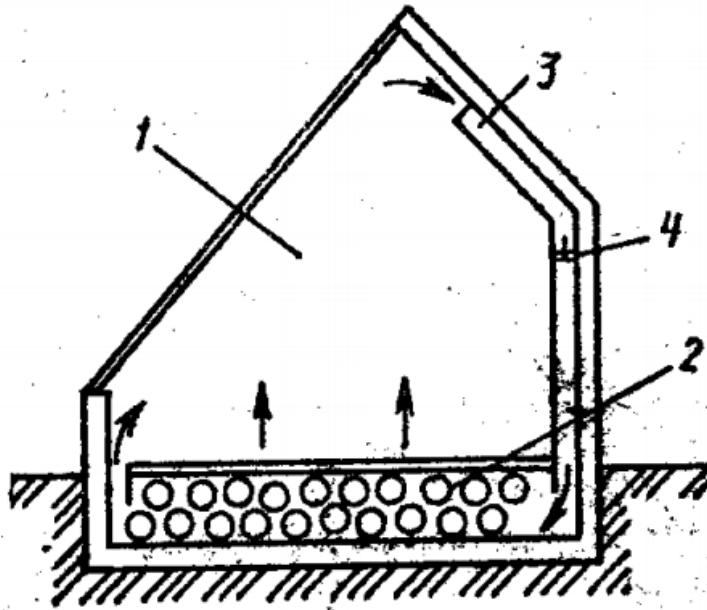


Рисунок 1.13 – Теплиця з підґрунтовим гальковим акумулятором теплоти:

1 – теплиця, 2 – гальковий теплоаккумулятор, 3 – канал для циркуляції повітря; 4 – вентилятор

В якості теплоаккумуляторів в теплиці можуть використовуватися елементи її конструкції. Зазвичай, для акумулювання енергії використовують конструкцію підлоги та північної непрозорої стіни [30, 43]. Для використання північної непрозорої стіни в якості теплоаккумулятора, необхідно передбачити її теплоізоляцію для зменшення втрат тепла.

Система акумулювання сонячної енергії у піщаній північній стіні в теплиці на півдні Манітоби, Канада було досліджено Бешада Е., Чжан К. і Борис Р. [43]. Запропонована наступна конструкція північної стіни: гофрована оцинкована листовая сталь (2 мм), пісок (152 мм), фанера (13 мм), утеплювач (152 мм), гофрована оцинкована листовая сталь (2 мм). Згідно

досліджень у північній стіні теплиці зберігається близько 10% наявної сонячної енергії. Щоденний запас енергії в стіні становив 166 МДж (або 2635 кДж / м<sup>2</sup> площі поверхні стіни) і енерговиділення 159 МДж (2523 кДж / м<sup>2</sup>).

Аналіз вітчизняних і закордонних досліджень показує, що використання пасивної системи опалення теплиць з акумуляторами ємнісного типу підвищують енергоефективність споруд закритого ґрунту, вирівнюють температурні коливання всередині теплиці за рахунок сонячної енергії, тим самим знижують потребу енергоресурсів на опалення теплиць в зимовий період, що в свою чергу зменшує загальний екологічний слід в період експлуатації споруди. Але даних про характеристичні параметри акумуляторів сонячної теплоти недостатньо, особливо, що стосується сезонних акумуляторів. Тому це питання потребує додаткового вивчення.

Ще одним дієвим способом заощадження енергії при експлуатації теплиці є використання в її розташуванні сталої температури землі нижче глибини промерзання. Це дозволяє заощадити витрати на її обігрів в холодний період року і створює більш стабільний мікроклімат всередині теплиці [44, 45, 46, 47].

За даними досліджень [48] земля згладжує амплітуду коливань, як добових, так і річних температур. Зміна сезонних температур позначається в землі на глибині лише кількох метрів, між тим зміна температури повітря протягом години або доби на температуру землі практично не впливає.

На більшій глибині відзначаються сезонні коливання температури, а зміни температури спостерігаються тільки через тривалий час. Тому, чим більше заглибити теплицю в ґрунт, тим стабільнішими будуть показники мікроклімату всередині.

Заглиблені теплиці можуть бути побудовані в різних географічних і кліматичних умовах, але в більшості випадків їх використовують в північних регіонах. Як правило, конструкція побудована на глибині від 1.0 до 2.0 м, дозволяє збирати і зберігати денну сонячну радіацію.

Прикладом такої конструкції споруди закритого ґрунта є досвід

канадських дослідників з Solution Era, Квебек, Канада [49]. Для зменшення теплових втрат стіни теплиці з трьох сторін заглиблені в ґрунт, а прозоре покриття влаштоване лише з південної сторони. Для обігріву теплиці використовується лише відновлювальна енергія – сонячна енергія, яку акумулюють заглиблені стіни теплиці і енергія сталої температури землі, шляхом влаштування теплового колектора (рис. 1.14). Крім того, для виготовлення конструктивних елементів теплиці використовуються лише природні або перероблені матеріали.



Рисунок 1.14 – Споруда закритого ґрунту Solution Era, Квебек, Канада

Крім заглиблених теплиць, все більшої популярності у всьому світі набувають підземні теплиці. У більшості випадках в підземних теплицях використовують гідропонний метод вирощування рослин. Наприклад, Компанія Zero Carbon Food, використовуючи старі бомбосховища Лондона, створили підземні теплиці, які при використанні лише чверті доступного простору можуть виробляти від 5 до 20 тон продукції на рік [50].

В Україні проблемами вдосконалення типів сільськогосподарських будівель і споруд займаються такі вітчизняні вчені, як Хазін В. Й., Кошлатій О. Б., Педченко О. В., дослідження яких спрямовані на удосконалення методики формування об'ємно-планувальних параметрів енергобіологічного комплексу на основі блокування тваринницьких будівель і культиваційних споруд з урахуванням параметрів мікроклімату, а також на

підвищення енергоефективності, довговічності та експлуатаційної надійності культивацийних споруд [51, 52, 53, 54].

Дослідження Росковшенко Ю. К. і Клімової І. В. присвячені розробці енергоефективних систем для створення теплового режиму в зимових теплицях із скляним огороженням з підвищеними теплозахисними властивостями і позонним опаленням зони вегетації рослин [55, 56, 57, 58].

В дослідженнях Опришко О. О. і Пасічник Н. А. теж розглянуті питання ефективності використання геотермальної і сонячної енергії для опалення теплиць, проведено експериментальні дослідження температурного поля всередині теплиці у ранньо-весняний період [59, 60]. Проте узагальнюючі дані про ефективність використання геотермальної і сонячної енергії для опалення теплиць в вищенаведених роботах відсутні.

### **1.3. Методи дослідження процесів теплообміну в спорудах закритого ґрунту**

Споруди закритого ґрунту являють собою складну архітектурно-конструктивну систему з різноманітним складовим її елементами огорожувальних конструкцій та інженерного обладнання, в яких протікають різні по фізичній суті процеси поглинання, перетворення і перенесення теплоти.

Під впливом різниці температур зовнішнього і внутрішнього повітря та сонячної радіації приміщення теплиць через огорожувальні конструкції втрачає і отримує теплоту. Атмосферні впливи, вологовиділення в приміщеннях, різниця вологості внутрішнього і зовнішнього повітря все це впливає на мікроклімат приміщень.

Для нормального функціонування споруд закритого ґрунту в них повинні забезпечуватися, зберігатися і ретельно контролюватися протягом всього часу експлуатації оптимальні параметри мікроклімату, такі як температура повітря і ґрунту, вологість, концентрація CO<sub>2</sub>, швидкість руху повітря. Ці параметри для споруд закритого ґрунту визначаються галузевими

нормативними документами і залежать від типу споруди і технологічного процесу вирощування рослин [1, 22].

Забезпечення необхідного мікроклімату в культиваційних спорудах захищеного ґрунту в зимовий та ранньо-весняний періоди потребує значних витрат теплової енергії. Як уже зазначалось, це найбільш концентровані й енергоємні споживачі теплоти серед сільськогосподарських споруд. Тому в умовах постійного підвищення вартості енергоресурсів традиційні підходи до теплозабезпечення недостатні і проблема економії енергоресурсів при теплопостачанні і охолодженні споруд захищеного ґрунту надзвичайно актуальна.

Проблеми підвищення енергоефективності існуючих будівель і зведення нових енергонезалежних будівель в Україні розглядаються в роботах таких вітчизняних вчених, як Могилат О. Н. [61, 62], Нікіфорова Т. Д. [48, 63, 64, 65], Савицький М. В. [66, 67, 68, 69, 70, 71, 72], Семко О. В. [73, 74, 83], Семко В. О. [75, 76, 77], Фаренюк Г. Г. [78, 79, 80, 81, 82, 83], Філоненко О. І. [72, 73, 84, 85, 86], Юрченко С.Л. [87, 88, 89] і інш.

Вагомий внесок у створення сучасної нормативної бази щодо енергетичної енергоефективності будівель зробили такі вітчизняні вчені, як Фаренюк Г. Г., Фаренюк Є. Г. [90, 91, 92, 93], Павлюк П. О., Тимофєєв М. В., Сергійчук О. В. та ін. [94, 95].

На основі виконаних досліджень в роботах Росковшенка Ю. К., Клімової І. В. [55, 56, 57, 58], Опришко О. О., Пасічник Н. А. [59, 60], Хазіна В. Й., Кошлатій О. Б., Педченко О. В. [51, 52, 53, 54] по розробці методів, спрямованих на заощадження енергетичних ресурсів в спорудах закритого ґрунту, можна виділити наступні напрямки:

- покращення теплофізичних характеристик огороджуючих конструкцій, шляхом застосування сучасних світлопрозорих матеріалів і енергоефективних конструктивних рішень;
- використання теплозахисних екранів;

- пошук шляхів економії енергії за рахунок використання альтернативних відновлювальних джерел енергії для опалення і охолодження споруд закритого ґрунту;

- використання в системах обігріву теплиць засобів регулювання і управління мікрокліматом теплиць.

Мікроклімат в приміщеннях теплиць, перш за все, залежить від теплозахисних властивостей огороджувальних конструкцій, які безпосередньо захищають будівлю від атмосферних впливів.

Процеси передачі тепла через огороджувальні конструкції відбувається всіма видами теплообміну: на поверхнях - конвективний і променевий теплообмін, а в матеріальних шарах – теплопровідність. В холодний період тепло втрачається через матеріальні шари огороження в сторону зовнішнього середовища. Основний опір втраті тепла надають теплозахисні властивості матеріалів огороження. В стаціонарних умовах все тепло, що було сприйняте поверхнею огороження в приміщенні, передається зовнішньому повітрю. Такий режим характерний при невеликих коливаннях температури зсередини і ззовні будівлі. Основною складовою процесу передачі тепла через огороження є теплопровідність через матеріальні шари товщі огороження.

Процес теплопровідності в матеріальних шарах огороджувальних конструкцій підпорядковується закону Фур'є.

В теплий період року огороджувальні конструкції захищають приміщення від перегріву, запобігають різкому коливанню температури під впливом температури зовнішнього повітря і сонячної радіації, що швидко змінюються протягом доби. В процесі нестационарної теплопередачі огороджувальні конструкції можуть акумулювати частину тепла, що проходить крізь них, і як наслідок, зменшувати охолодження і перегрів приміщень.

Процес нестационарної передачі тепла в товщі огороджувальних конструкцій визначається двома законами: провідності і акумуляції тепла.

Науковою основою досліджень теплообміну стали праці таких

видатних вчених, як Александровський С. В. [96, 97], Богословський В. Н. [98], Ісаченко В. П. [99, 100, 101], Ликов О. В. [102, 103], Могилат О. Н. [62], Табунщиков Ю. А. [104], Фокін К. Ф. [105], та інших.

В природних умовах режим теплопередачі тепла через огороження завжди є нестационарним. Температура зовнішнього повітря, інтенсивність сонячної радіації, сила і напрямок вітру безперервно змінюються. Температура всередині приміщення також змінюється.

Аналітичний метод вирішення задач нестационарної теплопередачі може використовуватися для вирішення ряду основоположних задач з порівняно простими умовами протікання процесу. В математичній фізиці розроблено ряд способів вирішення таких задач (метод розділення змінних – метод Фур'є, метод джерел, операційні і варіаційні методи та ін.) [96].

Для вирішення практичних задач в інженерній практиці широко використовуються чисельні методи. До цієї категорії розрахункових прийомів можна віднести методи кінцевих різниць, гідротеплової та електротеплової аналогії і використання розрахункових програмних комплексів. В аналітичних розрахунках, як і в чисельних методах, широко використовуються дані теорії подібності, які дозволяють за допомогою критеріїв або чисел подібності представити результати одиничних розрахунків і експериментів в узагальненому вигляді [96].

Сьогодні для розрахунків теплопровідності існує велика кількість розрахункових програмних комплексів. Найбільш відомі в Україні – Elcut, Heat 2 і Heat 3, Therm 5.2, ANSYS/Thermal та ін.

Комп'ютерна програма Elcut призначена для проведення інженерного аналізу і двовимірного моделювання методом скінченних елементів. Комп'ютерне моделювання та чисельний аналіз в будівництві дозволяє уникнути дорогих і тривалих натурних випробувань, прискорює, доповнює та ілюструє процес проектування і розробки.

Модулі ELCUT дозволяють проводити аналіз фізичних полів і



отримувати рішення пов'язаних багатодисциплінарних завдань в таких видах аналізу, як стаціонарне і нестаціонарне температурне поле. Модуль «теплопередача» призначений для розрахунку перехідного і усталеного температурного поля з урахуванням конвективного і радіаційного теплообміну. Використовується для аналізу систем обігріву і систем охолодження. Ранні версії програмного комплексу ELCUT забезпечували тільки 2D моделювання. Сьогодні ELCUT надає можливість 3D моделювання для задач електростатики, електричного поля постійних струмів і стаціонарної теплопередачі [106].

Програми Heat 2 і Heat 3 призначена для розрахунку двовимірної і тривимірної стаціонарної і нестаціонарної теплопередачі через фрагменти огорожувальних конструкцій будівель. Розрахунок температурних полів в програмі HEAT2 заснований на кінцево-різницевому методі. У програмі також передбачено можливість розрахунку осесиметричних температурних полів і конвективного і радіаційного коефіцієнтів теплообміну на внутрішніх поверхнях конструкцій. Версія програми HEAT2Df включає додатковий модуль FELEM розрахунку двовимірних стаціонарних задач теплопровідності на основі методу скінченних елементів у вигляді трикутників, що дозволяє відтворювати геометрію завдань будь-якої конфігурації і розраховувати теплопередачу в замкнутих повітряних порожнинах / прошарках огорожувальних конструкцій будинків [107].

Програмний комплекс Therm 5.2 призначений для моделювання двовимірної теплопередачі в компонентах будівлі, таких як вікна, стіни, підлоги, дах і двері. Аналіз теплопередачі за допомогою програми THERM дозволяє оцінити енергетичну ефективність виробів і локальні температури зразків, що дозволяє вирішувати питання пов'язані з конденсацією, вологістю матеріалу виробу і його герметичністю [108]. Двовимірний аналіз теплопередачі програми THERM заснований на методі скінченних елементів, який може моделювати складні конфігурації будівельних конструкцій. Результати розрахунків можуть бути представлені в різних формах

включаючи U-фактор (коефіцієнт теплопередачі), ізотерми, вектори теплового потоку і локальні температури. Також THERM включає самостійний модуль WINDOW, який оснований на алгоритмі радіаційного теплообміну з урахуванням взаємного опромінення і затінення розрахункових поверхонь.

#### **1.4. Короткі висновки і завдання даного дослідження**

1. Узагальнюючи інформацію, наведену раніше, слід відмітити, що теплиці є основними спорудами в сучасному рослинництві захищеного ґрунту, які можуть забезпечити населення свіжою продукцією протягом всього року. Проте, через значні теплові втрати через огорожуючі конструкції споруди закритого ґрунту є найбільш енергоємними серед сільськогосподарських будівель і споруд.

2. На основі даних виконаного аналізу вітчизняних і закордонних досліджень запропоновано класифікацію споруд закритого ґрунту за характерними ознаками, визначено основні способи підвищення енергоефективності: застосування нових енергоефективних матеріалів для світлопрозорих покриттів та конструкцій теплиці; розробка ефективних конструктивних рішень для збільшення сонячних теплонадходжень та зменшення теплових втрат через огорожуючі конструкції; зберігання, перерозподіл та використання сонячної енергії в системах опалення споруд закритого ґрунту в холодний період.

3. Основним конструктивним елементом теплиці є світлопрозоре покриття, від його теплозахисних властивостей залежить температурно-вологісний режим теплиці і вартість життєвого циклу споруди. В існуючих дослідженнях даних щодо раціонального вибору типу світлопрозорого покриття, а також його впливу на енергоефективність і вартість життєвого циклу споруди недостатньо, тому це питання потребує додаткового вивчення.

4. Для створення стійкої енергоефективної теплиці, яка функціонує з

мінімальними витратами і має високу продуктивність, необхідно використовувати комплексний підхід на всіх стадіях життєвого циклу: проектування, зведення, експлуатації і утилізації з урахуванням основних факторів, які впливають на енергоефективність споруд закритого ґрунту: орієнтація, геопросторове розташування і конструктивна форма теплиці.

5. Одним з перспективних напрямків підвищення енергоефективності теплиць є використання сонячної енергії в системі теплопостачання теплиць. Але в існуючих дослідженнях недостатньо даних щодо ефективності використання теплових акумуляторів і відсутні чисельні дані щодо характеристичних параметрів теплоакумуляторів.

На основі приведених висновків сформульована мета і задачі досліджень, які наведені у вступі.

### **1.5. Список використаних джерел у розділі 1**

У розділі 1 використані [1...108] літературні джерела. Їх найменування наведені в загальному списку використаних джерел.

## РОЗДІЛ 2.

### РАЦІОНАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ СВІТЛОПРОЗОРОГО ПОКРИТТЯ СПОРУД ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ

#### 2.1. Основні технічні характеристики сотового полікарбонату

У розділі I даного дослідження виконано аналіз і порівняння основних характеристик світлопрозорих матеріалів для покриття споруд закритого ґрунту (скло, поліетиленова плівка, сотовий полікарбонат). На сьогодні, згідно отриманим даним, сотовий полікарбонат має значні переваги серед інших матеріалів, які представлені на ринку.

Сотовий полікарбонат – полімерний лист з внутрішньою структурою, яка являє собою дво-, три- або чотиришарову конструкцію, заповнену великою кількістю поздовжніх перемичок (ребер жорсткості). Ребра жорсткості можуть утворювати квадрати, трикутники, хрестові структури (рис. 2.1) [109].

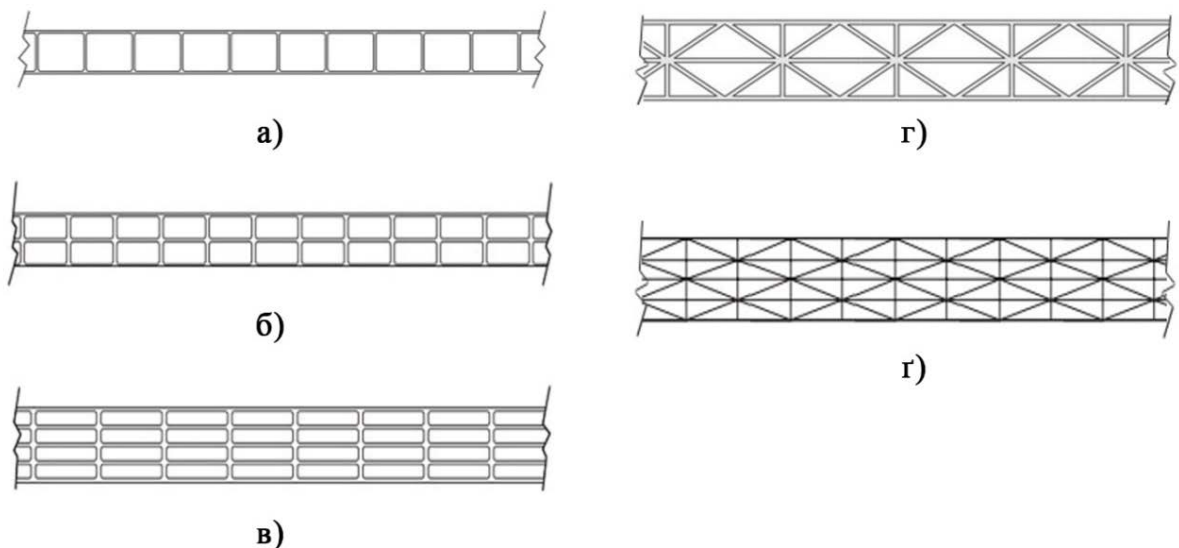










Рисунок 2.1 – Види структури листів сотового полікарбонату: а) 2Н - двошарові панелі з прямокутними сотами; б) 3Н - тришарові панелі з прямокутними сотами; в) 5Н – п’ятишарові панелі з прямокутними сотами; г)

3Х – тришарові панелі з прямими і похилими (додатковими) ребрами жорсткості; г) 5Х - п’ятишарові панелі з прямими і похилими (додатковими) ребрами жорсткості

Визначальним фактором при виборі полікарбонату для покриття теплиці є товщина панелі, від якої безпосередньо залежать її технічні характеристики і вартість. Виконаний збір даних, аналіз і узагальнення основних технічних характеристик і вартості найбільш поширених різновидів сотового полікарбонату для улаштування світлопрозорих покриттів споруд закритого ґрунту, які представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики сотового полікарбонату та його вартість

Товщина листа, мм	4	6	8	10	16	20	25	32
Кількість шарів	2Н	2Н	2Н	2Н	3Х/3Н	6Н	5Х	5Х
Структура сот								
Питома вага, кг/м <sup>2</sup>	0,8... 1,0	1,3	1,5... 1,7	1,7... 2,0	2,5... 2,7	3,0... 3,1	3,4... 3,5	3,7
Опір теплопередачі, м <sup>2</sup> ·К/Вт	0,24 ... 0,26	0,27 ... 0,31	0,28 ... 0,42	0,29 ... 0,4	0,36 ... 0,51	0,37 ... 0,56	0,65 ... 0,68	0,63 ... 0,83
Світлопропускання (для прозорого безкол. листа), %	83	82	82	80	76	51... 79	48... 79	50... 73
Мінімальний радіус вигину, м	0,7	1,05	1,2... 1,4	1,5... 1,75	2,4... 2,8	3,5	3,75... 4,4	4,8... 5,7
Вартість 1 м <sup>2</sup> , грн*	73 ... 90	150 ... 180	172 ... 200	195 ... 230	287 ... 369	394 ... 430	460 ... 465	525 ... 534
Термін експлуатації	не менше 10 років							

\* Вартість панелей сотового полікарбонату вказана згідно цінових пропозицій 2017 р.

Однією із найбільш важливих технічних характеристик, яка впливає на вартість не тільки матеріалу, але і на подальші витрати на опалення теплиці і, як наслідок, на вартість життєвого циклу всієї конструкції, є опір

теплопередачі. Для раціонального проектування теплиці за критерієм вартості життєвого циклу необхідно дослідити теплозахисні властивості сотового полікарбонату і їх вплив на вартість життєвого циклу споруди.

## **2.2. Методи оцінки вартості життєвого циклу світлопрозорого покриття споруд закритого ґрунту**

Теплиця, як і будь-який об'єкт будівництва, проходить наступні стадії життєвого циклу: створення, експлуатація і ліквідація.

Тому при оцінюванні вартості огороджуваних світлопрозорих конструкцій теплиці необхідно враховувати витрати, пов'язані із життєвим циклом споруди. Оцінка вартості життєвого циклу дасть змогу обрати найбільш раціональні конструктивні рішення і ефективні матеріали для світлопрозорого покриття споруд закритого ґрунту.

Для урахування цих витрат застосовуються три різні методи:

- 1) метод розрахунку чистої поточної (дисконтованої) вартості (NPV - net present value);
- 2) метод розрахунку сукупної вартості (сукупних витрат, загальних витрат) (aggregate value - AV);
- 3) метод розрахунку загальної річної вартості (aggregate annual value - AAV) [48, 110].

Метод розрахунку чистої поточної (дисконтованої) вартості (NPV - net present value) є одним з основних методів оцінки інвестиційних проектів. Метод NPV являє собою різницю між сумою грошових надходжень (грошових потоків – припливів), які виникають при реалізації проекту і приводяться (дисконтуються) до їх теперішньої вартості, та сумою дисконтованих вартостей усіх витрат (грошових потоків – відпливів), необхідних для реалізації цього проекту.

Цей метод розрахунку показує загальний прибуток інвестора, який він очікує отримати від проекту, після того, як грошові притоки окуплять його початкові інвестиційні витрати і періодичні грошові відтоки, пов'язані із

здійсненням проекту.

Розрахунок чистої дисконтованої вартості, що приведена до начального періоду експлуатації споруди, здійснюється за формулою:

$$C_{i,0} = K_{i,0} + \frac{E_i}{pg^t} + \frac{K_i(\tau=t)}{pg^t}, \quad (2.1)$$

де  $C_{i,0}$  – чиста дисконтована вартість життєвого циклу споруди по  $i$ -му варіанту, яка приведена до начального періоду експлуатації;

$K_{i,0}$  – капітальні вкладення (інвестиції) на будівництво по  $i$ -му варіанту;

$E_i$  – річні експлуатаційні витрати на утримання споруди при  $i$ -ому варіанті;

$\rho$  – норма дисконту;

$g^t$  – коефіцієнт дисконтування (дисконтний множник) до кінця розрахункового періоду:  $g^t = (1 + \rho)^t$ ;

$t$  – строк експлуатації споруди, рік;

$K_i(\tau = t)$  – капітальні витрати на ліквідацію (знесення) споруди по  $i$ -му варіанту.

Метод розрахунку сукупної вартості (сукупних витрат, загальних витрат) (aggregate value - AV) полягає в перетворенні всіх витрат на будівництво, витрат на експлуатацію споруди за весь передбачуваний термін його служби та на ліквідацію споруди в розрахункову суму на рік очікуваного знесення споруди (так звані накопичені витрати). Сукупні витрати на будівництво, експлуатацію та ліквідацію споруди визначаються відповідно до залежності:

$$C_{i,t} = K_{i,0}g^t + E_i \frac{g^t - 1}{g - 1} + K_i(\tau = t), \quad (2.2)$$

де:  $C_{i,t}$  – сукупні витрати на будівництво, експлуатацію та ліквідацію споруди;

$K_{i,0}$  – капітальні вкладення (інвестиції) на будівництво споруди по  $i$ -му варіанту;

$K_i(\tau = t)$  - капітальні витрати на ліквідацію (знесення) споруди по  $i$ -му варіанту;

$E_i$  – річні експлуатаційні витрати на утримання будівлі при  $i$ -м варіанті;

$t$  – термін служби (експлуатації), рік;

$p$  – норма дисконта;

$g$  – коефіцієнт накопичення:  $g = 1 + p$ ;

$g^t$  – коефіцієнт дисконтування (дисконтний множник) до кінця розрахункового періоду:  $g^t = (1 + p)^t$ ;

$(g^t - 1)/(g - 1)$  – коефіцієнт зростання поточних платежів, приведених до майбутнього моменту часу для ряду однорідних за періодами платежів.

Метод розрахунку загальної річної вартості (aggregate annual value - AAV) життєвого циклу споруди полягає у тому, що одноразові витрати на будівництво і утилізацію, а також майбутні витрати на експлуатацію та ремонт споруди протягом розрахункового періоду перетворюються в середньорічні витрати.

Загальна річна вартість визначається згідно залежності:

$$C_{i,\tau} = K_{i,0} \frac{g-1}{g^t-1} g^t + E_i + K_i(\tau = t) \frac{g-1}{g^t-1} g^t, \quad (2.3)$$

де  $C_{i,\tau}$  – загальна річна вартість життєвого циклу споруди;

$K_{i,0}$  – капітальні вкладення (інвестиції) на будівництво споруди по  $i$ -му варіанту;

$K_i(\tau = t)$  – капітальні витрати на ліквідацію (знесення) споруди по  $i$ -му варіанту;

$E_i$  – річні експлуатаційні витрати на утримання споруди при  $i$ -му варіанті;

$t$  – термін експлуатації, рік;



$p$ - норма дисконта;

$g$  – коефіцієнт накопичення:  $g = 1 + p$ ;

$g^t$  – коефіцієнт дисконтування (дисконтний множник) до кінця розрахункового періоду:  $g^t = (1 + p)^t$ .

Річні експлуатаційні витрати на утримання будівель в залежностях (2.1...2.3) складаються, в основному, із витрат на опалення і проведення ремонтних робіт.

У зв'язку з тим, що огорожуючі конструкції споруд закритого ґрунту здебільшого складаються з світлопрозорих матеріалів, які мають високу теплопровідність, експлуатаційні витрати за період експлуатації, а саме витрати на опалення і проведення ремонтних робіт споруд закритого ґрунту, значно перевищують витрати на будівництво і утилізацію таких споруд.

Для урахування в належній мірі експлуатаційних витрат при розрахунку життєвого циклу споруд закритого ґрунту найкраще використовувати метод сукупної вартості (сукупних витрат, загальних витрат) (aggregate value - AV).

Для визначення сукупної вартості (тобто капітальних витрат і експлуатаційних витрат) за розрахунковий період за методом AV виходять із припущення, що капітальні витрати одноразові, а річні експлуатаційні витрати постійні протягом усього розрахункового терміну.

У цьому методі всі витрати (капітальні витрати, експлуатаційні витрати: витрати на опалення і ремонтні роботи, витрати на утилізацію), в окремі роки протягом терміну служби будівлі приводяться до їх майбутнього значення на розрахунковий момент терміну експлуатації споруди.

Для цього використовують для капітальних витрат відсотковий річний приріст  $g^t = (1 + p)^t$ , а для річних експлуатаційних витрат накопичення  $(g^t - 1)/(g - 1)$ , перетворені в форму підсумку витрат в кінці кожного року [14, 15].

### 2.3. Раціональне проектування світлопрозорого покриття із сотового полікарбонату для споруд закритого ґрунту за критерієм вартості життєвого циклу

Раціональне проектування конструкцій передбачає вибір найкращого варіанту із можливих рішень за заданими критеріями. Для вибору найбільш раціонального світлопрозорого покриття із сотового полікарбонату для споруд закритого ґрунту проводилося визначення вартості 1 м<sup>2</sup> світлопрозорого покриття теплиці із сотового полікарбонату з урахуванням життєвого циклу споруди при різних відсоткових ставках на капітал за допомогою методу розрахунку сукупної вартості (сукупних витрат, загальних витрат) (aggregate value - AV) – залежність (2.2).

Розрахунки проводилися для 1 м<sup>2</sup> світлопрозорої конструкції теплиці, при умові будівництва його в Дніпропетровській області, терміні експлуатації 10 років.

При визначенні капітальних витрат враховувалась вартість комплектуючих деталей для монтажу світлопрозорої конструкції, вартість металевого каркасу і фундаменту теплиці, а також витрати пов'язані із будівництвом споруди:

$$K_{i,0} = C_n * k, \quad (2.4)$$

де  $C_n$  – вартість 1 м<sup>2</sup> прозорого полікарбонату, грн. (для розрахунку приймалося мінімальне значення із таблиці 2.1);

$k$  – коефіцієнт, який враховує вартість комплектуючих деталей для монтажу світлопрозорої конструкції, вартість металевого каркасу і фундаменту теплиці, а також витрати пов'язані із будівництвом споруди.

За  $E_i$  річні експлуатаційні витрати приймалися витрати на опалення теплиці, які визначалися згідно [95], при вартості 1 Гкал = 1350 грн. (станом на 2017 р.)

$$E_i = \frac{K \cdot F \cdot (t_B - t_3) \cdot z_{оп} \cdot 24}{1000}, \quad (2.5)$$

де  $K$  – тепловтрати через  $1 \text{ м}^2$  світлопрозорого покриття теплиці,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$  [16];

$F$  - площа світлопрозорої огорожуючої конструкції,  $\text{м}^2$ ;

$t_{\text{в}}$  - розрахункова температура внутрішнього повітря,  $^{\circ}\text{С}$  (для розрахунку прийнята  $t_{\text{в}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{С}$ ) ;

$t_{\text{з}}$  - розрахункова температура зовнішнього повітря,  $^{\circ}\text{С}$  (для Дніпропетровської області  $t_{\text{з}} = -0,2 \text{ }^{\circ}\text{С}$  для опалювального періоду) [111];

$z_{\text{оп}}$  – тривалість опалювального періоду (для Дніпропетровської області  $z_{\text{оп}} = 172$  доби) [111];

24 – кількість годин у добі;

1000 – для перерахування  $\text{Вт}$  в  $\text{кВт}$ .

При визначенні витрат на ліквідацію конструкції були враховані лише витрати пов'язані із вартістю світлопрозорого покриття, тому що металевий каркас і фундамент теплиці мають значно довший термін експлуатації.

$$K_i(\tau = t) = C_{\text{п}} . \quad (2.6)$$

Розрахунки по визначенню капітальних витрат на будівництво, експлуатацію і ліквідацію споруди проводилися для різної товщини листа сотового полікарбонату. Результати розрахунків представлені в таблиці 2.2. і на рис. 2.2.

Економічне оцінювання життєвого циклу було проведено шляхом визначення сукупної вартості витрат (капітальних, експлуатаційних, а також витрат пов'язаних із ліквідацією споруди) за розрахунковий період 10 років при різних відсоткових ставках на капітал – 5%, 10% і 20%.

Визначення сукупної вартості проводилося згідно залежності (2.2) виходячи із припущення, що капітальні витрати одноразові, а щорічні експлуатаційні витрати (витрати на опалення і ремонт споруди) на протязі всього розрахункового періоду постійні.

Таблиця 2.2 – Витрати на будівництво, експлуатацію і ліквідацію  
1 кв. м теплиці в залежності від товщини полікарбонату

Вид витрат	Товщина листа, мм							
	4	6	8	10	16	20	25	32
Капітальні витрати на 1 кв.м., $K_{i,0}$ , грн	219,0	450,0	516,0	585,0	861,0	1128,0	1380,0	1575,0
Річні експлуатаційні витрати, $E_i$ , грн	316,0	280,0	270,0	260,0	210,0	163,0	117,0	91,0
Витрати на утилізацію, $K_i(\tau=t)$ , грн	73,0	150,0	172,0	195,0	287,0	394,0	460,0	525,0

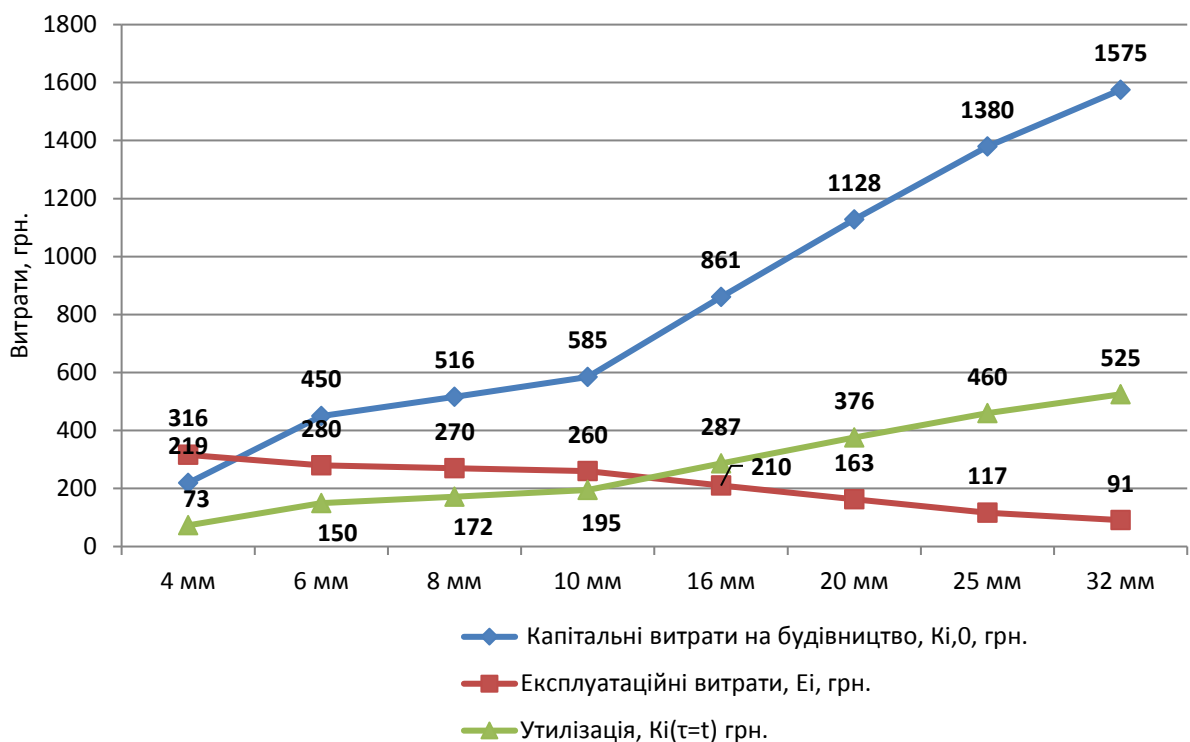


Рисунок 2.2 – Витрати на будівництво, експлуатацію і ліквідацію 1 кв. м теплиці із сотового полікарбонату

Всі постійні витрати в окремі роки протягом терміну служби споруди приводилися до їх майбутнього значення на розрахунковий момент терміну служби споруди [48, 110].

Результати розрахунку представлені в таблиці 2.3 і на рис. 2.3 – 2.5.

Таблиця 2.3 – Сукупна вартість життєвого циклу 1 кв. м теплиці в залежності від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування

Сукупна вартість, грн., при ставці, %	Товщина листа, мм							
	4	6	8	10	16	20	25	32
5	4404	4405	4409	4418	4331	4264	4179	4235
10	5677	5780	5813	5856	5867	5900	5904	6060
20	9632	10205	10376	10566	11069	11592	12042	12639

Аналіз даних розрахунків показує, що максимальна сукупна вартість при відсоткових ставках до 10% припадає на товщину світлопрозорого покриття 10 мм.

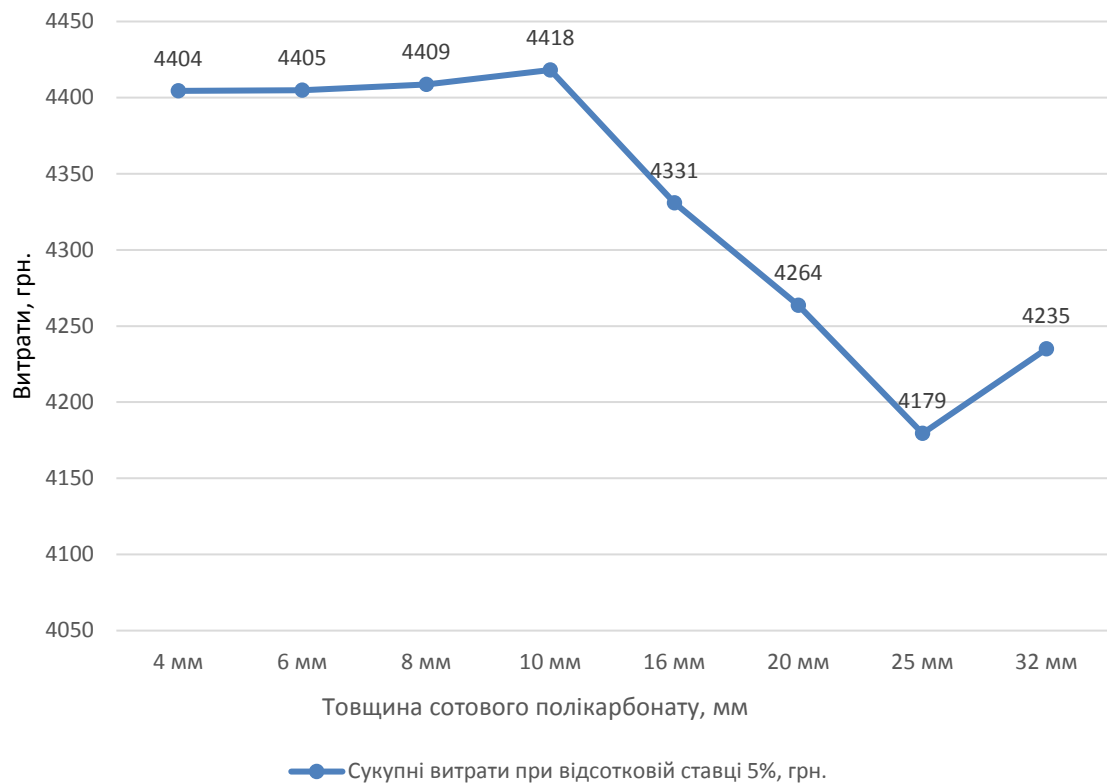


Рисунок 2.3 – Залежність сукупної вартості життєвого циклу 1 кв. м теплиці від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування із ставкою 5%

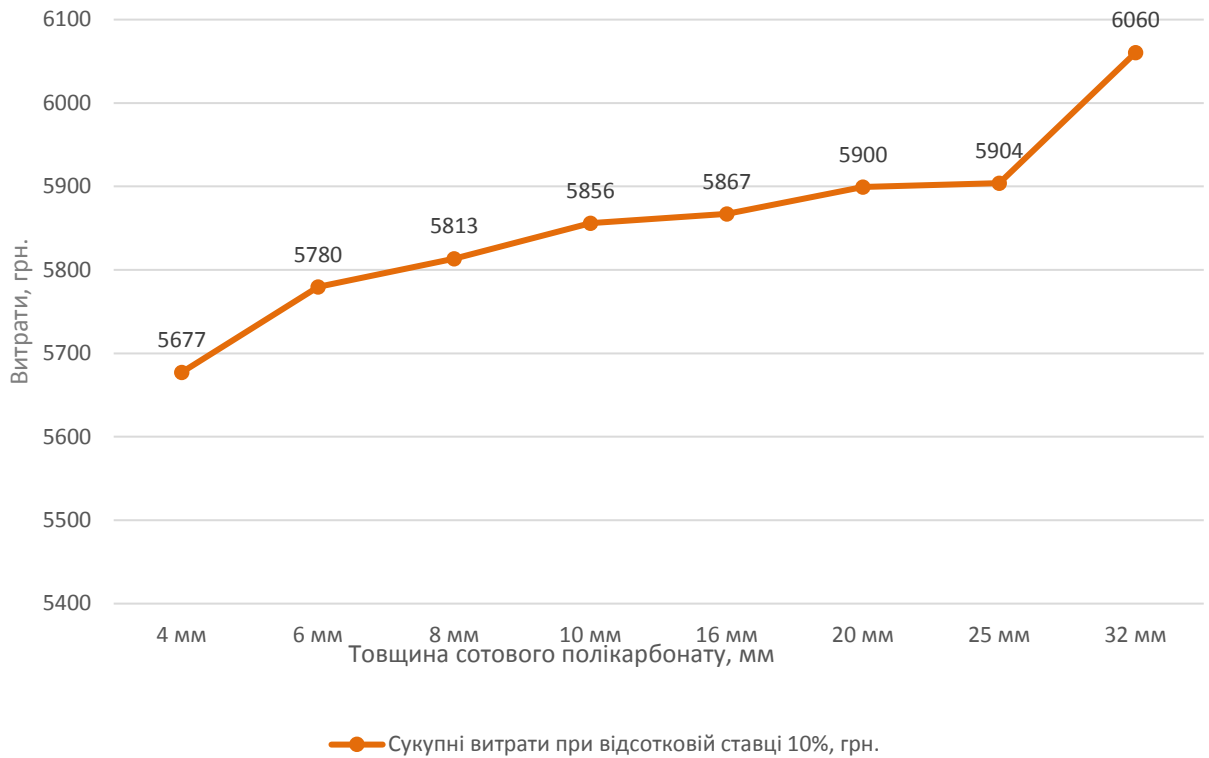


Рисунок 2.4 – Залежність сукупної вартості життєвого циклу 1 кв. м теплиці від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування із ставкою 10%

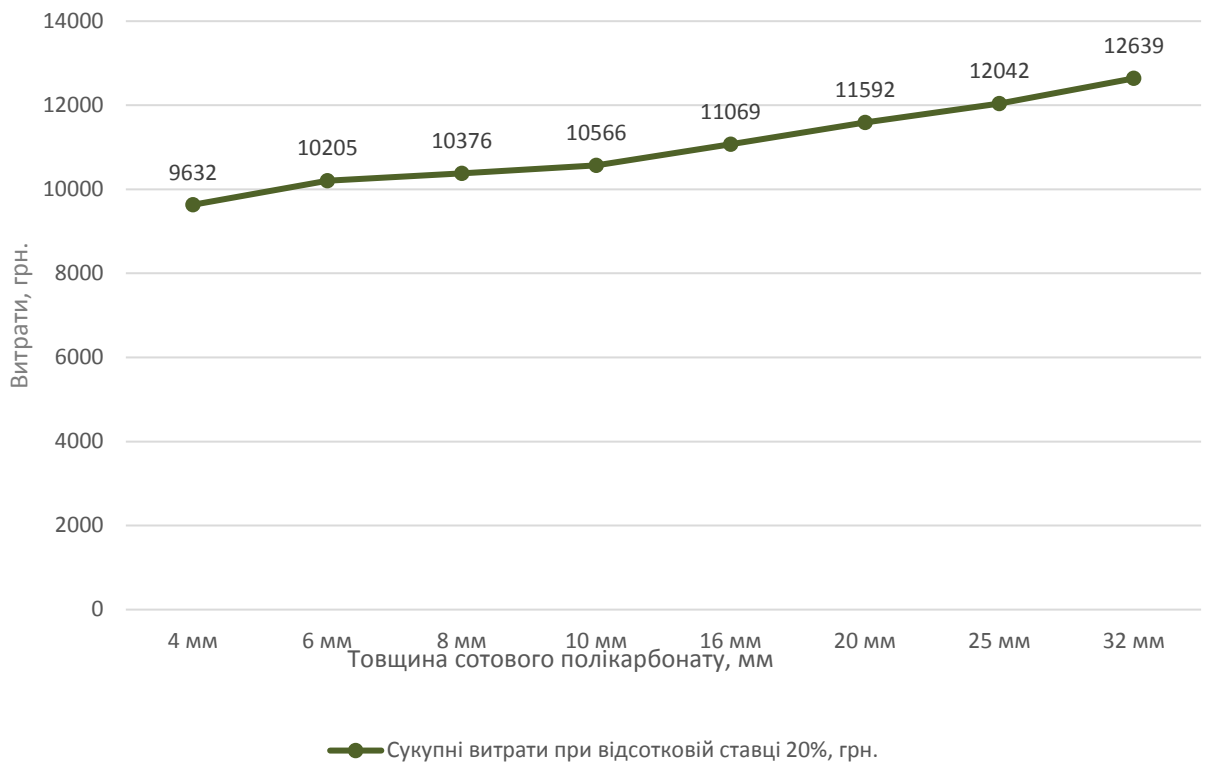


Рисунок 2.5 – Залежність сукупної вартості життєвого циклу 1 кв. м теплиці від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування із ставкою 20%

При збільшенні відсоткової ставки більше 10% сукупна вартість життєвого циклу 1 м<sup>2</sup> теплиці зростає із збільшенням товщини покриття і відсоткової ставки на капітал, і максимальна сукупна вартість припадає на товщину покриття 32 мм.

Розглянемо більш детально зміни окремих складових сукупної вартості життєвого циклу споруди (капітальні витрати, експлуатаційні витрати, витрати на ліквідацію) з урахуванням дисконтування в залежності від товщини світлопрозорого покриття (рис. 2.6 – 2.8).

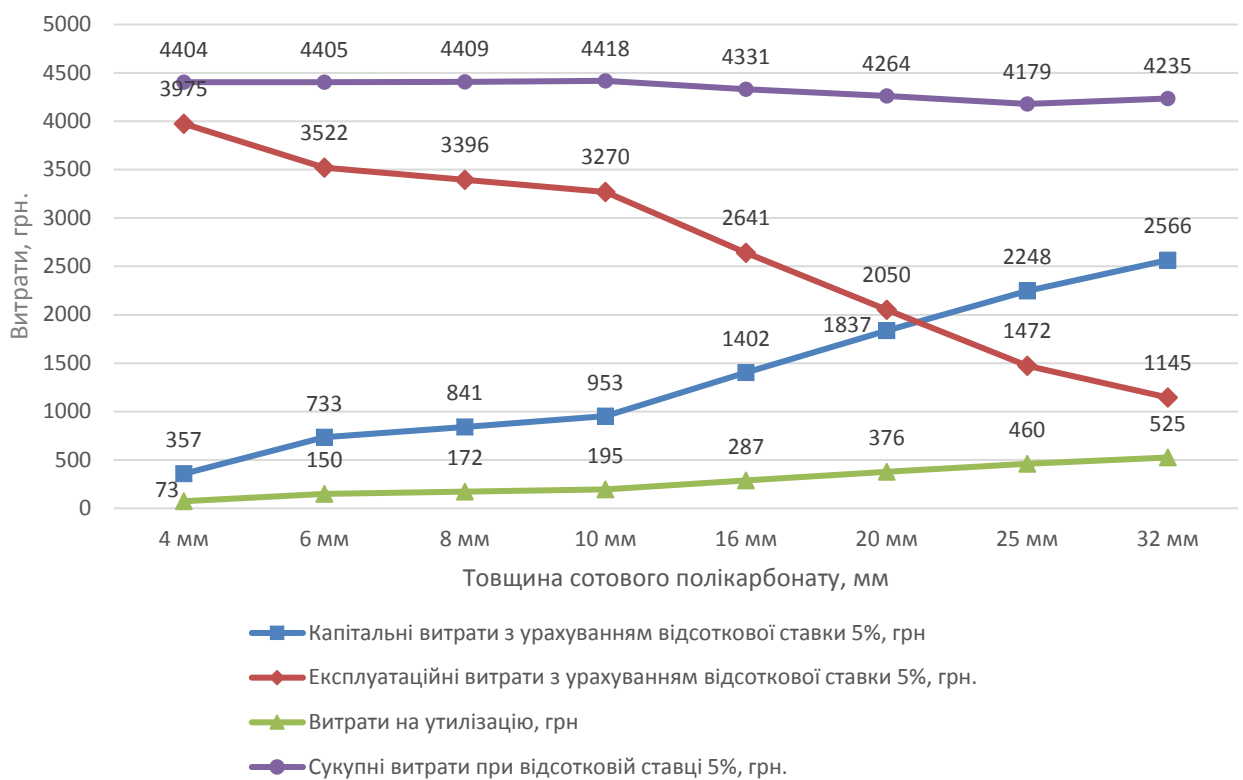


Рисунок 2.6 – Залежність складових сукупної вартості від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування із відсотковою ставкою 5%

Представлені залежності складових сукупної від товщини полікарбонату з урахуванням відсоткових ставок 5%, 10% і 20% на рис. 2.6 – 2.8, засвідчують, що експлуатаційні витрати знижуються при збільшенні товщини світлопрозорої огорожуючої конструкції, але при цьому капітальні витрати з урахуванням відсоткової ставки значно збільшуються.

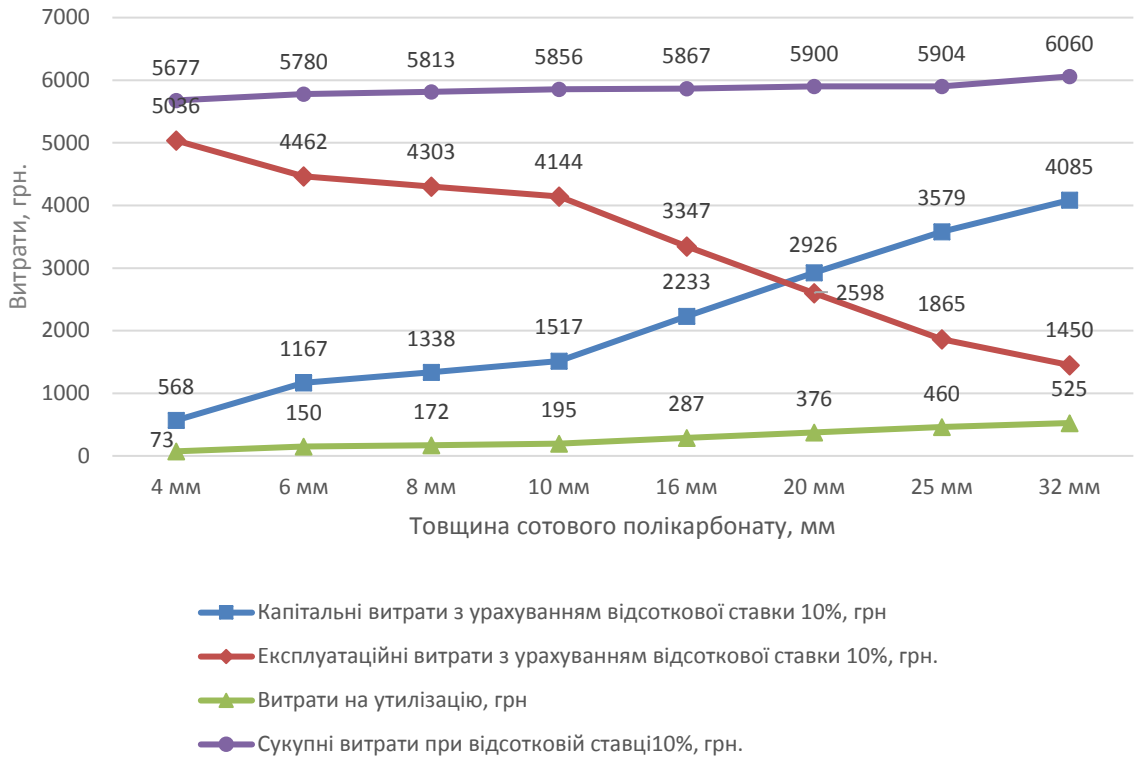


Рисунок 2.7 – Залежність складових сукупної вартості від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування із відсотковою ставкою 10%

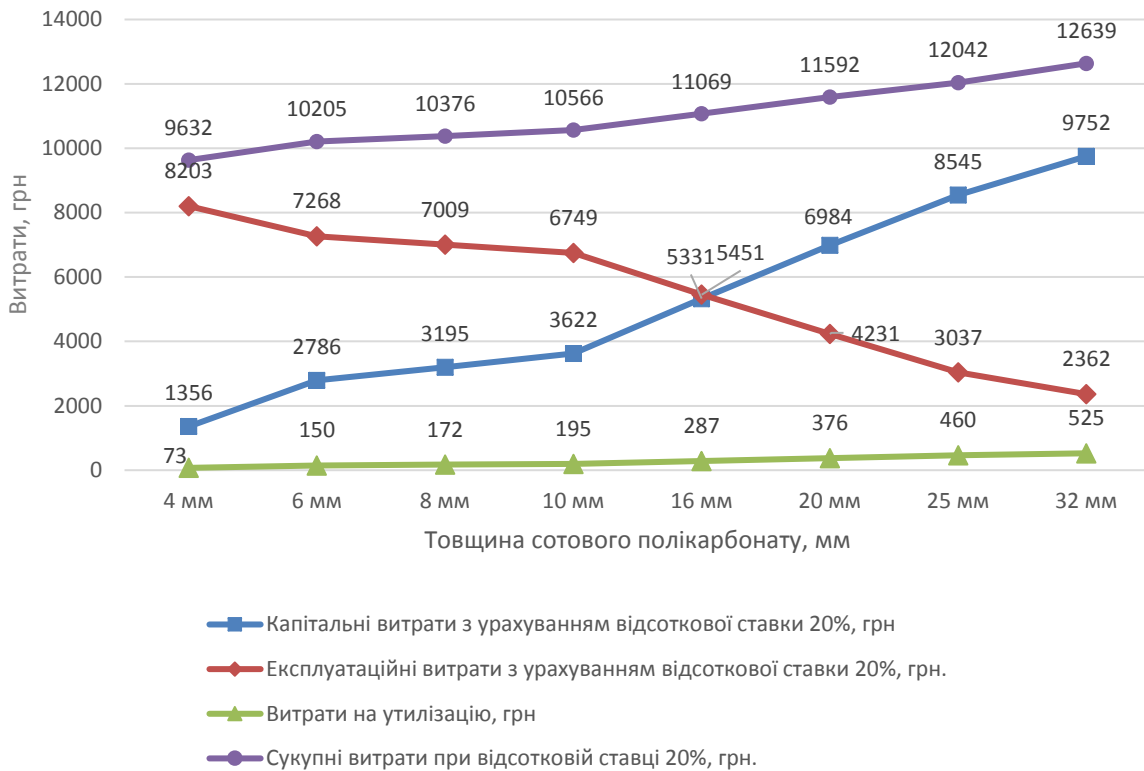


Рисунок 2.8 – Залежність складових сукупної вартості від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування із відсотковою ставкою 20%



Для визначення зміни величини витрат на капітальні вкладення в залежності від відсоткової ставки на капітал порівняємо варіанти зі ставкою 5%, 10%, 20 %, відповідно (рис.2.9).

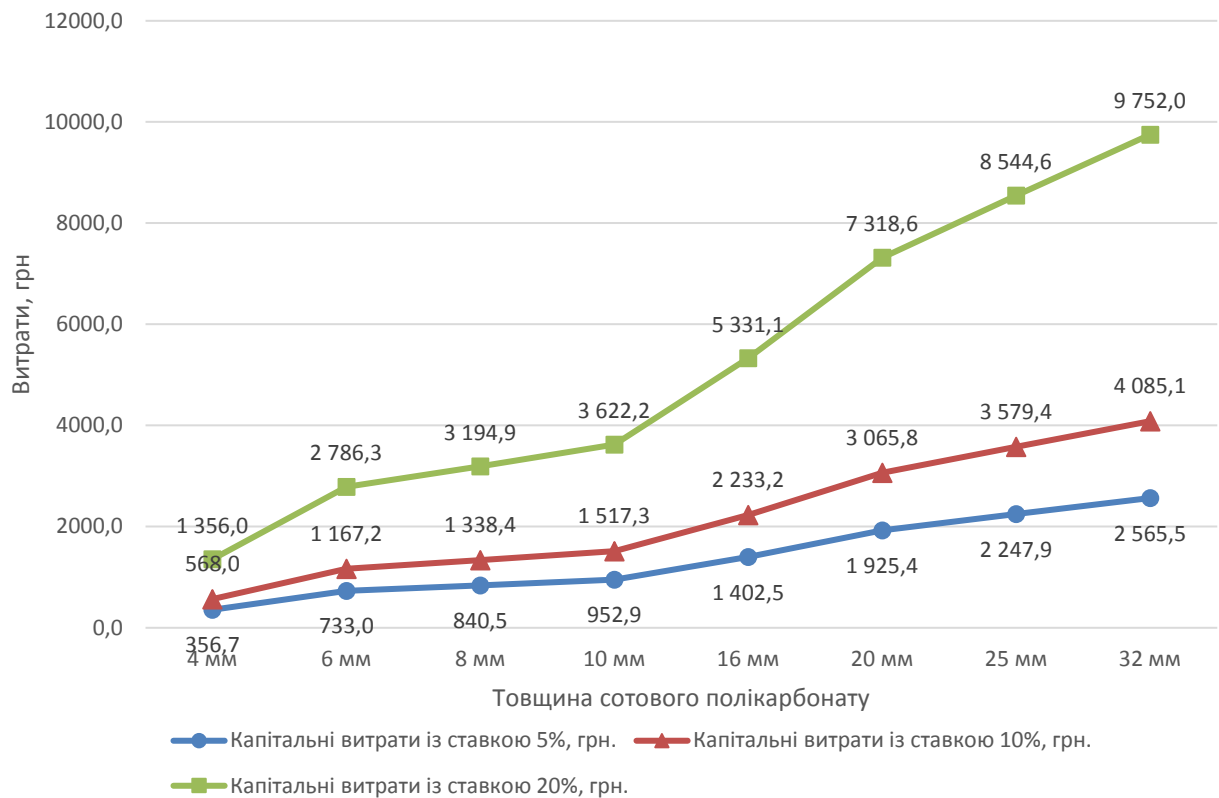
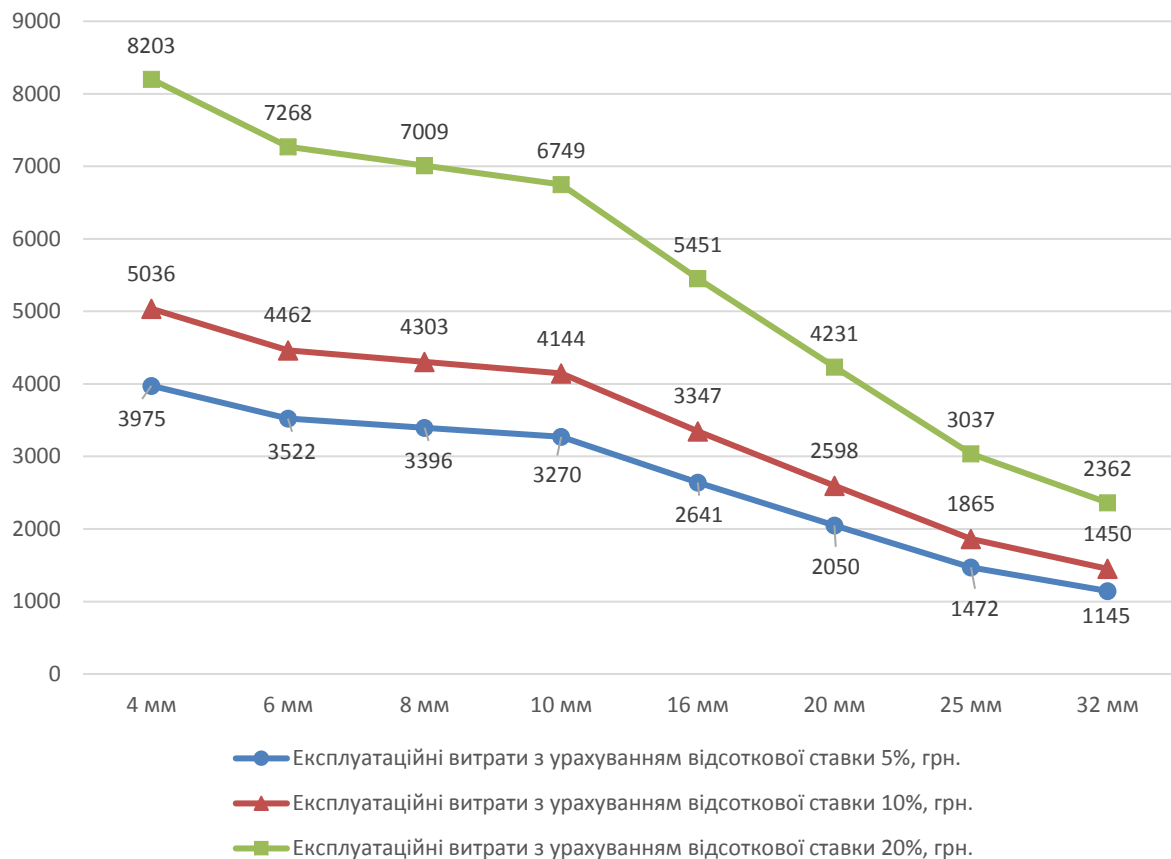


Рисунок 2.9 – Зміна величини витрат на капітальні вкладення в залежності від відсоткової ставки на капітал

На основі приведених даних, можна стверджувати, що при зростанні відсоткової ставки на капітал, капітальні витрати з урахуванням дисконтування при терміні експлуатації споруди 10 років значно збільшуються при більш високих ставках. Наприклад, капітальні вкладення для товщини полікарбонату 4 мм з урахуванням відсоткової ставки на капітал 5%, 10%, 20% складають 356,7 грн., 568 грн. і 1356 грн. відповідно. Для товщини 4 мм збільшення відсоткової ставки на 15 % збільшує обсяг капітальних вкладень в 3,8 раз. Для всіх інших товщин полікарбонату залежність збільшення капітальних вкладень від збільшення відсоткової ставки зберігається.

Для визначення зміни величини експлуатаційних витрат в залежності від відсоткової ставки на капітал порівняємо варіанти зі ставкою 5%, 10%, 20%, відповідно (рис.2.10).



Риунок 2.10 – Зміни експлуатаційних витрат в залежності від відсоткової ставки на капітал

Дані засвідчують, що при зростанні відсоткової ставки на капітал, експлуатаційні витрати з урахуванням дисконтування 5%, 10%, 20% і при терміні експлуатації споруди 10 років зменшуються при збільшенні товщини полікарбонату.

Наприклад, експлуатаційні витрати для товщини полікарбонату 32 мм з урахуванням відсоткової ставки на капітал 5%, 10%, 20% складають, відповідно, 3975 грн., 5036 грн. і 8203 грн.

Для товщини 32 мм збільшення відсоткової ставки на 15 % збільшує обсяг експлуатаційних витрат в 2,1 рази, а із збільшенням товщини покриття

від 4 мм до 32 мм експлуатаційні витрати знижуються в 3,5 рази і вони постійні для відсоткових ставок.

#### **2.4. Висновки до розділу 2**

1. Виконано аналіз і узагальнення основних технічних характеристик сотового полікарбонату та обґрунтовано його використання в якості світлопрозорого покриття для споруд закритого ґрунту, як такого, що має значні переваги серед представлених сьогодні на ринку матеріалів.

2. На основі розрахунку сукупної вартості (aggregate value – AV) запропонований метод визначення раціональних характеристик світлопрозорого покриття для споруд закритого ґрунту за критерієм енергоефективності з урахуванням життєвого циклу споруди при різних відсоткових ставках на капітал.

3. Встановлено, що:

- із збільшенням товщини світлопрозорого покриття від 4 мм до 32 мм покращуються його теплозахисні властивості, що знижує експлуатаційні витрати, а саме - витрати на опалення в 3,5 рази;

- капітальні витрати зі збільшенням відсоткової ставки від 5% до 20% зростають в 3,8 раз.

- за даних економічних умов варто враховувати, що чим більша відсоткова ставка на капітал, тим вигідніше скорочувати початкові капітальні вкладення завідомо йдучи на збільшення експлуатаційних витрат.

#### **2.5. Список використаних джерел у розділі 2**

У розділі 2 використані [14, 15, 16, 48, 95, 109, 110, 111] літературні джерела. Їх найменування наведені в загальному списку використаних джерел.

## РОЗДІЛ 3.

### РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СПОРУД ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ

#### 3.1. Основні фактори, що впливають на ефективність конструкцій споруд закритого ґрунту

Для підвищення енергоефективності споруд закритого ґрунту необхідно використовувати комплексний підхід, ще на стадії проектування, а саме враховувати фактори, які впливають на зниження потреб в енергії та підвищують продуктивність теплиці.

До основних факторів, як зазначалось в Розділі 1, що необхідно враховувати при проектуванні і будівництві енергоефективної теплиці належать:

- орієнтація;
- геопросторове розташування;
- конструктивна форма;
- матеріали конструкцій теплиці.

Фактор, на який слід звертати увагу в першу чергу при проектуванні і будівництві теплиці, - це визначення оптимального місця розташування і орієнтації споруди. Орієнтація визначає, скільки сонячного тепла і світла буде надходити до теплиці протягом дня.

Ефективність конструкції теплиці визначається її здатністю отримувати і накопичувати тепло сонячної радіації. Тобто, теплиця повинна бути орієнтована таким чином, щоб забезпечити максимальне проникнення сонячного світла і тепла протягом доби. Отримана сонячна енергія може бути використана не тільки в освітленні теплиці, а і, як додаткове альтернативне джерело енергії в її системі опалення.

Радіаційний режим території України сприятливий для практичного використання сонячної енергії (рис. 3.1.) Згідно з останніми метеорологічними спостереженнями в Україні протягом року буває, залежно

від регіону, 100 – 200 сонячних днів. Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що надходить на  $1 \text{ м}^2$  поверхні, на території України знаходиться в межах: від  $1000 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$  у північній частині України і до  $1400 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$  у південній частині. Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні  $1235 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$  [112].



Рисунок 3.1 – Середньорічне надходження сонячної енергії на територію України [113]

Сонячна енергія надходить до Землі у вигляді електромагнітних хвиль, які кількісно характеризуються питомою густиною потоку та вимірюються у  $\text{Вт}/\text{м}^2$  [114]. Дані про зміну сонячної енергії протягом дня та року можна отримати з відповідної літератури [111].

Наступним фактором, який впливає на загальну ефективність конструкції теплиці є її геопросторове розташування відносно рівня землі.

Одним із способів заощадження енергії при експлуатації теплиці є використання в її розташуванні сталої температури землі. Це дозволяє заощадити витрати на її обігрів в холодний період року і створює більш

стабільний мікроклімат всередині теплиці [48, 64].

За даними досліджень [48] земля згладжує амплітуду коливань, як добових, так і річних температур. Зміна сезонних температур позначається в землі на глибині лише кількох метрів, між тим зміна температури повітря протягом години або доби на температуру землі практично не впливає.

На більшій глибині відзначаються лише сезонні коливання температури, а зміни температури спостерігаються тільки через тривалий час. Так, для м. Дніпро середньорічна температура землі на глибині 3.2 м дорівнює  $10.3^{\circ}\text{C}$ , а середня температура за опалювальний період на цій же глибині -  $9.5^{\circ}\text{C}$  [48].

З цього витікає - чим більше заглибити теплицю в ґрунт, тим стабільнішими будуть показники мікроклімату всередині. Заглиблений, екологічно чистий метод вирощування рослин існує вже багато років і довів свою ефективність, він використовує ресурси природи, щоб забезпечити стабільне і тепле середовище для вирощування рослин протягом року.

Заглиблені теплиці можуть бути побудовані в різних географічних і кліматичних умовах, але в більшості випадків їх використовують в північних регіонах. Як правило, такі конструкції побудовані на глибині від 1.0 до 2.0 м, також можуть отримувати сонячне випромінювання, а ступінь заглиблення в ґрунт дозволяє зберігати більшу частину отриманої сонячної радіації і мінімізувати втрати тепла.

З розвитком будівельної галузі і виникненням нових видів будівельних матеріалів значно розширюються можливості створення різних конструктивних форм теплиць. Від конструктивної форми теплиці залежать габаритні розміри теплиці, вибір матеріалів каркасу і огороження, здатність конструкції теплиці чинити опір різним видам навантажень, строк експлуатації, а також кількість отриманої теплицею сонячної енергії.

Кількість сонячної енергії, яка надходить до теплиці, залежить не тільки від орієнтації теплиці і площі її світлопрозорих поверхонь, а і від кута нахилу цих поверхонь відносно сонячних променів, фактору затіненості, а

також чистоти поверхні (так забруднені світлопрозорі поверхні знижують інтенсивність проникаючого випромінювання до 30%).

Вибір матеріалів для конструкцій теплиці теж впливає на її загальну енергоефективність. При виборі матеріалу для непрозорих конструкцій теплиці, таких як, фундамент, або південна стіна в односклих теплицях, необхідно враховувати те, що ці конструкції можуть бути використані в якості акумуляторів тепла.

### **3.2. Залежності для дослідження радіаційного режиму світлопрозорих поверхонь**

Надходження сонячного тепла через світлопрозорі огороження є нестационарним процесом, який залежить від зміни температури зовнішнього повітря і інтенсивності сонячної радіації.

В приміщення, безпосередньо, через світлопрозорі огороження потрапляє короткохвильове випромінювання, а також конвективне тепло і довгохвильове випромінювання, за рахунок різниці температур і поглиненого сонячного тепла елементами світлопрозорих огорожуючи конструкцій.

Інтенсивність сонячної радіації залежить від положення сонця, відповідно, до моменту часу і пори року, умов хмарності, прозорості атмосфери, широти місцевості та ін. Сонячна радіація, що надходить на будь-яку поверхню складається із трьох потоків: прямого, розсіяного та відбитого від рельєфу та навколишніх поверхонь.

Сумарна сонячна радіація, що надходить на будь-яку поверхню визначається за формулою [96]:

$$I_{sol,k} = I_b + I_d + I_r, \quad (3.1)$$

де  $I_{sol,k}$  – сумарна сонячна радіація, що надходить на будь-яку поверхню у проміжок часу, Вт/м<sup>2</sup>;

$I_b$ ,  $I_d$ ,  $I_r$  - складові загальної сонячної радіації відповідно: прямої,

розсіяної і відбитої від земної поверхні, Вт/м<sup>2</sup>.

Інтенсивність прямої сонячної радіації, що надходить на розташовану під будь-яким кутом поверхню, визначається за формулою [96, 115]:

$$I_B = I_{\text{пер}} \cdot \cos \theta, \quad (3.2)$$

де  $I_{\text{пер}}$  – інтенсивність прямої сонячної радіації, що надходить на перпендикулярну сонячним променям поверхню;

$\cos \theta$  – кут падіння сонячних променів на поверхню.

Інтенсивність прямої сонячної радіації, що надходить на перпендикулярну сонячним променям поверхню приймають згідно даних фактичних спостережень актинометричної мережі. Якщо такі данні відсутні, тоді її визначають за формулою Кострова-Савінова [96, 116]:

$$I = \frac{I_0 \sin h}{\sin h + c}, \quad (3.3)$$

де  $I_0$  – сонячна постійна на межі атмосфери, дорівнює 1260 – 1390 Вт/м<sup>2</sup>;

$h$  – висота Сонця для даної місцевості в певну годину доби, град;

$c$  – емпіричний коефіцієнт, що характеризує прозорість атмосфери.

Висота сонця  $h$  визначається за формулою [115, 116, 117]:

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega, \quad (3.4)$$

де  $\varphi$  – географічна широта місцевості;  $\delta$  – кут нахилу сонця;  $\omega$  – годинний кут сонця в даний момент часу.

Кут нахилу сонця можна визначити по формулі Купера [115, 116, 117]:

$$\delta = \delta_0 \sin \left( 360 \frac{284 + d(t)}{365} \right), \quad (3.5)$$



де  $\delta_0$  – максимальний нахил, що дорівнює  $23,45^\circ$ ;

$d(t)$  – номер дня року

Часовий кут Сонця визначається перерахуванням середнього місцевого часу на істинний сонячний час [115, 117, 118]:

$$\omega = \left[ \tau(t) + \frac{\lambda}{15^\circ} - Z_{\Pi} + E(t) - 12^h \right] \cdot 15^\circ, \quad (3.6)$$

де  $\tau(t)$  – поточний час доби (змінюється в межах від  $0^h$  до  $24^h$ ), год;

$\lambda$  – довгота місцевості (на схід від Гринвічу додатна, на захід - від'ємна);

$Z_{\Pi}$  - номер часового поясу (так, для UTC2  $Z_{\Pi} = 2$ , для UTC3  $Z_{\Pi} = -3$ );

$E(t)$  - (різниця між істинним сонячним та середнім часом) [5]:

$$E(t) = 3,85 \left[ \begin{array}{l} 0,000075 + 0,001868 \cdot \cos B(t) - 0,032077 \cdot \sin B(t) - \\ -0,014615 \cdot \cos 2B(t) - 0,04089 \cdot \sin 2B(t) \end{array} \right], \quad (3.7)$$

де

$$B(t) = [d(t) - 1] \frac{360}{365}. \quad (3.8)$$

Кут падіння сонячних променів на вертикальні, відповідно орієнтовані по сторонах світу (Пд, Пн, С, З та ін.), і горизонтальну поверхні визначається згідно формул [96]:

$$\cos \theta_{\text{Пд}} = \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \omega - \sin \delta \cdot \cos \varphi; \quad (3.9)$$

$$\cos \theta_{\text{Пн}} = \sin \delta \cdot \cos \varphi - \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \omega; \quad (3.10)$$

$$\cos \theta_{\text{З,Сх}} = \cos \delta \cdot \sin \omega; \quad (3.11)$$

$$\cos\theta_{\text{Пд-3,Пд-Сх}} = 0,707(\cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos\omega - \sin\delta \cdot \cos\varphi + \cos\delta \cdot \sin\omega); \quad (3.12)$$

$$\cos\theta_{\text{Пн-3,Пн-Сх}} = 0,707(\cos\delta \cdot \sin\omega + \sin\delta \cdot \cos\varphi - \cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos\omega); \quad (3.13)$$

$$\cos\theta_{\text{Гор}} = \sin\delta \cdot \sin\varphi + \cos\omega \cdot \cos\delta \cdot \cos\varphi. \quad (3.14)$$

Надходження прямої сонячної радіації на похилу поверхню будь-якої орієнтації можна виразити через її потоки на горизонтальну і вертикальну поверхні відповідної орієнтації [117]:

$$I = I_H \cdot \cos\beta + I_V \cdot \sin\beta, \quad (3.15)$$

де  $I_H$  – надходження прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню;

$I_V$  - надходження прямої сонячної радіації на вертикальну поверхню;

$\beta$  – кут нахилу поверхні по відношенню до горизонтальної площини.

Інтенсивність потоків розсіяної радіації  $I_d$  від різних точок небосхилу неоднакова. При визначенні розсіяної радіації, яка надходить на вертикальні поверхні, зазвичай використовують експериментально визначені значення величин розсіяної радіації, що надходить на горизонтальну поверхню. Ще один спосіб визначення величини розсіяної радіації базується на даних освітленості вертикальних поверхонь різної орієнтації розсіяним світлом і приймають світловий потік пропорціональним енергетичному потоку розсіяної радіації [96].

Для визначення розсіяної сонячної радіації, що надходить на похилу поверхню використовують анізотропну модель Дж. Хея [115, 119, 120]:

$$I_{d\text{пох}} = I_{d\text{гор}} \left[ F_{\text{Нау}} \frac{\cos\theta}{\sin h} + (1 - F_{\text{Нау}}) \cdot \cos^2 \frac{\beta}{2} \right], \quad (3.16)$$

$$F_{Нау} = \frac{I_{sol,гор} - I_{d,гор}}{I_0}, \quad (3.17)$$

де  $I_0$  - сонячна постійна на межі атмосфери, Вт/м<sup>2</sup>;

$I_{d,гор}$  – потік розсіяної сонячної енергії на горизонтальну поверхню, Вт/м<sup>2</sup>;

$I_{sol,гор}$  – потік сумарної сонячної радіації на горизонтальну поверхню, Вт/м<sup>2</sup>.

Розсіяна сонячна радіація, що надходить на горизонтальну поверхню визначається по формулі Берлаге [115, 116]:

$$I_{d,гор} = \frac{1}{3}(I_0 - I_{пер}) \cdot \sinh. \quad (3.18)$$

Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню:

$$I_{sol,гор} = I_{в,гор} + I_{d,гор}, \quad (3.19)$$

де  $I_{в,гор}$  – пряма сонячна радіація на горизонтальну поверхню, Вт/м<sup>2</sup>.

Для розрахунку відбитої радіації, що надходить на поверхню в більшості досліджень використовують ізотропну модель [119, 120]:

$$I_r = \frac{I_{sol,гор} \cdot A_k (1 - \cos\beta)}{2}, \quad (3.20)$$

де  $A_k$  – альbedo земної поверхні;

$\cos\beta$  – кут нахилу поверхні.

### **3.3. Вибір конструктивної форми теплиці за критерієм сонячних теплонадходжень і теплових втрат**

Для визначення оптимальної форми енергоефективної теплиці за критеріями сонячних теплонадходжень і теплових втрат проведені

розрахунки обсягів сумарних сонячних теплонадходжень протягом року і теплових витрат протягом холодного періоду (жовтень – квітень) для п'яти найбільш поширених форм теплиць згідно запропонованої класифікації теплиць: варіант 1 - прямокутна теплиця з двосхилим рівномірним покриттям; варіант 2 - прямокутна теплиця з двосхилим нерівномірним покриттям; варіант 3 - прямокутна теплиця з двосхилим покриттям і похилими стінами; варіант 4 - односхила теплиця типу «Вегетарій»; варіант 5 - арочна теплиця.

Всі теплиці, що розглядаються, мають однакові розміри в плані 8,0 x 5,0 м (площа теплиці  $A_g = 40 \text{ м}^2$ ) і висоту - 4 м. Матеріал світлопрозорого огороження - сотовий полікарбонат товщиною 10 мм.

Таблиця 3.1 – Площі світлопрозорих покриттів теплиць, що розглядаються

Тип теплиці за формою	Площа світлопрозорого покриття, $A_{sol}, \text{м}^2$					$A_{sol} / A_g$
	Пд	Пн	З	Сх	Загальна	
<b>Варіант 1.</b> Теплиця з двосхилим рівномірним покриттям	42,1	42,1	14,8	14,8	113,8	2,84
<b>Варіант 2.</b> Теплиця з двосхилим нерівномірним покриттям	51,1	34,7	14,8	14,8	115,47	2,87
<b>Варіант 3.</b> Теплиця з двосхилим покриттям і похилими стінами	39,5	39,5	12,9	12,9	104,8	2,62
<b>Варіант 4.</b> Односхила теплиця типу «Вегетарій»	60,8	-	14,8	14,8	90,5	2,26
<b>Варіант 5.</b> Арочна теплиця	44,1	44,1	17,3	17,3	122,48	3,06

Незважаючи на те, що теплиці мають однакові габаритні розміри, через різницю форм, площа їх світлопрозорих покриттів відрізняється. Через різницю в співвідношенні площі світлопрозорого покриття і площі підлоги теплиці ( $A_{sol} / A_g$ ) кожної форми, загальний обсяг сонячного випромінювання, що надходить до теплиці, буде відрізнятися для кожної форми.

Для визначення сумарних сонячних теплонадходжень до об'єму кожної теплиці використано методику [94], згідно якої сумарні сонячні теплонадходження до будь-якої зони споруди для кожного місяця визначаються за формулою:

$$Q_{sol} = (\sum_k \Phi_{sol,mn,k})t, \quad (3.21)$$

де  $\Phi_{sol,mn,k}$  - усереднений за часом тепловий потік від  $k$ -го джерела сонячного випромінювання, Вт;

$t$  – тривалість місяця, що розглядається, год.

Сонячні теплонадходження через світлопрозорий елемент споруди  $\Phi_{sol,mn,k}$ , Вт, визначається за формулою:

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k}, \quad (3.22)$$

де  $F_{sh,ob,k}$  – понижувальний коефіцієнт затінення перешкодами для еквівалентної площі інсоляції для  $k$ -ої поверхні;

$A_{sol,k}$  - еквівалентна площа інсоляції  $k$ -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу у визначеній зоні чи об'ємі, м<sup>2</sup>;

$I_{sol,k}$  – сумарна сонячна радіація, що надходить на  $k$ -ту поверхню з даною орієнтацією та кутом нахилу за середніх умов хмарності Вт/м<sup>2</sup>;

$F_{r,k}$  - коефіцієнт форми між елементом будівлі та небосхилом;

$\Phi_{r,k}$  – додатковий тепловий потік внаслідок теплового випромінювання в атмосферу від  $k$ -го елемента будівлі, Вт.

Еквівалентна площа інсоляції  $A_{sol,k}$  дорівнює площі абсолютно чорного тіла, що отримує таке ж сонячне теплове надходження, як і поверхня, що розглядається.

Еквівалентну площу інсоляції закленого елемента оболонки розраховують за формулою:

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl}(1 - F_F) \cdot A_{w,p}, \quad (3.23)$$

де  $F_{sh,gl}$  – понижувальний коефіцієнт затінення для рухомих засобів, який у випадку відсутності останніх приймається  $F_{sh,gl} = 1$ ;

$g_{gl}$  - загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії світлопрозорої частини елемента;

$F_F$  - частка площі обрамлення, відношення площі проекції обрамлення до загальної площі проекції заскленого елемента, згідно [94] для світлопрозорих фасадів будівлі рівним  $F_F = 0,2$ ;

$A_{w,p}$  - загальна площа проекції заскленого елемента, м<sup>2</sup>.

Загальний коефіцієнт пропускання дорівнює:

$$g_{gl} = F_w \cdot g_n, \quad (3.24)$$

де  $F_w$  – поправочний коефіцієнт для нерозсіювального скління, приймають  $F_w = 0,90$ ;

$g_n$  – коефіцієнт загального пропускання сонячної енергії при нормальному куті падіння.

Обсяг сумарних сонячних теплонадходжень до об'єму кожної теплиці було розраховано помісячно. Результати розрахунків представлено на рис. 3.2, 3.3 і в таблиці 3.2.

За результатами розрахунку найбільшу кількість сонячної радіації протягом року отримає теплиця арочної форми, варіант 5 – 51636 кВт год, або 1291 кВт/м<sup>2</sup>.

Найменшу кількість сонячної радіації отримає односкхила теплиця типу «Вегетарій», варіант 4 - 45275 кВт год, або 1132 кВт/м<sup>2</sup>, що на 12,3% менше, ніж арочна теплиця. Проте площа світлопрозорого покриття у теплиці типу «Вегетарій» на 26,1% менша за площу прозорого огородження арочної теплиці.

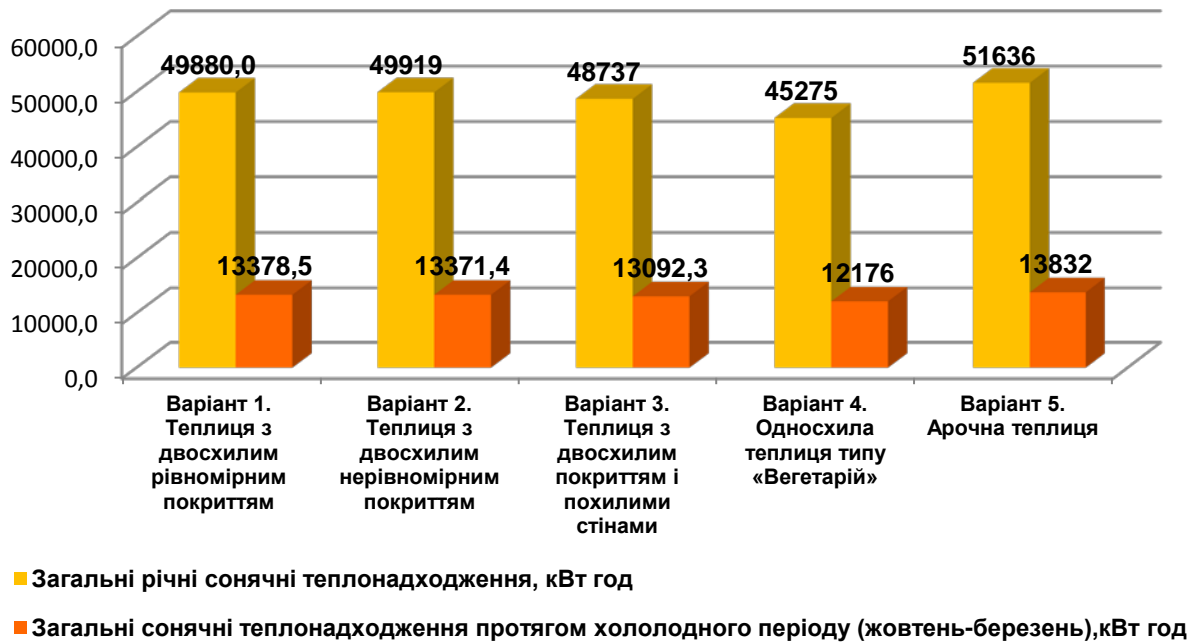


Рисунок 3.2 – Сонячні теплонадходження до об'єму теплиць

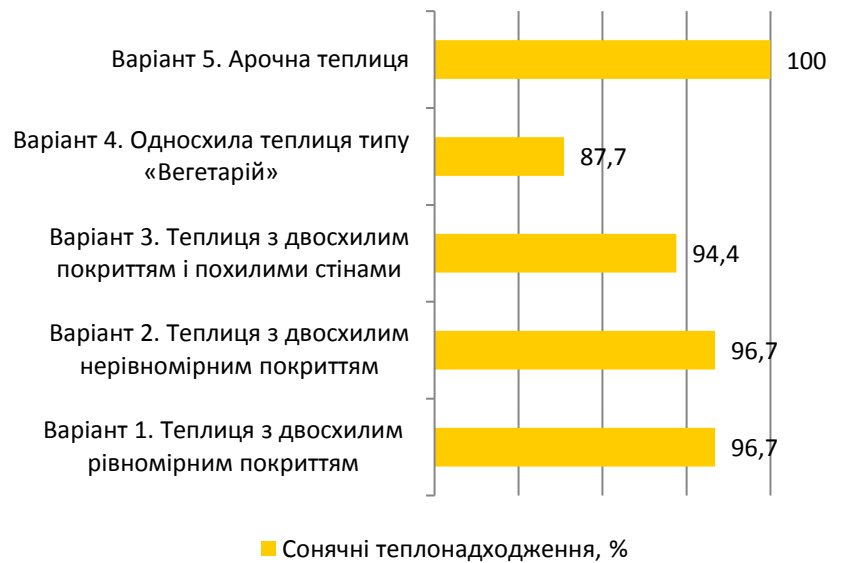


Рисунок 3.3 – Сонячні теплонадходження до об'єму теплиці в залежності від її форми

Кількість сонячної радіації, що надходить до теплиць з двосхилим рівномірним і нерівномірним покриттям, варіант 1 і варіант 2, знаходиться приблизно на одному рівні – 49880 кВт год і 49919 кВт год відповідно.

Таблиця 3.2 – Загальні річні сонячні теплонадходження до об'єму теплиць

Місяць року	Варіант 1. Теплиця з двосхилим рівномірним покриттям	Варіант 2. Теплиця з двосхилим нерівномірним покриттям	Варіант 3. Теплиця з двосхилим покриттям і похилими стінами	Варіант 4. Односхила теплиця типу «Вегетарій»	Варіант 5. Арочна теплиця
I	1530	1528	1496	1375	1584
II	2297	2295	2248	2051	2375
III	3824	3825	3738	3459	3959
IV	4902	4906	4789	4449	5075
V	6543	6552	6390	5902	6775
VI	6942	6954	6777	6186	7190
VII	6941	6952	6775	6230	7192
VIII	6221	6229	6072	5709	6447
IX	4952	4955	4841	4624	5125
X	3180	3179	3114	2967	3285
XI	1464	1462	1435	1348	1510
XII	1084	1082	1062	976	1119
Загальні річні теплонадходження, $Q_{sol}$ річні, кВт год	49880	49919	48737	45275	51636
Теплонадходження на 1 м <sup>2</sup> теплиці, кВт год/м <sup>2</sup>	1247	1248	1218	1132	1291
%	96,7	96,7	94,4	87,7	100



Наступним кроком по визначенню оптимальної форми теплиці є визначення теплових втрат через огорожуючі конструкції протягом холодного періоду.

Для розрахунку теплових втрат прийнято наступні вихідні дані: місце розташування теплиці – м. Дніпро, температура зовнішнього повітря приймалась помісячно і найбільш низька температура холодного періоду згідно [111], температура внутрішнього повітря  $+16^{\circ}\text{C}$ ; коефіцієнт тепловіддачі на поверхнях, що межують із зовнішнім повітрям дорівнює: для прозорих конструкцій  $8 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ , для непрозорих -  $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; коефіцієнт тепловіддачі на поверхнях, що межують із внутрішнім повітрям –  $23 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$  [95, 121].

Температура ґрунту задавалася пошарово для кожного місяця згідно дослідження [122], де його постійне значення знаходиться на глибині 3,2 м. Коефіцієнт теплопровідності ґрунту (для суглинка) прийнятий згідно [122]  $1,02 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ .

Коефіцієнт теплопровідності світлопрозорих конструкцій із сотового полікарбонату 10 мм дорівнює  $0,03 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$  [121].

Розрахунок тепловтрат для п'яти найбільш поширених форм теплиць проводився за умови стаціонарного процесу розповсюдження теплоти за методикою [95] та за допомогою програмного комплексу Elcut 5.1 Professional.

За результатами розрахунків отримано: розподіли температур в конструкціях та ґрунтовому масиві; значення величин теплових потоків по контуру внутрішнього об'єму споруд і епюри розподілу теплових потоків для всіх досліджуваних теплиць помісячно, які представлено у додатку В. Дані щодо розподілу температур і епюри теплових потоків для січня місяця представлені на рис. 3.4...3.8.

Числові значення розрахунків представлені і на рис. 3.9 і рис. 3.10 і в таблиці 3.3.

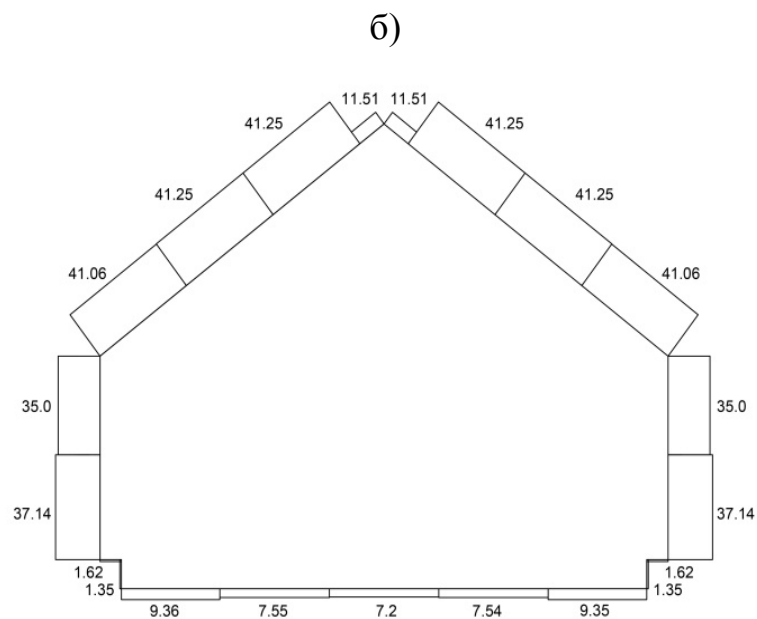
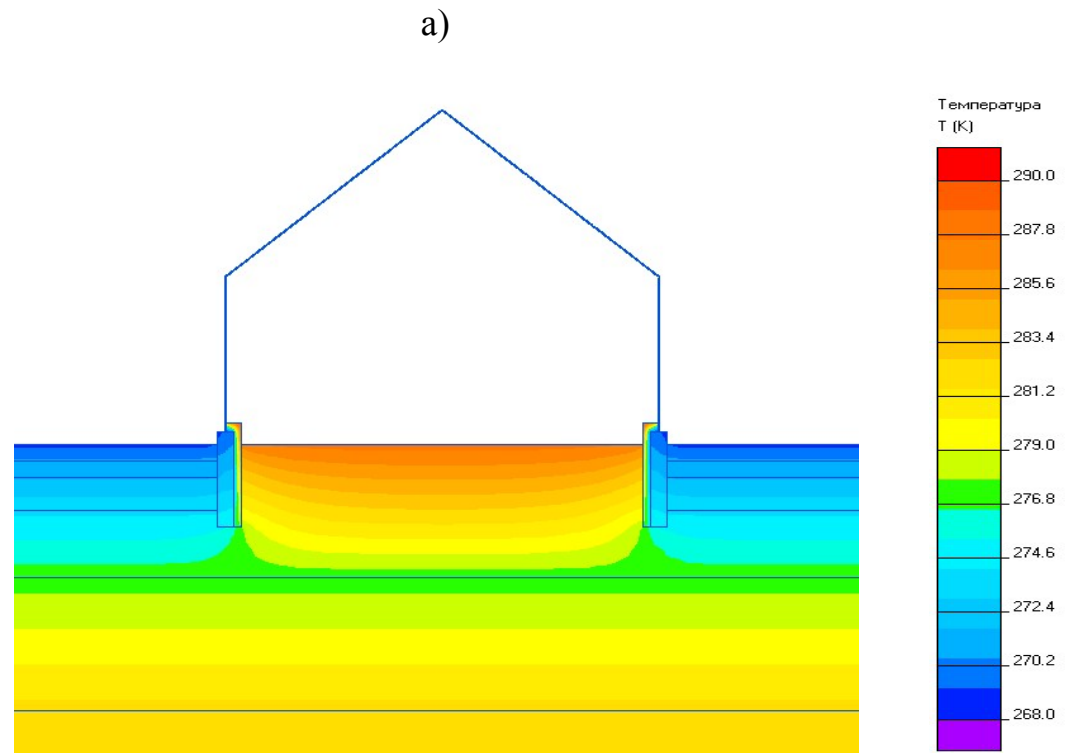


Рисунок 3.4 – Значення теплових втрат через огороджувальні конструкції теплиці з двосхилим рівномірним покриттям для січня місяця і умов м. Дніпро: а) розподіли температур в огороджуючих конструкціях теплиці та ґрунтовому масиві при розрахункових температурах: зовнішнього повітря - 4,7°C (268,3 К); внутрішнього повітря + 16°C (289 К); б) розподіл теплових потоків по внутрішнім поверхням теплиць, Вт

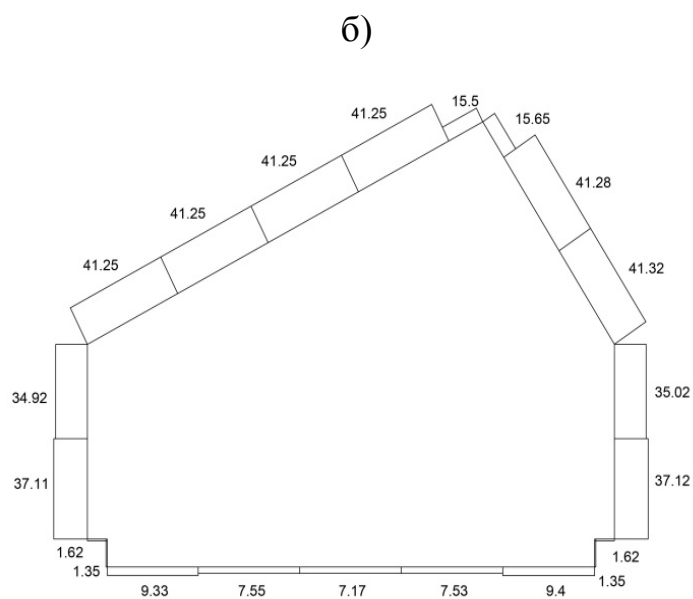
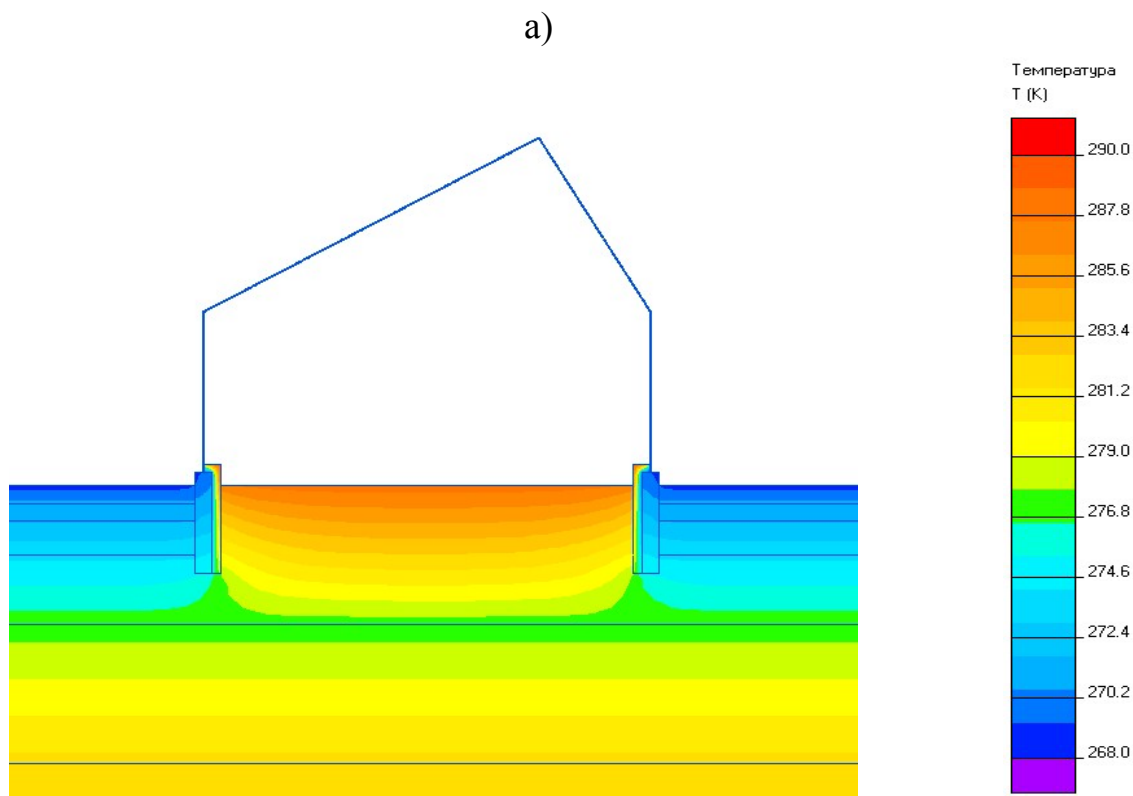


Рисунок 3.5 – Значення теплових втрат через огорожувальні конструкції теплиці з двосхилим нерівномірним покриттям для січня місяця і умов м. Дніпро: а) розподіли температур в огорожуючих конструкціях теплиці та ґрунтовому масиві при розрахункових температурах: зовнішнього повітря -  $4,7^{\circ}\text{C}$  ( $268,3\text{ K}$ ); внутрішнього повітря  $+16^{\circ}\text{C}$  ( $289\text{ K}$ ); б) розподіл теплових потоків по внутрішнім поверхням теплиць, Вт

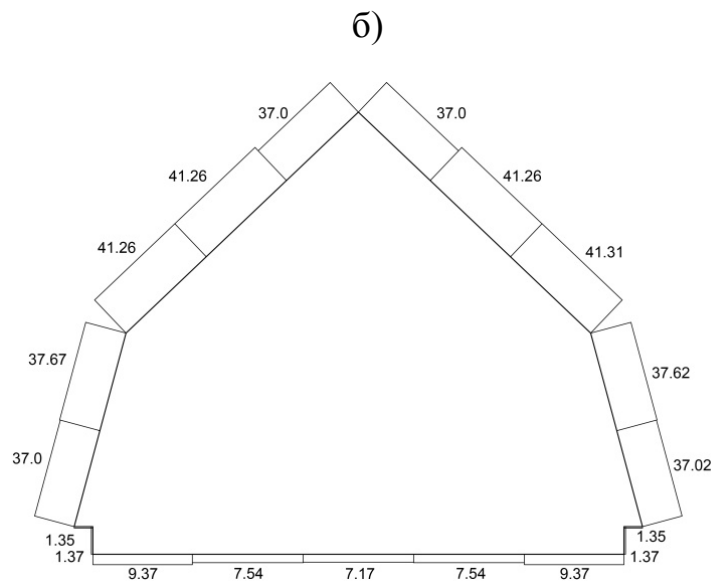
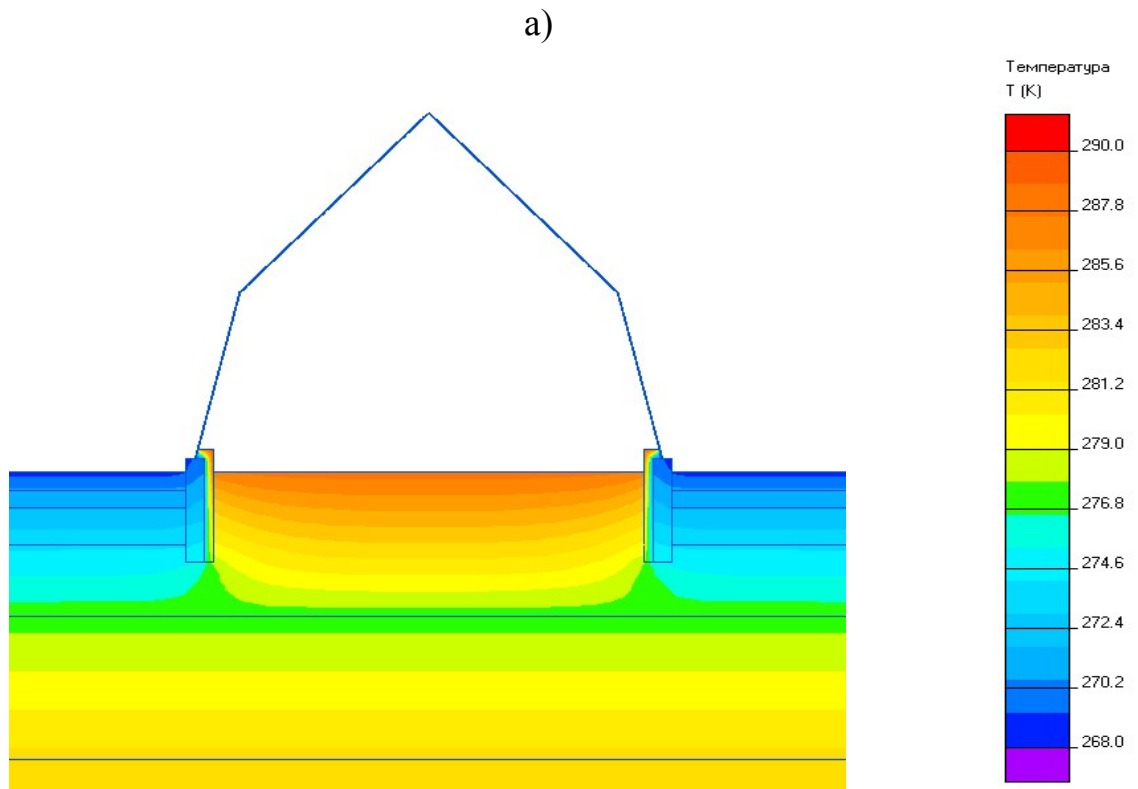


Рисунок 3.6 – Значення теплових втрат через огороджувальні конструкції теплиці з двосхилим рівномірним покриттям і похилими стінами для січня місяця і умов м. Дніпро: а) розподіли температур в огороджуючих конструкціях теплиці та ґрунтовому масиві при розрахункових температурах: зовнішнього повітря  $-4,7^{\circ}\text{C}$  ( $268,3\text{ K}$ ); внутрішнього повітря  $+16^{\circ}\text{C}$  ( $289\text{ K}$ ); б) розподіл теплових потоків по внутрішнім поверхням теплиць, Вт

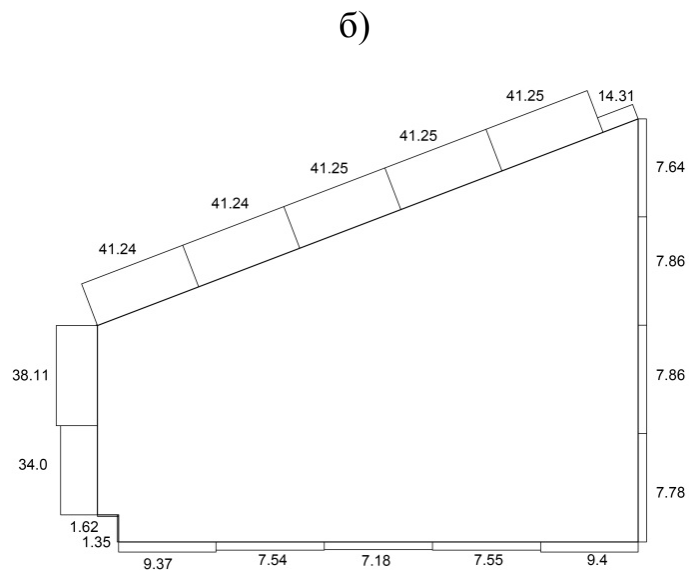
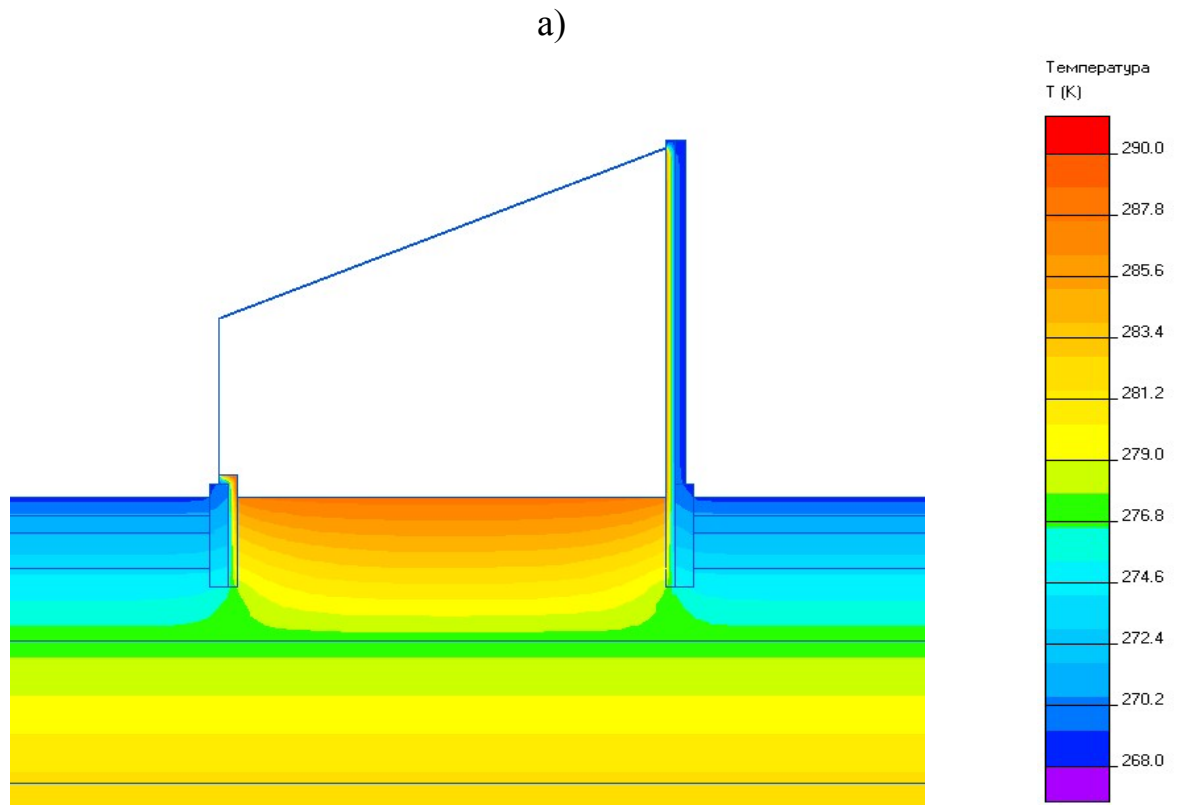


Рисунок 3.7 – Значення теплових втрат через огороджувальні конструкції односхилої теплиці типу «Вегетарій» для січня місяця і умов м. Дніпро:

а) розподіли температур в огороджуючих конструкціях теплиці та ґрунтовому масиві при розрахункових температурах: зовнішнього повітря -  $4,7^{\circ}\text{C}$  ( $268,3\text{ K}$ ); внутрішнього повітря  $+16^{\circ}\text{C}$  ( $289\text{ K}$ ); б) розподіл теплових потоків по внутрішнім поверхням теплиць, Вт

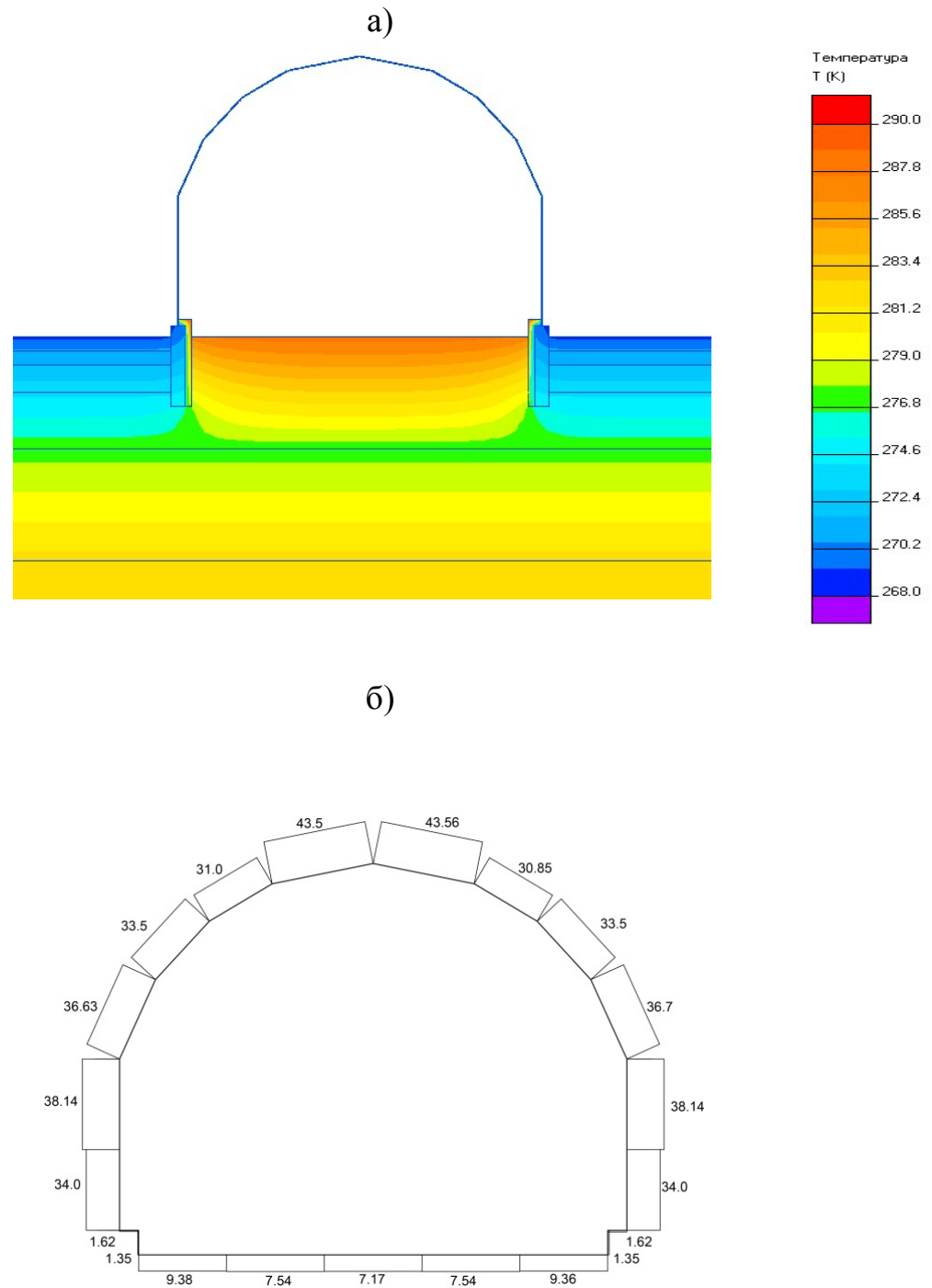


Рисунок 3.8 – Значення теплових втрат через огорожувальні конструкції арочної теплиці для січня місяця і умов м. Дніпро: а) розподіли температур в огорожуючих конструкціях теплиці та ґрунтовому масиві при розрахункових температурах: зовнішнього повітря  $-4,7^{\circ}\text{C}$  (268,3 К); внутрішнього повітря  $+16^{\circ}\text{C}$  (289 К); б) розподіл теплових потоків по внутрішнім поверхням теплиць, Вт

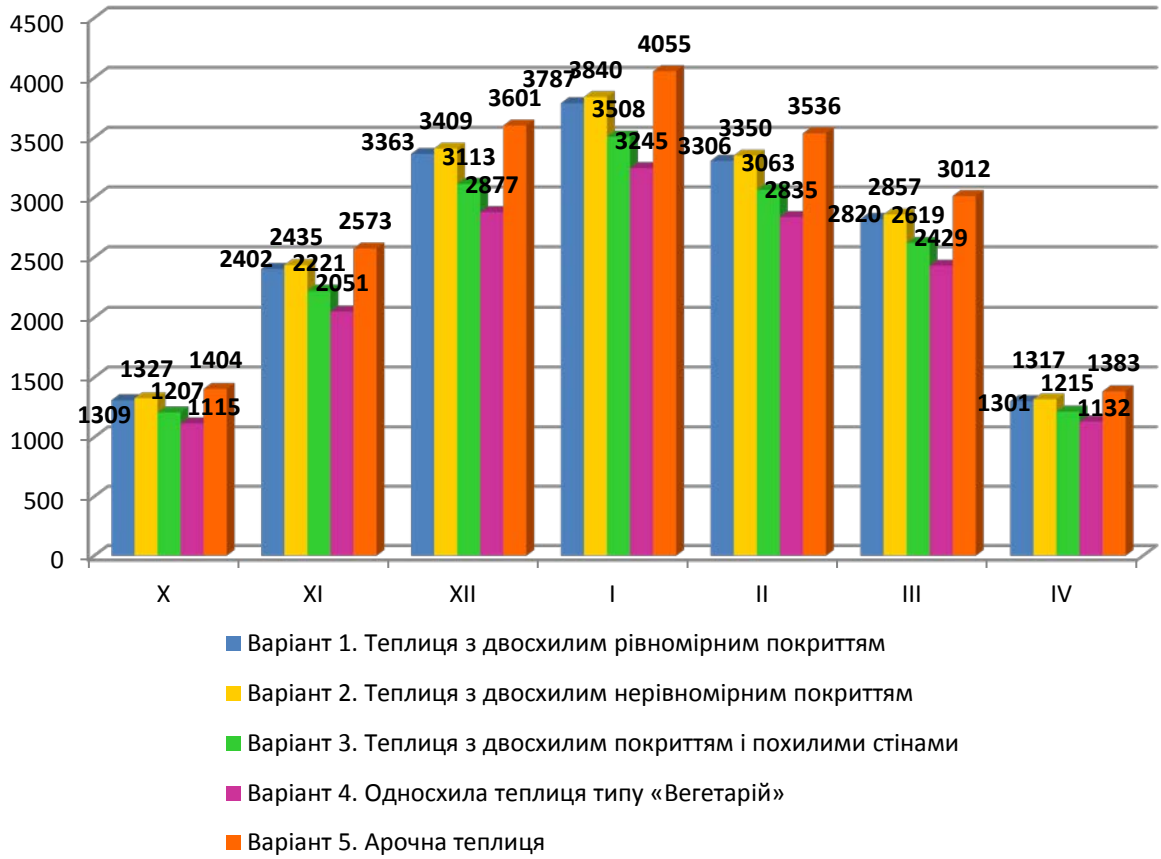


Рисунок 3.9 – Загальні теплові втрати через огороджуючі конструкції теплиць протягом холодного періоду (жовтень – квітень), кВт год



Рисунок 3.10 – Теплові втрати через огороджуючі конструкції теплиць в залежності від форми теплиці у відсотках (%)

Таблиця 3.3 – Значення теплових втрат через огорожувальні  
конструкції теплиць

Вари- ант	Теплові втрати помісячно, кВт·год									
	I	II	III	IV	X	XI	XII	Всьо- го за рік	кВт год/м <sup>2</sup>	%
1.	3787	3305	2820	1301	1309	2402	3363	18287	457,2	93,5
2.	3840	3350	2857	1317	1327	2435	3408	18534	463,3	94,7
3.	3508	3063	2619	1215	1207	2221	3113	16946	423,6	86,6
4.	3245	2835	2429	1132	1115	2051	2877	15684	392,1	80,1
5.	4055	3536	3012	1383	1405	2573	3601	19565	489,1	100

Аналіз результатів розрахунків засвідчує, що найбільші втрати тепла спостерігаються для варіанта 5 - арочна теплиця і протягом холодного періоду складають 19565 кВт год. Найменші втрати тепла спостерігаються для варіанта 4 - теплиця типу «Вегетарій» - 15684 кВт год (20% менше, ніж для варіанта 5).

Виходячи з того, що основні витрати енергії при експлуатації теплиць приходяться на опалення в холодний період року, для обрання оптимальної форми теплиці за критеріями сонячних теплонадходжень і теплових втрат, необхідно порівняти теплові втрати і обсяг сонячних теплових надходжень за зазначений вище період для кожної форми (рис. 3.11).

За даними аналізу, можна стверджувати, що найвигіднішою формою теплиці є варіант 4 – теплиця типу «Вегетарій». Незважаючи на те, що сумарні сонячні теплонадходження на 12,3 % нижчі від сонячних теплонадходжень, які отримує теплиця арочної форми (варіант 5), яка має найвищий показник теплонадходжень, теплові втрати в теплиці типу «Вегетарій» на 20 % нижче, ніж в теплиці арочної форми.



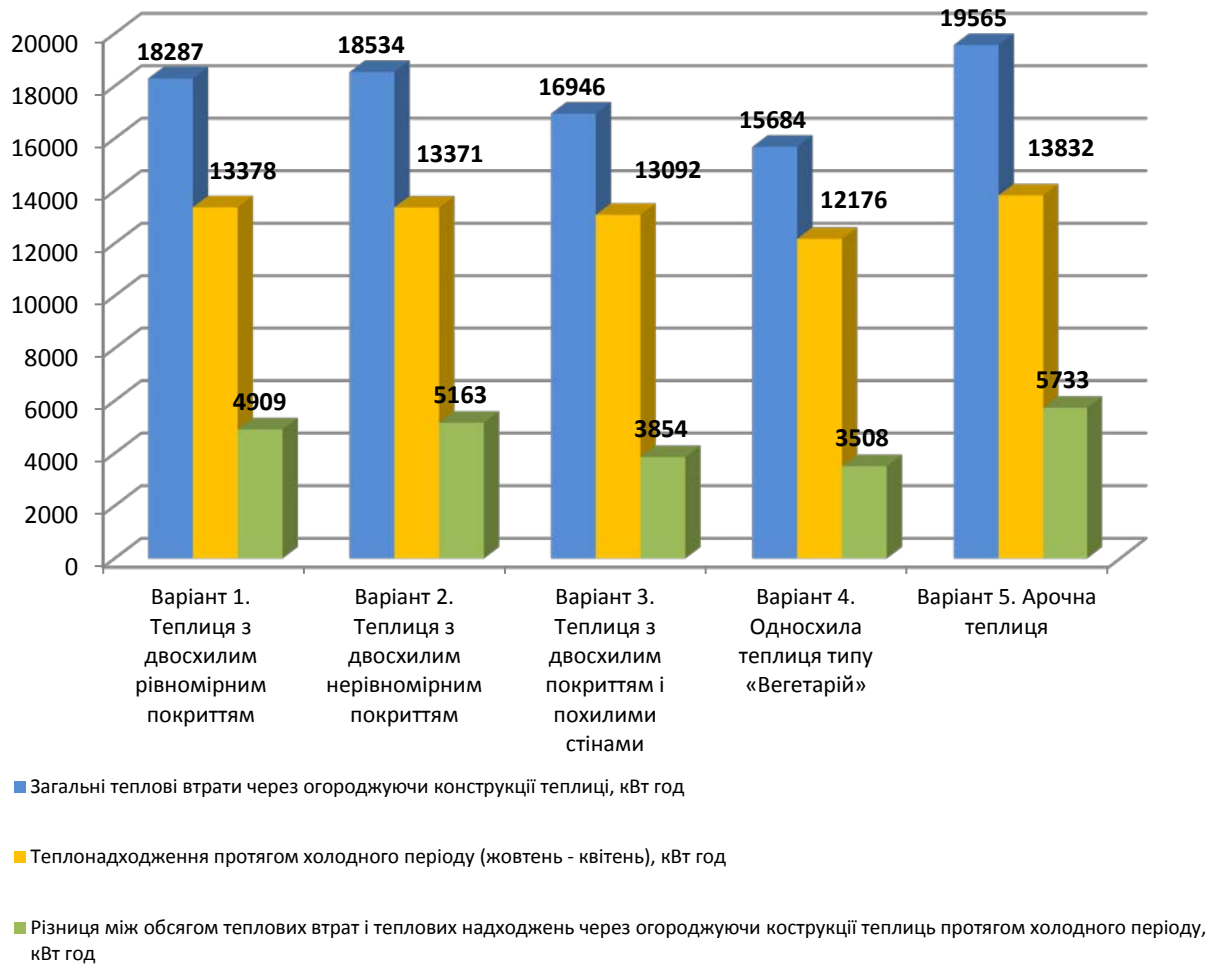


Рисунок 3.11 – Обсяг сонячних теплонадходжень і теплових втрат через огорожувачі конструкції теплиць протягом холодного періоду (жовтень – квітень), кВт год

Якщо порівняти сонячні теплові надходження і теплові втрати протягом найбільш енерговитратного періоду при експлуатації теплиці (жовтень – квітень), можна зробити висновок, що найвигіднішою формою теплиці є також варіант 4 - теплиця типу «Вегетарій», яка має найменшу різницю між тепловтратами і теплонадходженнями в зазначений період – 3508 кВт год. Наступною є конструкція теплиці варіанта 3 – теплиця з двосхилим покриттям і похилими стінами, в якій різниця між тепловтратами і теплонадходженнями складає 3854 кВт год, що на 10% більше ніж для варіанту 4. Теплиця з двосхилим рівномірним покриттям (варіант 1) має різницю між тепловтратами і теплонадходженнями на 40% більшу за

«Вегетарій» - 4909 кВт год; а теплиця з двосхилим нерівномірним покриттям – варіант 2, на 47% більше – 5163 кВт·год. Найбільша різниця між теплонадходженнями і тепловтратами спостерігається для варіанта 5 (арочна теплиця) і складає 5733 кВт год.

### **3.4. Вплив орієнтації теплиці і куту нахилу світлопрозорого покриття на показники енергоефективності**

Наступними факторами, які суттєво впливають на ефективність теплиці є орієнтація відносно сторін світу, а також кут нахилу світлопрозорої поверхні.

Для отримання максимальної кількості сонячної радіації теплиці, зазвичай, розміщують так, щоб сонячні надходження тривали найдовше, особливо якщо теплиця експлуатується цілий рік.

Найвигіднішою для теплиць вважають південну орієнтацію, або південно-східну, тому що найвища висота сонця завжди буде з південної сторони, і інтенсивність сонячного випромінювання при такій орієнтації буде максимальною. Значення фактора орієнтації теплиці значно підвищується в тих випадках, коли теплиця має тільки одну заоклену сторону.

Для визначення оптимальної орієнтації теплиці, а також для дослідження різниці кількості отриманого тепла в залежності від напрямку орієнтації поверхонь, здійснено розрахунок сонячних теплонадходжень за методикою стандарту [94] до об'єму обраної раніше форми теплиці типу «Вегетарій» з ухилом покриття  $25^\circ$ , за умови орієнтації її у різних напрямках – південний, південно-східний, східний, південно-західний, західний.

Результати розрахунку представлені в таблиці 3.4. і на рис. 3.12 і рис. 3.13.

Аналіз результатів розрахунків показує, що для отримання максимальної кількості сонячної енергії необхідно розміщувати теплицю таким чином, щоб найбільш заоклена її поверхня була орієнтована у південному напрямку.

Таблиця 3.4 – Сонячні теплонадходження до об'єму теплиці в залежності від її орієнтації за сторонами світу  $Q_{sol}$ , кВт год

Місяць року	Південь	Південно-Схід	Схід	Південно-Захід	Захід
I	1420	1331	1181	1353	1233
II	2119	2064	1851	2090	1875
III	3579	3490	3207	3525	3260
IV	4608	4565	4297	4538	4259
V	6118	6151	5896	6125	5804
VI	6416	6474	6295	6444	6206
VII	6461	6479	6271	6451	6205
VIII	5916	5928	5612	5915	5454
IX	4784	4675	4289	4682	4226
X	3064	2949	2625	2949	2598
XI	1391	1352	1169	1359	1169
XII	1008	979	850	987	850
Загальні річні теплонадходження, $Q_{sol}$ річні, кВт год	46884	46437	43543	46418	43139

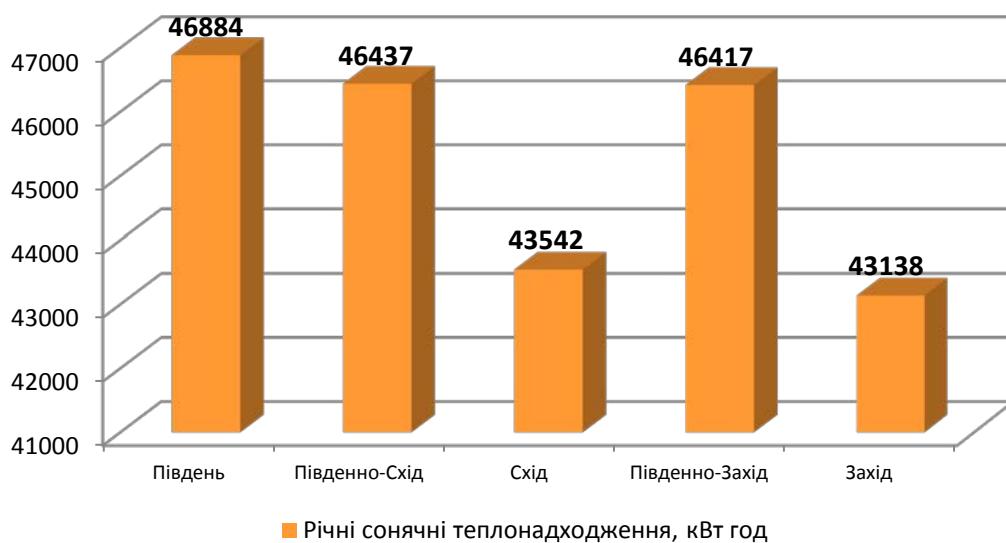


Рисунок 3.12 – Загальні річні сонячні теплонадходження до об'єму теплиці в залежності від її орієнтації за сторонами світу, кВт год

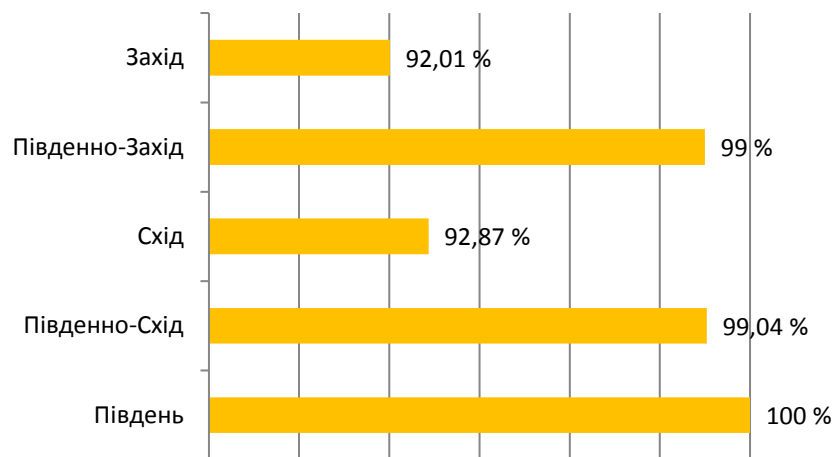


Рисунок 3.13 – Загальні річні сонячні теплонадходження до об'єму теплиці залежно від її орієнтації за сторонами світу, %

При орієнтації у південно-східному або південно-західному напрямку сонячні теплонадходження до об'єму теплиці зменшуються лише на 1%. При зміні орієнтації найбільш заскленої поверхні теплиці у східному напрямку або у західному, сонячні теплові надходження зменшуються на 8%.

Кількість сонячної енергії, яка надходить в теплицю, залежить не тільки від напрямку сонячних променів і площі світлопрозорого покриття, а і кута нахилу світлопрозорих поверхонь відносно сонячних променів. Максимальна кількість сонячної енергії надходить до об'єму теплиці через світлопрозоре покриття в тому випадку, якщо останнє розташовано перпендикулярно сонячним променям.

Особливо цей фактор важливий при експлуатації теплиці в холодний період року, коли сонце не підіймається високо над лінією горизонту і світловий день значно коротший.

Для визначення оптимального кута нахилу світлопрозорої поверхні виконані помісячні розрахунки надходжень сонячної радіації на світлопрозору поверхню площею 1 м<sup>2</sup> із різними кутами нахилу (від 20° до 90°).

Результати розрахунку представлені в таблиці 3.5. і на рис. 3.14.

Таблиця 3.5 – Сонячні теплонадходження через світлопрозоре покриття теплиці в залежності від кута нахилу, Вт/м<sup>2</sup>

Кут нахилу поверхні	Місяць року												Всього за рік, кВт год/м <sup>2</sup>	Річні сонячні теплонадходження, %	Всього за опалювальний період, кВт·год/м <sup>2</sup>	Сонячні теплонадходження за опалювальний період, %
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII				
20°	48,1	83,8	132,6	183,3	242,6	265,6	256,3	229,7	186,4	111,4	51,5	34,9	1336,2	97,4	468,7	91,3
25°	51,0	87,5	136,3	185,9	243,4	265,3	256,6	231,8	191,1	116,3	54,2	37,0	1358,2	99,0	485,2	94,5
30°	53,6	90,6	139,0	187,2	242,4	262,9	254,9	232,2	194,4	120,2	56,5	38,8	1369,9	99,9	498,0	97,0
35°	55,7	92,9	140,7	187,0	239,5	258,5	251,3	230,8	196,1	123,3	58,4	40,3	1371,2	100,0	507,0	98,8
40°	57,4	94,5	141,2	185,4	234,9	252,2	245,7	227,6	196,4	125,4	59,8	41,5	1362,0	99,3	512,1	99,8
45°	58,7	95,5	140,7	182,4	228,4	244,0	238,3	222,7	195,2	126,6	60,8	42,4	1342,5	97,9	513,4	100,0
50°	59,5	95,7	139,1	178,0	220,2	233,8	229,1	216,2	192,4	126,8	61,3	43,0	1312,7	95,7	510,7	99,5
55°	59,9	95,1	136,5	172,3	210,3	222,0	218,1	207,9	188,3	126,0	61,4	43,3	1273,0	92,8	504,2	98,2
60°	59,8	93,9	132,8	165,2	198,8	208,4	205,5	198,1	182,7	124,3	60,9	43,2	1223,5	89,2	493,8	96,2
65°	59,3	91,9	128,1	156,9	185,8	193,2	191,3	186,8	175,7	121,6	60,0	42,8	1164,8	84,9	479,7	93,4
70°	58,3	89,2	122,5	147,4	171,4	176,6	175,6	174,1	167,3	118,0	58,7	42,0	1097,2	80,0	461,9	90,0
75°	56,8	85,9	115,9	136,8	155,7	158,6	158,6	160,0	157,7	113,5	56,9	41,0	1021,2	74,5	440,6	85,8
80°	55,0	81,8	108,4	125,1	138,8	139,4	140,4	144,7	146,9	108,1	54,7	39,6	937,5	68,4	415,9	81,0
85°	52,7	77,2	100,1	112,5	120,9	119,2	121,2	128,4	135,0	102,0	52,0	38,0	846,6	61,7	388,1	75,6
90°	50,0	72,0	91,0	99,0	102,0	98,0	101,0	111,0	122,0	95,0	49,0	36,0	749,3	54,6	357,3	69,6

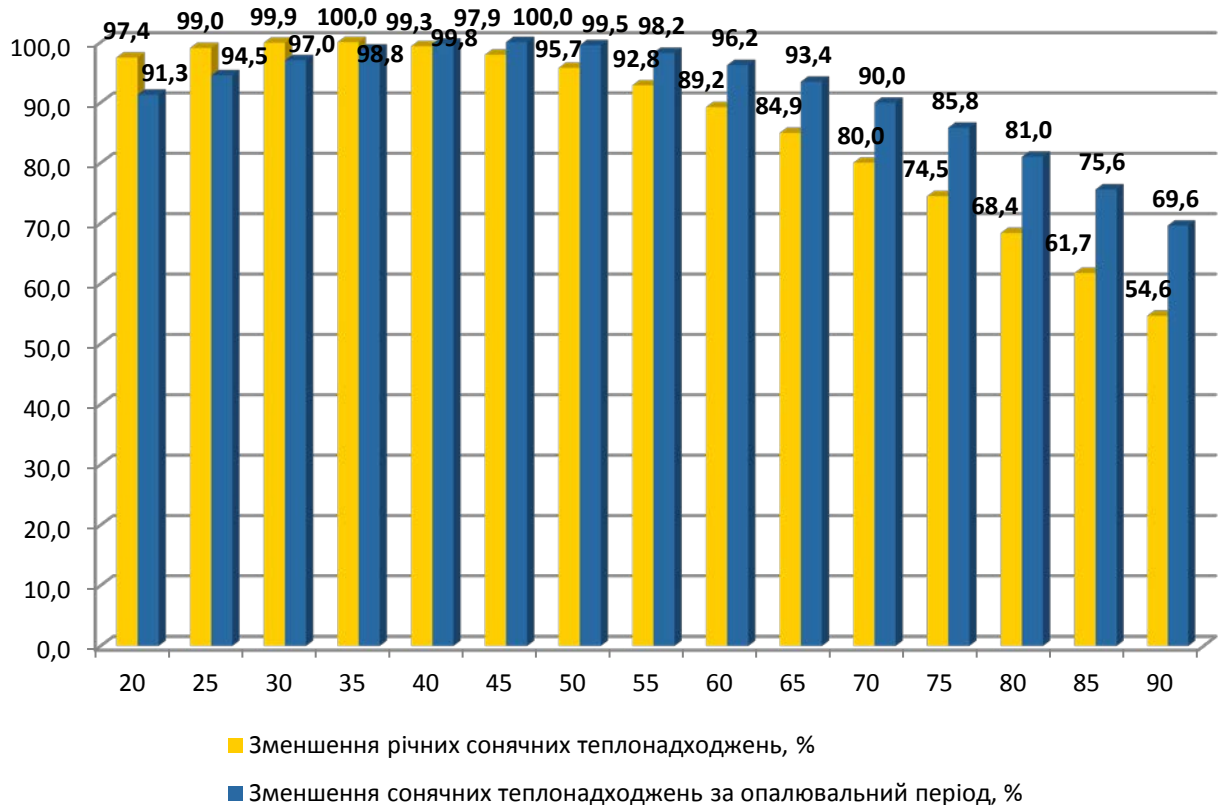


Рисунок 3.14 – Обсяг сонячних теплонадходжень в залежності від кута нахилу світлопрозорого покриття, %

Проаналізувавши результати розрахунку можна зробити наступні висновки:

- якщо розглядати рік в цілому, то найвигідніший кут нахилу світлопрозорого покриття знаходиться в діапазоні від 25° до 40°, де максимальне значення сонячних теплонадходжень надходить на поверхню встановлену під кутом 35° - 1371,2 кВт год/м<sup>2</sup> на рік;

- якщо розглянути тільки холодні місяці періоду з листопада до березня, то кращий кут нахилу світлопрозорого покриття знаходиться в діапазоні від 35° до 55°. Це пояснюється тим, що сонце знаходиться значно нижче над лінією горизонту в холодний період року;

- найбільш раціональним кутом нахилу світлопрозорого покриття в залежності від сонячних теплонадходжень можна вважати кут від 35° до 45°, тому, що, теплонадходження на поверхню розташовану під цими кутами знаходяться на високому рівні і в холодний зимовий період і протягом року,

а їх значення майже не відрізняється від максимальних.

### **3.5. Дослідження геопросторового розташування теплиці за критерієм енергоефективності**

В дослідженнях щодо геопросторового розташування теплиці за критерієм енергоефективності було розглянуто чотири різні схеми розташування теплиці відносно поверхні землі:

I-варіант – звичайна теплиця, розташована на поверхні ґрунту (рис. 3.15);

II-варіант - теплиця заглиблена в ґрунт на 1,0 м (рис. 3.16);

III-варіант – теплиця заглиблена в ґрунт на 1,85 м (рис. 3.17);

IV-варіант – теплиця підземна, для освітлення рослин використовуються порожнисті трубчаті світловоди (рис. 3.18).

Одним з перспективних способів підвищення ефективності освітлення в підземних теплицях є застосування порожнистих трубчатих світловодів. Світловоди виробляються у вигляді закінчених модулів з джерелами світла, які легко стикуються один з одним для нарощування протяжності освітлювальної системи. Діаметр світловодів коливається від 250 до 1100 мм, довжина до 16 метрів. Основні виробники, які представлені на українському ринку: Solartube (США), Sunpipe (Великобританія), Solarspot (Італія) і Solarway (РФ).

Перевагою використання світловодів для освітлення підземних теплиць є зниження витрат на електричне штучне освітлення. Використання природного світла як альтернативи штучному в денний час в залежності від ресурсу сонячної енергії регіону дозволяє знизити витрати на освітлення на 50 - 75% [123].

Для розрахунку найбільш раціонального розташування теплиці відносно поверхні землі для всіх варіантів прийнято наступні умови: температура зовнішнього повітря дорівнює  $-24^{\circ}\text{C}$  [111], температура внутрішнього повітря  $+16^{\circ}\text{C}$  [22].

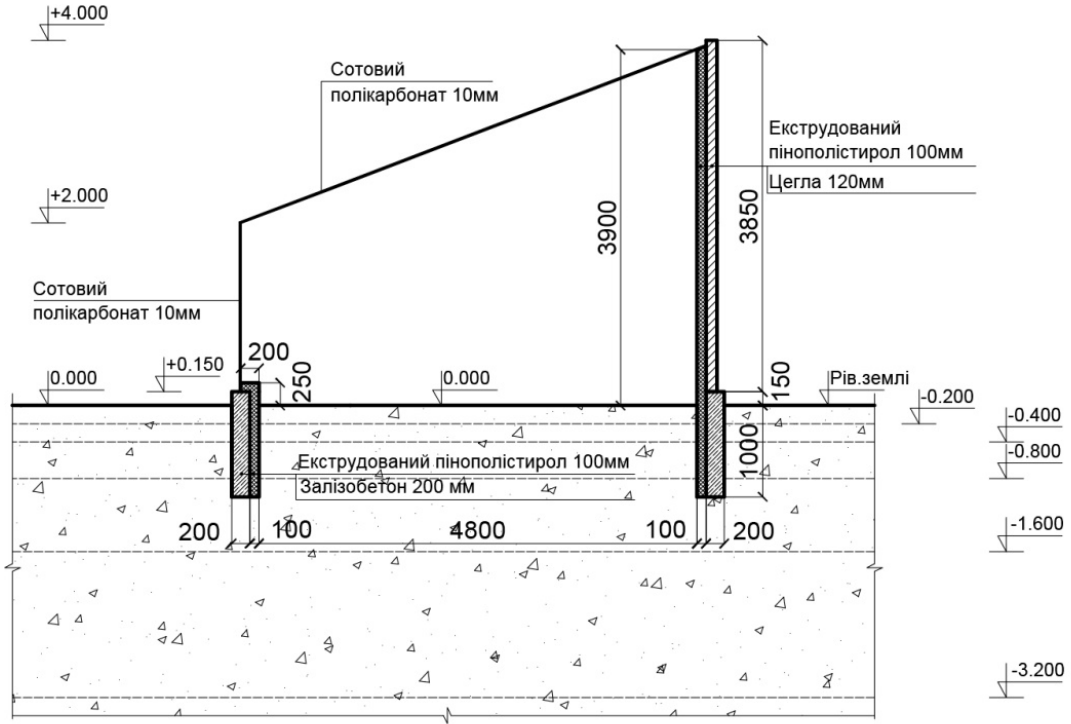


Рисунок 3.15 – Геопросторове розташування теплиці: I-варіант – теплиця, розташована на поверхні ґрунту

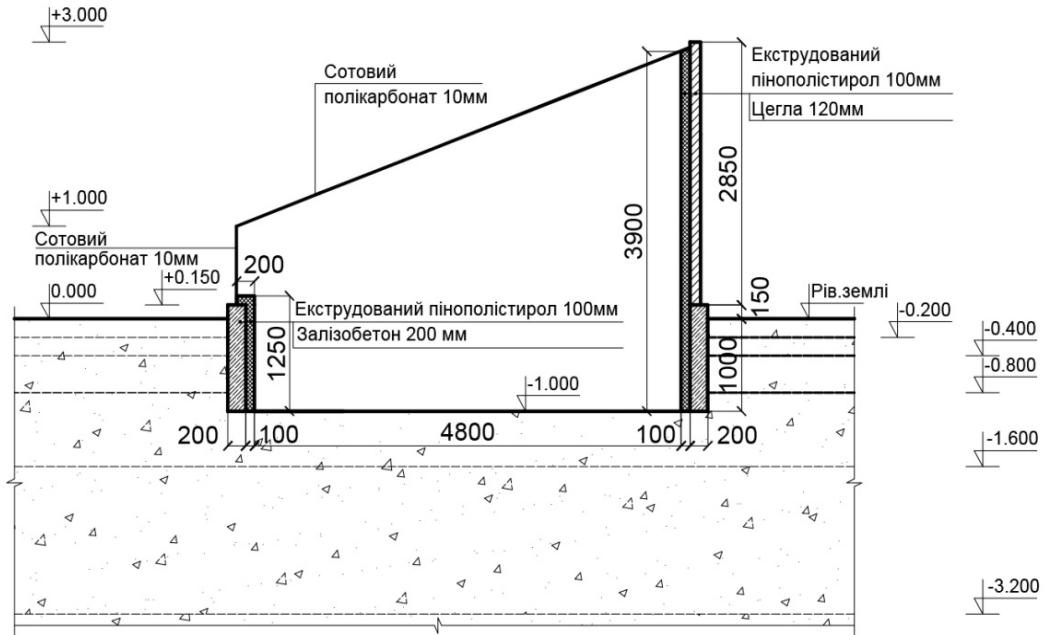


Рисунок 3.16 – Геопросторове розташування теплиці: II-варіант - теплиця заглиблена в ґрунт на 1,0 м



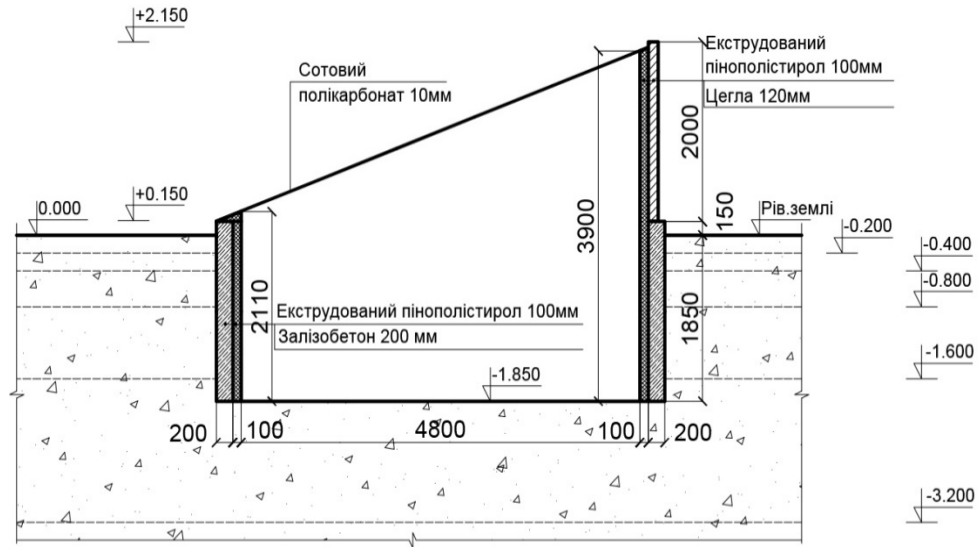


Рисунок 3.17 – Геопросторове розташування теплиці: III-варіант – теплиця заглиблена в ґрунт на 1,85 м

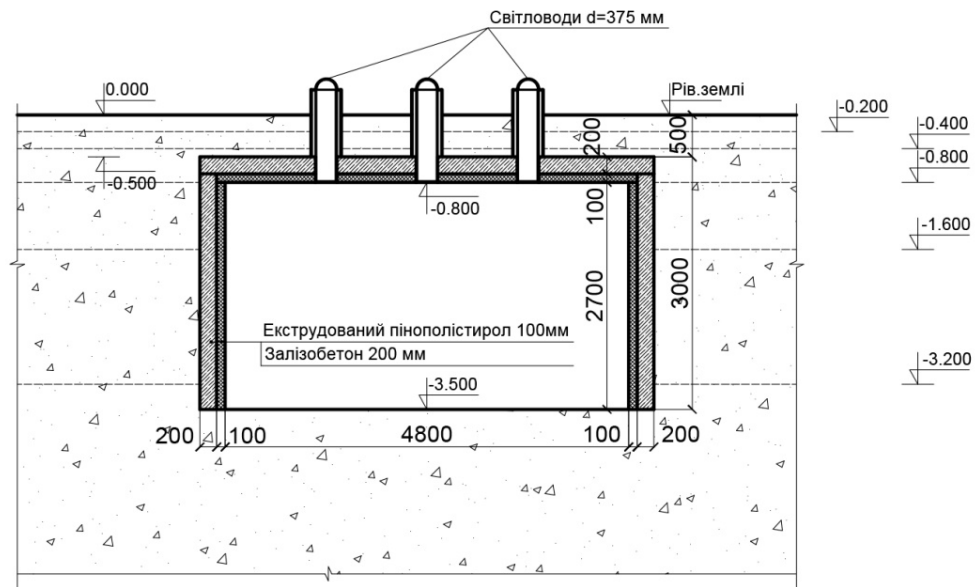


Рисунок 3.18 – Геопросторове розташування теплиці: IV-варіант – теплиця підземна, для освітлення рослин використовуються порожнисті трубчаті світловоди

Коефіцієнт тепловіддачі на поверхнях, що межують із зовнішнім повітрям дорівнює: для прозорих конструкцій  $8 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ , для непрозорих -

8,7 Вт/(м·°С). Коефіцієнт тепловіддачі на поверхнях, що межують із внутрішнім повітрям - 23 Вт/(м·°С) [95].

Температура ґрунта задавалася пошарово згідно дослідження [122], де його постійне значення знаходиться на глибині 3,2 м і дорівнює 9,5°С. Коефіцієнт теплопровідності ґрунта (для суглинки) прийнятий згідно [122] 1,02 Вт/(м·°С).

Товщина прозорих конструкцій із полікарбонату прийнята 10 мм. Попередні дослідження виявили, що при збільшенні товщини полікарбонату заощадження коштів від економії тепла незначне в порівнянні з високими відсотковими ставками на капітальні витрати для будівництва теплиці [121].

Коефіцієнт теплопровідності прозорих конструкцій із сотового полікарбонату 10 мм дорівнює 0,029 Вт/(м·°С) [118, 120].

Непрозора огорожуюча цегляна стіна з північної сторони геліотеплиці прийнята товщиною 120 мм з коефіцієнтом теплопровідності 0,81 Вт/(м·°С) з утепленням екструдованим пінополістиролом 100 мм, коефіцієнт теплопровідності 0,043 Вт/(м·°С) [124].

Фундамент геліотеплиці – стрічковий, ширина підшви фундаменту 200 мм, коефіцієнт теплопровідності 2,04 Вт/(м·°С) [124] також утеплений екструдованим пінополістиролом товщиною 100 мм.

У заглибленої теплиці із трубчатими світловодами (IV-варіант), товщина стін із монолітного залізобетону дорівнює 200 мм, утеплених екструдованим пінополістиролом, товщиною 100 мм. В покритті заглибленої теплиці на ширині ділянки в 1 м розташовано три світловоди діаметром 250 мм. Світлопровідний канал світловода товщиною 2 мм виконаний із алюмінію ( $\lambda=230$  Вт/(м·°С)), зовнішній прозорий купол виконаний із органічного скла ( $\lambda=0,2$  Вт/(м·°С)) товщиною 2 мм; внутрішнє скло, що розподіляє світло ( $\lambda=1,15$  Вт/(м·°С)) має товщину 4 мм; прийнято, що стінки світловода утеплені мінеральною ватою ( $\lambda=0,05$  Вт/(м·°С)), товщиною 50 мм; замкнута повітряна порожнина всередині світлопровідного алюмінієвого каналу має теплопровідність ( $\lambda=1,316$  Вт/(м·°С)) [124].

Розрахунок теплопередачі проводився по огороджувальним конструкціям поперечного перерізу споруди з умовною шириною 1,0 м за допомогою програмного комплексу Elcut 5.1 Professional [106].

За результатами розрахунків отримано:

- розподіли температур в конструкціях та ґрунтовому масиві;
- значення величин теплових потоків по контуру внутрішнього об'єму споруд і епюри потоків теплоти для всіх досліджуваних варіантів (рис. 3.19 – 3.22).

Числові значення розрахунків представлені в таблиці 3.6 і на рис. 3.23.

Таблиця 3.6 – Значення теплових потоків через огороджувальні конструкції теплиць

Огороджувальні конструкції	Тепловий потік за варіантами геопросторового розташування теплиць, Вт			
	I-варіант	II-варіант	III-варіант	IV-варіант
Світлопрозорі конструкції	553,11	475,15	399,28	48,4
Цегляна стіна з утеплювачем	59,41	44,21	31,32	-
Конструкція фундаменту з утеплювачем	7,2	19,36	26,67	77,38
Ґрунтова робоча поверхня теплиці	34,54	72,93	32,35	16,74
Всього	654,26	611,65	489,62	142,52

Аналіз результатів розрахунків засвідчує, що найбільші втрати тепла у кожному варіанті спостерігаються через світлопрозорі огороджувальні конструкції, найменші втрати – через утеплений фундамент споруди.

На основі розрахункових значень теплового потоку можна зробити висновок, що чим більше теплиця заглиблена в ґрунт, тим нижче значення сумарного теплового потоку, і відповідно, менші втрати тепла: при заглибленні теплиці на 1,0 м в ґрунт втрати тепла зменшуються, приблизно, на 6,5% і складають 611,65 Вт для розрахункової ділянки в 1 м; при

заглибленні на 1,85 м – на 24% і складають 489,62 Вт для розрахункової ділянки; а при підземному розташуванні – до 75% - 142,52 Вт.

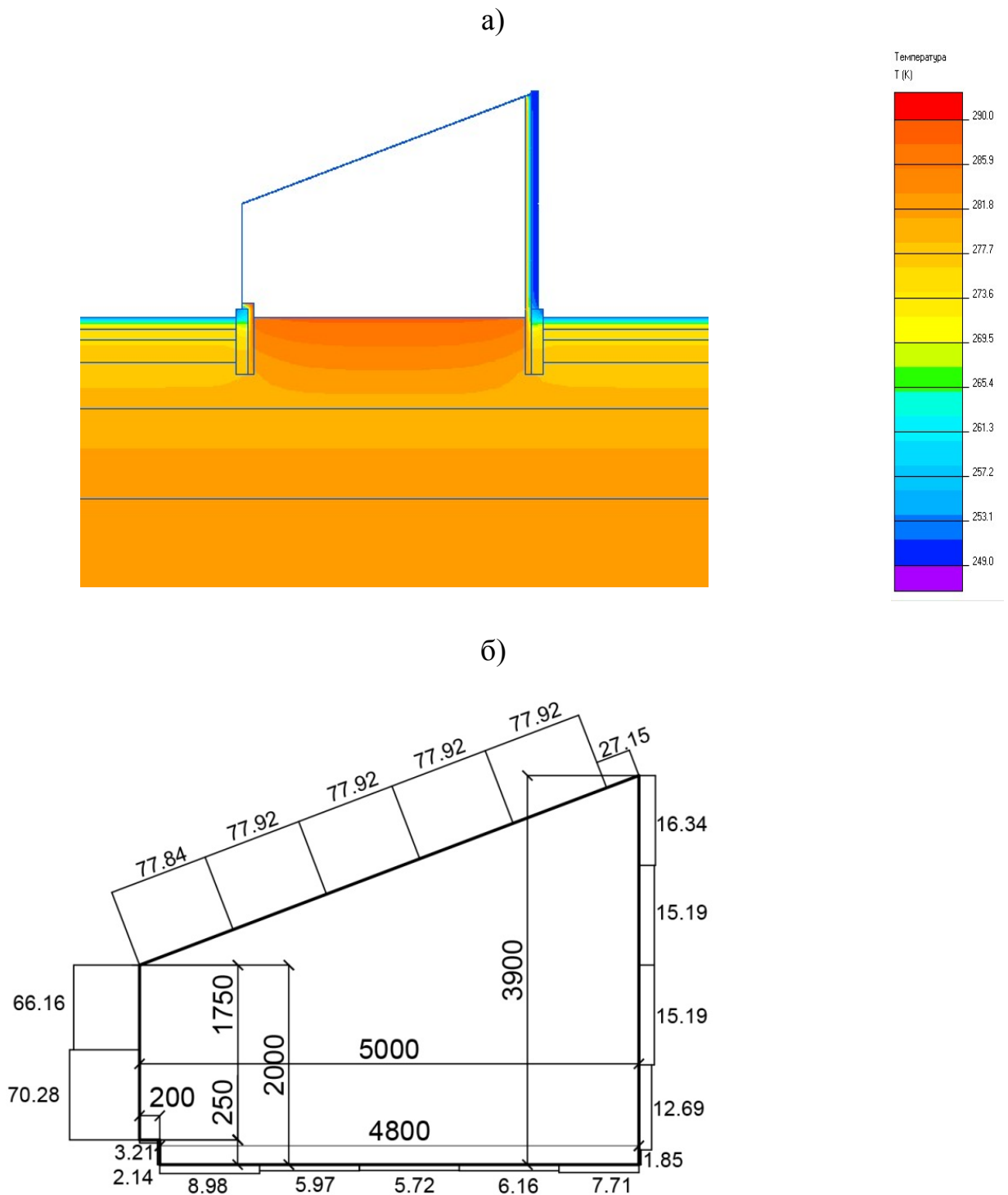


Рисунок 3.19 – Теплові втрати через огороджувальні конструкції для теплиці, що розташована на поверхні ґрунту (І-варіант) для зовнішньої температури – 24° С (249 К): а) розподіл температур; б) епюра теплових потоків

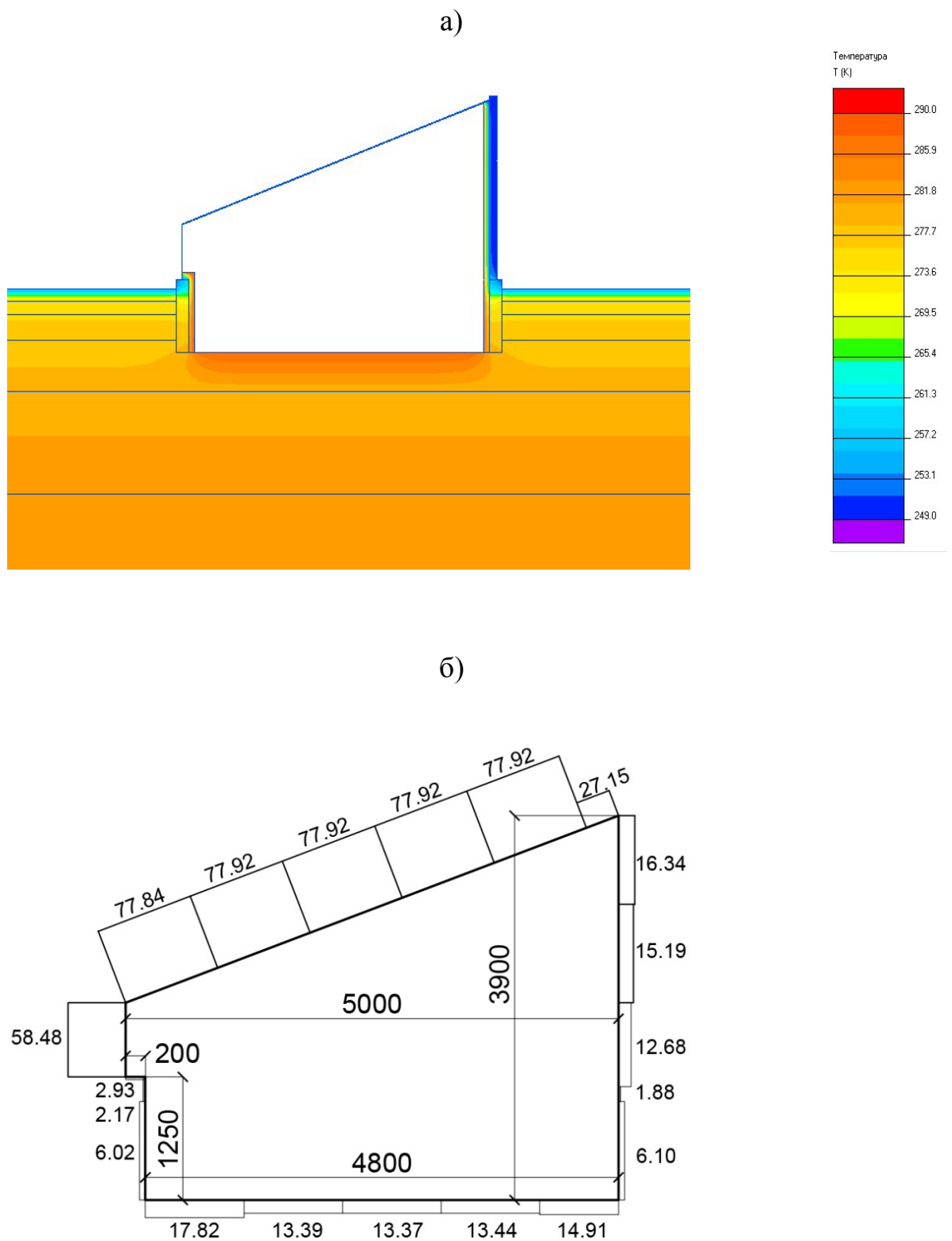


Рисунок 3.20 – Теплові втрати через огорожувальні конструкції для теплиці, що заглиблена на 1,0 м (II-варіант) для зовнішньої температури  $-24^{\circ}\text{C}$  (249 K): а) розподіл температур; б) епюра теплових потоків

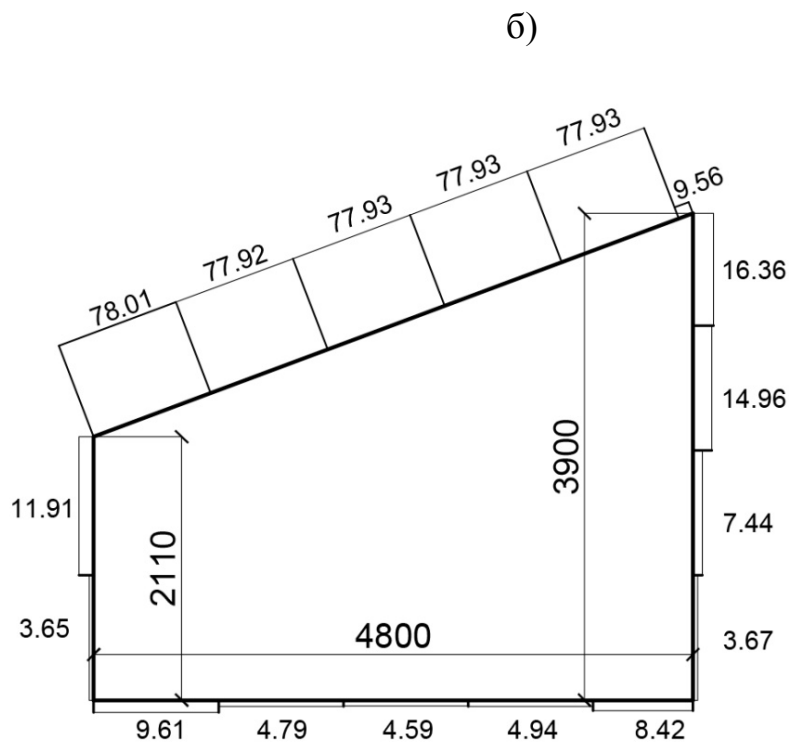
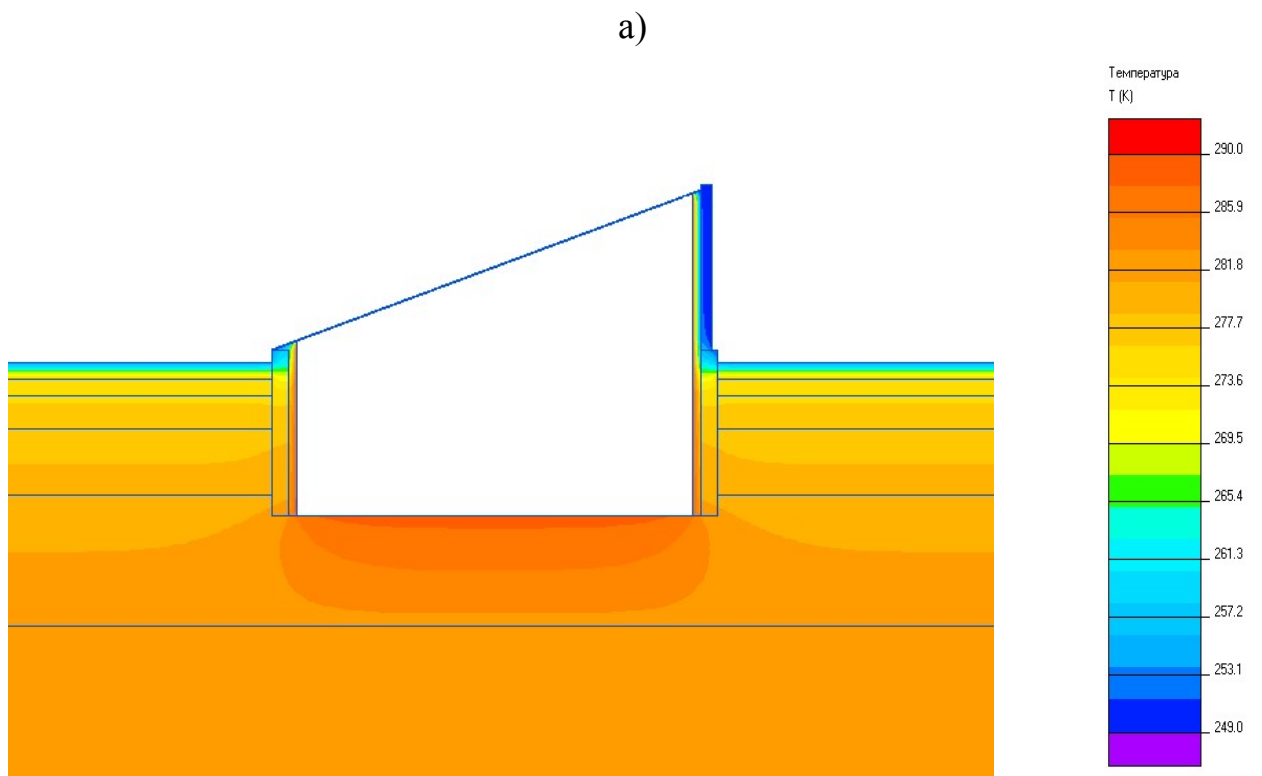


Рисунок 3.21 – Теплові втрати через огорожувальні конструкції для теплиці, що заглиблена на 1,85 м (III-варіант) для зовнішньої температури –  $24^{\circ}\text{C}$  (249 K): а) розподіл температур; б) епюра теплових потоків

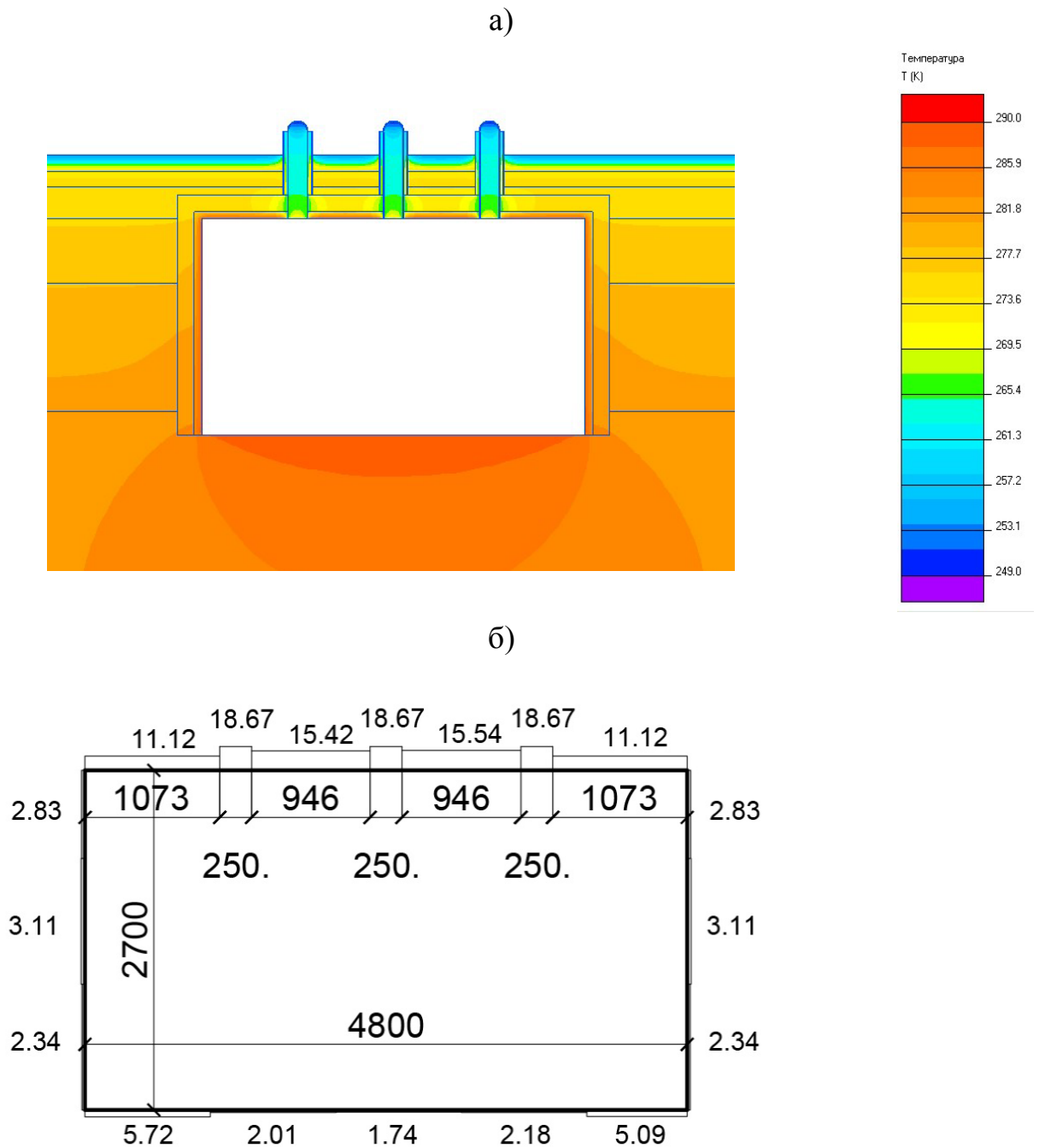


Рисунок 3.22 – Теплові втрати через огороджувальні конструкції для підземної теплиці (IV-варіант) для зовнішньої температури  $-24^{\circ}\text{C}$  (249 K):

а) розподіл температур; б) епюра теплових потоків

Результати досліджень геопросторового розташування теплиць засвідчують, що основні тепловтрати відбуваються через світлопрозорі огороджувальні конструкції: для I-варіанту до 85%; для II-варіанту – 78%; для III-варіанту – 81,5%.

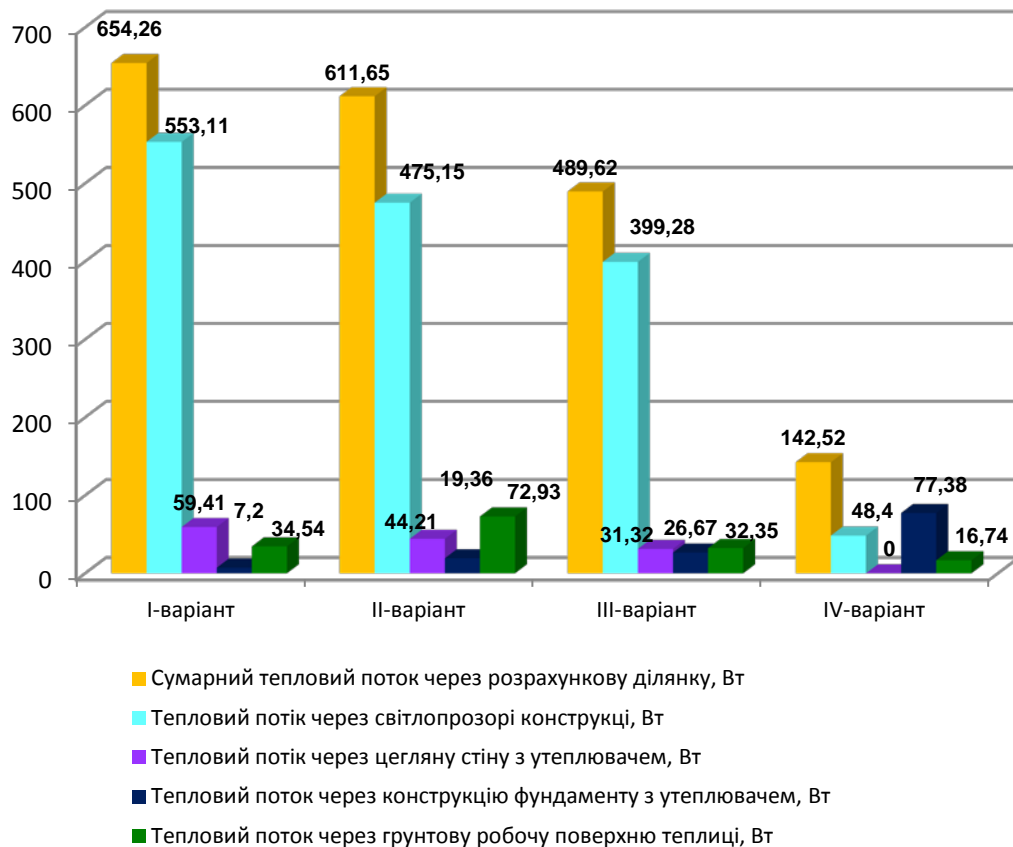


Рисунок 3.23 – Значення теплових потоків через огорожувальні конструкції теплиць, Вт

Заглиблення теплиці в ґрунт приводить до зменшення площі світлопрозорих огорожувальних конструкцій, що приводить до зниження загальних втрат теплової енергії для обігріву теплиць.

Для вибору раціонального геопросторового розташування теплиці відносно поверхні ґрунту недостатньо розглядати лише теплові втрати.

При заглибленні теплиці в ґрунт також зменшується кількість сонячних теплонадходжень до об'єму теплиці із-за зменшення площ світлопрозорого покриття. Тому для визначення найвигіднішого геопросторового розташування теплиці відносно поверхні землі необхідно розглянути в комплексі теплові втрати і теплонадходження для кожного варіанту.

Загальні теплові втрати протягом холодного періоду (жовтень – квітень) помісячно для варіантів заглиблення теплиці I – III розраховані



згідно [95] за допомогою програмного комплексу Elcut 5.1 Professional [106] представлені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Значення теплових втрат через огорожувальні конструкції теплиці для варіантів I – III, кВт·год

Місяць року	I-варіант. Теплиця розташована на поверхні ґрунту	II-варіант. Теплиця заглиблена на 1,0 м	III-варіант. Теплиця заглиблена на 1,85 м
I	2988,78	2794,53	2271,49
II	2580,41	2412,67	1961,1
III	2203,19	2059,99	1674,43
IV	1024,98	958,38	779,0
X	1125,82	1052,62	855,61
XI	2086,38	1950,78	1585,66
XII	2923,21	2733,19	2221,63
Всього за період	14932,8	13962,17	11348,93

Теплонадходження від сонця до теплиці визначались згідно стандарту [94] для кожного варіанту геопросторового розташування теплиці відносно поверхні землі помісячно.

Результати розрахунку сонячних теплонадходжень представлені в таблиці 3.8.

Графічні результати розрахунків теплових втрат і сонячних теплонадходжень протягом року представлені на рис. 3.24 – 3.26.

Згідно з даними розрахунків сумарне значення теплових втрат за весь холодний період експлуатації дорівнює: для I-варіанту - 14932,8 кВт·год, II-варіанту - 13962,17 кВт·год, III-варіанту - 11348,93 кВт·год; значення теплонадходжень від сонця за цей період для I-варіанту - 16311 кВт·год, для II-варіанту – 13133 кВт·год, для III-варіанту – 10659 кВт·год.

Сумарні сонячні теплонадходження протягом року, кВт·год

Місяць року	I-варіант. Теплиця розташована на поверхні ґрунту	II-варіант. Теплиця заглиблена на 1,0 м	III-варіант. Теплиця заглиблена на 1,85 м
I	1275	971	732
II	1970	1557	1234
III	3457	2817	2322
IV	4599	3849	3276
V	6281	5367	4679
VI	6670	5746	5055
VII	6677	5720	5005
VIII	5986	5052	4344
IX	4648	3820	3180
X	2845	2261	1802
XI	1263	987	769
XII	902	691	524
Всього за період	46573	38838	32922

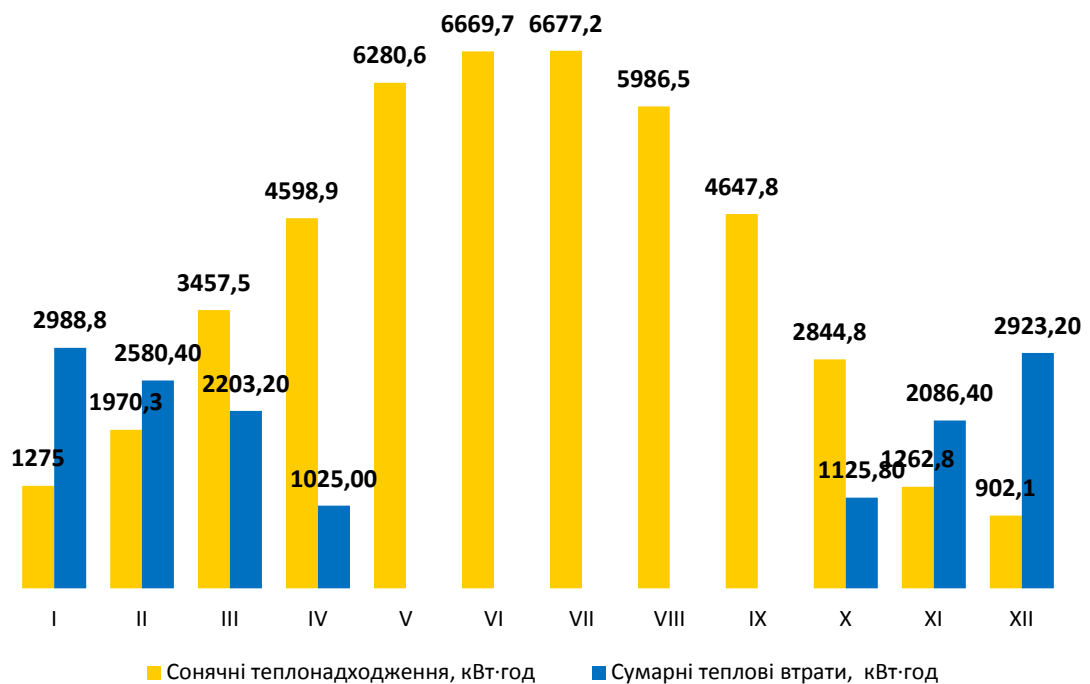


Рисунок 3.24 – Розподіл значень теплових надходжень та втрат тепла для розрахункової моделі теплиці, розташованої на поверхні ґрунту, за місяцями

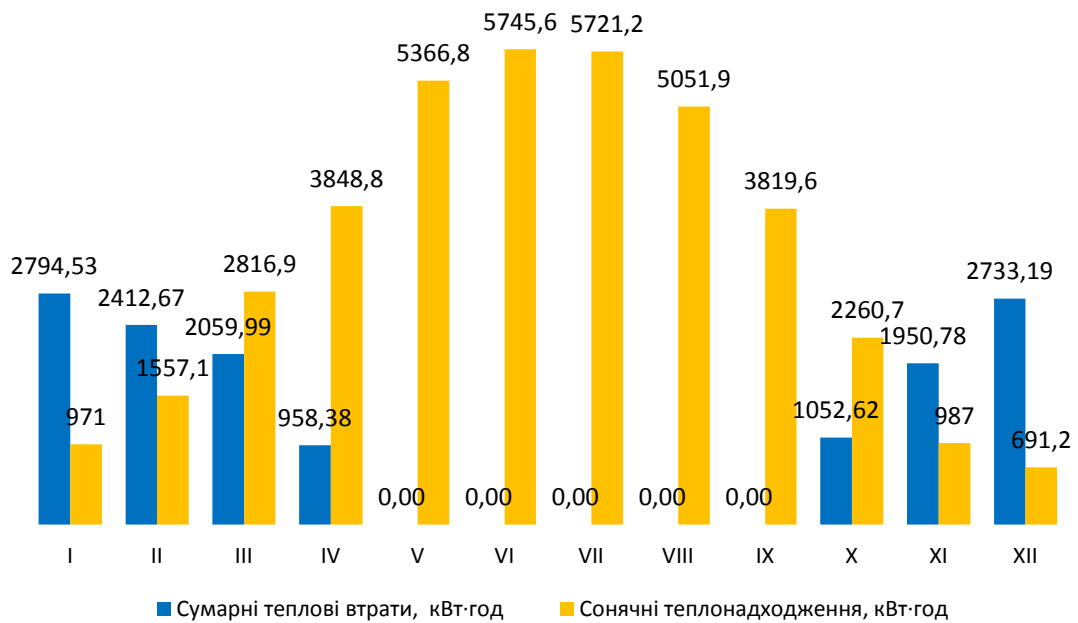


Рисунок 3.25 – Розподіл значень теплових надходжень та втрат тепла для розрахункової моделі теплиці, заглибленої в ґрунт на 1,0 м, за місяцями

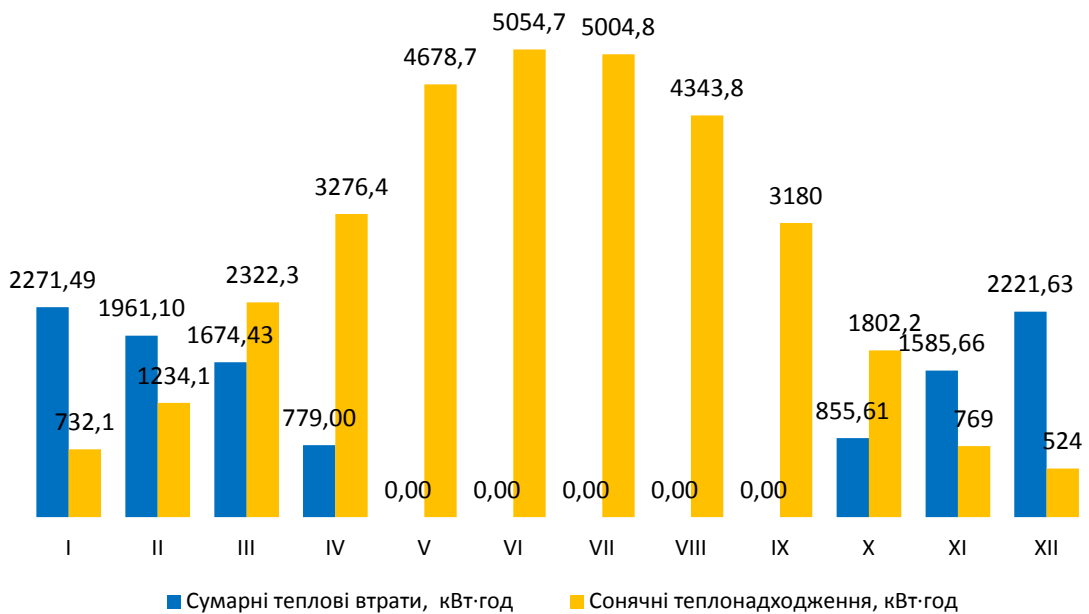


Рисунок 3.26 – Розподіл значень теплових надходжень та втрат тепла для розрахункової моделі теплиці, заглибленої в ґрунт на 1,85 м, за місяцями

Сонячні теплонадходження за холодний період (жовтень – квітень) перевищують теплові втрати лише для теплиці, що розташована на поверхні ґрунту (I-варіант) на 1378,2 кВт·год, для двох інших варіантів сонячні

теплонадходження менші за теплові втрати на 829,17 кВт·год (II-варіант) і 689,93 кВт·год (III-варіант) (рис. 3.27).

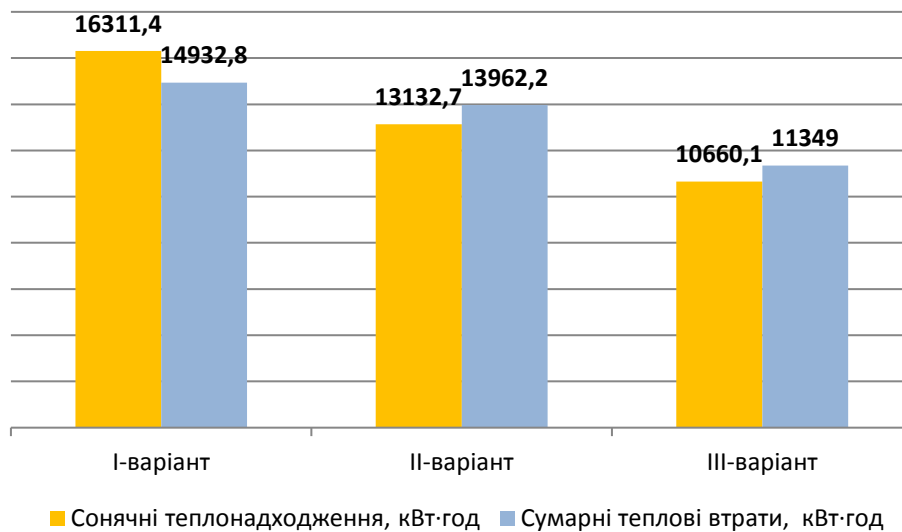


Рисунок 3.27 – Значення сонячних теплонадходжень і сумарних теплових втрат для варіантів геопросторового розташування теплиці протягом холодного періоду (жовтень – квітень)

Сумарне значення сонячних теплонадходжень за рік складають: для I-варіанту - 46573 кВт год; для II-варіанту - 38838 кВт год; для III-варіанту - 32922 кВт год. При цьому графіки показують, що в такі холодні місяці, як листопад, грудень, січень і лютий сонячні теплонадходження значно зменшуються і теплові втрати перевищують їх майже вдвічі для кожного варіанту. У цей період для експлуатації теплиць необхідно передбачити заходи, щодо додаткового опалення теплиці, а саме слід розглянути можливість використання сезонної акумуляції тепла в конструкціях теплиці. Використання сезонного акумулятора тепла сприятиме вирішенню питання щодо утилізації надлишкового тепла в літній період і зниженню температури в приміщенні теплиці.

У зв'язку з тим, що основні тепловтрати відбуваються через світлопрозорі огорожувальні конструкції (до 85%), заглиблення теплиці в ґрунт приводить до зниження загальних втрат теплової енергії, але, при

цьому теплонадходження від сонця також знижуються. При заглибленні на 1 м – сонячні теплонадходження зменшуються на 16,6% (варіант- II), а при заглибленні на 1,85 м – майже на 30% (варіант – III) (рис. 3.28.).

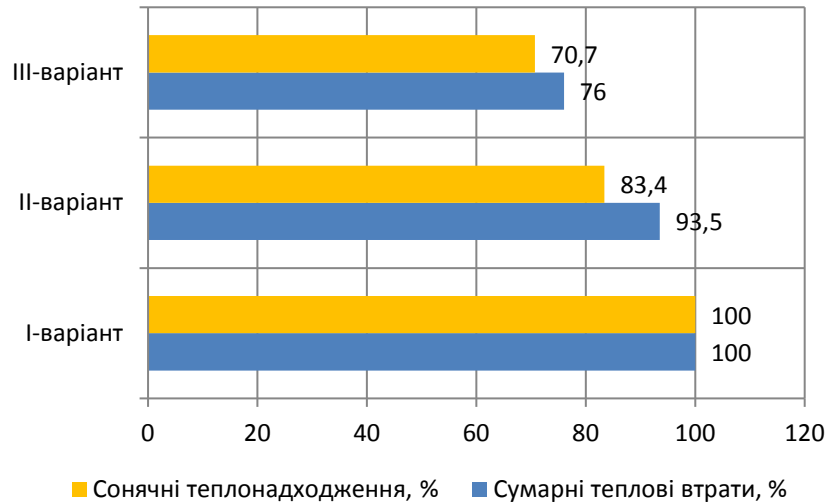


Рисунок 3.28 – Сонячні теплонадходження і теплові втрати при заглибленні теплиці в ґрунт, %

Результати досліджень засвідчують, що за рахунок геопросторового розташування теплиці і врахування сонячних теплонадходжень можливо забезпечити тепловий режим для вегетації протягом 8 місяців.

Є доцільним використання акумуляції теплової енергії для забезпечення теплового режиму вегетації на протязі чотирьох місяців, а саме листопада, грудня, січня і лютого.

### 3.6. Висновки до розділу 3

1. Виконано дослідження конструктивних рішень споруд закритого ґрунту з урахуванням основних факторів, які впливають на енергоефективність споруди, а саме: конструктивна форма, орієнтація і кут нахилу світлопрозорого покриття відносно сонячних променів, геопросторового розташування теплиці відносно поверхні землі.

2. На основі проведених досліджень обсягів теплових втрат і сонячних теплових надходжень через світлопрозоре покриття обрано найбільш

раціональну конструктивну форму теплиці - конструкція типу «Вегетарій». Встановлено, що річні сонячні теплові надходження для даної конструктивної форми перевищують теплові втрати теплиці майже в 2,89 раз і складають: теплонадходження – 45275 кВт·год/рік; теплові втрати – 15684 кВт·год/рік. Різниця між сонячними теплонадходженнями і тепловими втратами протягом холодного періоду (жовтень – квітень) для форми типу «Вегетарій» складає 3508 кВт·год, що є найменшою серед всіх розглянутих форм теплиць.

3. Досліджено вплив орієнтації споруди відносно сторін світу на величину сонячних теплонадхожень протягом року. Встановлено, що найбільш раціональна орієнтація споруди в південному напрямі. При зміні орієнтації на південно-східний або південно-західний напрям теплонадходження до внутрішнього простору теплиці зменшуються лише на 1%, а при орієнтації теплиці у східному або західному напрямі теплонадходження зменшуються на 8%.

4. Встановлено вплив кута нахилу світлопрозорого покриття в діапазоні від 20° до 90° на обсяг сонячних теплонадхожень. Найбільш раціональним кутом нахилу можна вважати кут від 35° до 45°. Максимальні річні сонячні теплонадходження відбуваються при куті нахилу 35° і складають 1371,2 кВт·год/м<sup>2</sup>, а максимальні, протягом холодного періоду (жовтень – квітень), при куті нахилу 45° і дорівнюють 513 кВт·год/м<sup>2</sup>. Теплонадходження на поверхню, розташовану під кутом нахилу 35° протягом холодного періоду, зменшується від максимального значення (при куті нахилу 45°) лише на 1,2 %.

5. Результати досліджень геопросторового розташування теплиці відносно поверхні землі засвідчують, що основні втрати тепла відбуваються через світлопрозорі огорожувальні конструкції. На основі розрахункових значень теплового потоку встановлено, що чим більше теплиця заглиблена в ґрунт, тим нижчі значення теплових втрат і, відповідно, менші втрати тепла: при заглибленні теплиці на 1,0 м в ґрунт втрати тепла зменшуються на 6,5%;

при заглибленні на 1,85 м – на 24%; а при підземному розташуванні – до 75%. Разом з тим при заглибленні на 1,0 м – сонячні теплонадходження зменшуються на 16,6%, а при заглибленні на 1,85 м – майже на 30%. Раціональним є наземне розташування теплиці, в цьому випадку теплові надходження перевищують теплові втрати протягом холодного періоду (жовтень – квітень) на 1378,6 кВт·год.

### **3.7. Список використаних джерел у розділі 3**

У розділі 3 використані [22, 48, 64, 94, 95, 96, 106, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124] літературні джерела. Їх найменування наведені в загальному списку використаних джерел.

## РОЗДІЛ 4.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АКУМУЛЯТОРІВ ТЕПЛА В СИСТЕМІ ОПАЛЕННЯ СПОРУД ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ

#### 4.1. Експериментальні дослідження температурно-вологісного режиму теплиці у ранньо-весняний період

У звичайній теплиці протягом доби спостерігається широкий діапазон коливань температур і вологості повітря. Різниця денних і нічних температур всередині споруди може сягати 40 °С і більше.

Для визначення діапазону добових температурних коливань в середині теплиці проведено експериментальні дослідження температурно-вологісного режиму теплиці без теплоакumuлюючих заходів при атмосферних впливах для кліматичних умов м. Дніпра.

Для проведення експериментальних вимірів було обрано звичайну двосхилу теплицю із розмірами в плані 7,9 x 7,3 і висотою 3,1 м. Каркас теплиці виконано із профільної металевої труби розміром 40 x 40 мм. Матеріал світлопрозорого огороження - сотовий полікарбонат товщиною 8 мм. Загальний вигляд теплиці експериментальної представлено на рис. 4.1.

Безперервні вимірювання температури і вологості повітря здійснювались на висоті 0,3 м і 2,2 м від рівня поверхні ґрунту в середині і зовні теплиці в період з 23.03.2019 р. – 06.04.2019 р. Час дослідження було обрано виходячи з прогнозу погоди, згідно якого в період проведення вимірів очікувалися значні зміни погодних умов від похмурої погоди з опадами до значного підвищення температури до +20 °С. Вимірювання проводилися протягом встановленого періоду цілодобово з інтервалом вимірювань – 1 година.

Також, протягом всього періоду досліджень фіксувалися зміни погодних умов (хмарність, наявність опадів, швидкість і напрямок вітру) для визначення їх впливу на температурно-вологісний режим в середині теплиці.



Результати вимірювань і дані спостережень представлено в додатку Г, фрагмент представлено в таблиці 4.1 і на рис. 4.3.



Рисунок 4.1 – Загальний вигляд експериментальної теплиці

Вимірювання температури і відносної вологості проводились з використанням цифрових датчиків Tinytag Ultra 2 TGU-4500 (рис. 4.2). Прилад Tinytag Ultra 2 контролює температуру від  $-25$  до  $+85^{\circ}\text{C}$  і відносну вологість від  $0$  до  $95\%$  за допомогою вбудованих датчиків. Зазвичай, ці прилади використовують для внутрішнього моніторингу, однак вони також можуть використовуватися на відкритому повітрі з відповідним захистом, таким як екран Стівенсона. Для зчитування інформації вимірювань з реєстратора потрібне програмне забезпечення Tinytag Explorer і USB-кабель (СAB-0007-USB). Повна технічна специфікація використовуваних датчиків доступна за посиланням [125].



Рисунок 4.2 – Реєстратор даних Tinytag Ultra 2

Графік показує, що діапазон коливань температури всередині теплиці протягом експериментального періоду складає від  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $52\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В нічний період внутрішня температура всередині теплиці знижується до рівня та навіть нижче на декілька градусів від зовнішньої температури повітря.

Аналіз схожих досліджень показує, що аналогічні проблеми нерідко виникають в звичайних теплицях і можуть бути пояснені тим, що огорожуючи конструкції теплиці мають технологічні зазори між рамою каркасу і матеріалом скління, холодне зовнішнє повітря дуже легко потрапляє в приміщення і затримується всередині, особливо це спостерігається у вітряну погоду [126].

У денний період часу температура повітря всередині теплиці підвищується до  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що значно перевищує необхідну для росту рослин температуру. Зазвичай, в цей період за допомогою вентиляції видаляються надлишки тепла з приміщення теплиці, але при цьому видалене тепло просто втрачається.

Це вказує на те, що навіть у весняний період, внутрішня температура в теплиці не відповідає встановленим нормам температури внутрішнього повітря для нормального росту і розвитку рослин, які становлять  $15\text{...}18^{\circ}\text{C}$  (вночі) до  $26\text{...}30^{\circ}\text{C}$  (вдень) [1, 22]. Тому, ефективним рішенням для вирівнювання температурних коливань в теплиці може бути використання акумулятора тепла.

Таблиця 4.1 – Фрагмент вимірів зміни температури і вологості повітря всередині і ззовні теплиці та дані спостережень зміни погодних умов за 31.03.2019 р.

Дата	Час	Температура, °С		Вологість, %RH		Вітер		Хмарність	Опади
		зовні	внутрі	зовні	внутрі	напрям	швидкість		
31.03.2019 р.	0:00	6,0	4,9	72,5	100,0	З	1,4	мінлива	
	1:00	5,2	4,1	73,0	100,0	З	1,4	мінлива	
	2:00	4,4	3,6	74,6	100,0	ПдЗ	1,4	мінлива	
	3:00	3,8	3,1	78,6	100,0	ПдЗ	1,4	мінлива	
	4:00	3,4	2,5	74,6	100,0	ПдЗ	1,4	мінлива	
	5:00	2,9	2,0	75,7	100,0	ПдЗ	1,4	мінлива	
	6:00	2,6	1,6	75,1	100,0	ПдЗ	1,1	мінлива	
	7:00	2,2	2,0	76,5	100,0	ПдЗ	1,1	мінлива	
	8:00	2,6	6,0	84,1	100,0	ПдЗ	1,1	мінлива	
	9:00	4,8	14,9	91,4	91,5	ПдЗ	1,1	мінлива	
	10:00	8,0	26,3	81,8	68,2	ПдЗ	1,4	мінлива	
	11:00	11,3	36,2	68,2	45,1	ПдЗ	1,4	мінлива	
	12:00	13,9	43,8	60,0	28,0	ПдЗ	1,4	мінлива	
	13:00	16,6	48,2	48,5	22,7	ПдЗ	1,4	мінлива	
	14:00	18,8	49,9	45,6	22,2	ПдЗ	1,4	ясно	
	15:00	18,2	49,1	43,2	22,2	Пд	1,4	ясно	
	16:00	17,6	45,1	42,5	23,7	Пд	1,4	ясно	
	17:00	17,4	40,4	45,1	27,6	Пд	1,4	ясно	
	18:00	18,2	33,0	45,4	36,2	Пд	1,4	ясно	
	19:00	17,1	21,5	47,5	60,1	Пд	1,4	ясно	
	20:00	15,0	13,6	52,8	88,9	Пд	1,9	ясно	
	21:00	13,0	11,0	57,5	98,0	Пд	2,2	ясно	
	22:00	11,3	9,6	60,0	100,0	Пд	2,2	ясно	
23:00	10,0	8,6	61,6	100,0	Пд	2,5	ясно		

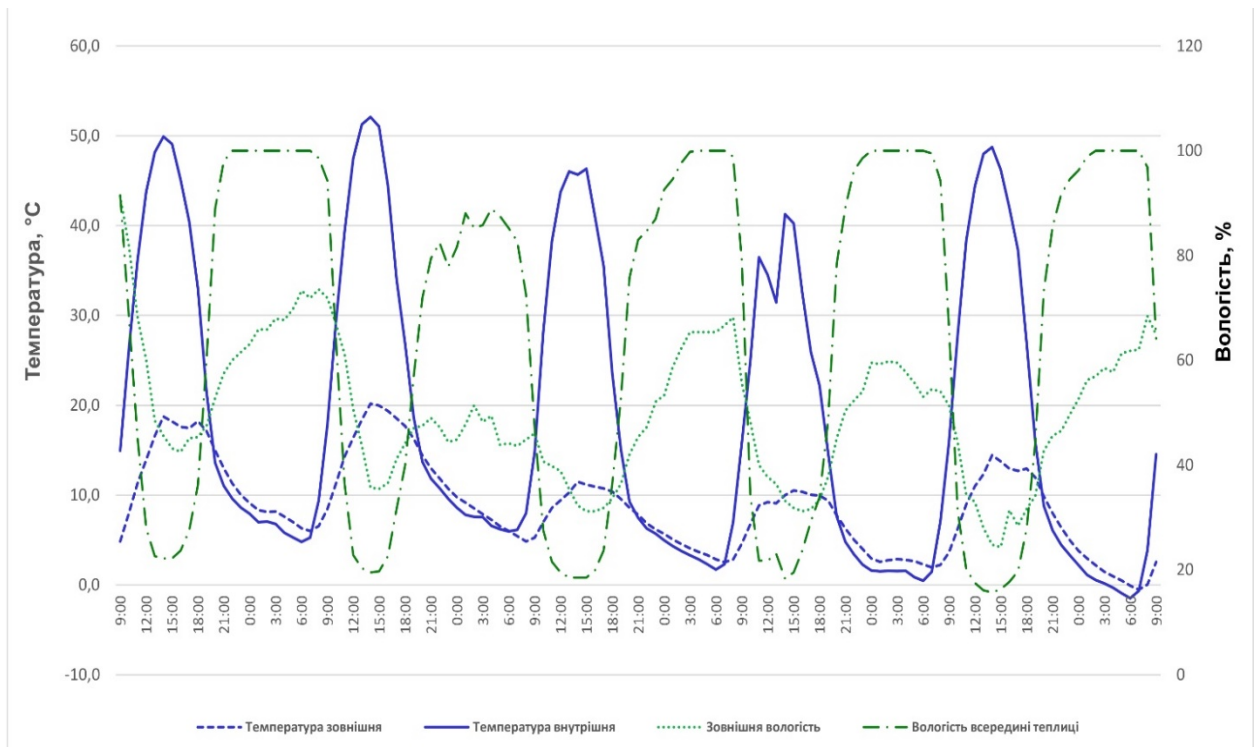


Рисунок 4.3 – Фрагмент експериментальних вимірів зміни температури і вологості повітря всередині і ззовні теплиці у період з 31.03.2019 р. – 05.04.2019 р. (без теплоаккумулятора)

#### 4.2. Результати досліджень ефективності використання добового акумулятора тепла

З усіх теплоаккумулюючих матеріалів вода має найбільшу теплоємність. В якості водяного теплоаккумулятора можна використовувати різні ємності наповнені водою. Основна особливість водяних теплоаккумуляторів полягає в тому, що у великих ємностях з водою тепло зберігається довше, але воно повільніше передається розташованим знизу шарам води.

Ємності невеликого розміру швидко реагують на зміну температури, що дозволяє уникнути перегріву теплиці всередині, проте вони занадто швидко передають в повітря теплиці накопичене тепло.

Для дослідження ефективності використання акумулятора тепла в теплиці запропоновано теплотехнічну модель (рис. 4.4), яка враховує теплонадходження від сонячної радіації  $Q_3$ , теплові втрати через огорожуючі конструкції  $Q_2$  і теплоту, що накопичується в акумуляторі  $Q_1$ .

Рівняння теплового балансу для теплиці з теплоаккумулятором має вигляд:

$$\Delta Q_T = Q_3 - Q_1 - Q_2, \quad (4.1)$$

де  $\Delta Q_T$  – прирост теплоти внутрішнього повітря теплиці, Вт.

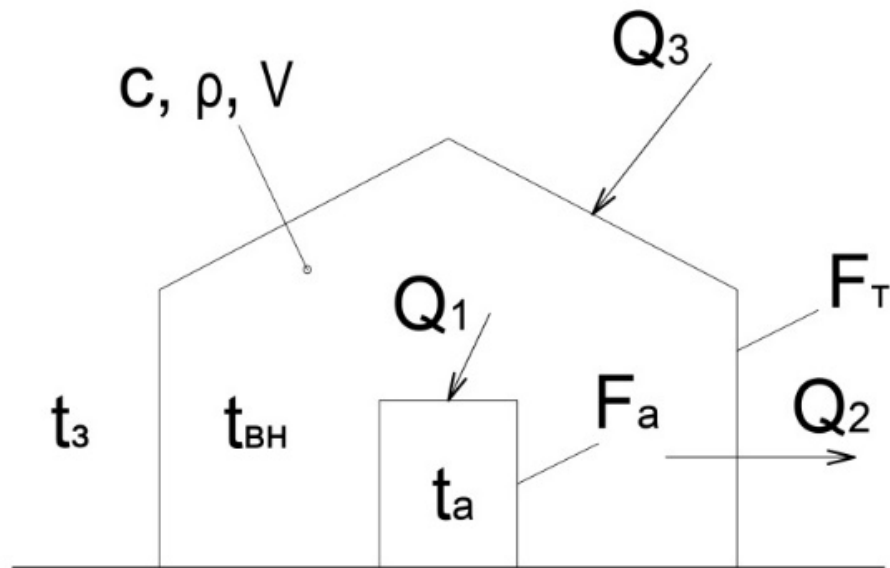


Рисунок 4.4 – Теплотехнічна модель експериментальної теплиці та тепловий баланс

Теплота, що акумулюється (виділяється) теплоаккумулятором:

$$Q_1 = \alpha_A (t_{вн} - t_A) \cdot F_A, \quad (4.2)$$

де  $\alpha_A$  – коефіцієнт тепловіддачі на поверхні теплоаккумулятора, Вт/м<sup>2</sup> К;

$t_{вн}$  – внутрішня температура теплиці, °С;

$t_A$  – температура теплоаккумулятора, °С;

$F_A$  – площа поверхні теплоаккумулятора, м<sup>2</sup>.

Теплові втрати через огороджуючі конструкції:

$$Q_2 = \frac{1}{R} (t_{\text{вн}} - t_3) F_T, \quad (4.3)$$

де  $R$  – опір теплопередачі огорожуючих конструкцій теплиці,  $\text{м}^2 \text{К/Вт}$ ;

$t_3$  – температура зовнішнього повітря,  $^\circ\text{C}$ ;

$F_T$  – площа огорожуючих конструкцій теплиці,  $\text{м}^2$ .

Теплові надходження від сонячної радіації залежать від часу і орієнтації поверхні:

$$Q_3 = Q_3(\tau). \quad (4.4)$$

Для даної моделі теплиці встановлені залежності температури теплоакумулятора, внутрішньої температури теплиці і температури зовнішнього повітря від часу:

$$t_A = t_A(\tau), \quad (4.5)$$

$$t_{\text{вн}} = t_{\text{вн}}(\tau), \quad (4.6)$$

$$t_3 = t_3(\tau). \quad (4.7)$$

Залежність (4.7) температури зовнішнього повітря  $t_3$  від часу задана чисельно, згідно експериментальних даних. Дві невідомі функції: температура внутрішнього повітря  $t_{\text{вн}}$  і температура теплоакумулятора  $t_A$ .

Рівняння теплового балансу для повітря в приміщенні можна записати наступним чином:

$$c\rho V_T t_{\text{вн}} = \Delta Q_T d\tau, \quad (4.8)$$

та рівняння теплового балансу акумулятора

$$c_A m_A dt_A = \alpha_A F_A (t_{\text{вн}} - t_A) d\tau, \quad (4.9)$$

де  $c$  – питома теплоємність повітря, Дж/(кг К);

$\rho$  – щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$V_T$  – внутрішній об'єм теплиці, м<sup>3</sup>;

$c_A$  – питома теплоємність теплоаккумулятора, Дж/(кг К);

$m_A$  – маса теплоаккумулятора, кг.

Підставляючи вирази (4.2) - (4.8) у рівняння (4.1) та переписуючи рівняння (4.9), ми отримуємо систему двох зв'язаних диференціальних рівнянь, що дозволяє оцінювати невідомі функції  $t_{вн}(\tau)$ ,  $t_a(\tau)$ .

$$\frac{dt_{вн}}{d\tau} = \frac{1}{c\rho V_T} [Q_3(\tau) - \alpha_A F_A [t_{вн}(\tau) - t_A(\tau)] - \frac{F_T}{R} [t_{вн}(\tau) - t_3(\tau)]], \quad (4.10)$$

$$\frac{dt_A}{d\tau} = \frac{\alpha_A F_A}{c_A m_A} [t_{вн}(\tau) - t_A(\tau)]. \quad (4.11)$$

Рівняння (4.10), (4.11) описують залежності між параметрами акумулятора (тобто об'ємом і площею поверхні) та коливаннями температури в приміщенні. Ці залежності не можуть бути виражені явно в аналітичній формі, оскільки функції визначаються експериментальними даними, а отже, є суто нелінійними, але ці залежності можуть бути вирішені числовим методом.

Системи (4.10), (4.11) були інтегровані чисельно методом Ейлера.

Розрахунки проводили для 5 днів з кроком інтеграції 1 хвилина, що забезпечує хорошу конвергенцію процедури. Впровадження програмного забезпечення розроблено в системі комп'ютерної алгебри з відкритим кодом Maxima [127].

Систему (4.10), (4.11) розв'язано чисельно методом Ейлера.

Для проведення верифікації математичної моделі теплиці виконано розрахунок зміни внутрішньої температури в теплиці без урахування теплоаккумулятора. Порівняння експериментальних і розрахункових даних представлено на рис. 4.5.

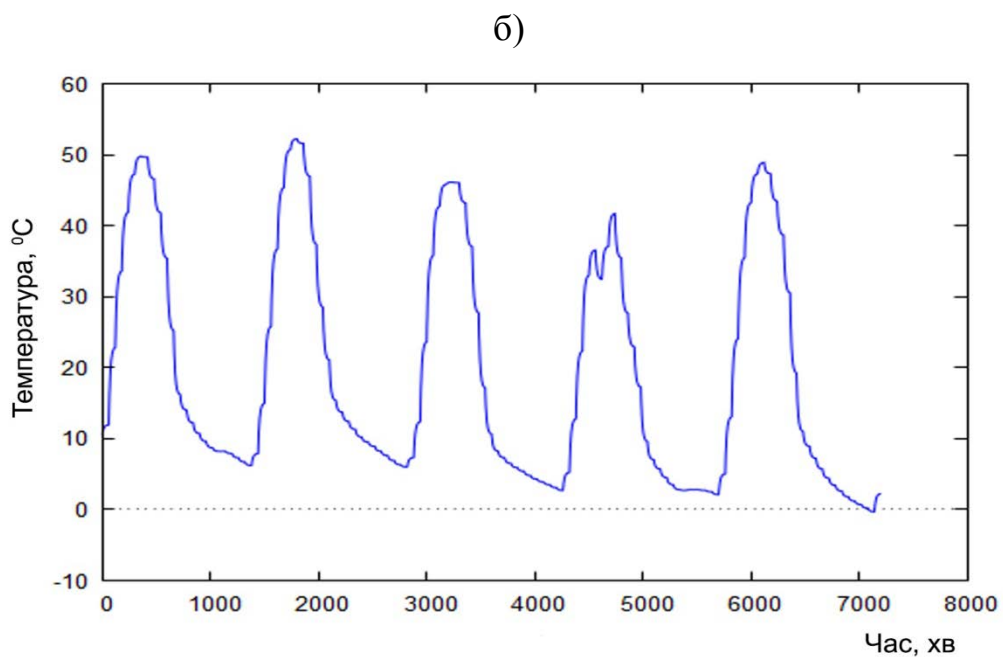
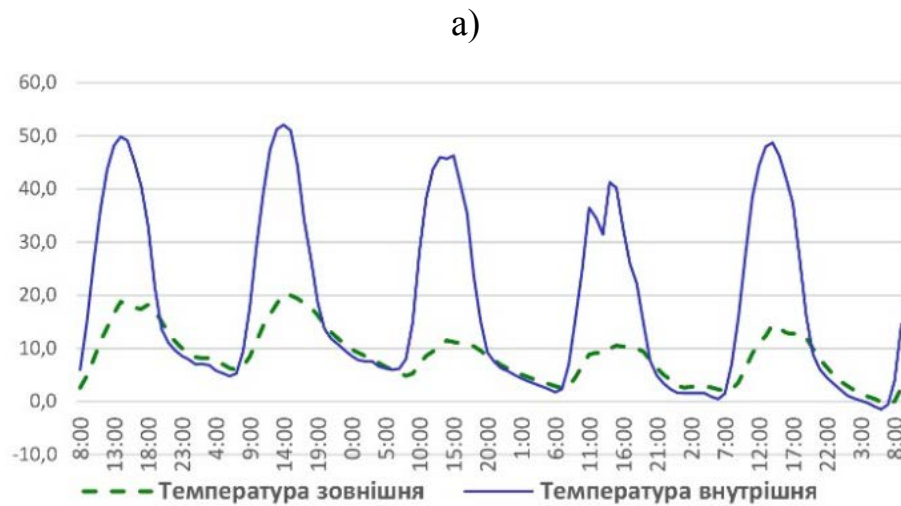


Рисунок 4.5 – Експериментальна верифікація розрахункової математичної моделі теплиці: а) графік коливань внутрішньої температури за експериментальними даними; б) графік коливань внутрішньої температури за результатами розрахунків

Аналізуючи дані, представлені на графіках, можна зробити висновок, що результати розрахунків співпадають з експериментальними даними, це підтверджує вірність запропонованої математичної моделі теплиці.

Для визначення раціональних параметрів теплоаккумулятора для досліджуваної теплиці проведено розрахунок зміни температури теплоаккумулятора і внутрішньої температури в теплиці за запропонованою



математичною моделлю. В якості теплоакумулятора для розрахунку прийняті ємності із водою з початковою температурою  $t_A = 10$  °С.

Результати розрахунку змін температури теплоакумулятора і внутрішньої температури в теплиці протягом 5 діб при умові використання теплоакумулятора об'ємом  $V=3$  м<sup>3</sup> і площею акумулюючої поверхні  $F=32.1$  м<sup>2</sup>, що відповідає п'ятнадцяти 200 літровим ємностям, представлені на рис. 4.6.

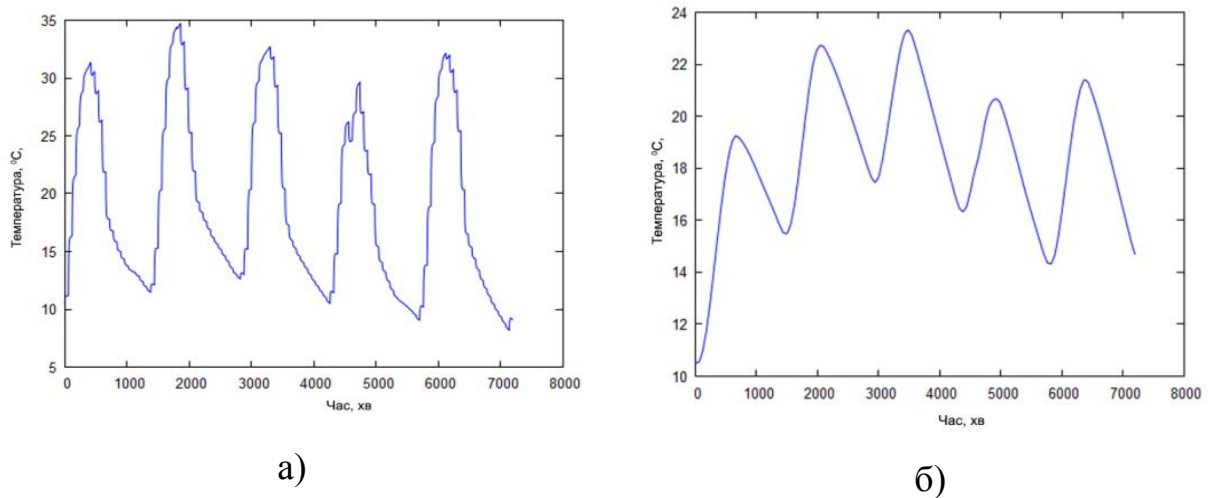
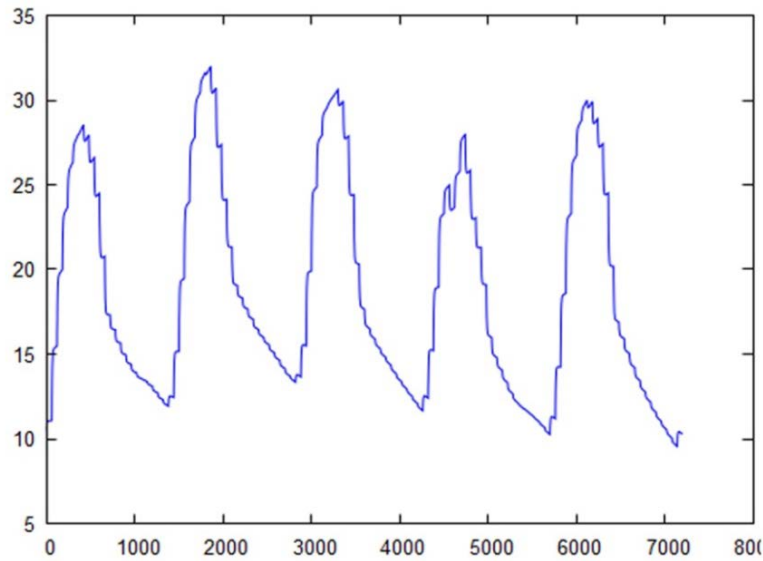


Рисунок 4.6 – Зміни внутрішньої температури в теплиці і температури теплоакумулятора протягом п'яти діб при використанні теплоакумулятора об'ємом 3 м<sup>3</sup> із площею акумулюючої поверхні 32,1 м<sup>2</sup>: а) внутрішня температура в теплиці; б) температура теплоакумулятора

Із графіків видно, що за розрахунковий період діапазон коливань внутрішньої температури в теплиці зменшується, але температура у нічний період знижується до 8 °С, а у денний період піднімається майже до 35 °С, і не є комфортною для рослин.

При збільшенні об'єму теплоакумулятора до  $V=4$  м<sup>3</sup> із площею акумулюючої поверхні  $F=42.8$  м<sup>2</sup>, що відповідає двадцяти 200 л ємностям, діапазон коливань температур майже не змінюється (рис. 4.7). В нічний період температура знижується до 10 °С, а в денний період піднімається до значення 32 °С. Такий діапазон температур теж не є комфортним для рослин.

а)



б)

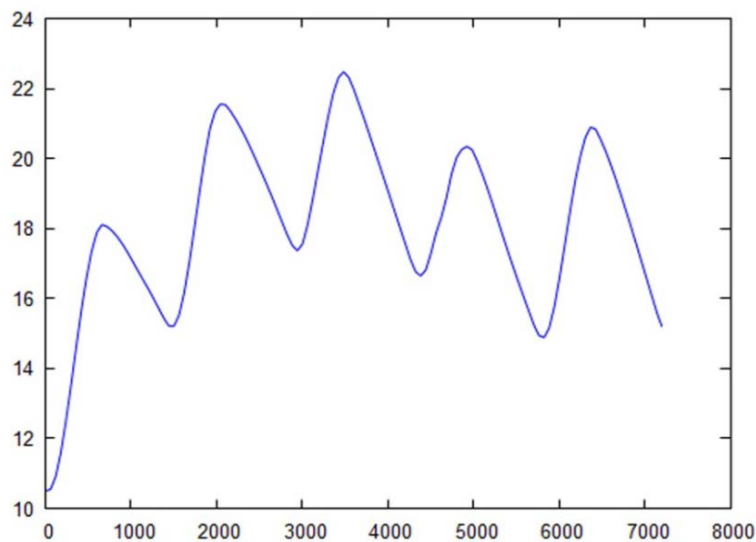


Рисунок 4.7 – Зміни внутрішньої температури в теплиці і температури теплоаккумулятора протягом п'яти діб при використанні теплоаккумулятора об'ємом  $4 \text{ м}^3$  із площею акумулюючої поверхні  $42,8 \text{ м}^2$ : а) внутрішня температура в теплиці; б) температура теплоаккумулятора

Тому, можна зробити висновок, що лише збільшення об'єму теплоаккумулятора не дає бажаного результату.

Результати розрахунку змін внутрішньої температури в теплиці і температури теплоаккумулятора протягом 5 діб при умові використання теплоаккумулятора з об'ємом  $V=4 \text{ м}^3$ , але із збільшеною площею

акумулюючої поверхні  $F=200 \text{ м}^2$  – теплоаккумулятор плоскої форми, представлені на рис. 4.8.

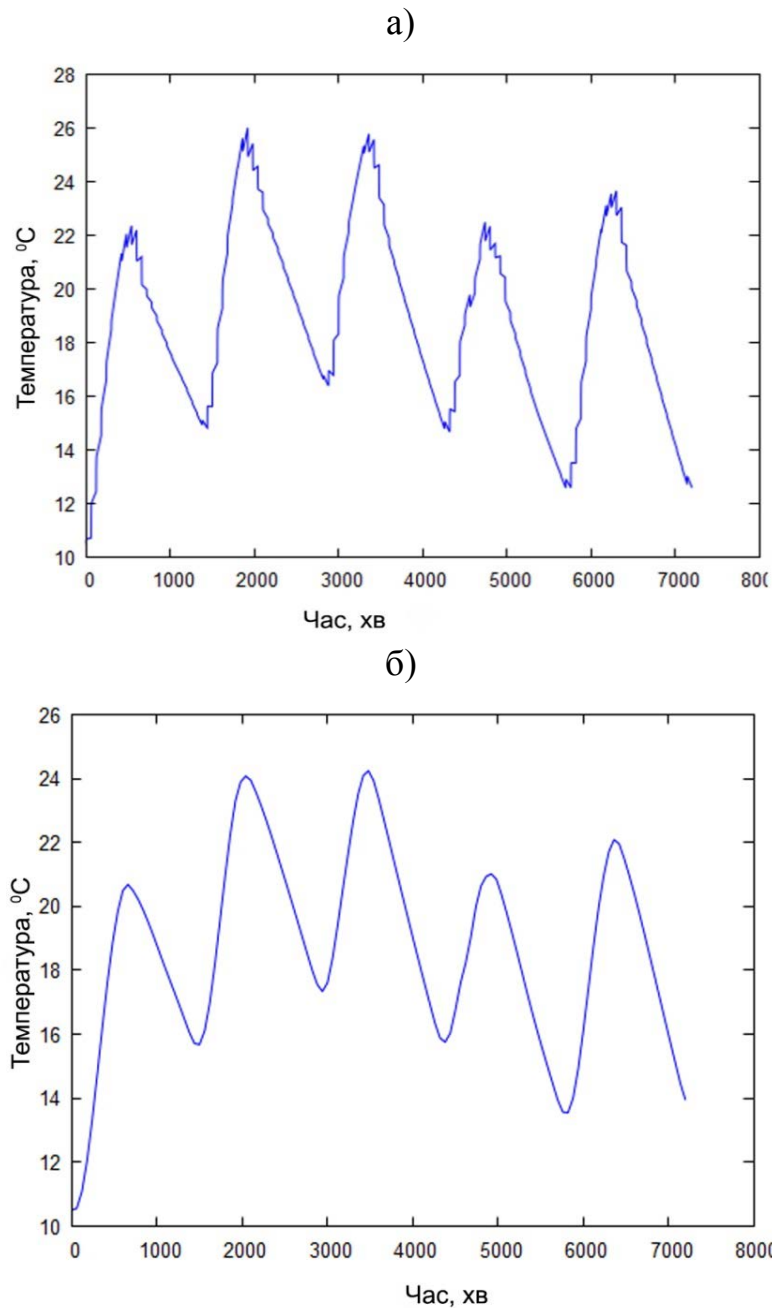


Рисунок 4.8 – Зміни внутрішньої температури в теплиці і температури теплоаккумулятора протягом п'яти діб при використанні теплоаккумулятора об'ємом  $4 \text{ м}^3$  із площею акумулюючої поверхні  $200 \text{ м}^2$ : а) внутрішня температура в теплиці; б) температура теплоаккумулятора

Графік показує, що коливання внутрішньої температури в теплиці знаходяться в діапазоні від  $14 \text{ °C}$  до  $26 \text{ °C}$ , який є прийнятними для вирощування рослин.

На основі запропонованої математичної моделі теплиці визначено раціональний добовий теплоакумулятор для вирівнювання температур всередині досліджуваної теплиці у ранньо-весняний період.

Встановлені залежності між об'ємом та площею акумулюючої поверхні теплоакумулятора і його ефективністю. При однаковому об'ємі ефективність теплоакумулятора підвищується за умови збільшення площі акумулюючої поверхні.

Запропонована математична модель теплиці дозволяє обрати оптимальний об'єм і розміри добового теплоакумулятора для будь-якої теплиці.

#### **4.3. Результати досліджень ефективності використання сезонного акумулятора тепла**

Для дослідження ефективності використання сезонного акумулятора тепла прийнято наступні вихідні дані.

За даними попередніх досліджень була обрана форма односклої теплиці типу «Веgetарій» із розмірами в плані 5,0 x 8,0 м, висотою 4,0 м з північної непрозорої сторони і 1,6 м з південної сторони. В якості світлопрозорого покриття теплиці згідно із розрахунками представленими в розділі 2 прийнято сотовий полікарбонат товщиною 10 мм.

Внутрішня температура теплиці прийнята 16 °С для холодного періоду і міжсезоння (вересень – травень), що відповідає нормам технологічного проектування сільського господарства систем інженерного забезпечення мікроклімату при вирощуванні овочевих культур [22]. Для теплого періоду року (червень, липень, серпень) внутрішню температуру теплиці прийнято згідно [111], як середньомісячну температуру оточуючого середовища за умови розташування теплиці у м. Дніпро (табл. 4.2).

Зовнішня температура повітря для розрахунку необхідного сезонного теплоакумулятора прийнята помісячно згідно нормативних даних [111] для м. Дніпро (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Середньомісячна температура внутрішнього повітря теплиці і зовнішнього оточуючого середовища

Місяць року	Температура повітря, град. С	
	внутрішнього	зовнішнього
I	16	-4,7
II	16	-3,8
III	16	1,1
IV	16	9,6
V	16	16
VI	19,6	19,6
VII	21,6	21,6
VIII	20,7	20,7
IX	16	15,4
X	16	8,6
XI	16	2,2
XII	16	-2,5

За даними розрахунків, які представлені в розділі 3 даного дослідження, обсяг сонячних теплонадходжень протягом року до приміщення односклої теплиці типу «Вегетарій» складає 45275 кВт·год, що майже в три рази перевищує теплові втрати через огорожуючі конструкції протягом холодного періоду, які становлять – 15684 кВт·год. Тому можна припустити, що для опалення теплиці в холодний період року може вистачити лише сонячної енергії. Проте потік сонячної енергії змінюється, як протягом доби від нуля в нічний час до максимального значення в сонячний полудень, так і протягом року від мінімальних значень теплонадходжень в холодний зимовий період - 0,35 кВт·год/м<sup>2</sup> на добу (для грудня), до максимальних значень влітку – 2,22 кВт·год/м<sup>2</sup> на добу (для липня).

Річний обсяг і розподіл сонячних теплонадходжень і теплових втрат через огорожуючі конструкції для обраної теплиці типу «Вегетарій» представлені в таблиці 4.3. Різниця між сонячними тепло надходженнями і тепловими втратами помісячно представлена на рис.4.9.

Таблиця 4.3 – Обсяг і розподіл сонячних тепло надходжень та теплових втрат через огорожуючі конструкції теплиці

Місяць року	Сонячні теплонадходження, кВт год	Теплові втрати, кВт год
I	1375	3245
II	2050	2835
III	3459	2429
IV	4449	1132
V	5902	0
VI	6168	0
VII	6230	0
VIII	5709	0
IX	4624	0
X	2967	1115
XI	1348	2051
XII	976	2877

Аналізуючи представлені дані, можна стверджувати, що необхідний температурний режим в теплиці за рахунок поточних сонячних теплонадходжень можливо забезпечити протягом восьми місяців (з березня по жовтень включно). Але, необхідно зазначити, що в теплі літні місяці (травень – серпень) обсяг сонячних теплонадходжень значно перевищує необхідний, і для запобігання перегріву надлишкове тепло має бути видалене.

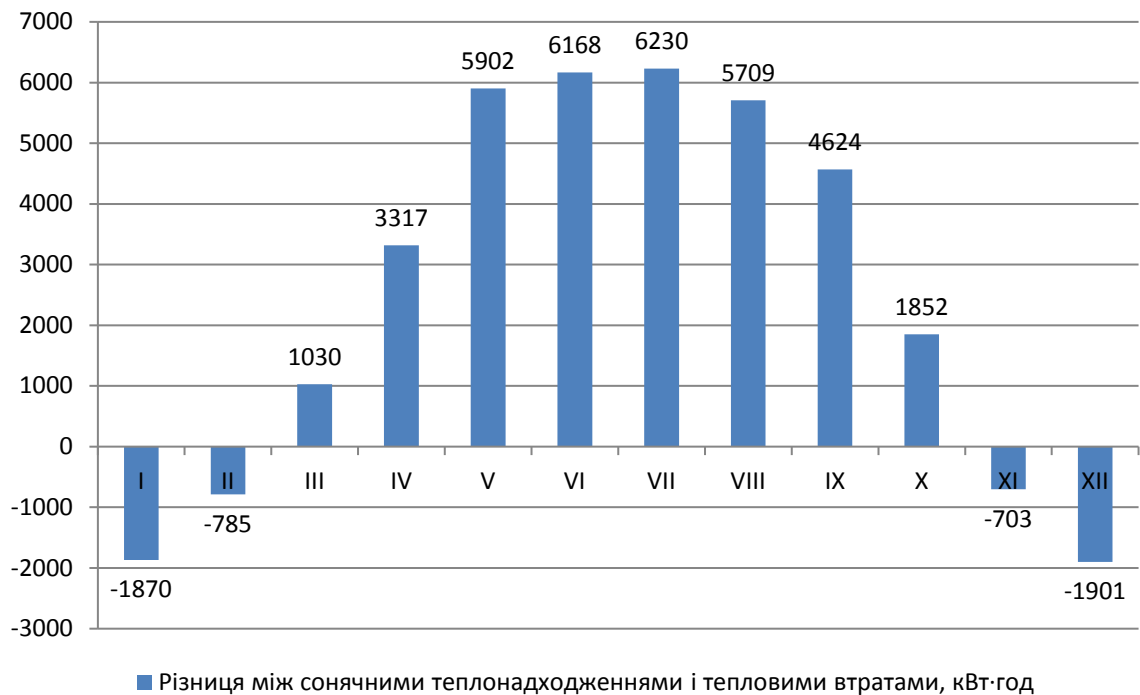


Рисунок. 4.9 – Різниця між сонячними тепло надходженнями і тепловими втратами помісячно для теплиці типу «Вегетарій»

Для чотирьох холодних місяців (з листопада по лютий включно) забезпечення необхідного температурного режиму в теплиці за рахунок лише поточних сонячних теплонадходжень неможливе, тому що в зазначений період теплові втрати перевищують теплонадходження на 5259 кВт·год. Тому, забезпечити необхідний температурний режим в цей період можливо за рахунок акумулювання, зберігання і перерозподілу надлишкового сонячного тепла, що надходить в приміщення теплиці в літній період.

Акумулятори тепла можна класифікувати за характером процесів, що протікають в теплоакумулюючому матеріалі:

- акумулятори ємнісного типу, в яких використовується теплоємність акумулюючого матеріалу, що нагрівається (охолоджується) без зміни його агрегатного стану;
- акумулятори, що працюють на фазовому переході теплоакумулюючого матеріалу - використовується прихована теплота, яка виділяється при плавленні або затвердінні речовини;

- акумулятори хімічного та фотохімічного типу - засновані на виділенні або поглинанні теплоти при оборотних хімічних і фотохімічних реакціях [30, 128, 129].

В акумуляторах ємнісного типу відбуваються послідовно або одночасно процеси нагрівання і охолодження теплоакumuлюючого матеріалу або безпосередньо за рахунок сонячної енергії або через теплообмінник. Акумулятори теплоти ємнісного типу працюють в діапазоні температур від 30 до 100 °С. Нижня межа температури 30 °С характерна для повітряного опалення, діапазони 30...90 °С і 40...60 °С – для водяного опалення.

Основна перевага ємнісного акумулятора - це можливість використання доступних місцевих матеріалів, легкість монтажу, а також порівняно невелика вартість. До недоліків використання акумуляторів ємнісного типу - це їх велика маса і, як наслідок, потреба у великих площах для їх розміщення.

Основна перевага акумуляторів фазового переходу - висока питома густина акумульованої енергії, завдяки чому істотно зменшуються об'ємні та вагові характеристики акумулятора теплоти в порівнянні з акумуляторами ємнісного типу. Температура фазових переходів вибирається невисокою, підбираються речовини, в яких плавлення відбувається при температурах від 30 до 50°С.

До перспективних низькотемпературних теплоакumuлюючих матеріалів можна віднести органічні речовини (парафін і жирні кислоти, що плавляться при 40...56 °С) і кристалогідрати неорганічних солей ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  та глауберова сіль  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , що плавляться при 29...35 °С).

Теплоакumuлююча здатність матеріалів залежить від їхньої теплоємності і різниці температур. Як правило, найбільшу теплоакumuлюючу здатність мають матеріали з більшою щільністю, але при цьому ці матеріали відрізняються більш високою теплопровідністю. Характеристики деяких матеріалів і речовин для улаштування теплоакumuляторів представлені в таблиці 4.4.



Таблиця 4.4 – Теплоакумуюча здатність і теплопровідність матеріалів і речовин [124]

Матеріал або речовина	Щільність, $\rho_0$ кг/м <sup>3</sup>	Питома теплоємність, $C_0$ , кДж/кг·К	Теплопровідність, $\lambda$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
Вода	1000	4,1806	0,55
Грунт (суглинок)	1600	0,92	1,02
Природний камінь (граніт, галька)	1600	0,84	0,45
Бетон	2400	0,84	1,86
Цегла	1800	0,88	0,81
Гравій	2400	0,84	0,23
Пісок	1600	0,84	0,58
Деревина	500	2,3	0,18
Глауберова сіль (декагідрат сульфату натрію)	1460 <sup>т</sup> /1330 <sup>р</sup>	1,92 <sup>т</sup> /3,26 <sup>р</sup>	1,85 <sup>т</sup> /1,714 <sup>р</sup>
Парафін	786 <sup>т</sup>	2,89 <sup>т</sup>	0,498 <sup>т</sup>

Примітка: т – твердий стан, р – рідкий стан; температура і теплота плавлення: парафін – 47 °С і 209 кДж/кг; глауберова сіль - 32°С і 251 кДж/кг.

Теплоакумуючу здатність або кількість теплоти, яка може бути накопичено в теплоакумуляторі визначаємо за формулою [96, 103], кДж:

$$Q = m \cdot C_0 \cdot \Delta T, \quad (4.12)$$

де  $m$  – маса теплоакумуючого матеріалу, кг;

$C_0$  – питома теплоємність акумулюючого матеріалу, кДж/кг·К;

$\Delta T$  – різниця між початковою і кінцевою температурою теплоакумулятора, °С і вона дорівнює:

$$\Delta T = T_{min} - T_{max}, \quad (4.13)$$

де  $T_{min}$ ,  $T_{max}$  – мінімальна і максимальна температури теплоакумулятора відповідно, які дорівнюють  $T_{min} = 16$  °С, що відповідає внутрішній температурі теплиці;  $T_{max} = 26$  °С, що відповідає технологічним нормам вирощування рослин.

За даними попередніх розрахунків необхідна ємність сезонного теплоакумулятора для теплиці типу «Вегетарій» становить 5259 кВт·год = 18932400 кДж.

Маса теплоакумулятора дорівнює, кг:

$$m = \frac{Q}{c_0 \cdot \Delta T}. \quad (4.14)$$

Об'єм теплоакумулятора  $V$ , м<sup>3</sup>:

$$V = \frac{m}{\rho_0} = \frac{Q}{c_0 \cdot \Delta T \cdot \rho_0}, \quad (4.15)$$

де  $\rho_0$  - щільність матеріалу, кг/м<sup>3</sup>.

В якості сезонного акумулятора для досліджуваної теплиці типу «Вегетарій» було розглянуто акумулятор ємнісного типу із розмірами, відповідно, розмірам досліджуваної теплиці 5,0 x 8,0 м із використанням наступних теплоакумуляуючих матеріалів: галька, вода, ґрунт (суглинок), пісок, бетон, цегла. Результати розрахунків представлені в таблиці 4.5.

Залежність об'єму теплоакумулятора від щільності і теплоємності теплоакумуляуючого матеріалу представлено на рис. 4.10.

Враховуючи залежність об'єму теплоакумулятора від щільності і теплоємності теплоакумуляуючого матеріалу можна встановити об'єм теплоакумулятора необхідний для акумуляування 3600 кДж (1 кВт год) енергії.

Таблиця 4.5 – Характеристики ємностних теплоаккумуляторів для теплиці типу «Вегетарій»

Теплоакую- мулюючий матеріал	Необхідна ємність тепло аккумулятора $Q$ , кВт·год	Маса теплоакую- мулятора, т, кг	Об'єм, $V$ , $m^3$	Глибина теплоакую- мулятора, м
Галька	5259	2253857	1760,8*	44,0
Вода		450771,4	450,8	11,0
Грунт		2057869,5	1286	32,0
Пісок		2253857	1408,7	35,0
Бетон		2253857	939,1	23,5
Цегла		2151409	1195	30,0

Примітка: \* - об'єм акумулятора з урахуванням 25% пустот.

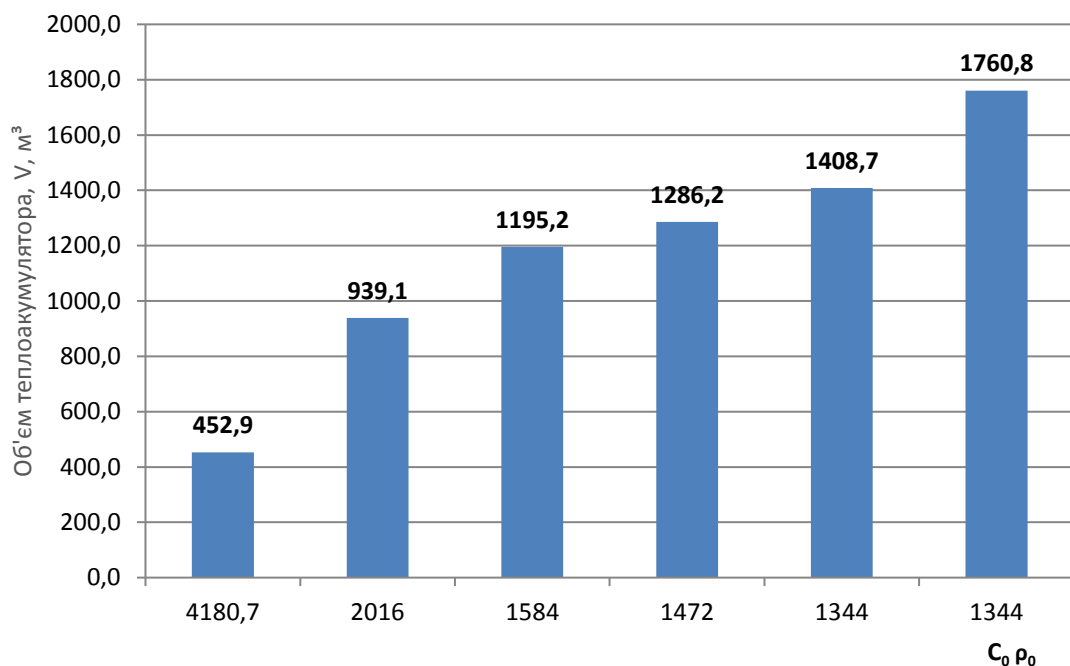


Рисунок 4.10 – Залежність об'єму тепло акумулятора для досліджуваної теплиці типу «Вегетарій» від щільності і теплоємності теплоакуючого матеріала

Аналізуючи дані розрахунків, можна зробити висновок, що для забезпечення необхідного температурного режиму теплиці протягом року

ємнісний теплоакумулятор для досліджуваної теплиці із розмірами в плані 5,0 x 8,0 м має значні розміри глибини, навіть при умові використання матеріалів та розчинів з високою теплоємністю, таких як, наприклад, вода.

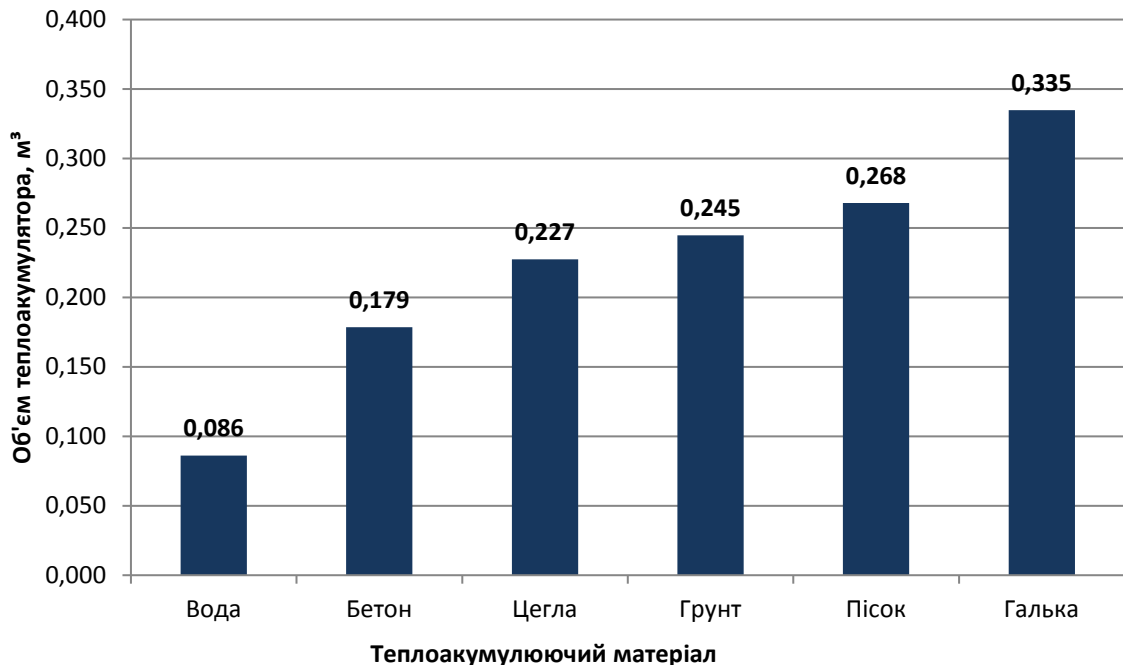


Рисунок 4.11 – Об'єм теплоакумулятора необхідний для акумулювання 3600 кДж (1 кВт) енергії при  $\Delta T=10$  °С в залежності від теплоакумуляуючого матеріалу

Зменшити об'єм теплоакумулятора можливо якщо збільшити різницю між початковою і кінцевою температурою теплоакумулятора  $\Delta T$ .

Для підвищення кінцевої температури теплоакумулятора без підвищення внутрішньої температури теплиці доцільно використовувати сонячні колектори, які можуть бути розташовані, як всередині так і зовні теплиці.

Розглянемо, як зменшиться об'єм теплоакумулятора, якщо  $T_{max}=60$  °С.

При використанні сонячних колекторів об'єм теплоакумулятора значно зменшується, проте все ще має досить великі розміри. Влаштування такого теплоакумулятора потребує значних капітальних і трудових витрат, а також великих площ для їх розміщення.

Таблиця 4.5 – Характеристики ємностних теплоаккумуляторів для теплиці типу «Вегетарій» із використанням сонячних колекторів

Теплоакмулюючий матеріал	Необхідна ємність теплоаккумулятора Q, кВт·год	Маса теплоаккумулятора, т, кг	Об'єм, V, м <sup>3</sup>	Глибина теплоаккумулятора, м
Галька	5259	2253857	400,2*	10,0
Вода		450771,4	102,9	2,6
Грунт		2057869,5	292,3	7,3
Пісок		2253857	320,2	8,0
Бетон		2253857	213,4	5,3
Цегла		2151409	271,6	6,8

Примітка: \* - об'єм аккумулятора з урахуванням 25% пористості.

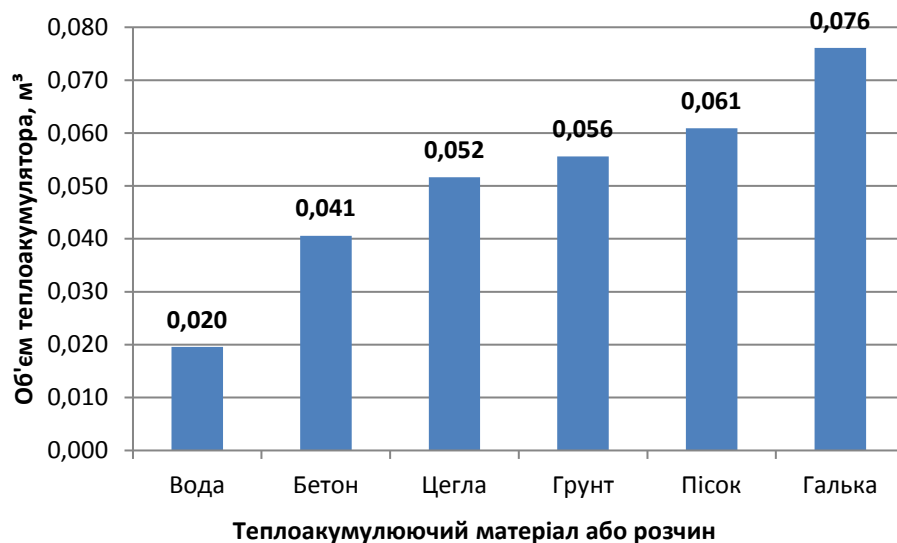


Рисунок 4.12 – Об'єм теплоаккумулятора необхідний для акумулювання 3600 кДж (1 кВт год) енергії при  $\Delta T=44$  °С в залежності від теплоакмулюючого матеріалу

Розглянемо аккумулятори, що працюють на фазовому переході теплоакмулюючого матеріалу на прикладі використання декагідрату сульфата натрію (глауберової солі)  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .

Маса теплоакумулятора дорівнює, кг:

$$m = \frac{Q}{\lambda}, \quad (4.16)$$

де  $\lambda$  – питома теплота плавлення, Дж/кг, для  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$   
 $\lambda=2,51 \cdot 10^5$  Дж/кг.

Об'єм теплоакумулятора  $V_{\text{фп}}$ , м<sup>3</sup>:

$$V_{\text{фп}} = \frac{m}{\rho_0} = \frac{Q}{\lambda \cdot \rho_0}. \quad (4.17)$$

Результати розрахунку об'єму і розмірів теплоакумулятора, що працює на фазовому переході теплоакумуляючого матеріалу представлені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Характеристики тепло акумуляторів, що працюють на фазовому переході теплоакумуляючого матеріалу для теплиці типу «Вегетарій»

Теплоаккумуляючий матеріал	Необхідна ємність тепло акумулятора Q, кВт·год	Маса теплоаккумулятора, т, кг	Об'єм, V, м <sup>3</sup>	Глибина теплоаккумулятора, м
Глауберова сіль	5259	75428	51,6	1,3
Парафін		126216	160,6	4,0

Необхідні об'єми теплоакумуляторів для теплиці типу «Вегетарій» в залежності від теплоаккумуляючого матеріалу представлені на рис. 4.13. Об'єми теплоакумуляторів ємнісного типу представлені з урахуванням їх роботи разом із сонячними колекторами.

Аналіз результатів розрахунків засвідчує, що теплоакумулятор на основі фазового переходу теплоакумуляючого матеріалу має найменший об'єм 51,6 м<sup>3</sup>.

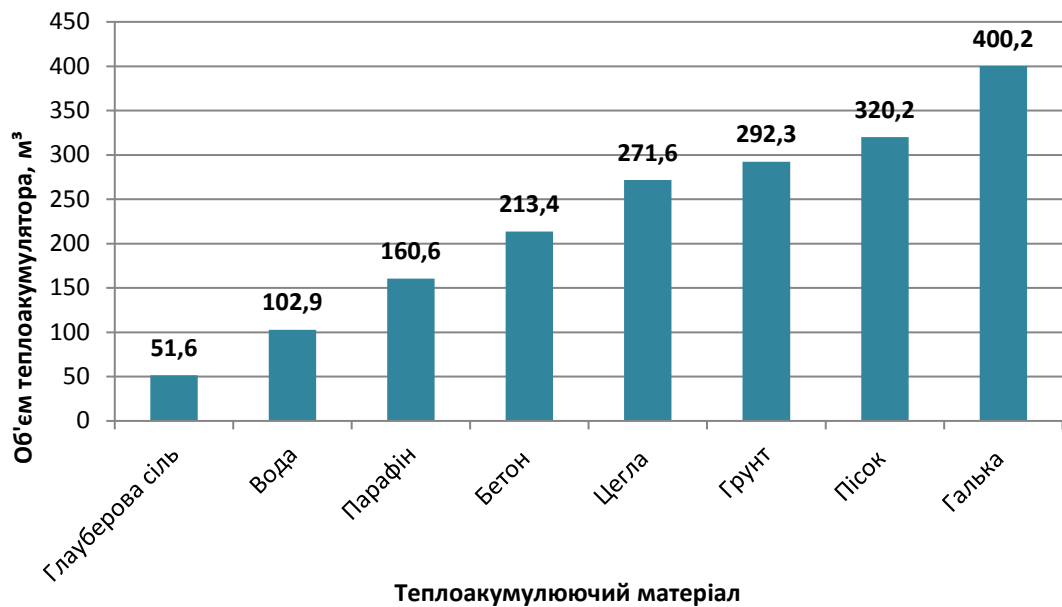


Рисунок 4.13 – Необхідні об'єми теплоаккумуляторів для теплиці типу «Вегетарій»

Найбільший об'єм має теплоаккумулятор з гальки 400,2 м³ і це при умові його сумісної роботи із сонячним колектором.

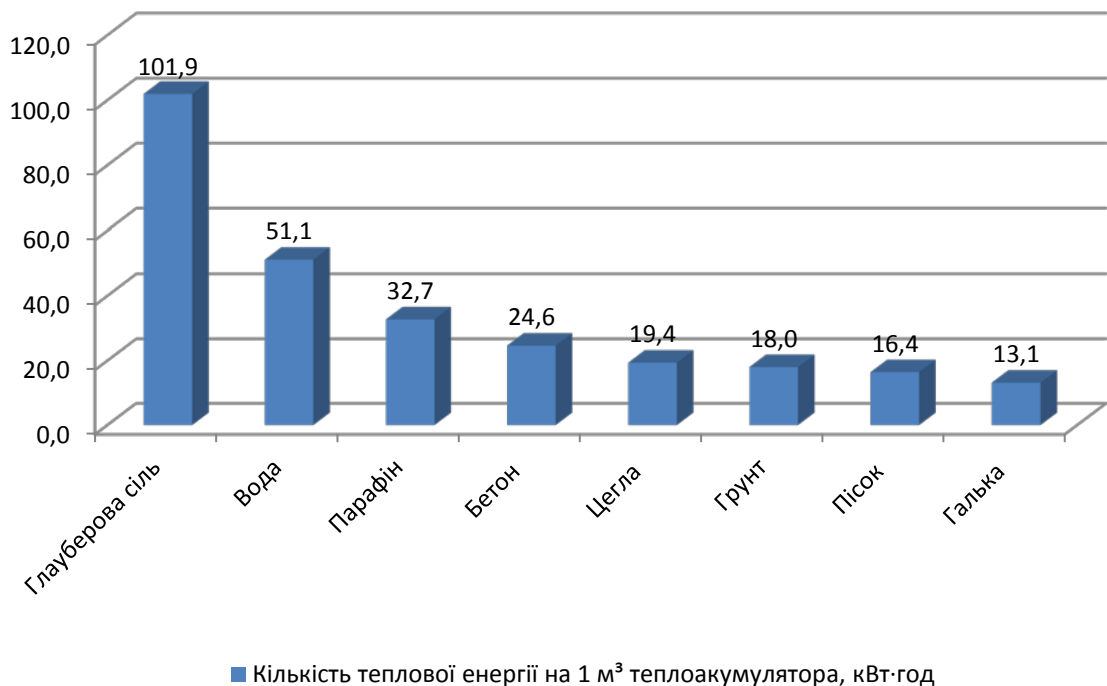


Рисунок. 4.14 – Кількість теплової енергії на 1 м³ теплоаккумулятора в залежності від теплоакуюлючого матеріалу

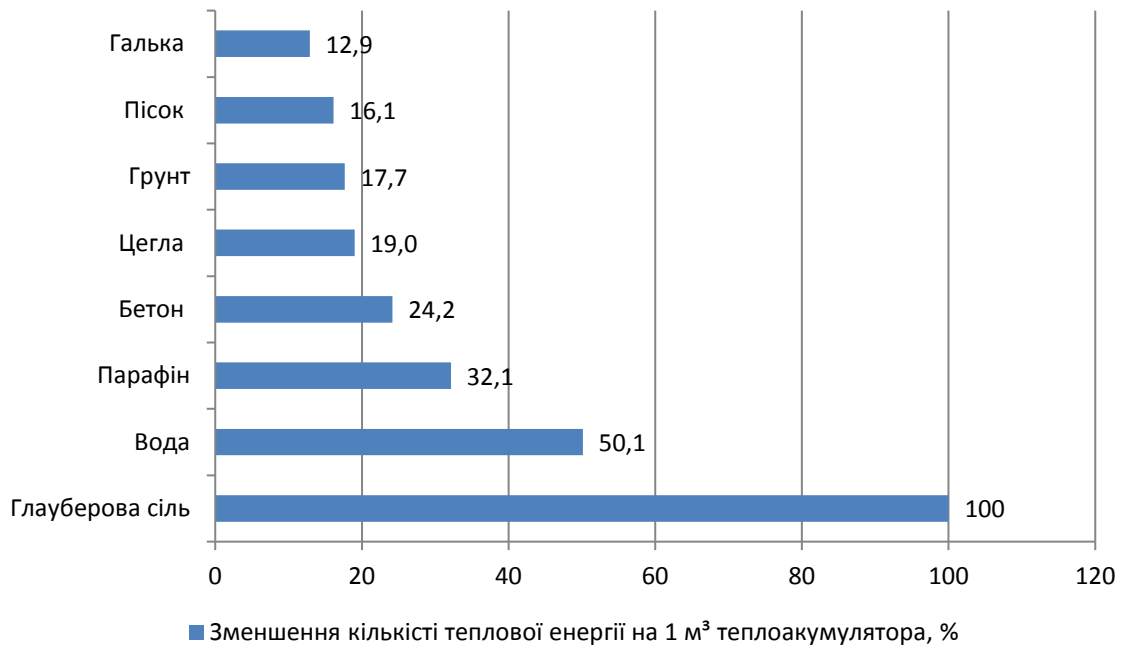


Рисунок 4.15 – Зменшення кількості теплової енергії на 1 м<sup>3</sup> в залежності від теплоакумулюючого матеріалу, %

Аналізуючи розрахунки, можна зробити висновок, що найбільшу кількість енергії можна закумуляувати при використанні в якості теплоакумулюючого матеріалу глауберової солі – 101,2 кВт·год /на 1 м<sup>3</sup> теплоакумулюючого матеріалу. Наступним найбільш вигідним матеріалом для зберігання енергії є вода. Кількість теплової енергії на 1 м<sup>3</sup> теплоаккумулятора для води становить 51,1 кВт·год / на м<sup>3</sup> теплоакумулюючого матеріалу, що на 50% менше за глауберову сіль. Проте цей показник досягається при умові використання в системі тепlopостачання теплиці сонячного колектора. Найменш ефективним теплоакумулюючим матеріалом для зберігання теплової енергії є галька (природний камінь). Кількість теплової енергії на 1 м<sup>3</sup> теплоаккумулятора для гальки становить 13,1 кВт·год / на м<sup>3</sup> теплоакумулюючого матеріалу, що на 87% менше за глауберову сіль і на 37% менше за воду.

#### 4.4. Конструкція сезонного теплоаккумулятора для теплиці типу «Вегетарій»

Для зберігання теплової енергії у теплий період року і використання її



взимку для опалення теплиці запропоновано технічне рішення сезонного теплоаккумулятора. В основу технічного рішення, що заявляється поставлена задача розробки конструкції сезонного теплоаккумулятора для зберігання теплової сонячної енергії.

На рис. 4.16. зображена конструктивна схема теплиці з багат шаровим теплоаккумулятором. Технічне рішення захищено патентом України на корисну модель автором [12].

Конструкція теплиці з багат шаровим теплоаккумулятором складається з світлопрозорого покриття 1, орієнтованого в найбільш вигідних напрямках для максимального отримання сонячної енергії, що примикає до утепленої стіни 2, спираючись на утеплений фундамент 3, багат шарового теплоаккумулятора 4 і мережі воздуховодів 5, обладнаних керованою системою датчиків і заслонок для спрямування руху повітря в середині теплиці. Багат шаровий теплоаккумулятор 4 розділено на теплоакуючі шари теплоізоляційними прокладками 6 для поступового накопичення і використання накопленого тепла. При чому останній нижній шар теплоаккумулятора 4 відділений від земляного масиву теплоізоляційним шаром 7, який конструктивно з утепленим фундаментом 3 утворюють однорідну теплоізоляційну оболонку.

Теплиця з багат шаровим теплоаккумулятором функціонує наступним чином. При надходженні сонячної енергії через світлопрозоре покриття 1, яке орієнтоване в найбільш вигідних напрямках, у внутрішній простір теплиці, температура повітря поступово збільшується і потребує регулювання для забезпечення оптимального мікроклімату.

Тепле повітря сконцентроване у верхній частині внутрішнього об'єму теплиці примусово через мережу воздуховодів 5, обладнаних керованою системою датчиків і заслонок, направляється в багат шаровий теплоаккумулятор 4, причому завдяки конструкції багат шарового теплоаккумулятора, направлене тепло розподіляється поступово від верхнього до нижнього шарів.

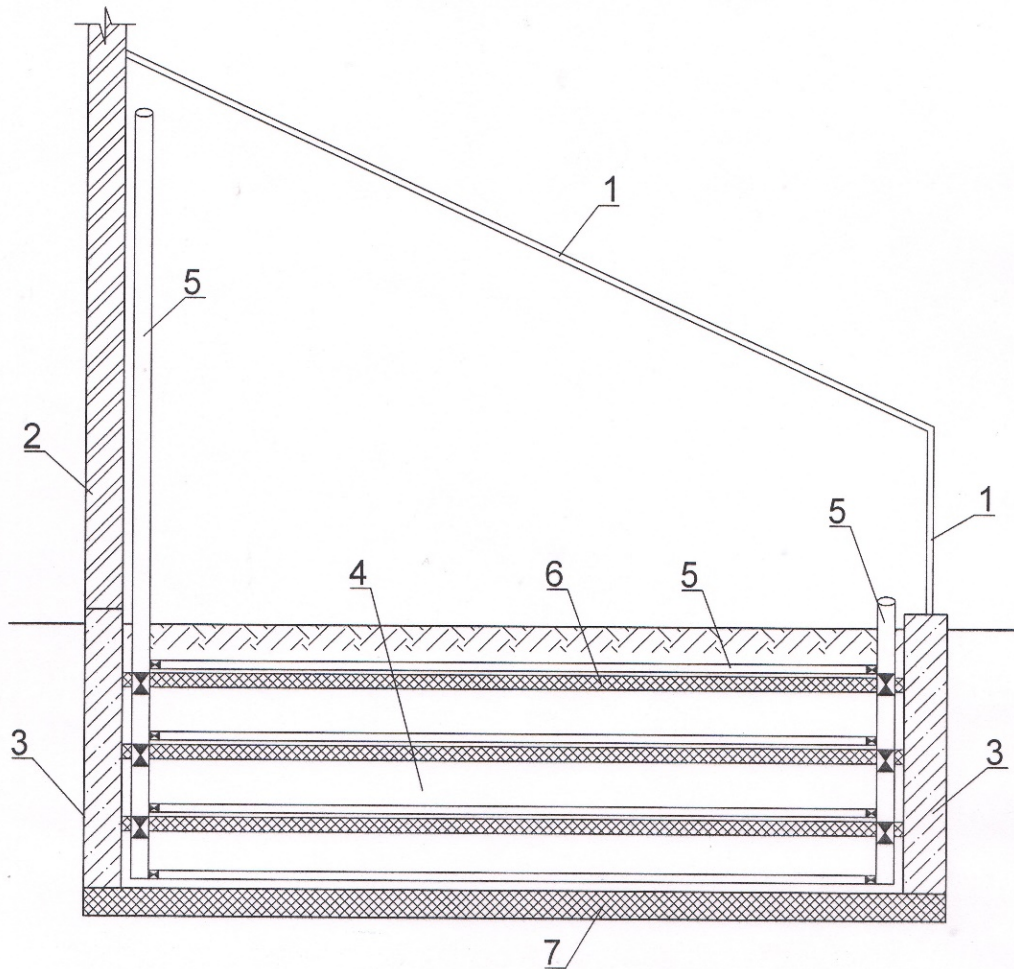


Рисунок 4.16 – Конструктивна схема теплиці з багатошаровим теплоаккумулятором: 1 – світлопрозоре покриття; 2 – утеплена стіна; 3 – утеплений фундамент; 4 – шар теплоакумулюючого матеріалу; 5 – мережа воздуховодів; 6 – теплоізоляційна прокладка; 7 – теплоізоляційний шар

Теплоізоляційна оболонка, утворена утепленням фундаментом 3 і теплоізоляційним шаром 7 і теплоізоляційні прокладки 6 дозволяють зберігати тепло в багатошаровому теплоаккумуляторі 4 протягом тривалого часу.

При зниженні температури зовнішнього повітря для забезпечення оптимального мікроклімату всередині теплиці завдяки мережі воздуховодів 5, обладнаних керованою системою датчиків і заслонок тепло спрямовується від теплоакумулюючих шарів багатошарового теплоаккумулятора 4 у внутрішній об'єм теплиці, причому спочатку використовується тепло верхнього шару, а потім поступово наступних шарів.

#### 4.5. Висновки до розділу 4

1. На основі експериментальних досліджень температурно-вологісного режиму визначено, що у весняний період (березень – квітень), внутрішня температура в теплиці не відповідає встановленим нормам температури внутрішнього повітря для нормального росту і розвитку рослин, а діапазон коливань температури всередині теплиці протягом експериментального періоду складає від  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $52\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В нічний період внутрішня температура всередині теплиці знижується до рівня і нижче зовнішньої температури повітря на  $0,01 - 2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  і становить від  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-1,48\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

2. Досліджено ефективність використання добового акумулятора тепла для вирівнювання коливань температур для теплиці із розмірами в плані  $7,8 \times 7,9\text{ м}$  і висотою  $3,1\text{ м}$  у ранньо-весняний період (березень – квітень). Запропонована теплотехнічна модель, яка враховує теплонадходження від сонячної радіації, теплові втрати через огорожуючі конструкції і тепло, яке накопичується в акумуляторі. На основі запропонованої математичної моделі теплиці визначено раціональні параметри добового теплоакумулятора, а саме: теплоакумуляуючий матеріал – вода, об'єм акумулятора  $V=4\text{ м}^3$ , площа акумуляуючої поверхні  $F=200\text{ м}^2$ .

3. Досліджено ефективність використання сезонного теплоакумулятора із різними теплоакумуляуючими матеріалами для обраної раціональної конструкції типу «Вегетарій» із розмірами в плані  $5,0 \times 8,0$  і висотою  $3,9\text{ м}$ . Встановлено, що найбільш ефективним матеріалом для акумуляування теплової енергії є глауберова сіль. Кількість теплової енергії на  $1\text{ м}^3$  теплоакумуляуючого матеріалу становить  $101,2\text{ кВт}\cdot\text{год}$ . Наступним за ефективністю матеріалом для зберігання енергії є вода. Кількість теплової енергії на  $1\text{ м}^3$  теплоакумуляуючого матеріалу при нагріві води до  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  становить  $51,1\text{ кВт}\cdot\text{год}$ , що на  $50\%$  менше за глауберову сіль. Цей показник досягається при умові використання в системі тепlopостачання теплиці сонячного колектора.

4. Для ефективного зберігання і використання теплової енергії в системі опалення теплиці запропоновано технічне рішення сезонного багатошарового тепло акумулятора (Пат. 137026 Україна, А01G 9/14). Використання в конструції багатошарового теплоакумулятора мережі воздухопроводів, обладнаних керованою системою датчиків і заслонок, теплоізоляційних шарів дозволяє зберігати тепло протягом тривалого часу, що в свою чергу знижує потребу в енергії при експлуатації споруди закритого ґрунту.

#### **4.6. Список використаних джерел у розділі 4**

У розділі 4 використані [1, 22, 30, 111, 126, 127, 128, 129] літературні джерела. Їх найменування наведені в загальному списку використаних джерел.

## ВИСНОВКИ

У дисертації наведене теоретичне узагальнення і нове вирішення актуальної науково-практичної задачі, що полягає в дослідженні і розробці наукових і методологічних положень, методів розрахунку та проектування конструкцій споруд закритого ґрунту, їх теоретичне і техніко-економічне обґрунтування з урахуванням стадій життєвого циклу. Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Теплиці є основними спорудами в сучасному рослинництві захищеного ґрунту, які можуть забезпечити населення свіжою продукцією протягом всього року. Проте, через значні теплові втрати через огорожуючі конструкції споруди закритого ґрунту є найбільш енергоємними серед сільськогосподарських будівель і споруд. Тому задача підвищення енергоефективності таких споруд є актуальною проблемою.

На основі результатів виконаного аналізу вітчизняних і закордонних досліджень запропоновано класифікацію споруд закритого ґрунту за характерними ознаками, визначено основні способи підвищення енергоефективності, а саме: застосування нових енергоефективних матеріалів для світлопрозорих покриттів та конструкцій теплиці; розробка ефективних конструктивних рішень, геопросторового розташування, орієнтації за сторонами світу для збільшення сонячних теплонадходжень та зменшення теплових втрат через огорожуючі конструкції; системи добового і сезонного зберігання, перерозподілу та використання сонячної енергії в системах опалення споруд закритого ґрунту в холодний період.

2. На основі розрахунку сукупної вартості життєвого циклу при різних відсоткових ставках на капітал (aggregate value – AV), вартості енергії, капітальних затрат визначено раціональну товщину світлопрозорого покриття - полікарбонату - для споруд закритого ґрунту за критерієм енергоефективності і мінімальної вартості. Ця товщина в сьгоднішніх економічних умовах складає 10 мм.

3. На основі результатів проведеного дослідження радіаційного і теплового режиму обґрунтовані параметри конструктивних рішень споруд закритого ґрунту з урахуванням основних факторів, які впливають на енергоефективність споруди, а саме: конструктивна форма, орієнтація і кут нахилу світлопрозорого покриття відносно сонячних променів, геопросторове розташування теплиці відносно поверхні землі:

- найбільш раціональною конструктивною формою теплиці для умов м. Дніпро є форма типу «Вегетарій». Встановлено, що різниця між сонячними теплонадходженнями і тепловими втратами протягом холодного періоду року (жовтень – квітень) для форми типу «Вегетарій» є найменшою серед всіх розглянутих форм теплиць;

- досліджено вплив орієнтації споруди відносно сторін світу на обсяг сонячних теплонадхожень протягом року. Встановлено, що найбільш вигідна орієнтація споруди за критерієм сонячних теплонадхожень є орієнтація в південному напрямі; при зміні орієнтації на південно-східний або південно-західний напрям теплонадходження до об'єму теплиці зменшуються лише на 1%, а при орієнтації теплиці у східному або західному напрямі теплонадходження зменшуються на 8%;

- визначено вплив кута нахилу світлопрозорого покриття в діапазоні від 20° до 90° на обсяг сонячних тепло надхожень; найбільш раціональним кутом нахилу є діапазон від 35° до 45°. Максимальні річні сонячні теплонадходження спостерігаються при куті нахилу 35°, а максимальні протягом холодного періоду (жовтень – квітень) - при куті нахилу 45°; теплонадходження на поверхню розташовану під кутом нахилу 35° протягом холодного періоду зменшується від максимального значення лише на 1,2 %;

- обґрунтовано раціональне геопросторове розташування теплиці відносно поверхні землі за критерієм сонячних теплових надхожень і теплових втрат через огорожувальні конструкції; встановлено, що основні втрати тепла відбуваються через світлопрозорі огорожувальні конструкції; при заглибленні теплиці на 1,0 м в ґрунт втрати тепла зменшуються на 6,5%;

при заглибленні на 1,85 м – на 24%; а при підземному розташуванні – до 75%. Разом з тим при заглибленні на 1,0 м – сонячні теплонадходження зменшуються на 16,6%, а при заглибленні на 1,85 м – майже на 30%. Раціональним є наземне розташування теплиці.

4. Проведено експериментальні дослідження температурно-вологісного режиму теплиці, розташованої в м. Дніпро. Встановлено, що у весняний період (березень – квітень), внутрішня температура в теплиці не відповідає встановленим нормам температури внутрішнього повітря для нормального росту і розвитку рослин, а діапазон коливань температури всередині теплиці протягом експериментального періоду складає від  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $52\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В нічний період внутрішня температура всередині теплиці знижується до рівня і нижче зовнішньої температури повітря на  $0,01 - 2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  і становить від  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-1,48\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для вирівнювання температур необхідно використання акумуляторів тепла.

5. Запропонована теплотехнічна модель для розрахунку параметрів теплоакумулятора, яка враховує теплонадходження від сонячної радіації, теплові втрати через огорожуючі конструкції і тепло, яке накопичується в акумуляторі. На основі запропонованої математичної моделі теплотехнічних процесів в теплиці, як приклад, визначено раціональні параметри добового теплоакумулятора, а саме: теплоакумуляуючий матеріал – вода, об'єм акумулятора  $V=4\text{ м}^3$ , площа акумуляуючої поверхні  $F=200\text{ м}^2$  для теплиці із розмірами в плані  $7,8\text{ х }7,9\text{ м}$  і висотою  $3,1\text{ м}$  у ранньо-весняний період (березень – квітень).

6. Досліджено ефективність використання сезонного теплоакумулятора із різними теплоакумуляуючими матеріалами для раціональної конструкції теплиці типу «Вегетарій» із розмірами в плані  $5,0\text{ х }8,0$  і висотою  $3,9\text{ м}$ . Встановлено, що найбільш ефективним матеріалом для акумуляування теплової енергії є глауберова сіль. Кількість теплової енергії на  $1\text{ м}^3$  теплоакумуляуючого матеріалу становить  $101,2\text{ кВт}\cdot\text{год}$ . Наступним за ефективністю матеріалом для зберігання енергії є вода. Кількість теплової

енергії на 1 м<sup>3</sup> теплоакумуючого матеріалу при нагріві води до 60 °С становить 51,1 кВт·год, що на 50% менше за глауберову сіль. Цей показник досягається при умові використання в системі тепlopостачання теплиці сонячного колектора.

7. Для ефективного зберігання і використання теплової енергії в системі опалення теплиці запропоновано технічне рішення сезонного багатошарового теплоаккумулятора (пат. України 137026, А01G 9/14). Використання в констуркції багатошарового теплоаккумулятора мережі воздуховодів, обладнаних керованою системою датчиків і заслонок, теплоізоляційних шарів дозволяє зберігати тепло протягом тривалого часу, що в свою чергу знижує потребу в енергії при експлуатації споруди закритого ґрунту.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.2-2-95. Будинки і споруди. Теплиці та парники. [З введенням в дію втрачає силу на території України СНиП 2.10.04-85; чинний від 1995-02-01]. Вид. офіц. Київ : Укрархбудінформ, 1995. 15 с. (Державні будівельні норми України).
2. Мураш И. Г. Аэропоника в теплицах. Москва : Моск. рабочий, 1964. 96 с.
3. Эскобар Х. П., Сандоваль А. А., Биензи П. М., Саласар Х. Д. Здания вертикальных ферм в умных городах. *Системные технологии*. 2020. № 1[34]. С. 73–76.
4. Ковальов М. М., Шарова Л. М. Порівняння ефективності вирощування овочевої розсади в ґрунтовому середовищі і в системах аеропоніки та гідропоніки. *Досягнення і перспективи галузі виробництва, переробки та зберігання сільськогосподарської продукції*: матеріали всеукр. наук.-практ. конф., м. Кропивницький, 9– 11 квітня 2020 р. Кропивницький, 2020. С. 20-22.
5. Сравнительная характеристика материалов для остекления промышленных теплиц. URL: [https://studwood.ru/1553306/agropromyshlennost/sravnitel'naya\\_harakteristika\\_materialov\\_ostekleniya\\_teplits](https://studwood.ru/1553306/agropromyshlennost/sravnitel'naya_harakteristika_materialov_ostekleniya_teplits) (дата звернення: 25.10.2020).
6. Плівка для теплиць: особливості вибору. URL : <https://uk.aviarydecor.com/3055-film-for-greenhouses-features-of-choice.html> (дата звернення: 25.10.2020).
7. ГОСТ 10354-82. Пленка полиэтиленовая. Технические условия. [Взамен ГОСТ 10354–73; введен в действие 1983-07-01]. Изд. офиц. Москва : Стандартиформ, 2007. 22 с.
8. Alhamdan Abdullah M., Al-Helal Ibrahim M. Mechanical deterioration of polyethylene greenhouses covering under arid conditions. *Journal*

*of Materials Processing Technology*. 2009. Vol. 209, Iss. 1. P. 63–69.

9. Dilara P. A., Briassoulis D. Standard testing methods for mechanical properties and degradation of low density polyethylene (LDPE) films used as greenhouse covering materials: a critical evaluation. *Polymer Testing*. 1998. Vol. 17, Iss. 8. P. 549–585. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0142-9418\(97\)00074-3](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(97)00074-3).

10. Adam A., Kouider S., Youssef B., Hamou A., Saiter J. Studies of polyethylene multi layer films used as greenhouse covers under Saharan climatic conditions. *Polymer Testing*. 2005. Vol. 24. Iss. 7. P. 834–838. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2005.07.002>.

11. Карлов С.Г., Тихомиров Л.А. Обогреваемые стеклопакеты. Пути развития. *Academia. Архитектура и строительство*. 2009. № 5. С. 443–445.

12. Стеклопакеты с подогревом. *Вікна Німеччини*. URL: <https://окна-germanii.com.ua/stati/steklopakety-s-podogrevom/> (дата звернення: 25.10.2020).

13. Как выбрать теплицу из сотового поликарбоната. *SRBU.RU. Стройка. Ремонт. Быт. Уют*. URL: <https://srbu.ru/blagoustrojstvo-territorii/245-kak-vybrat-teplitsu-iz-polikarbonata.html> (дата звернення: 25.10.2020).

14. Технические характеристики сотового поликарбоната. *SRBU.RU. Стройка. Ремонт. Быт. Уют*. URL: <https://srbu.ru/stroitelnye-materialy/237-tekhnicheskie-kharakteristiki-sotovogo-polikarbonata.html> (дата звернення: 25.10.2020).

15. ГОСТ Р 56712-2015 Панели многослойные из поликарбоната. Технические условия. [Введен впервые; введен в действие 2016-05-01]. Изд. офиц. Москва : Стандартинформ, 2016. 28 с.

16. Юдаев И. В. Изучение светопропускающих свойств сотового поликарбоната – покрывного материала круглогодичных теплиц. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2016. № 120(06). С. 1–14. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-svetopropuskayuschih-svoystv-sotovogo-polikarbonata-pokryvnogo-materiala-kruglogodichnyh-teplits/viewer>

(дата звернення: 25.10.2020).

17. ДСТУ Б В.2.7-122:2009 Будівельні матеріали. Скло листове. Технічні умови. [Уведено вперше (зі скасуванням в Україні державного стандарту ДСТУ Б В.2.7-122:2003 (ГОСТ 111-2001) Будівельні матеріали. Скло листове: Технічні умови); чинний від 2010-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України. 2010. 52 с.

18. Солнечный вегетарий: А. с. 192539 СССР: МПК А 01 g 9/14. № 788339/30-15; заявл. 23.07.1962; опубл. 06.11.1967, Бюл. № 5. 2 с.

19. Иванько А. А., Калиниченко А. П., Шмат Н. А. Солнечный вегетарий. Киев: Анфас, 1996. 112 с.

20. Теплица Миттлайдера. *Википедия. Свободная энциклопедия.* URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Миттлайдер,\\_Джекоб](https://ru.wikipedia.org/wiki/Миттлайдер,_Джекоб) (дата звернення: 25.10.2020).

21. Хазін В. Й., Затуливітер О. М. Аналіз різноманітних видів сучасних плівкових покривель теплиць та парників. *Зб. наук. праць ПолтНТУ Серія: Галузеве машинобудування, будівництво.* Полтава, 2011. Вип. 2 (30). 2011. С. 234–240.

22. ВНТП АПК–19–07. Тепличні і оранжерейні підприємства. Споруди захищеного ґрунту для фермерських (селянських) господарств. [На заміну ВНТП-СГіП-46-19.96; чинний від 01.08.2007 р.]. Вид. офіц. Київ : Міністерство аграрної політики України. 2007. 140 с.

23. Опрышко А., Пасичник Н. Исследование экспериментальной теплицы для приусадебного хозяйства. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture.* 2013. Vol. 15, № 3. С. 281–287.

24. Білоконь Т. М. Економічні аспекти впровадження енергозберігаючих технологій на підприємствах закритого ґрунту. *Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Економічні науки.* Вінниця, 2012. № 1(56). Том 2. С. 146– 151.

25. Росковшенко Ю. К., Ткаченко В. А., Степанов М. В. та ін. Напрямки енергозбереження в промислових теплицях. *Вентиляція, освітле-*

ння та теплогазопостачання. 2007. №. 11. С. 78-82.

26. Корчемний М. О., Федорейко В. М, Щербань В. А. Енергозбереження в агропромисловому комплексі : підручники і посібники. Тернопіль : 2001. 984 с.

27. Опришко О.О., І.С. Зубков. Використання сонячної енергії для пасивного обігріву будівель взимку. *Енергетика і автоматика*. 2013. № 4. С. 74–79.

28. Харченко Н. В. Индивидуальные солнечные установки : науч.-популяр. изд. Москва : *Энергоатомиздат*, 1991. 208 с.

29. Arvind Chel, J.K. Nayak, Geetanjali Kaushik. Energy conservation in honey storage building using Trombe wall. *Energy and Buildings*. 2008. Vol. 40, Iss. 9. P. 1643–1650. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.019> (дата звернення: 25.10.2020).

30. Эрат Б., Вулстон Д. Теплица в вашем доме: Справочное пособие. Москва : Стройиздат, 1994. 191 с.

31. Gorjian S., Tavakkoli Hashjin T., Ghobadian B. Solar Powered Greenhouses. *10th International Conference on Sustainable Energy Technologies on Sustainable Energy Technologies*, Stanbul, Türkiye, 4-7 sep. 2011. P. 1-6. DOI: [10.13140/RG.2.1.5064.2082](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5064.2082).

32. A Leading Edge Community Greenhouse In the East Kootenays of British Columbia. URL : [http://healthyeatingatschool.ca/uploads/Community\\_Greenhouse.pdf](http://healthyeatingatschool.ca/uploads/Community_Greenhouse.pdf).

33. Paul Pichéa, Didier Hailloib, Stéphane Gibouta et al. Design, construction and analysis of a thermal energy storage system adapted to greenhouse cultivation in isolated northern communities *Solar Energy*. 2020. Vol. 204. P. 90–105. URL: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.04.008> (дата звернення: 25.10.2020).

34. Bazgaou A, Fatnassi H, Bouharroud R et al. Performance assessment of combining rock-bed thermal energy storage and water filled passive solar sleeves for heating Canarian greenhouse. *Solar Energy*. Vol. 198. P. 8 – 24.

DOI: [10.1016/j.solener.2020.01.041](https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.01.041)

35. Петров С. Аккумулятор тепла. *Сияние. Центры культурного земледелия*. URL: <https://sianie1.ru/articles/article/akkumulyator-tepla.html> (дата звернения: 25.10.2020).

36. Edey A. *Solviva: How to Grow 500,000 on One Acre and Peace on Earth*. Trailblazer Press, 1998. 225 p.

37. Халимов Г. Г., Хайриллинов Б. Э., Садыков Ж. Д. Водяной аккумулятор тепла в солнечных теплицах. *Вестник Тувинского государственного университета*. 2016. Вып. 3. Технические и физико-математические науки. С. 184–189.

38. Солнечный био-вегетарий : пат. 131941 Российская Федерация : МПК А01G9/14, А01G 9/14. № 2013121735/13; заявл. 13.05.13; опубл. 10.09.13, Бюл. № 25. 3 с.

39. Firfiris V. K., Fragos V. P., Kotsopoulos T. A. et al. Energy and environmental analysis of an innovative greenhouse structure towards frost prevention and heating needs conservation. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2020. Vol. 40. P. 100750. DOI: [10.1016/j.seta.2020.100750](https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100750).

40. Santamouris M., Mihalakakou G., Balaras C. et al. Energy conservation in greenhouses with buried pipes. *Energy*. 1996. Vol. 21, Iss. 5. P. 353-360. DOI: [10.1016/0360-5442\(95\)00121-2](https://doi.org/10.1016/0360-5442(95)00121-2).

41. Gauthier C., Lacroix M., Bernier H. Numerical simulation of soil heat exchanger-storage systems for greenhouses. *Solar Energy*. 1997. Vol. 60, Iss. 6. P. 333–346.

42. Pichéa P., Hailloib D., Gibouta S. et al. Design, construction and analysis of a thermal energy storage system adapted to greenhouse cultivation in isolated northern communities. *Solar Energy*. 2020. Vol. 204, Iss. P. 90–105. DOI: [10.1016/j.solener.2020.04.008](https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.04.008).

43. Beshada E., Zhang Q., Boris R. Winter performance of a solar energy greenhouse in southern Manitoba. *Canadian biosystems engineering*. 2006. Vol. 48. P. 5.1–5.8.

44. Yu Wei, Wang Tieliang, Liu Wenhe et al. Application research on the heating effect of solar geothermal heating system on soil temperature in the solar greenhouse. *Journal of Shenyang Agricultural University*. 2010. Vol. 41, Iss. 2. P. 190–194.
45. Jensen M. H. Energy alternatives and conservation for greenhouses *HortScience*. 1977. Vol. 12. P. 14–24.
46. Boughanmi H., Lazaar M., Bouadila S. et al. Thermal performance of a conic basket heat exchanger coupled to a geothermal heat pump for greenhouse cooling under Tunisian climate. *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 104. P. 87-96.
47. Zuo Rui. Application of Geothermal Technology in Greenhouse Heating. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*. 2009. Iss. 13. P. 6139–6140.
48. Нікіфорова Т. Д. Наукові основи і методи розрахунку конструкцій заглиблених будівель з урахуванням зовнішніх впливів : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.01. Дніпро, 2016. 349 с.
49. The greenhouse of the future. Abundanci and energy autonomy. URL: <https://www.greenhouseofthefuture.com/home/> (дата звернення: 25.10.2020).
50. В подземных бункерах Лондона теперь выращивают салат. URL: <https://geektimes.ru/post/261986/> (дата звернення: 25.10.2020).
51. Хазін В. Й., Педченко О. В. Особливості формування тваринницьких будівель та культиваційних споруд при їх об'єднанні в енергобіологічний комплекс. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2013. № 27. С. 393–397.
52. Педченко О. В. Блокування тваринницьких будівель та культиваційних споруд при формуванні енергобіологічного комплексу : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Дніпро, 2015. 172 с.
53. Топчий Д. Н., Бондарь В. А., Кошлатый О. Б. и др. Сельскохозяйственные здания и сооружения : учебн. и учебн. пособ. 4-е изд., перераб. и доп. Москва : Агропромиздат, 1985. 480 с.
54. Педченко О. В., Хазін О. В. Методика розрахунку об'ємно-

планувальних параметрів будівель енергобіологічного комплексу. *Вісник ОДАБА*. 2013. Вип. 51. С.90-98.

55. Клімова І. В. Тепловий режим зимових теплиць з позонним опаленням : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.03. Київ, 2002. 176 с.

56. Іваненко П. П., Росковшенко Ю. К., Клімова І. В. Промислова теплиця з подвійним склінням. *Будівництво України*. 1998. № 2. С. 33–34.

57. Клімова І. В. Оцінка впровадження енергоощадних заходів при забезпеченні необхідного температурного режиму в теплицях. *Будівництво України*. 2001. № 4. С. 35–36.

58. Клімова І. В., Росковшенко Ю. К. Зменшення енерговитрат при реконструкції існуючих і будівництві нових теплиць. *Вісник Херсонського державного технічного університету*. 2001. № 4 (13). С. 393–396.

59. Опришко О. О., Пасічник Н. А., Зубков І. С. Дослідження геогліомотермальної теплиці. *Біоресурси і природокористування*. 2012. Т. 4, № 5–6. С. 147–150. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/bpc\\_2012\\_4\\_5-6\\_26](http://nbuv.gov.ua/UJRN/bpc_2012_4_5-6_26).

60. Опришко О. О., Попович Р. І. Конструкція перспективної теплиці для фермерських господарств. *Біоресурси і природокористування*. 2012. Т. 4. № 1–2. С. 129–132.

61. Могилат А. Н. Теплоустойчивость полносборных наружных стен при воздействии солнечной радиации. Харьков : ХГУ, 1967. 136 с.

62. Могилат А. Н. Проблемы энергосбережения в проектировании и строительстве ограждающих конструкций. *Економія теплоти та енергії в проектуванні та будівництві*. Полтава, 1996. С. 11.

63. Никифорова Т. Д., Савицкий Н. В., Несин А. А. Особенности моделирования теплопередачи заглубленных зданий. *Будівельні конструкції*. 2013. Вип. 77. С. 77-82.

64. Савицький М. В., Нікіфорова Т. Д. Особливості проектування екологічних заглиблених житлових будівель. *Будівельні конструкції*. 2016. № 83 (1). С. 145–152.

65. Nikiforova T., Savytskyi M., Limam K. et al. Methods and results of

experimental researches of thermal conductivity of soils. *Energy Procedia*, 2013. Vol. 42. P. 775–783. DOI: [10.1016/j.egypro.2013.12.034](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.12.034)

66. Савицкий Н.В., Попов В. И., Козар С. И. и др. Методология и результаты проектирования энергообеспечения малоэтажного экологичного жилого здания «нуль энергии» на основе солнечной энергетики. *Строительство, материаловедение, машиностроение* : сб. науч. труд. Серия : Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. Вип.100. 2017. С. 138 – 145.

67. Савицкий Н. В., Бабенко М. М., Палехов Д. А. Особенности украинской национальной системы экологической сертификации объектов строительства. *Менеджмент, маркетинг, предпринимательство: содействие устойчивому развитию* : материалы I междунар. науч.-практ. интернет-конф., 25-26 декабря 2014. С. 101 – 103. URI: <http://ev.nmu.org.ua/conf-forum/files/2014/46.pdf>

68. Аграрні соціоекокомплекси в Україні : монографія / М. В. Савицький, С. М. Ніколаєнко, Ю. Б. Бендерський та ін. Дніпропетровськ : ПДАБА, 2014. 102 с.

69. Sustainable housing and human settlement : monograph / S. Nikolaienko, P. Kulikov, O. Pshinko et al. Dnipro : SHEE “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture” ; Bratislava : Slovak University of Technology, 2018. 263 p.

70. Savytskyi M., Babenko M., Bielek B. et al. Numerical thermal analysis of wall structure for sustainable buildings. *Proceedings of the enviBUILD* : material 14<sup>th</sup> international conf., Bratislava, Slovakia, 7 November 2019. P. 7 – 12. DOI: <https://doi.org/10.2478/9788395669699>.

71. Savytskyi M., Babenko M., Schmidt M. et al. Hybrid Multi-Functional Buildings for Sustainable Development of Rural Areas. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 887. 2019. P. 311 – 318. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.887.311>.



72. Савицький М. В., Юрченко Є. Л., Коваль О. О. та ін. Сучасний стан та шляхи вирішення проблеми підвищення енергоефективності будівель і споруд в Україні. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Стародубовские чтения.* Днепропетровск, 2014. Вып. 74. С. 92–97. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmssc\\_2014\\_74\\_19](http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmssc_2014_74_19).

73. Семко О. В., Філоненко О. І., Панченко С. П., М'який Є. І. Спорудження малоповерхових житлових будинків із солом'яних блоків та визначення їх теплотехнічних характеристик. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури.* 2013. № 8. С. 47–52.

74. Leshchenko M., Semko O., Shumska L., Filonenko O. Insulation of Building Envelope Complicated Node Points. *International Journal of Engineering & Technology*, 2018. Vol. 7, № 4.8. P. 190-195.

75. Семко В. О., Лещенко М. В. Методика розрахунку лінійних та точкових коефіцієнтів теплопередачі для термічно неоднорідних огорожувальних конструкцій. *Тези 70-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів ун-ту.* Том 1. (Полтава, 23 квіт.–18 трав. 2017 р.). Полтава : ПолтНТУ, 2018. С. 112–113.

76. Semko V., Leshchenko M., Rud A. Experimental study of variability of thermal conductivity of insulation materials. *Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Серія : Галузеве машинобудування, будівництво.* Полтава, 2016. Вип. 1 (46). С. 60–67.

77. Семко В. О., Лещенко М. В., Криворотько І. С. Дослідження теплових показників огорожувальних конструкцій зі сталевих тонкостінних профілів багатоповерхових цивільних будівель. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди.* Рівне, 2014. Вип. 29. С. 491–498.

78. Фаренюк Г. Г. Структура та методичні положення нормативної бази з питань енергоефективності будівель. *Наука та будівництво.* 2017. № 3. С. 4–15.

79. Фаренюк Г. Г., Філоненко О. І. Теплові впливи на огорожува-

льні конструкції за нестационарних умов. *Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво*. Полтава, 2015. Вип. 2 (44). С. 234–238.

80. Фаренюк Г. Г., Фаренюк Є. Г., Колесник Є. С. Дослідження будівельних конструкцій і матеріалів за теплотехнічними та теплофізичними показниками. *Наука та будівництво*. 2014. № 1. С. 30–36.

81. Фаренюк Г. Г., Тишковець А. В. Світові тенденції підвищення енергоефективності будівель. *Наука та будівництво*. 2017. № 4. С. 4–10.

82. Фаренюк Г. Г. Наукові основи нормативного забезпечення енергоефективності будівельних об'єктів. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. 2010. № 14. С. 52–60.

83. Фаренюк Г. Г., Семко О. В., Борисенко О. Б. Особливості термомодернізації багатопверхових будівель з навісними залізобетонними панелями. *Енергозбереження у будівництві та архітектурі*. Київ : КНУБА, 2012. Вип. 3. С. 91–96.

84. Filonenko O. Definition of Parameters of Thermal Insulation in the Zone of Building Foundation According to the Ground Freezing Depth. *Energy Efficiency*. 2017. Vol. 11, Iss. 3, P. 603–626. URL: <https://doi.org/10.1007/s12053-017-9600-x>.

85. Filonenko O. I., Semko O. V., Yurin O. I. et al. Investigation of the Temperature-Humidity State of a Tent-Covered Attic. *Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations. ICBI 2019*. Series : Lecture Notes in Civil Engineering, New York City : Springer, 2020. Vol. 73. P. 245–252. DOI: [10.1007/978-3-030-42939-3\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_26).

86. Filonenko O. I., Yurin O. I., Kodak O. A. Energy performance of residential buildings. *Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво*. Полтава, 2018. Вип. 1 (50). С. 189–196.

87. Савицький, М. В., Коваль, О. О., Юрченко, Є. Л. та ін. Екологічне

та енергоефективне малоповерхове будівництвою. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение*. Серія : Стародубовские чтения. 2010. Вып. 55. С. 26–31.

88. Юрченко Є. Л., Коваль О. О., Савицький М. В. та ін. Методологія та результати оцінки затрат життєвого циклу пасивних малоповерхових будівель для умов України. *Будівельні конструкції*. 2013. Вип. 77. С. 83–89.

89. Юрченко Є. Л. Аналіз потенціала проектів підвищення якості теплової захисти оболочкі зданий при реконструкції. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение*. Серія : Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. Дніпропетровськ, 2016. Вип. 91. С. 173–177.

90. Фаренюк Є. Г. Вплив вентиляційних провітрювачів на теплотехнічні показники світлопрозорих огорожуючих конструкцій та нормативний повітрообмін у приміщенні. *Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури*. Макіївка, 2012. Вип. 5. С. 69–75.

91. Фаренюк Є. Г. Особливості формування теплових показників конструктивних рішень вузлівпримикання світлопрозорих фасадних систем. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение*. Серія : Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. Дніпропетровськ, 2013. Вип. 69. С. 554–564.

92. Фаренюк Є. Г., Павлюк П. О. Проблема нормативної бази покрівельних робіт України, можливі шляхи їх рішення. *Будівельні конструкції*. 2014. Вип. 80. С. 3–8.

93. Фаренюк Є. Г., Постол А. С. Експериментальний аналіз повітропроникності фасадних систем з повітряним прошарком. *Наука та будівництво*. 2017. № 1. С. 10–13.

94. ДСТУ Б.А.2.2 – 12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц.

Київ : Мінрегіон України, 2015. 140 с.

95. ДБН В.2.6 – 1:2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2017-05-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2017. 30 с. (Державні будівельні норми).

96. Александровский С. В. Теория температурных полей массивных бетонных тел с учётом экзотермии: Труды НИИ по строительству. Москва : Минмашстройиздат, 1949. Вып.1.

97. Александровский С. В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на температурные и влажностные воздействия с учетом ползучести. Москва : Стройиздат, 2004. 712 с.

98. Богословський В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) : учеб. для вузов. 2-е изд., перер. и доп. Москва : Высш. школа, 1982. 415 с.

99. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача : учеб. для студ. энергет. спец. вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Энергия, 1969.

100. Малявина Е. Г. Теплотери здания : справоч. пособ. Москва : АВОК-ПРЕСС, 2007. 265 с.

101. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача : учеб. для студ. теплоэнергет. спец. 4-е изд., перераб. и доп. Москва : Энергоиздат, 1981. 418 с.

102. Лыков А. В. Теория теплопроводности. Москва : Высш. школа, 1967. 600 с.

103. Лыков А. В. Тепломассообмен : справочник. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Энергия, 1978. 480 с.

104. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. Энергоэффективные здания. Москва : АВОК-ПРЕСС, 2003. 200 с.

105. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Изд. 4-е, перераб. и доп. Москва : Стройиздат, 1973, 283 с.

106. Elcut. *Википедия. Свободная энциклопедия.*  
URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ELCUT>.
107. Инструмент пассивного дома. Buildingphysics.ru. Програмное обеспечение для решения задач строительной физики.  
URL: <https://www.buildingphysics.ru/component/content/article/2-uncategorised/24-podrobnее>.
108. Описание программы THERM5 и руководство пользователя. *Docplayer.* URL: <https://docplayer.ru/31992116-Opisanie-programmy-therm5-i-rukovodstvo-polzovatelya.html>.
109. Виды поликарбоната: структура, размеры и цветовая гамма листов. *Стройка. Ремонт. Быт. Уют.* URL: <https://srbu.ru/stroitelnye-materialy/257-vidy-polikarbonata-struktura-razmery-i-tsvetovaya-gamma-listov.html/>.
110. Колотилкин Б. М. Надежность функционирования жилых зданий. Москва : Стройиздат, 1989. 376 с.
111. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія / Мінрегіонбуд України. [Чинний від 2011-11-01]. Вид. офіц. Київ : Укрархбудінформ, 2011. 123 с. (Национальный стандарт Украины).
112. Клімат України: наукове видання. Київ: видавництво Раєвського, 2003. 343 с.
113. Віссман М. Руководство по проектированию систем солнечного теплоснабжения. Киев: «Злато-Граф», 2010. 191с.
114. Гальчак В., Боярчук В. Альтернативні джерела енергії : навч. посіб. Львів: Арал, 2008. 135 с.
115. В.А. Шакиров. Методика оценки прихода суммарной солнечной радиации на наклонные поверхности с использованием многолетних архивов метеорологических данных. *Системы Методы Технологии.* Братск, 2017. № 4 (36). С. 115-121. DOI: 10.18324/2077-5415-2017-4-115-121.
116. Сивков С. И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. Ленинград: Гидрометеиздат, 1968. 234 с.

117. Кондратьев К. Я., Пивоварова З. И., Федорова М. П. Радиационный режим наклонных поверхностей. Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. 170 с.

118. Сабірзянов Т. Г., Сіріков О. І., Кубкін М. В. та ін. Алгоритм визначення густини потоку сонячного випромінювання на довільно-орієнтовану поверхню. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. Кировоград, 2012. Вип. 25, Ч.І. С. 303–312.

119. Stadnik V. V., Razgonyaev Yu. V. Estimation of global solar radiation on inclined surfaces. *Tr. Gl. geofizich. observatorii im. A.I. Voeikova*. 2008. № 557. P. 67-84.

120. Stadnik V. V., Eorbarenko E. V., Shilovtseva O. A. et al. Comparison of the calculated and measured values of the global and diffuse radiation on inclined surfaces, according to observations at the meteorological observatory of the Moscow State University. *Tr. Gl. geofizich. observatorii im. A.I. Voeikova*. 2016. № 581. P. 138-154.

121. Савицький М. В., Бабенко М. М., Несін О. А. та ін. Раціональне проектування теплиці за критерієм вартості життєвого циклу. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування*. Серія: Створення високотехнологічних екокомплексів в Україні на основі концепції збалансованого (стійкого) розвитку. Дніпро, 2017. Вип. 99. С. 15-21.

122. Куліченко І. І. Рациональное проектирование заглубленных зданий с учетом теплотехнических характеристик грунтов : дис. ... к-та техн. наук : 05.23.01. Дніпро, 2008. 161 с.

123. Овчаров А. Т., Селянин Ю. Н. Технология Solatube: перспективы для архитектуры и строительства. URL : <http://ardexpert.ru/article/5038/>. (дата звернення: 25.10.2020).

124. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 51 с. (Національний стандарт України).

125. Регистраторы данных Tinytag Ultra 2 - ТГУ-4500. URL : <https://www.geminidataloggers.com/data-loggers/tinytag-ultra-2/tgu-4500>.

126. Whitcher C., Taber M., Basehore S. et al. Retrofitting the Future: Preserving Native Crops with Sustainable Greenhouse Technology: Final report for the Interactive Qualifying Project submitted to the faculty of Worcester Polytechnic Institute. Worcester, 2013. 80 p. URL : <https://sites.google.com/site/sf13green/report>.

127. Maxima. *Википедия. Свободная энциклопедия*. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Maxima> (дата звернения: 25.10.2020).

128. Lukyanov A., Ostapenko V., Aleksandrov V. Thermal energy accumulators based on phase transition. *Bulletin of DonNACEA*, 2010. Vol. 6(86) P. 64 – 68.

129. Budlianskyi S., Redko A., Chaika Y. Analysis of heat accumulation systems in thermal installations of economic sectors. *Scientific Bulletin of Civil Engineering*. 2014. Vol.1. P. 144 – 146.

## ДОДАТОК А.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

**Наукові праці, у яких опубліковані основні результати дисертації**

1. Бабенко М. М., Бордун М. В., Несін О. А. та ін. Рациональне проектування теплиці за критерієм вартості життєвого циклу. *Строительство, материаловедение, машиностроение : Сб. науч. трудов.* Дніпро, 2017. Вып. 99. С. 15 – 21.

2. Савицький М. В., Бабенко М. М., Несін О. А., Бордун М. В. Оптимізація геопросторового розташування теплиці за критерієм енергоефективності. *Строительство, материаловедение, машиностроение : Сб. науч. трудов.* Дніпро, 2017. Вып. 100. С. 124 – 130.

3. Savytskiy M., Bordun M., Spurydonenkov V. The Sustainable Design of the Greenhouse by Criteria of Heat Losses and Solar Heat Gains. *Proceedings of EcoComfort 2020. Lecture Notes in Civil Engineering.* Lviv, 2020. Vol. 100. P. 393 – 401. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_48). (Scopus).

4. Bordun M., Savytskiy M., Babenko M., Rabensiefer R. Energy Efficiency of Greenhouses in Accordance with its Geospatial Location. *Hungarian Building Engineering Journal.* Budapest, 2019. № 1-2. P. 33 – 36. URL: <http://epgeplap.hu/lapszamok/cikk/2019/1/1116>.

**Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

5. Бордун М. В., Савицький М. В., Данішевський В. В. Використання теплоаккумуляторів в системах теплопостачання споруд закритого ґрунту. *Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-цивільного, промислового і транспортного призначення : Тези XVII міжнар. наук.-практ. конф., м. Одеса, 9 – 13 верес. 2019 р.* Дніпро, 2019. С. 8.

6. Бордун М. В., Савицький М. В., Данішевський В. В. Акумуляція сонячної енергії для опалення теплиць. *Проблеми механіки залізничного транспорту: Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження : Тези допов. XV міжнар. конф., м. Дніпро, 22 – 23 жовт. 2020 р., Дніпро, 2020.* С. 17 – 21.



7. Адегов О. В., Бордун М. В., Сопільняк А. М., Шляхов К. В. Індивідуальний житловий будинок з інтегрованою енергоефективною спорудою (вегетарієм). *Моделювання та оптимізація будівельних композитів* : матеріали міжнар. семін., м. Одеса, 21 – 22 листоп., 2019. Одеса, 2019. С. 7 – 9.

**Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації**

8. Бабенко М. М., Бордун М. В., Савицький М. В. та ін. Зелені будівлі для сталого розвитку житлового будівництва : монографія. Дніпро : Удовиченко О. М., 2018. 99 с.

9. Babenko M. M., Savytskyi M. V., Bordun M. V., Shekhorkina S. Y. and other. Inspiring materials for triple zero buildings design : monograph. Dnipro : Udovichenko O. M., 2019. 127 p.

10. Savytskyi M., Babenko M., Bordun M., Yurchenko Ye., Koval O. The efficiency of using solar energy for heating of greenhouses. *Innovative lifecycle technologies of housing, industrial and transportation objects* : monograph / under the gen. ed. M. Savytskyi. Dnipro, 2018. P. 61 – 67.

11. Bordun M. V. Residential buildings with integrated agro-industrial energy-efficient constructions. *Science and technology: perspectives of the XXI century* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, м. Дніпро, 30 – 31 берез., 2017 р. Дніпро, 2017. С. 23 – 24.

12. Теплиця з багатошаровим теплоаккумулятором: Пат. 137026 Україна: МПК А01G 9/14 (2006.01). № u201902967; заявл. 26.03.2019; опубл. 25.09.2019, Бюл. № 18.

**ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ:**

- Міжнародна міжвузівська науково-практична конференція молодих вчених «Наука і техніка: перспективи ХХІ століття» ДВНЗ ПДАБА, м.Дніпро (30-31 березня 2017 р.) (очна участь);

- Міжнародна науково-практична конференція «Створення високотехнологічних соціоекокомплексів в Україні на основі концепції збалансованого стійкого розвитку» Львів (22-26 травня, 2017 р.) (очна участь);
- XV міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-цивільного, промислового і транспортного призначення» Львів (вересень, 2017р.) (очна участь);
- Міжнародна науково-практична конференція «Sustainable housing and human settlement (SHHS 2018)» Братислава, Словацький технологічний університет (травень 2018 р.) (очна участь);
- XVI міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-цивільного, промислового і транспортного призначення» Львів (вересень, 2018р.) (очна участь);
- XVII міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-цивільного, промислового і транспортного призначення» Одеса (9 – 13 вересня, 2019р.) (очна участь).;
- Міжнародний семінар «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» Одеса, ОДАБА (2019р.) (заочна участь);
- II International Scientific Conference «Ecomcomfort and Current Issues of Civil Engineering» Lviv (16 – 18 вересня 2020 р.) (он-лайн участь);
- XV Міжнародна конференція «Проблеми механіки залізничного транспорту. Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження» Дніпро, ДНУЗТ (22 – 23 жовтня, 2020 р.) (он-лайн участь).

## ДОДАТОК Б.

**Сукупна вартість життєвого циклу 1 кв. м теплиці в залежності від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування**

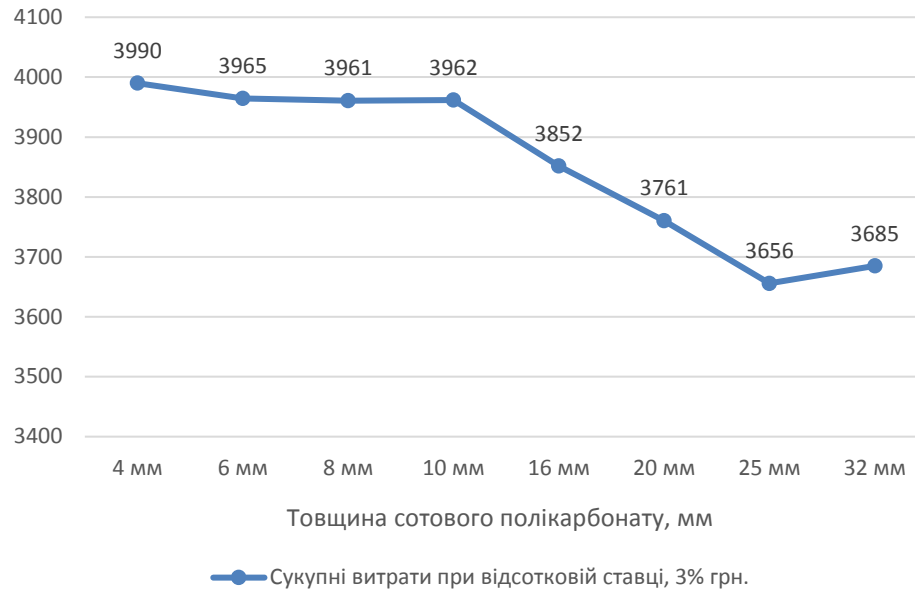


Рисунок Б.1 – Залежність сукупної вартості життєвого циклу 1 кв. м теплиці від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування із ставкою 3%

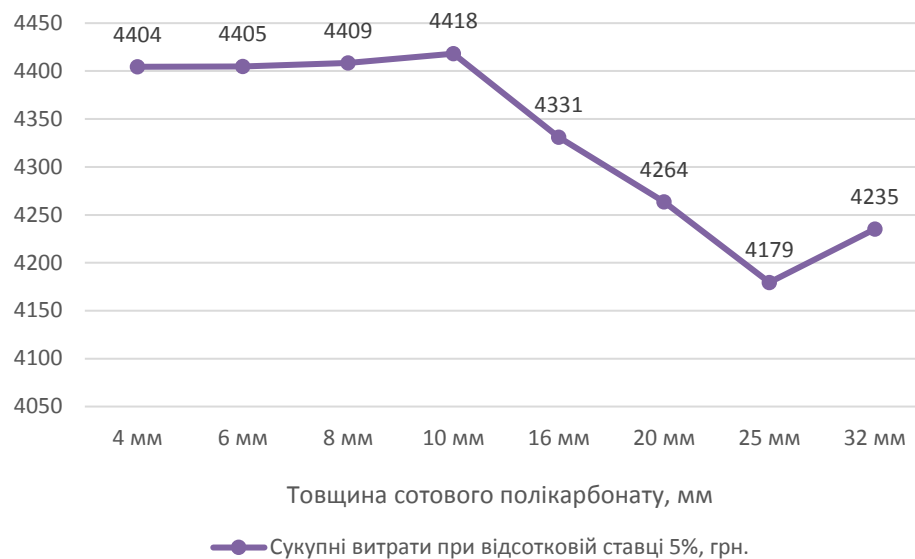


Рисунок Б.2 – Залежність сукупної вартості життєвого циклу 1 кв. м теплиці від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування із ставкою 5%

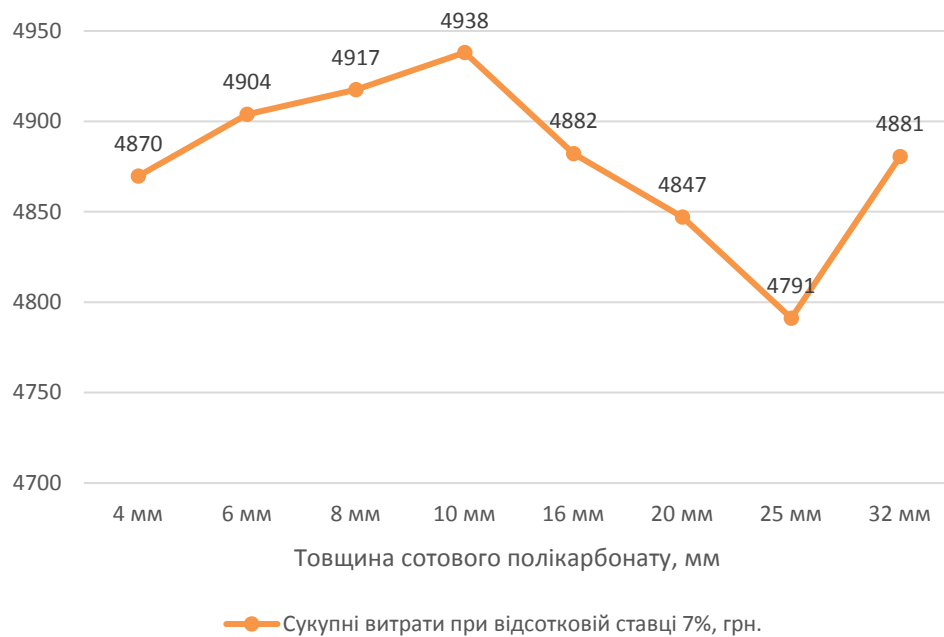


Рисунок Б.3 – Залежність сукупної вартості життєвого циклу 1 кв. м теплиці від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування із ставкою 7%



Рисунок Б.4 – Залежність сукупної вартості життєвого циклу 1 кв. м теплиці від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування із ставкою 8%

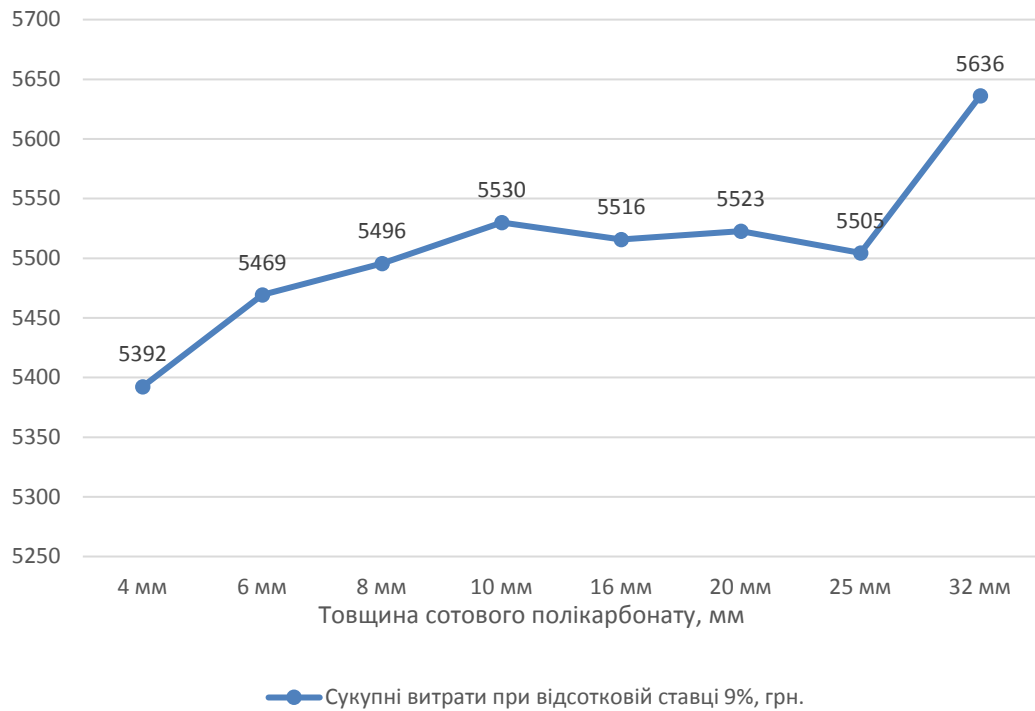


Рисунок. Б.5 – Залежність сукупної вартості життєвого циклу 1 кв. м теплиці від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування із ставкою 9%

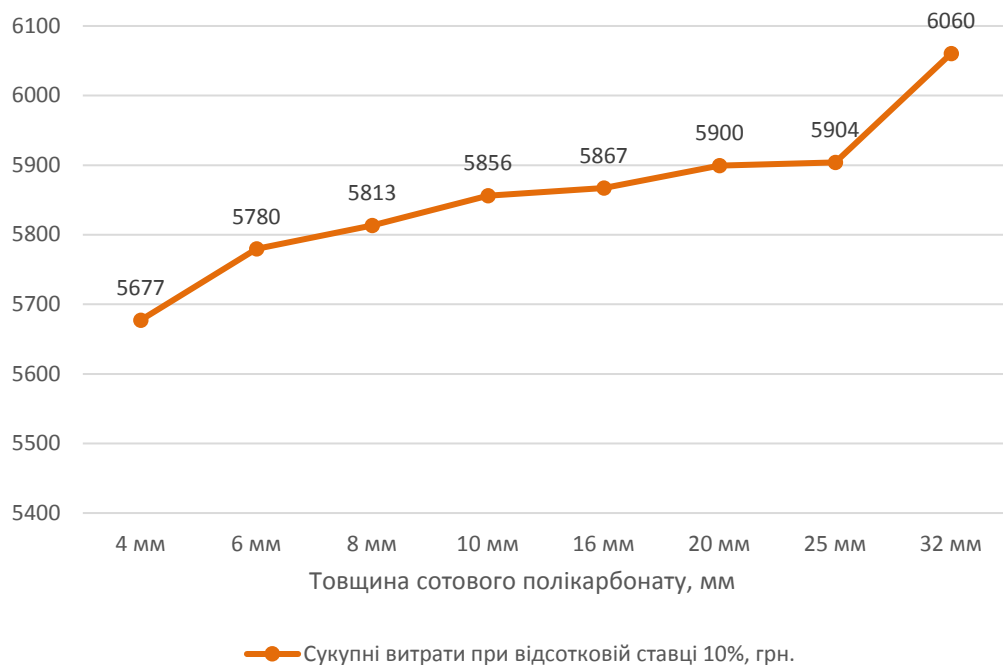


Рисунок Б.6 – Залежність сукупної вартості життєвого циклу 1 кв. м теплиці від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування із ставкою 10%

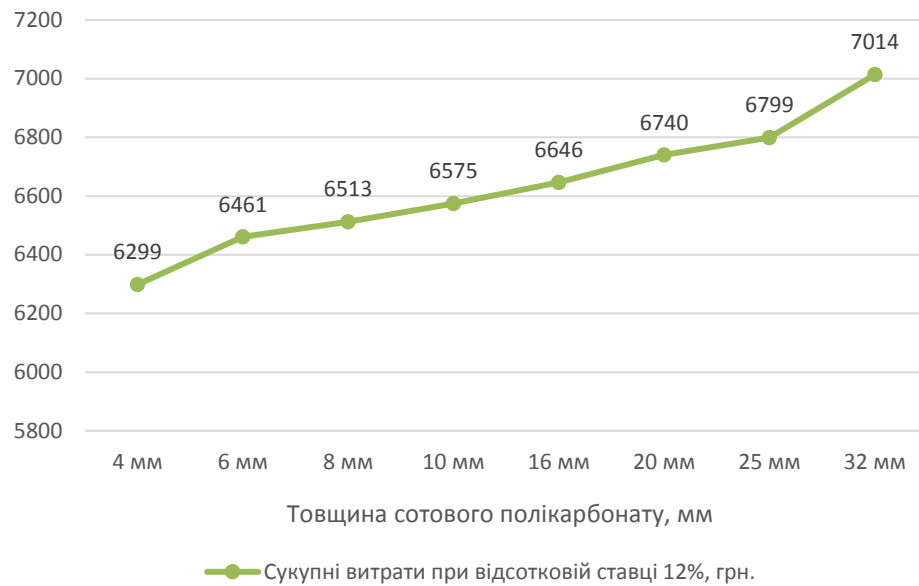


Рисунок Б.7 – Залежність сукупної вартості життєвого циклу 1 кв. м теплиці від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування із ставкою 12%

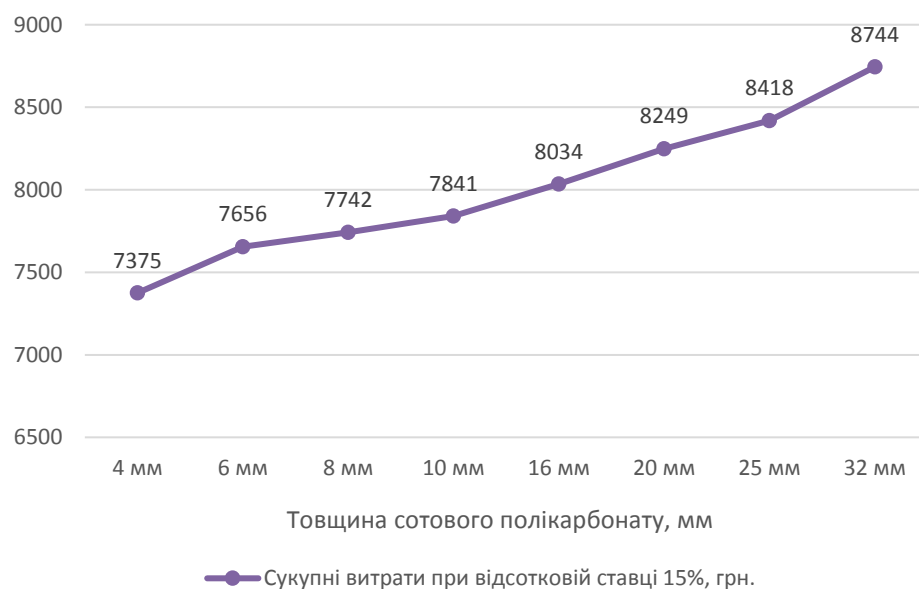


Рисунок Б.8 – Залежність сукупної вартості життєвого циклу 1 кв. м теплиці від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування із ставкою 15%

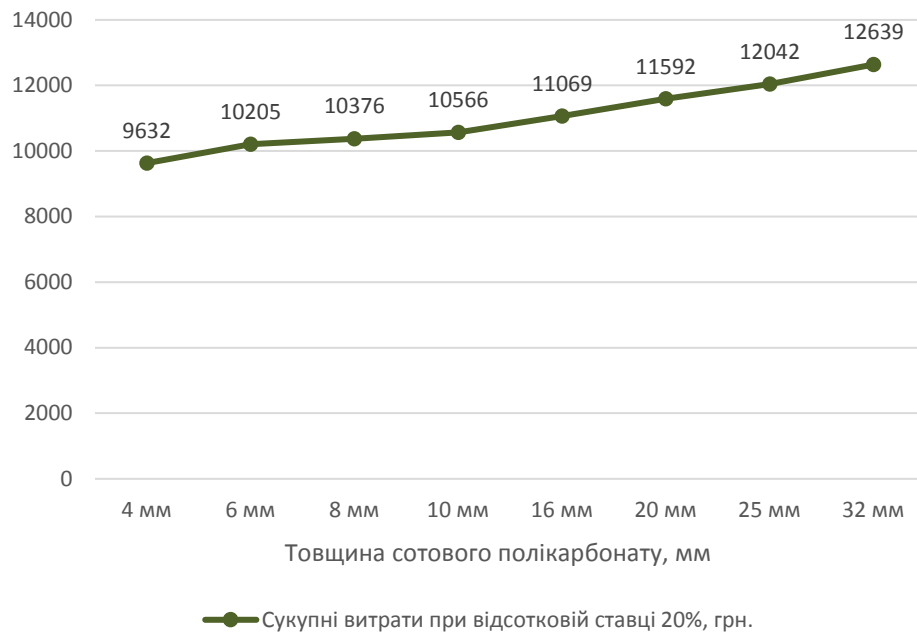


Рисунок Б.9 – Залежність сукупної вартості життєвого циклу 1 кв. м теплиці від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування із ставкою 20%

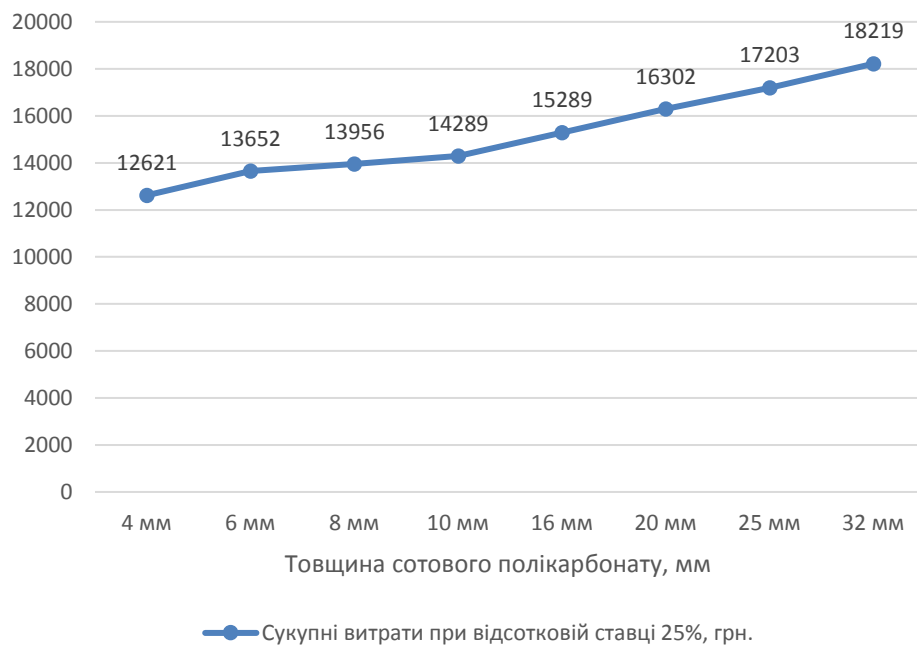


Рисунок Б.10 – Залежність сукупної вартості життєвого циклу 1 кв. м теплиці від товщини полікарбонату з урахуванням дисконтування із ставкою 20%

## ДОДАТОК В.

## Теплові втрати і теплові надходження до об'єму теплиць

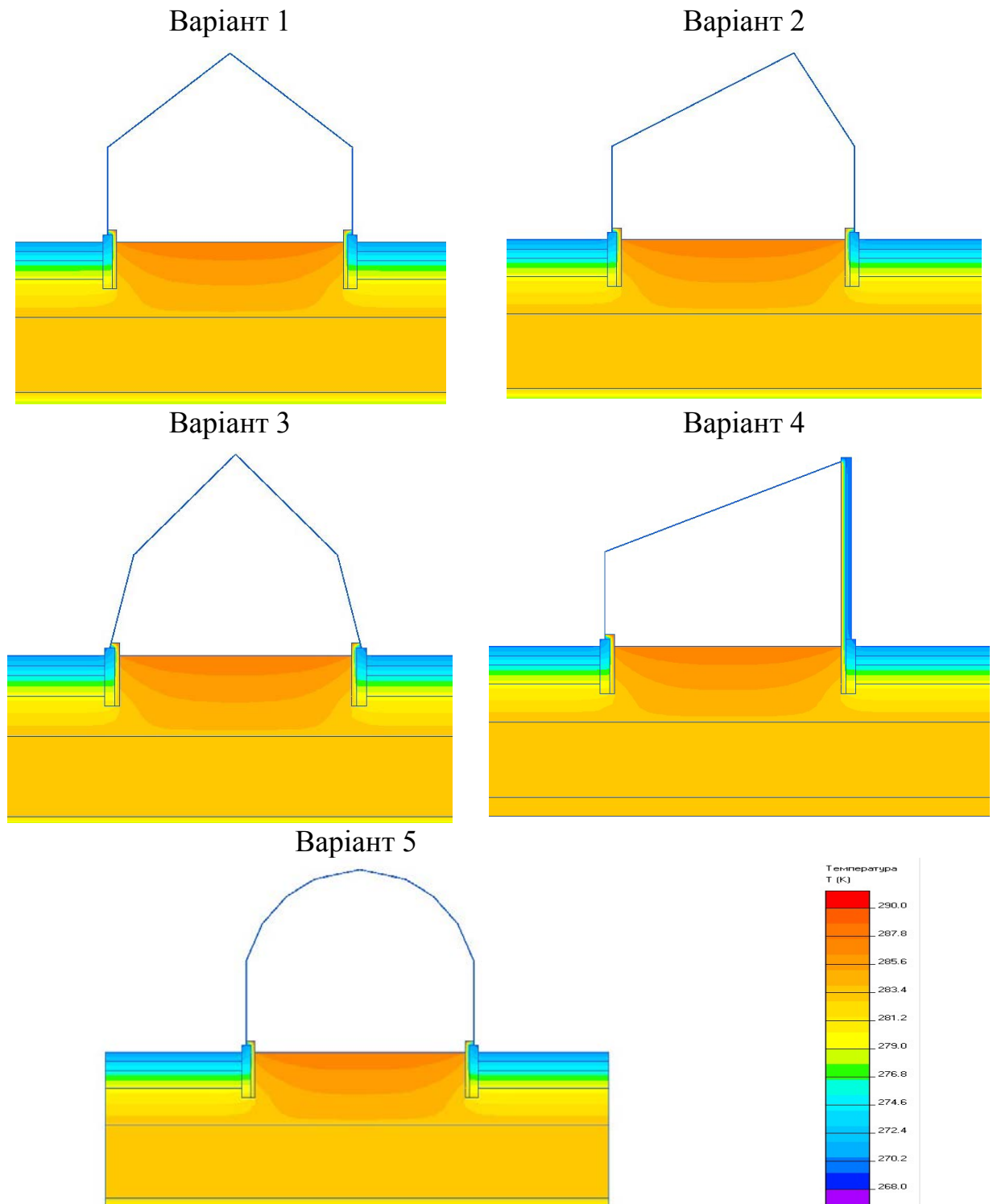
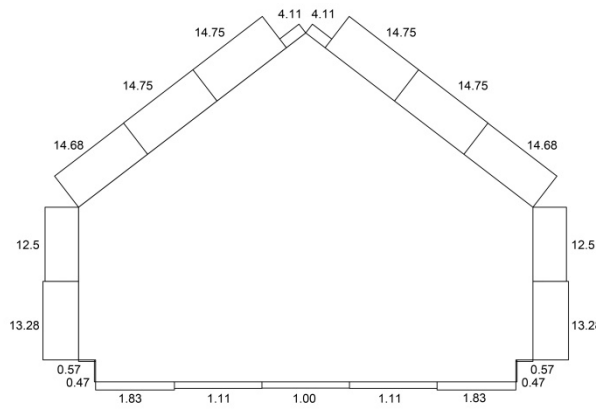
*Теплові втрати через огороджуючі конструкції теплиць помісячно*

Рисунок В.1 – Розподіли температур в огорожуючих конструкціях різних форм теплиць та ґрунтовому масиві при розрахункових температурах для

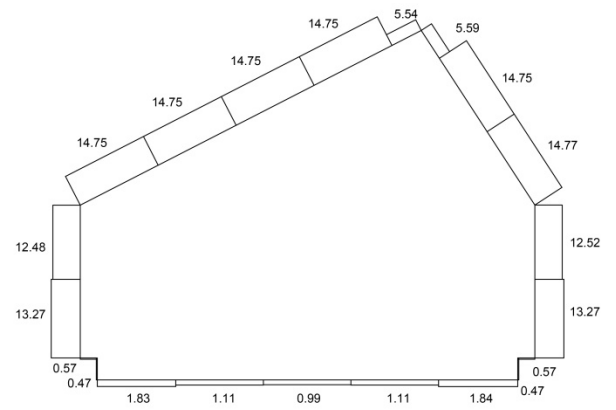
ЖОВТНЯ



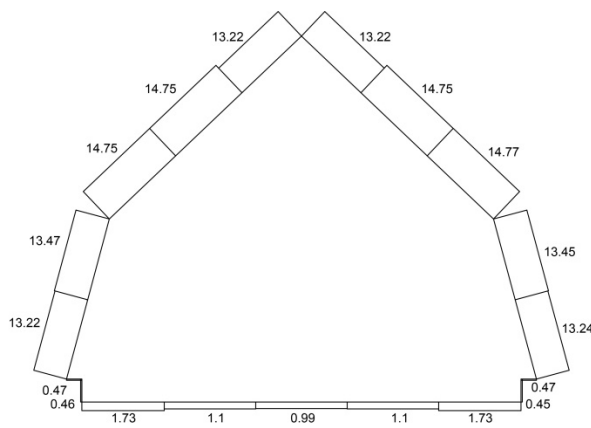
Варіант 1



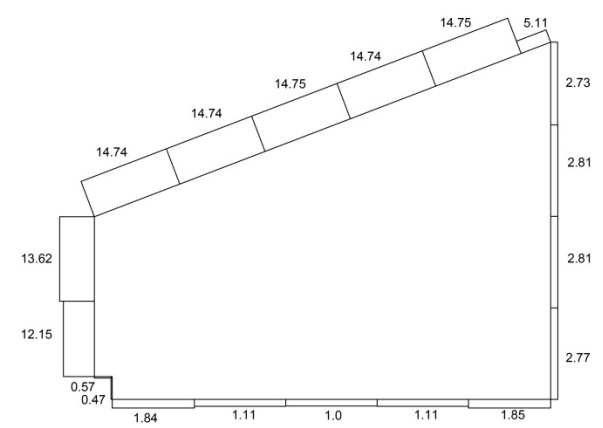
Варіант 2



Варіант 3



Варіант 4



Варіант 5

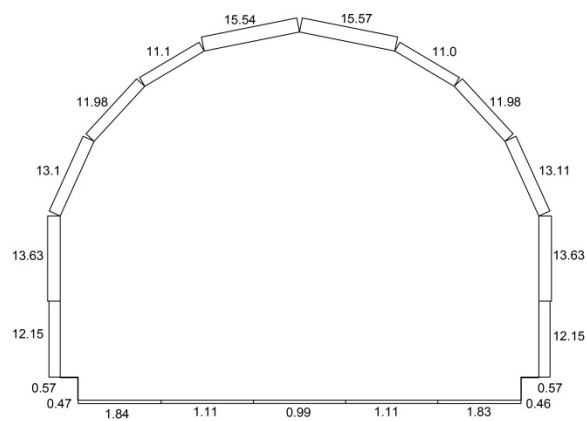


Рисунок В.2 – Епюри розподілу теплових потоків для різних форм теплиць при розрахункових температурах для жовтня, Вт

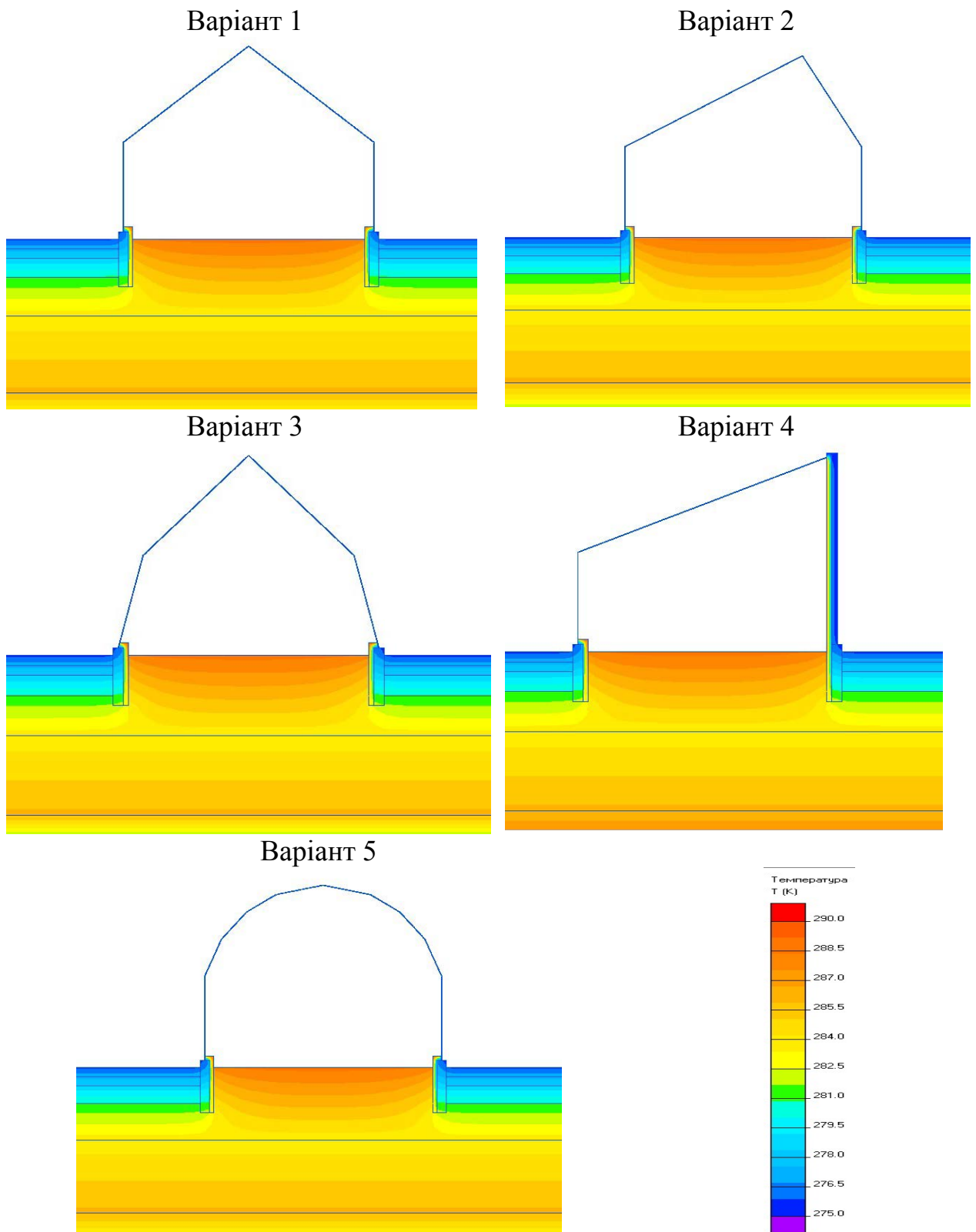
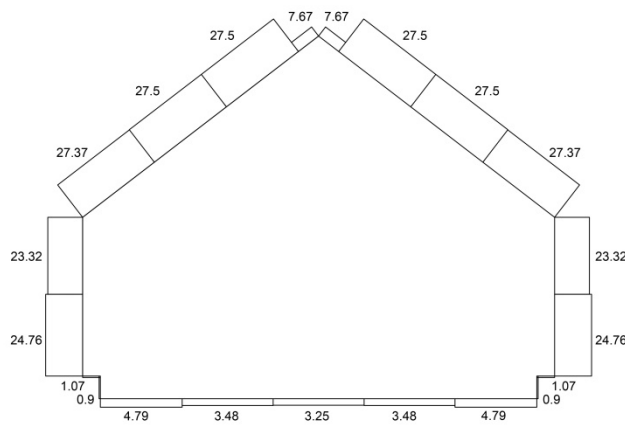
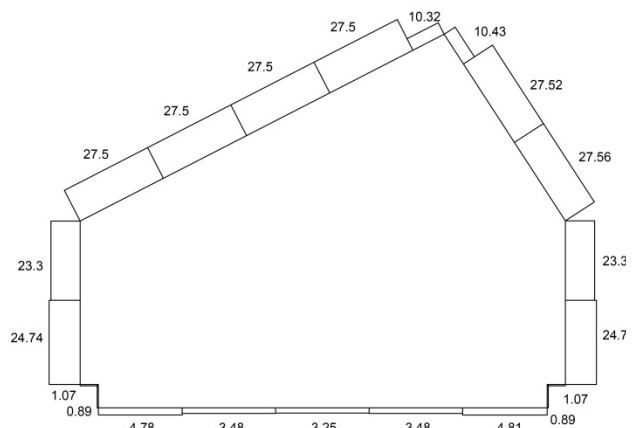


Рисунок В.3 – Розподіли температур в огороджуючих конструкціях різних форм теплиць та ґрунтовому масиві при розрахункових температурах для листопада

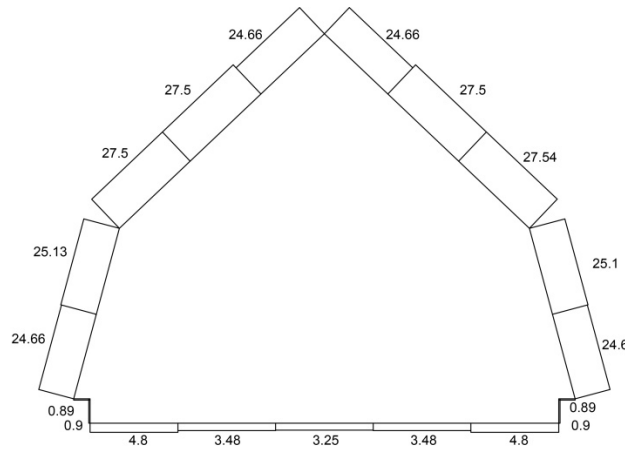
Варіант 1



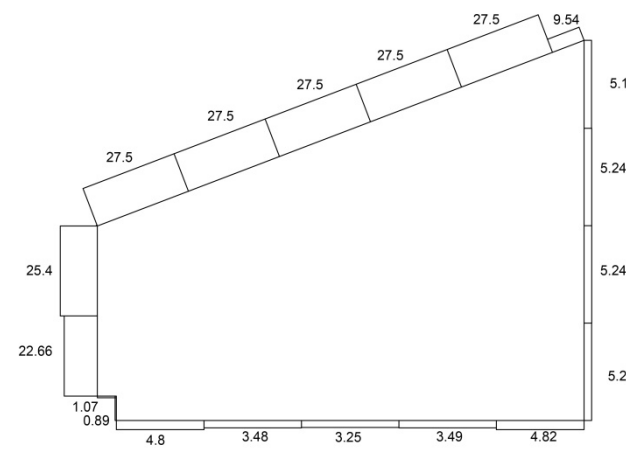
Варіант 2



Варіант 3



Варіант 4



Варіант 5

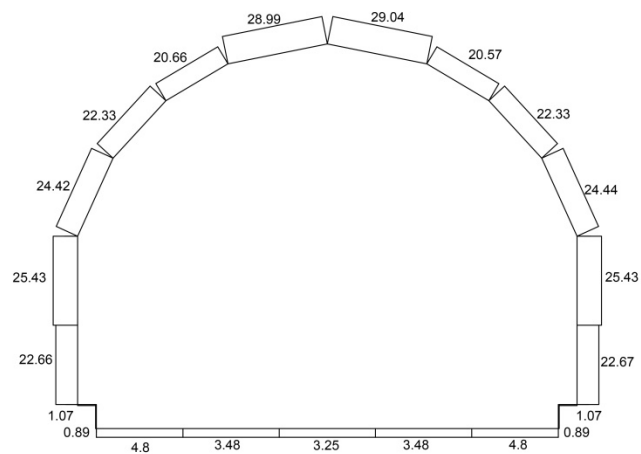


Рисунок В.4 – Епюри розподілу теплових потоків для різних форм теплиць при розрахункових температурах для листопада, Вт

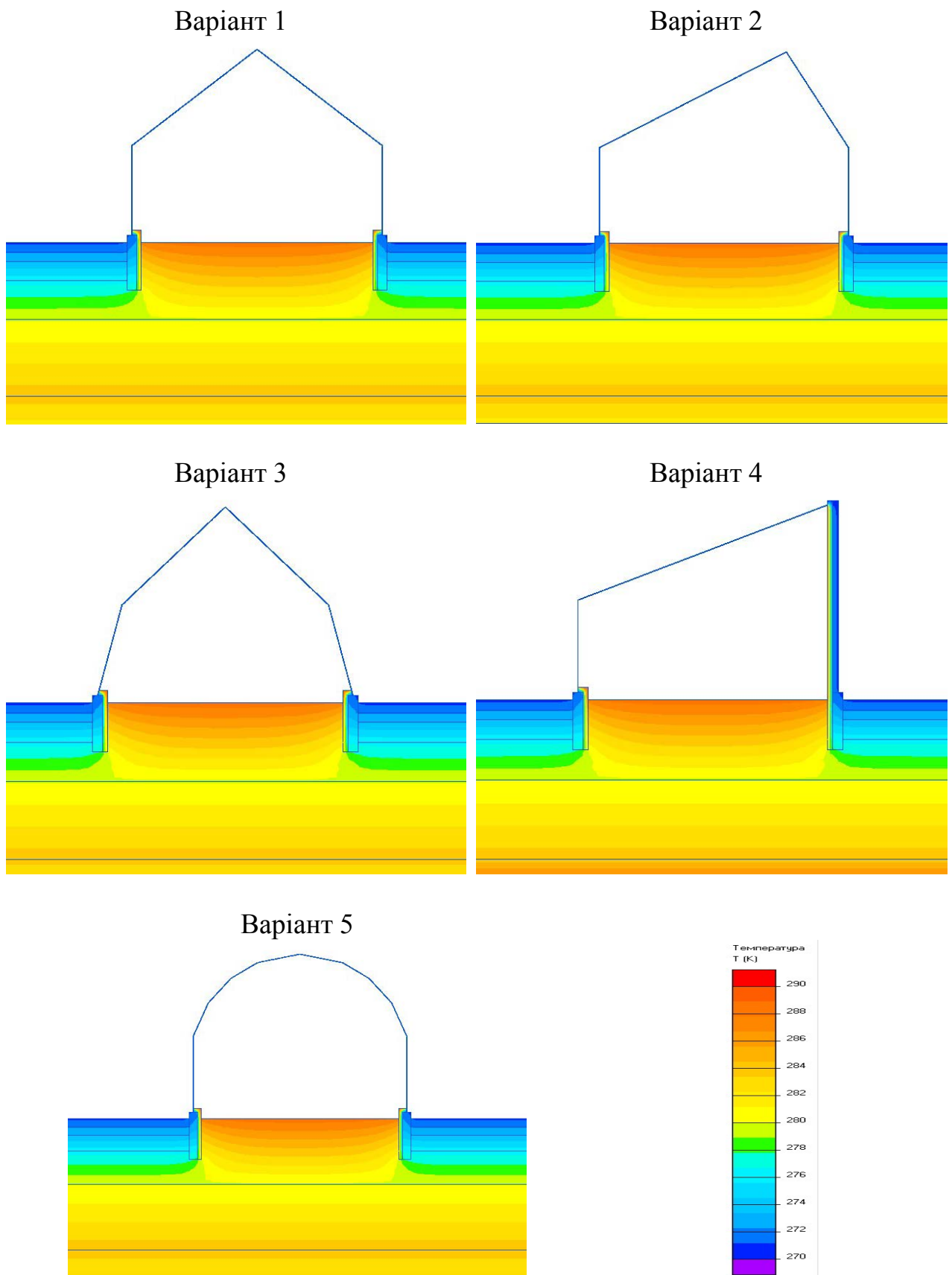
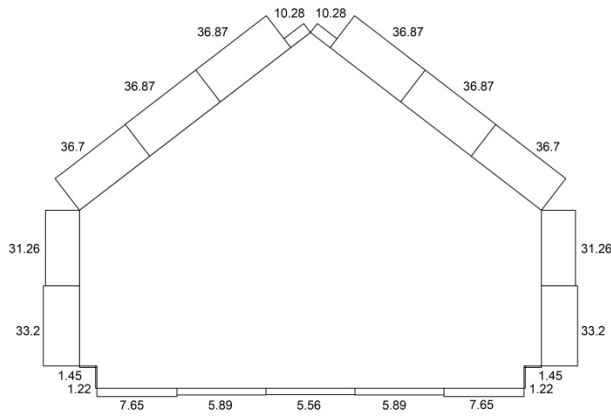
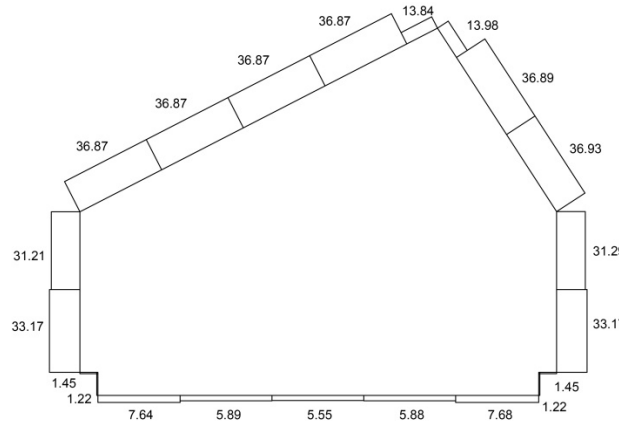


Рисунок В.5 – Розподіли температур в огороджувачих конструкціях різних форм теплиць та ґрунтовому масиві при розрахункових температурах для грудня

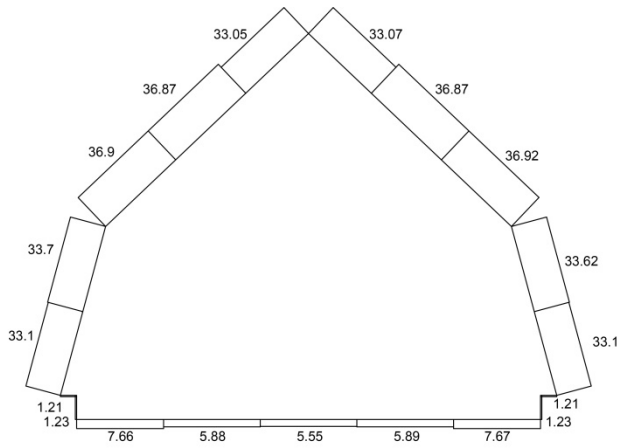
Варіант 1



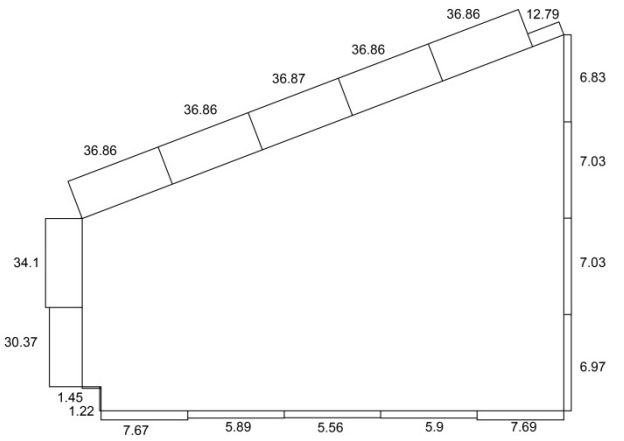
Варіант 2



Варіант 3



Варіант 4



Варіант 5

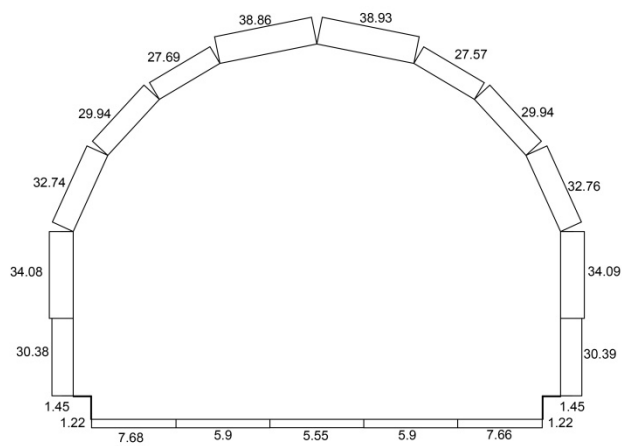


Рисунок. В.6 – Епюри розподілу теплових потоків для різних форм теплиць при розрахункових температурах для грудня, Вт

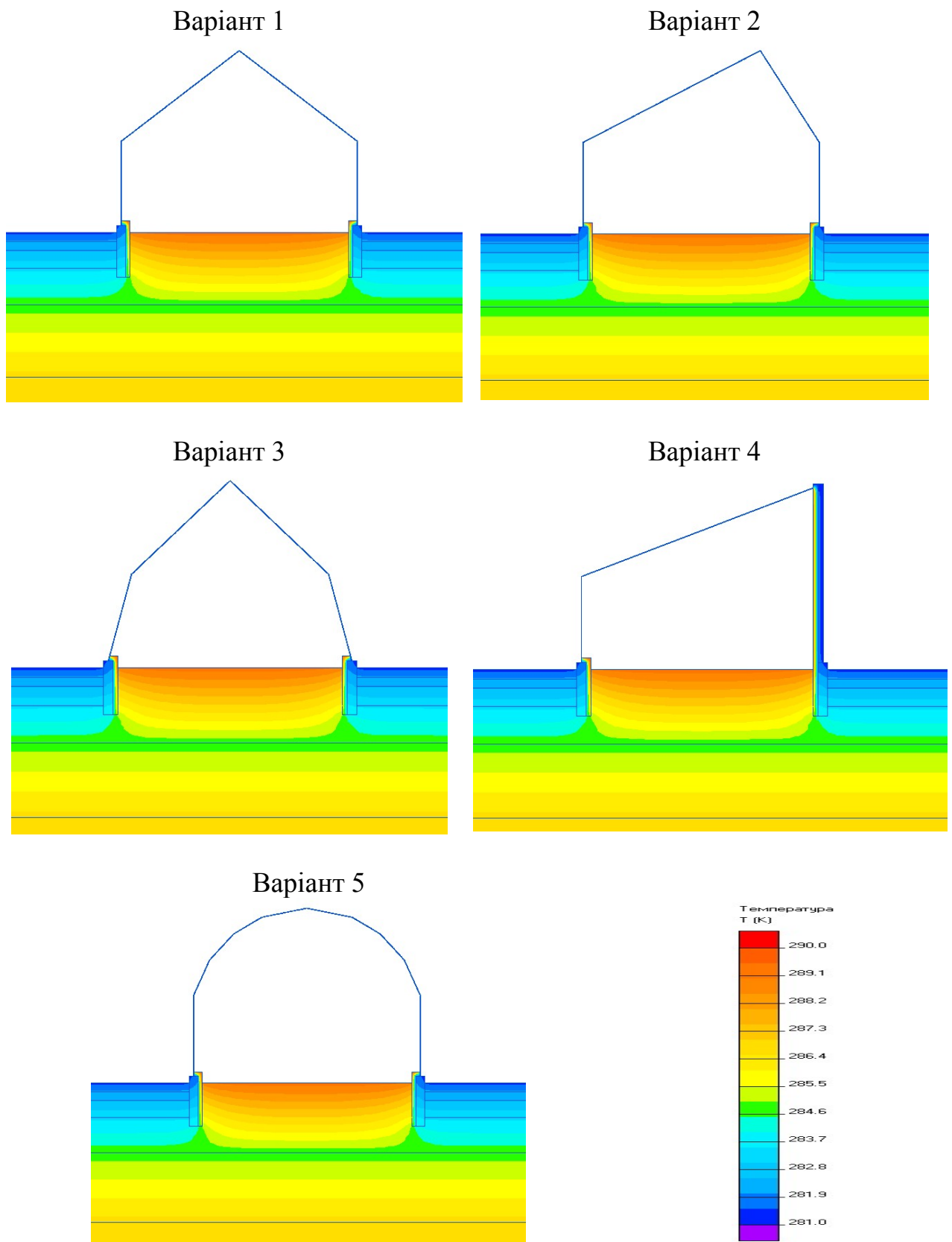
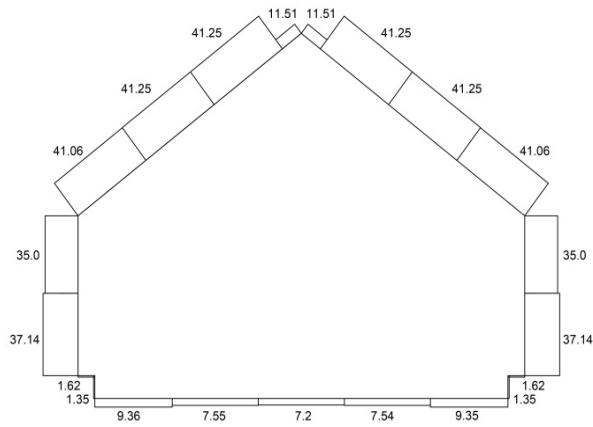
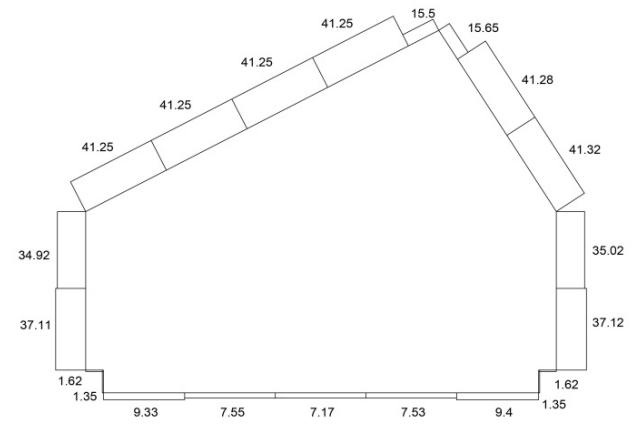


Рисунок В.7 – Розподіли температур в огороджуючих конструкціях різних форм теплиць та ґрунтовому масиві при розрахункових температурах для січня

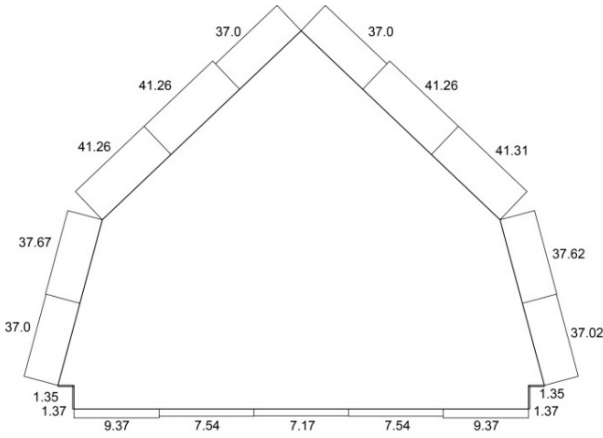
Варіант 1



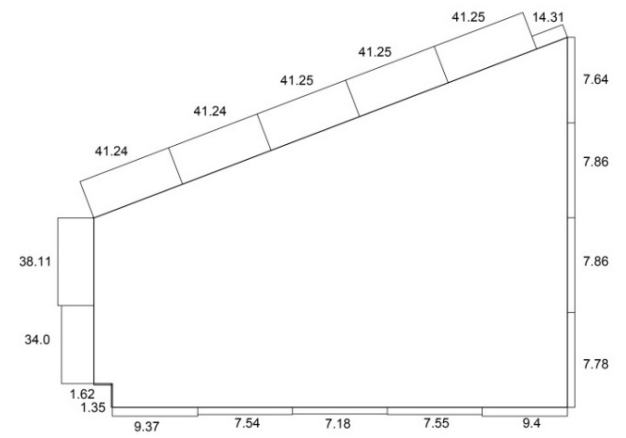
Варіант 2



Варіант 3



Варіант 4



Варіант 5

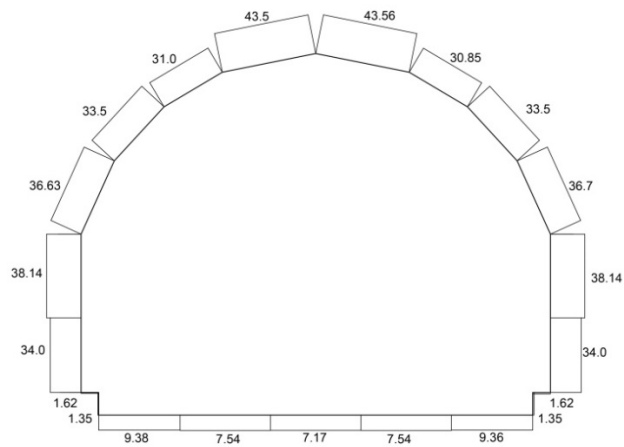


Рисунок В.8 – Епюри розподілу теплових потоків для різних форм теплиць при розрахункових температурах для січня, Вт

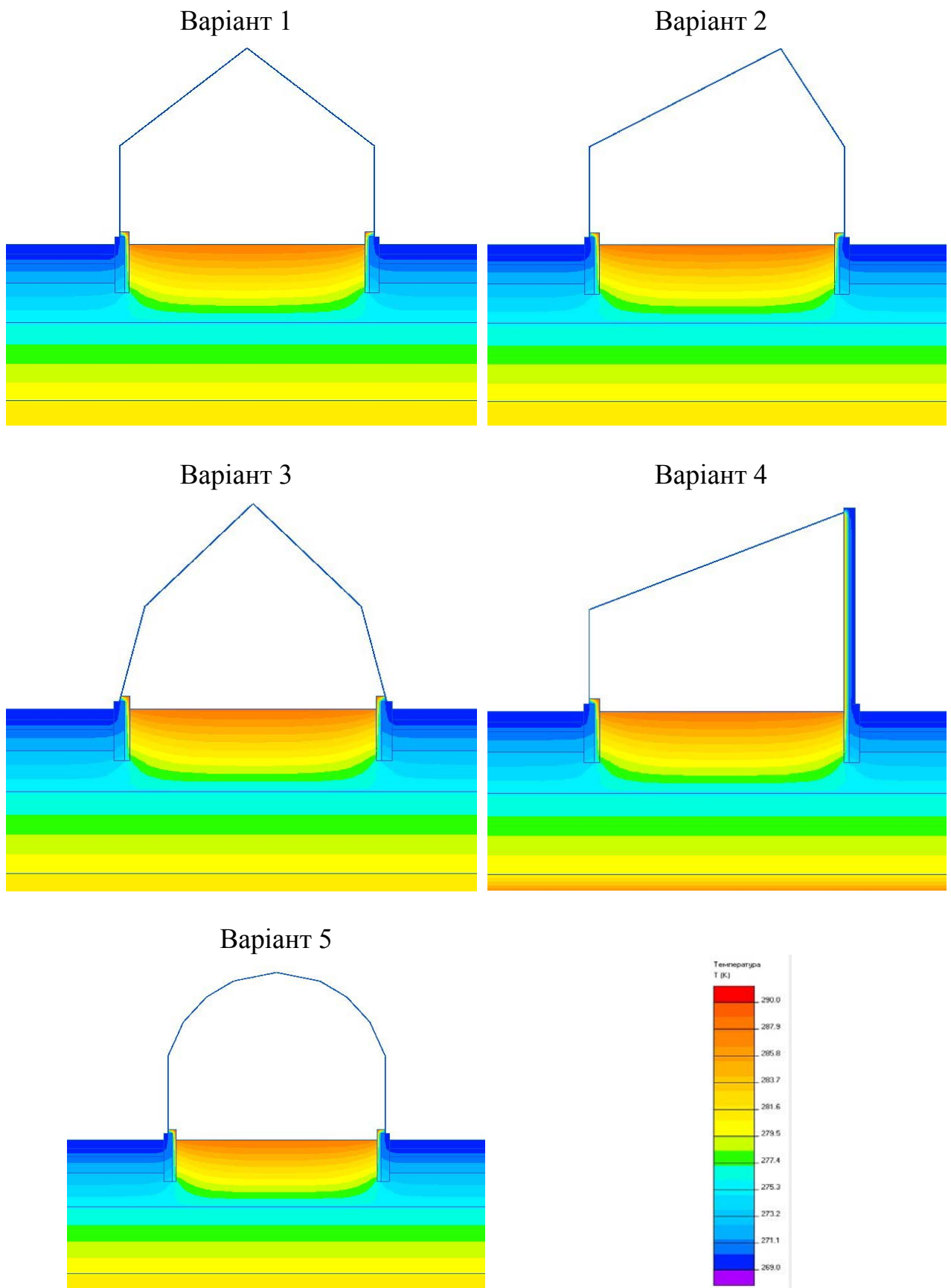
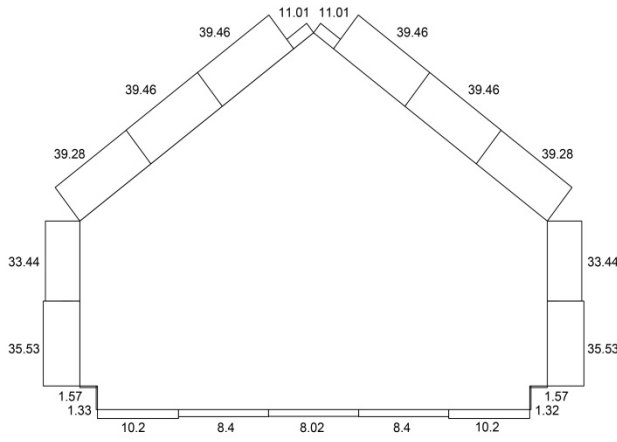


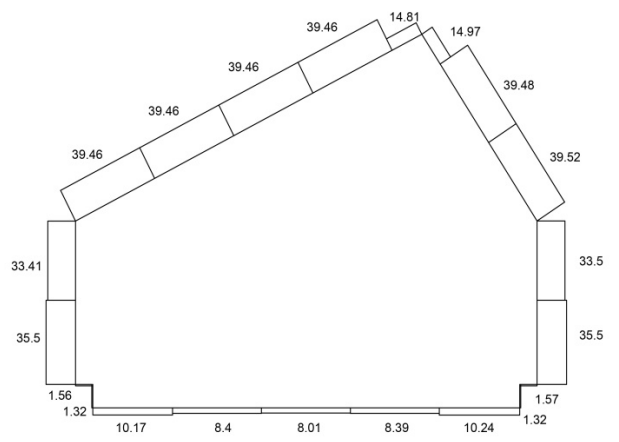
Рисунок В.9 – Розподіли температур в огороджуючих конструкціях різних форм теплиць та ґрунтовому масиві при розрахункових температурах для ЛЮТОГО



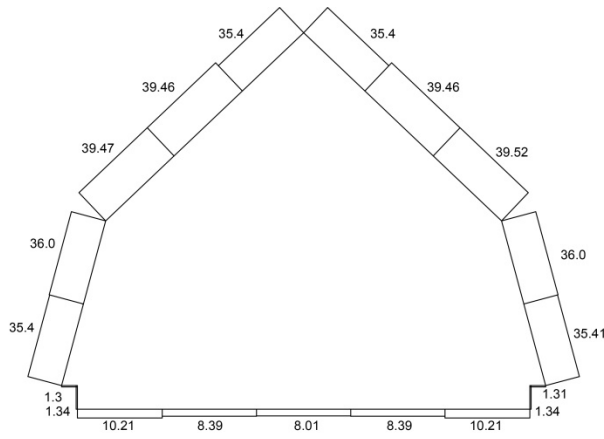
Варіант 1



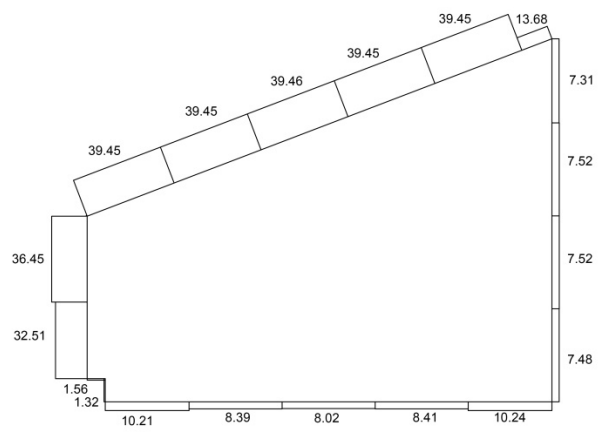
Варіант 2



Варіант 3



Варіант 4



Варіант 5

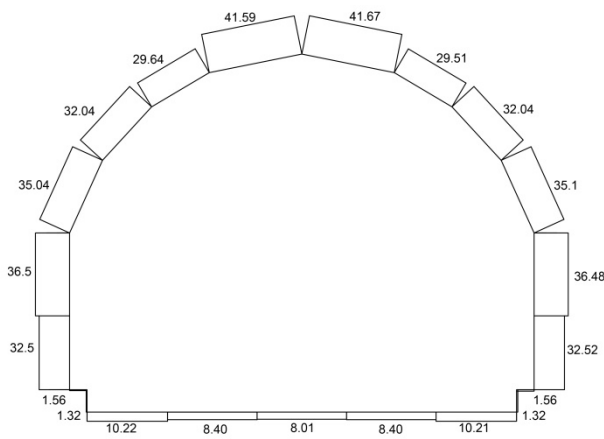


Рисунок В.10 – Епюри розподілу теплових потоків для різних форм теплиць при розрахункових температурах для лютого, Вт

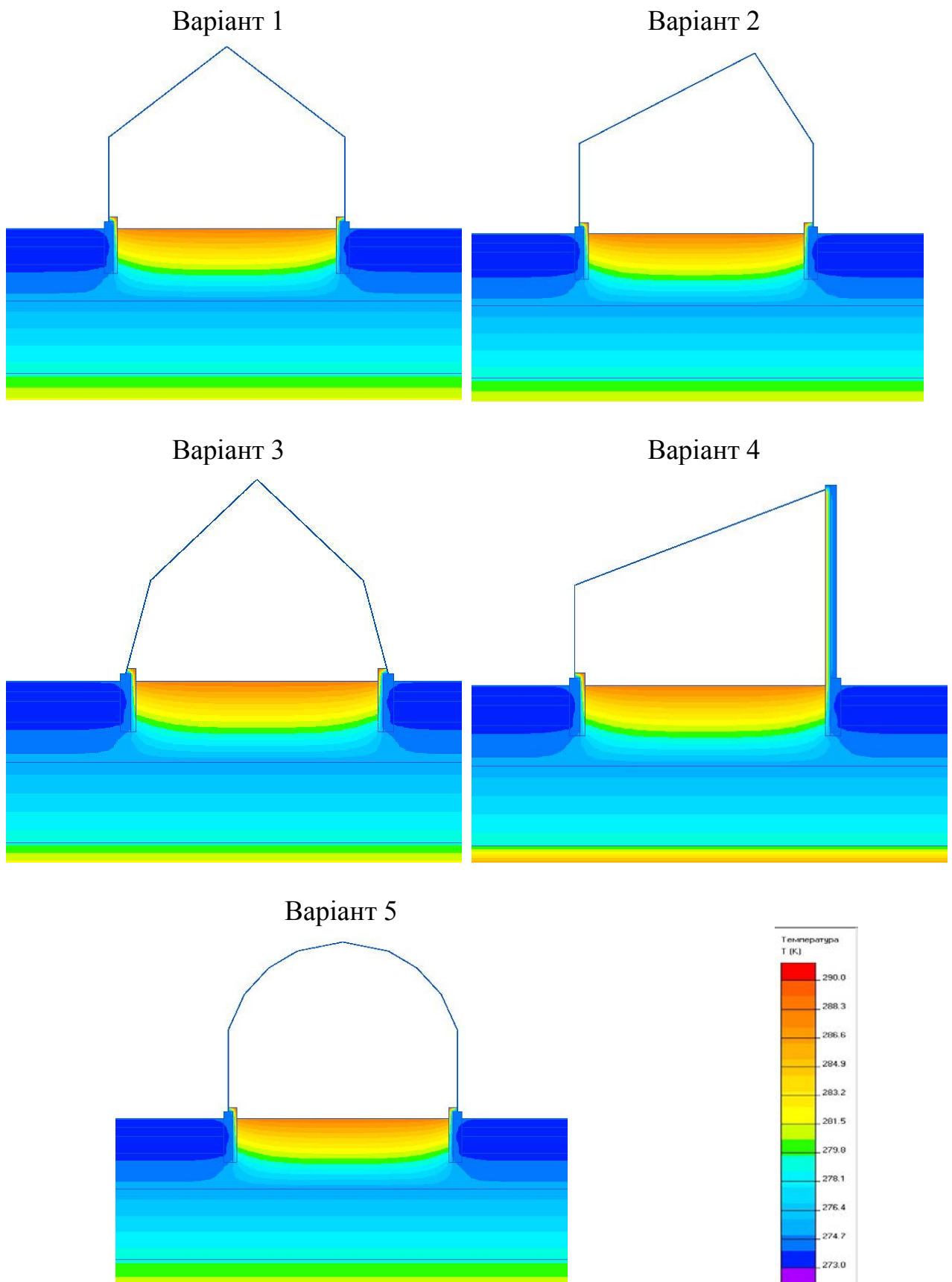
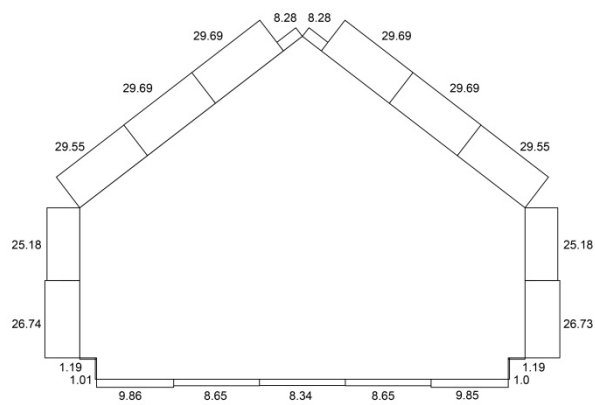
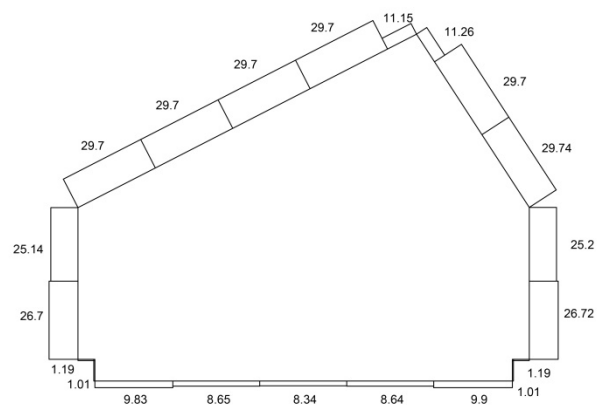


Рисунок В.11 – Розподіли температур в огороджуючих конструкціях різних форм теплиць та ґрунтовому масиві при розрахункових температурах для березня

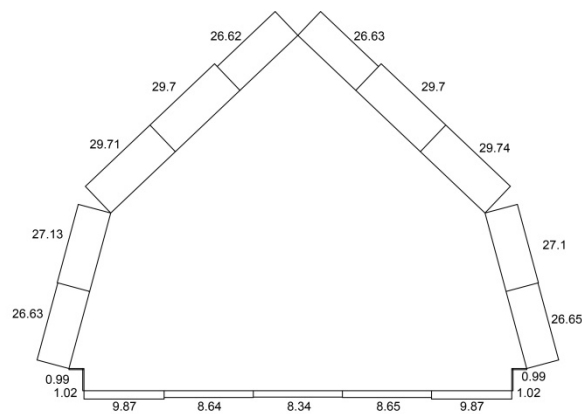
Варіант 1



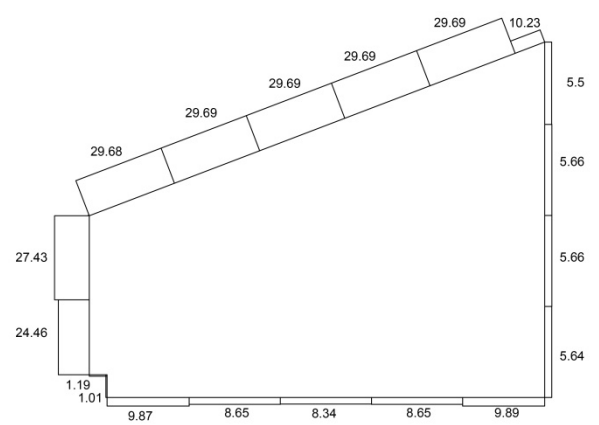
Варіант 2



Варіант 3



Варіант 4



Варіант 5

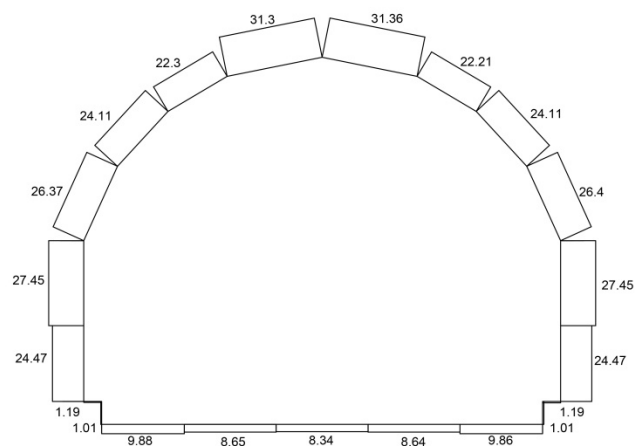


Рисунок В.12 – Епюри розподілу теплових потоків для різних форм теплиць при розрахункових температурах для березня, Вт

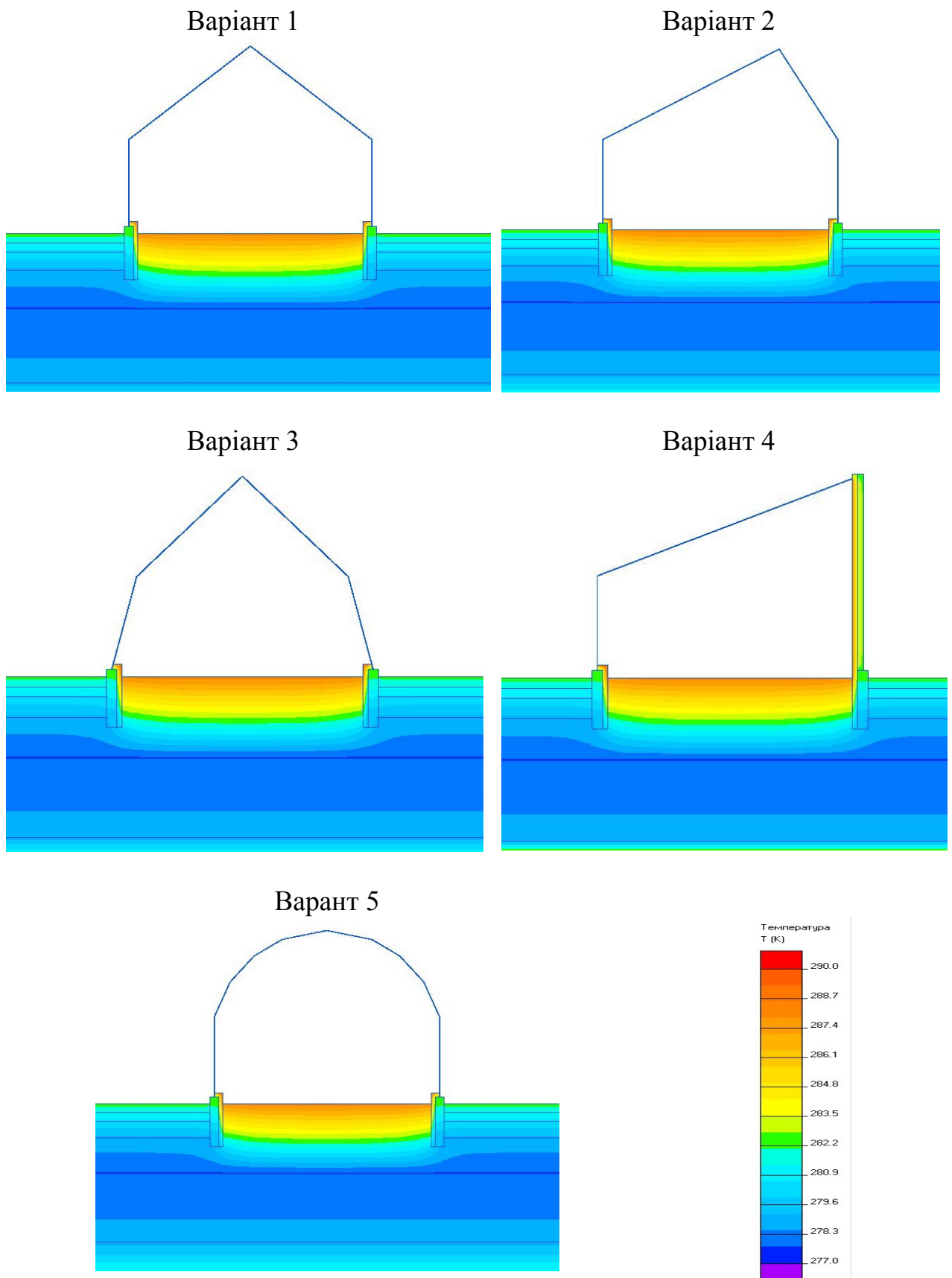
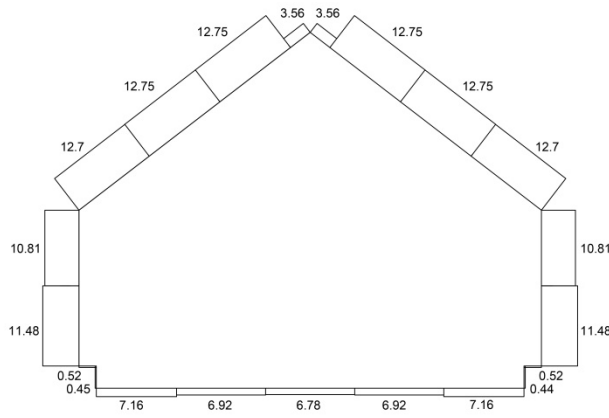
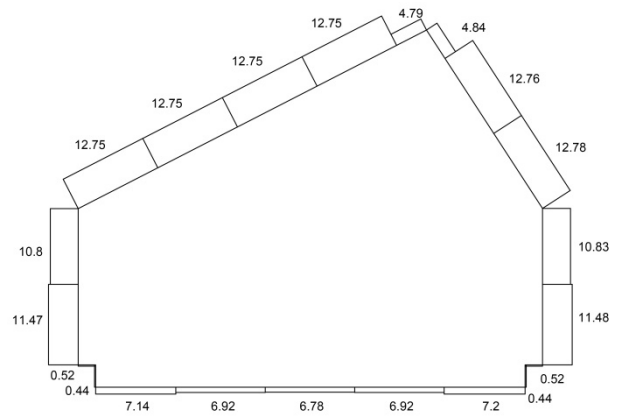


Рисунок В.13 – Розподіли температур в огороджуючих конструкціях різних форм теплиць та ґрунтовому масиві при розрахункових температурах для КВІТНЯ

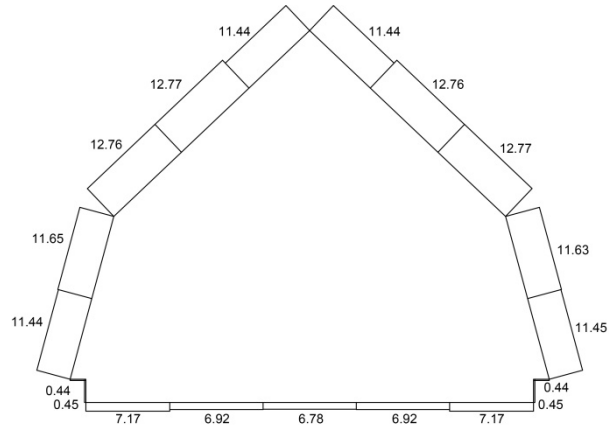
Варіант 1



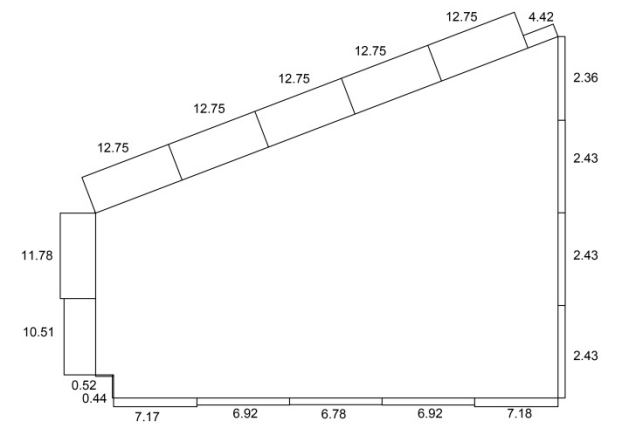
Варіант 2



Варіант 3



Варіант 4



Варіант 5

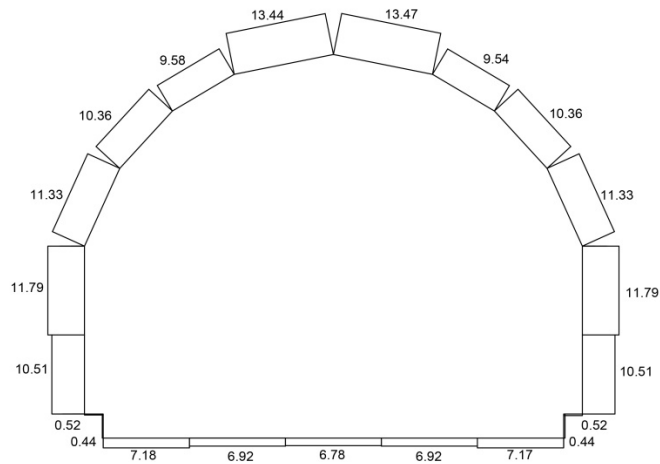


Рисунок В.14 – Епюри розподілу теплових потоків для різних форм теплиць при розрахункових температурах для квітня, Вт

*Числові значення та розподіл за місяцями теплових надходжень та втрат тепла для різних форм теплиць*

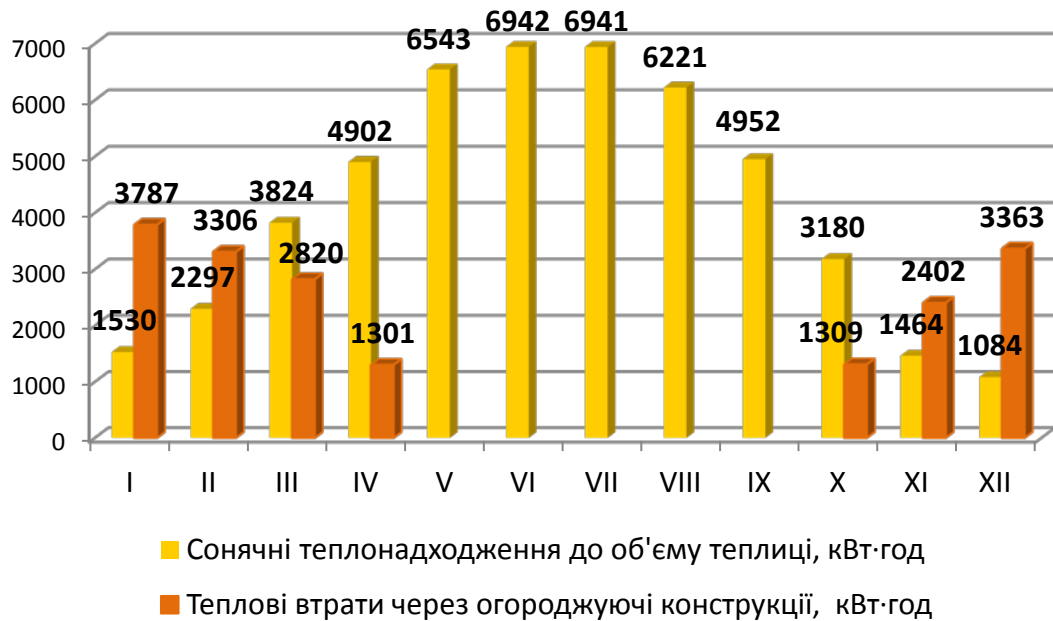


Рисунок В.15 – Розподіл значень теплових надходжень та втрат тепла для теплиці з двосхилим рівномірним покриттям (Варіант 1) за місяцями, кВт·год

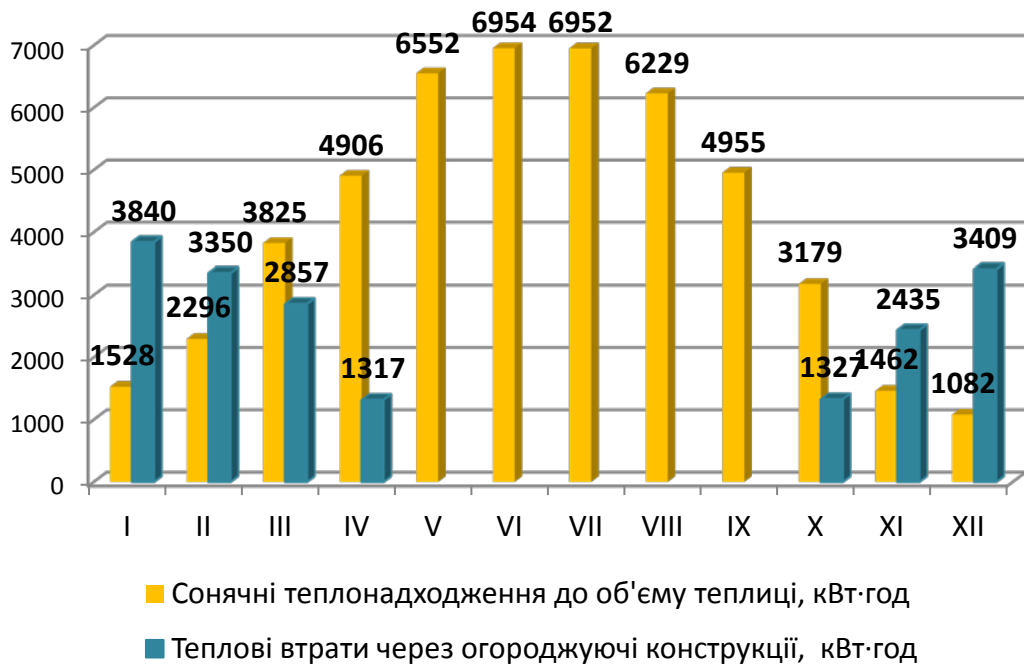


Рисунок В.16 – Розподіл значень теплових надходжень та втрат тепла для теплиці з двосхилим нерівномірним покриттям (Варіант 2) за місяцями, кВт·год

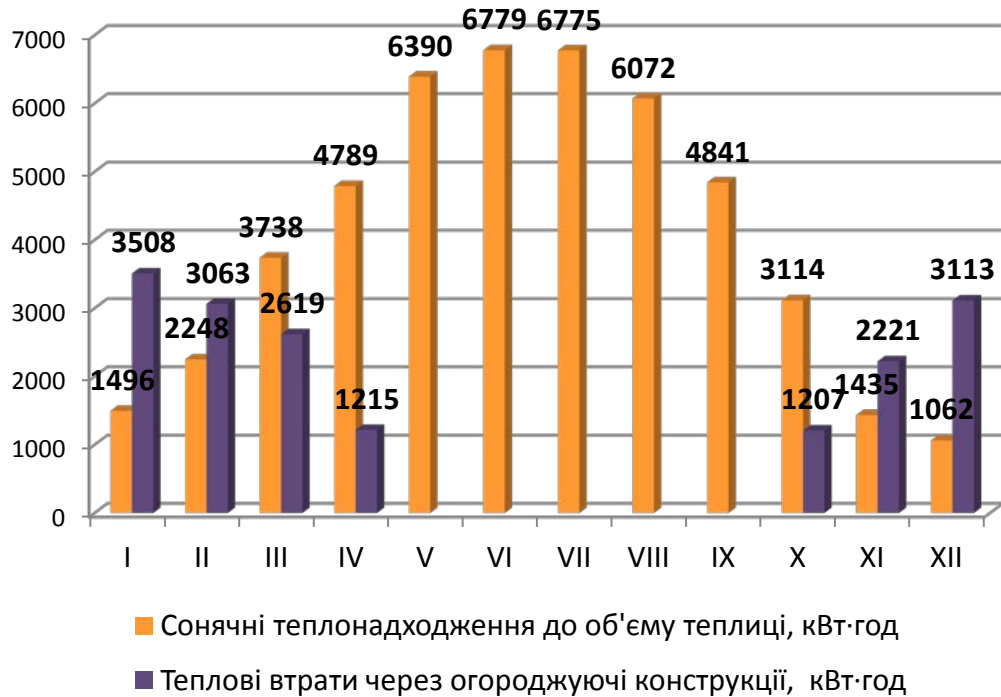


Рисунок В.17 – Розподіл значень теплових надходжень та втрат тепла для теплиці з двосхилим рівномірним покриттям і похилими стінами (Варіант 3) за місяцями, кВт·год

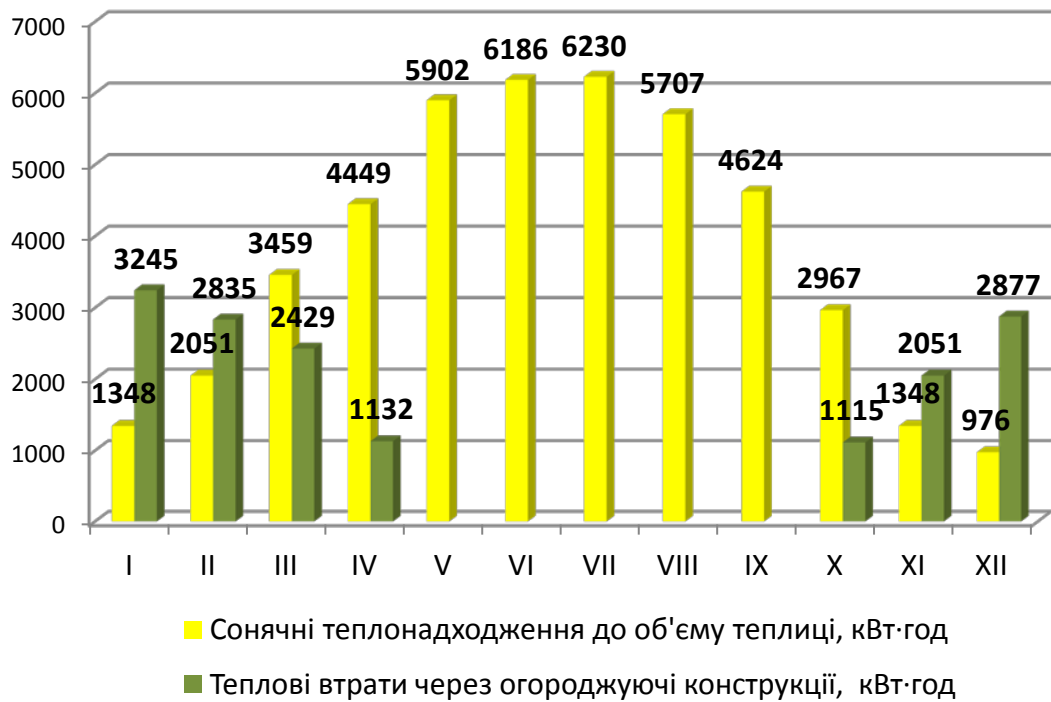


Рисунок В.18 – Розподіл значень теплових надходжень та втрат тепла для теплиці типу Вегетарій (Варіант 4) за місяцями, кВт·год

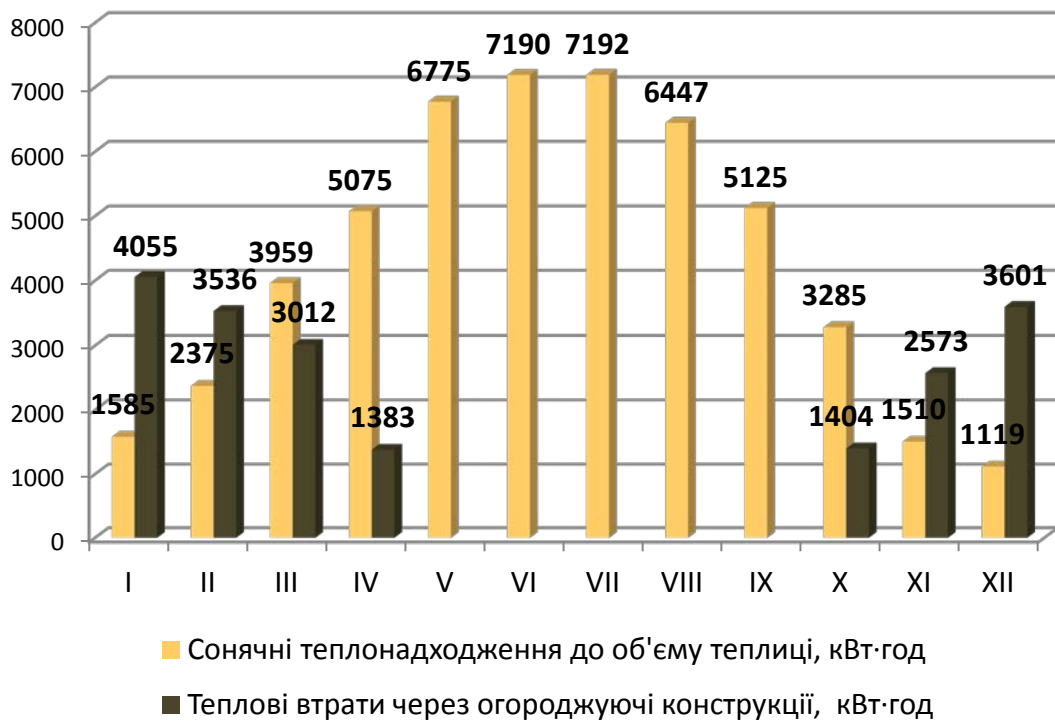


Рисунок В.19 – Розподіл значень теплових надходжень та втрат тепла для арочної теплиці (Варіант 5) за місяцями, кВт·год



**ДОДАТОК Г. Експериментальні дані зміни температури і вологості  
повітря всередині і зовні теплиці**

Таблиця Г.1 – Дані спостережень зміни погодних умов за період  
з 23.03.2019 р.– 6.04.2019 р.

Дата	Час	Температура, °С		Вологість, %RH		Вітер		Хмар- ність	Опа- ди
		зовні	внутрі	зовні	внутрі	нап- рям	швид- кість		
23.03.2019 р.	9:00	3,1	10,9	58,1	70,6	Пн	7,8	мінлива	
	10:00	4,3	18,6	56,2	50,2	Пн	7,8	мінлива	
	11:00	4,6	20,2	54,4	45,9	Пн	8,1	мінлива	
	12:00	5,2	17,7	56,5	53,4	Пн	8,1	мінлива	
	13:00	5,4	19,0	57,6	52,6	Пн	8,1	мінлива	
	14:00	5,4	15,1	59,0	61,4	ПнЗ	8,1	мінлива	
	15:00	5,5	15,4	59,0	59,1	Пн	7,5	мінлива	
	16:00	5,8	13,2	58,3	63,2	Пн	7,2	мінлива	
	17:00	5,4	9,9	58,6	73,9	Пн	6,7	мінлива	
	18:00	4,3	8,3	60,3	78,4	Пн	6,1	мінлива	
	19:00	4,1	6,8	63,5	84,1	Пн	5,3	мінлива	
	20:00	3,0	6,0	66,8	88,1	Пн	4,7	мінлива	
	21:00	2,7	5,6	66,2	88,6	Пн	5	мінлива	
	22:00	2,4	5,4	65,6	89,8	Пн	5,3	мінлива	
23:00	2,0	5,1	65,4	90,3	Пн	5,6	мінлива		
24.03.2019	0:00	1,2	4,9	68,9	90,9	Пн	5	мінлива	
	1:00	1,6	4,5	71,1	92,3	Пн	4,7	мінлива	
	2:00	0,5	3,4	73,3	92,9	Пн	4,2	мінлива	
	3:00	0,3	2,4	74,2	94,6	Пн	4,2	мінлива	
	4:00	0,1	1,8	75,6	95,7	Пн	3,9	мінлива	
	5:00	-1,0	2,0	76,8	98,0	Пн	3,9	мінлива	
	6:00	0,6	2,5	74,6	97,7	Пн	3,6	ясно	
	7:00	0,8	2,7	71,3	97,1	ПнЗ	3,6	ясно	
	8:00	1,2	4,6	69,1	91,8	ПнЗ	3,6	ясно	

Таблиця Г.1. Продовження

24.03.2019	9:00	2,3	10,9	63,1	78,2	ПнЗ	1,1	мінлива	
	10:00	4,4	15,4	57,8	59,1	ПнЗ	1,4	мінлива	
	11:00	5,6	24,6	51,9	41,0	ПнЗ	1,4	мінлива	
	12:00	6,8	36,0	53,6	31,0	ПнЗ	1,4	мінлива	
	13:00	6,9	32,3	54,5	31,6	ПнЗ	1,4	мінлива	
	14:00	7,3	33,6	56,1	31,2	ПнЗ	1,4	мінлива	
	15:00	7,5	26,4	58,3	37,1	З	1,4	хмарно	
	16:00	7,5	23,9	60,2	38,9	З	1,4	хмарно	
	17:00	7,6	20,4	62,8	45,9	З	1,4	мінлива	
	18:00	7,4	15,2	64,6	59,1	З	1,4	мінлива	
	19:00	6,8	11,5	65,4	69,6	З	1,4	мінлива	
	20:00	5,3	9,5	67,2	77,3	З	1,9	мінлива	
	21:00	5,2	7,8	70,1	82,7	З	2,2	мінлива	
	22:00	4,1	7,0	73,5	84,7	З	2,2	мінлива	
	23:00	4,0	6,0	76,6	88,9	ПнЗ	2,5	мінлива	
25.03.2019	0:00	4,2	5,9	80,4	89,2	З	2,8	мінлива	
	1:00	3,8	4,7	84,2	90,1	З	2,5	мінлива	
	2:00	3,5	3,8	88,6	90,6	З	2,2	мінлива	
	3:00	3,1	2,9	88,5	91,8	З	2,2	мінлива	
	4:00	2,9	2,3	88,9	92,0	З	2,2	мінлива	
	5:00	2,5	1,7	86,2	92,6	З	2,2	мінлива	
	6:00	3,1	1,1	76,6	94,0	З	1,9	мінлива	
	7:00	4,2	1,2	77,9	93,7	З	1,9	мінлива	
	8:00	5,6	5,2	77,8	84,1	ПнЗ	1,7	мінлива	
	9:00	7,8	13,3	66,5	68,5	З	1,7	мінлива	
	10:00	8,4	34,2	55,4	32,8	З	1,4	мінлива	
	11:00	10,2	39,0	44,2	27,4	З	1,1	мінлива	
	12:00	11,3	41,4	41,1	24,4	З	1,9	хмарно	
13:00	12,4	43,9	39,9	18,1	ПдЗ	2,8	хмарно		

Таблица Г.1. Продолжения

25.03.2019	14:00	12	35,7	36	19,7	ПдЗ	3,3	хмарно	
	15:00	11	33,6	40	21,2	Пд	3,3	хмарно	
	16:00	10	22,4	44	22,2	Пд	3,6	хмарно	
	17:00	9	19,2	48	20,7	ПдС	3,6	хмарно	
	18:00	8	14,9	54	20,5	ПдС	3,3	хмарно	
	19:00	7	11,4	60	22,7	ПдС	3,3	хмарно	
	20:00	6	9,9	66	21,8	ПдС	3,3	хмарно	
	21:00	7	8,9	69	23,3	ПдС	3,9	хмарно	
	22:00	7	9,1	72	16,3	Пд	5	хмарно	
	23:00	7	9,1	76	16,5	Пд	5,8	хмарно	
26.03.2019	0:00	6	8,8	80	16,7	Пд З	5,4	хмарно	
	1:00	6	8,7	86	16,7	Пд З	4,7	хмарно	
	2:00	5	8,3	88	16,7	Пд З	4	хмарно	дощ
	3:00	5	8,0	88	16,7	Пд З	3,9	хмарно	дощ
	4:00	5	7,9	89	16,7	Пд З	3,8	хмарно	дощ
	5:00	4	7,8	89	16,5	Пд З	3,8	хмарно	
	6:00	4	7,7	86	16,5	З	3,6	хмарно	
	7:00	4	7,7	84	16,5	З	3,3	хмарно	
	8:00	5	8,0	83	15,3	З	3,1	хмарно	
	9:00	6	10,2	79	14,1	З	3,4	хмарно	
	10:00	7	16,4	67	15,9	З	3,6	хмарно	
	11:00	9	14,3	61	15,3	З	3,7	хмарно	
	12:00	9	13,2	58	14,7	З	3,9	хмарно	
	13:00	9	15,3	54	13,3	З	4	хмарно	
	14:00	10	20,1	53	14,5	З	4,4	хмарно	
	15:00	10	21,1	55	16,7	З	4,1	хмарно	
	16:00	10	21,0	59	17,1	З	3,6	хмарно	
	17:00	9	18,4	62	17,3	З	3,2	хмарно	
18:00	8	14,7	68	16,7	Пд З	2,8	хмарно		

Таблиця Г.1. Продовження

26.03.2019	19:00	7	12,4	74	16,5	3	2,4	хмарно	
	20:00	6	10,7	77	16,5	3	2,2	хмарно	дощ
	21:00	5	9,7	80	16,1	3	2	хмарно	дощ
	22:00	5	9,2	86	15,9	3	1,8	хмарно	
	23:00	5	8,7	88	15,9	3	1,6	хмарно	
27.03.2019	0:00	5	7,9	89	15,9	ПнЗ	1,7	мінлива	
	1:00	4	7,6	91	15,9	ПнЗ	1,9	мінлива	
	2:00	3	7,0	93	15,9	ПнЗ	2,2	мінлива	
	3:00	3	6,1	94	16,3	ПнЗ	2,2	ясно	
	4:00	2	5,3	95	16,5	ПнЗ	1,9	ясно	
	5:00	2	4,3	95	16,7	ПнЗ	1,7	мінлива	
	6:00	2	3,6	92	16,7	ПнЗ	1,7	мінлива	
	7:00	3	3,9	89	15,5	ПнЗ	1,4	мінлива	
	8:00	3	5,1	86	14,9	ПнЗ	1,4	мінлива	
	9:00	5	10,9	83	14,9	ПнЗ	1,4	хмарно	дощ
	10:00	6	19,1	80	9,4	3	1,4	хмарно	дощ
	11:00	8	17,0	77	76,8	3	1,4	хмарно	дощ
	12:00	8	17,9	73	73,3	3	1,7	хмарно	дощ
	13:00	8	20,6	69	58,3	ПнЗ	2,2	хмарно	дощ
	14:00	8	19,1	65	60,6	ПнЗ	2,5	хмарно	дощ
	15:00	7	16,5	77	67,0	ПнЗ	3,6	хмарно	дощ
	16:00	6	12,4	88	79,8	ПнЗ	3,6	хмарно	дощ
	17:00	4	9,0	100	99,8	ПнЗ	3,6	хмарно	сніг
	18:00	4	7,6	98	100,0	ПнЗ	3,6	хмарно	сніг
	19:00	3	5,8	97	100,0	3	3,6	хмарно	сніг
20:00	2	5,1	95	100,0	3	3,6	хмарно	сніг	
21:00	2	4,7	95	100,0	3	4,2	хмарно	сніг	
22:00	2	4,4	95	100,0	ПнЗ	4,7	хмарно	сніг	

Таблиця Г.1. Продовження

	23:00	1	4,3	96	100,0	ПнЗ	5,3	хмарно	сніг
28.03.2019	0:00	1	4,2	94	100	ПнЗ	5	хмарно	сніг
	1:00	1	4,0	93	100	ПнЗ	4,7	хмарно	сніг
	2:00	1	3,7	91	100	ПнЗ	4,2		сніг
	3:00	1	3,3	89	100	ПнЗ	4,2	мінлива	
	4:00	0	3,0	87	100	ПнЗ	4,2	мінлива	
	5:00	0	2,8	84	100	ПнЗ	4,2	мінлива	
	6:00	0	2,7	80	100	Пн	4,7	хмарно	
	7:00	1	3,0	75	100	Пн	4,7	хмарно	
	8:00	1	3,8	70	100	Пн	4,7	хмарно	
	9:00	3	4,7	63	100	Пн	4,7	мінлива	хмарно
	10:00	6,0	5,2	65,9	100	Пн	5,3	мінлива	
	11:00	2,8	6,3	79,7	97,7	Пн	4,4	мінлива.	
	12:00	3,0	8,3	76,2	94,3	Пн	4,4	мінлива	
	13:00	3,6	9,0	77,0	91,2	Пн	4,4	мінлива	
	14:00	4,1	11,1	73,8	81,4	Пн	4,4	мінлива	
	15:00	5,1	14,3	70,3	65,4	Пн	4,2	мінлива	
	16:00	5,4	13,4	64,6	72,5	Пн	4,2	мінлива	
	17:00	5,7	16,2	62,8	68,0	ПнЗ	3,9	мінлива	
	18:00	6,9	14,9	59,3	68,5	ПнЗ	3,6	ясно	
	19:00	5,2	8,3	62,1	95,7	ПнЗ	3,3	ясно	
	20:00	4,6	5,8	63,6	100	ПнЗ	3,1	ясно	
21:00	3,8	4,3	63,6	100	ПнЗ	2,2	ясно		
22:00	2,9	3,3	64,6	100	Пн	2,2	ясно		
23:00	2,0	2,4	67,7	100	Пн	2,2	ясно		
29.03.2019	0:00	1,3	1,6	69,0	100	ПнЗ	2,2	мінлива	
	1:00	0,7	1,1	69,2	100	ПнЗ	1,9	мінлива	
	2:00	0,1	0,7	70,6	100	ПнЗ	1,7	мінлива	

Таблиця Г.1. Продовження

	3:00	-0,4	0,2	72,5	100	3	1,9	мінлива		
	4:00	-0,3	0,5	69,2	100	3	2,2	мінлива		
	5:00	-0,4	0,4	71,4	100	3	2,2	мінлива		
	6:00	-0,7	0,5	72,2	100	3	2,8	мінлива		
	7:00	-0,8	0,5	73,3	100	3	3,3	мінлива		
	8:00	0,4	5,7	72,5	98,0	3	3,6	мінлива		
	9:00	2,4	11,8	65,6	73,0	ПнЗ	3,9	хмарно		
	10:00	3,8	21,6	61,3	50,5	ПнЗ	4,4	хмарно		
	11:00	5,7	27,0	51,1	41,6	ПнЗ	4,7	хмарно		
	12:00	7,9	30,6	45,8	38,7	ПнЗ	4,7	хмарно		
	13:00	10,1	29,3	39,6	37,8	ПнЗ	5	хмарно		
	14:00	12,1	30,1	37,5	34,6	ПнЗ	5	хмарно		
	15:00	11,3	27,5	39,3	41,2	ПнЗ	4,7	хмарно		
	16:00	10,4	24,1	40,0	47,3	3	4,7	хмарно		
	17:00	10,1	21,2	38,9	54,3	3	4,4	хмарно		
	18:00	9,9	17,0	40,5	59,6	3	3,9	мінлива		
	19:00	8,8	12,0	45,1	76,0	3	3,3	мінлива		
	20:00	7,9	9,6	50,2	83,9	3	2,8	мінлива		
	21:00	7,5	9,0	53,3	86,7	3	3,3	мінлива		
	22:00	7,2	8,6	56,5	92,6	3	3,6	мінлива		
	23:00	7,1	8,2	57,0	96,3	3	3,6	мінлива		
	30.03.2019	0:00	7,0	8,1	57,0	93,4	3	3,9	мінлива	
		1:00	7,0	7,9	56,5	94,6	3	4,2	мінлива	
2:00		6,7	7,6	58,0	94,0	3	4,2	мінлива		
3:00		6,3	6,7	61,1	100	3	4,2	мінлива		
4:00		6,0	6,2	62,8	100	3	3,9	мінлива		
5:00		5,4	5,3	63,6	100	3	3,9	мінлива		

Таблиця Г.1. Продовження

	6:00	4,5	4,5	67,7	100,0	3	3,6	мінлива	
	7:00	4,1	4,7	68,7	100,0	3	3,6	мінлива	
	8:00	4,3	8,0	72,5	98,0	3	3,3	мінлива	
	9:00	5,8	13,1	71,9	76,8	3	3,6	мінлива	
	10:00	8,1	31,8	65,9	41,2	ПнЗ	3,6	хмарно	
	11:00	10,1	31,0	61,8	42,8	ПнЗ	3,6	хмарно	
	12:00	11,8	24,9	62,6	51,2	ПнЗ	3,6	хмарно	
	13:00	11,8	21,5	60,0	58,6	ПнЗ	3,3	хмарно	
	14:00	11,6	18,9	61,3	94,0	ПнЗ	3,3	хмарно	
	15:00	11,8	18,8	60,3	75,7	ПнЗ	3,3	хмарно	
	16:00	12,1	21,7	60,0	63,7	ПнЗ	3,1	хмарно	
	17:00	12,5	22,0	57,8	62,1	ПнЗ	2,8	хмарно	
	18:00	12,8	18,7	59,3	70,9	ПнЗ	2,5	мінлива	
	19:00	12,2	14,7	60,0	87,0	ПнЗ	2,2	мінлива	
	20:00	10,4	9,5	63,9	98,6	ПнЗ	1,7	мінлива	
	21:00	9,0	7,8	67,4	100,0	ПнЗ	1,7	мінлива	
	22:00	8,0	6,7	69,5	100,0	3	1,7	мінлива	
23:00	7,1	5,8	71,6	100,0	3	1,4	мінлива		
31.03.2019	0:00	6,0	4,9	72,5	100,0	3	1,4	мінлива	
	1:00	5,2	4,1	73,0	100,0	3	1,4	мінлива	
	2:00	4,4	3,6	74,6	100,0	ПдЗ	1,4	мінлива	
	3:00	3,8	3,1	78,6	100,0	ПдЗ	1,4	мінлива	
	4:00	3,4	2,5	74,6	100,0	ПдЗ	1,4	мінлива	
	5:00	2,9	2,0	75,7	100,0	ПдЗ	1,4	мінлива	
	6:00	2,6	1,6	75,1	100,0	ПдЗ	1,1	мінлива	
	7:00	2,2	2,0	76,5	100,0	ПдЗ	1,1	мінлива	
	8:00	2,6	6,0	84,1	100,0	ПдЗ	1,1	мінлива	
	9:00	4,8	14,9	91,4	91,5	ПдЗ	1,1	мінлива	

Таблиця Г.1. Продовження

31.03.2019	10:00	8,0	26,3	81,8	68,2	ПдЗ	1,4	мінлива	
	11:00	11,3	36,2	68,2	45,1	ПдЗ	1,4	мінлива	
	12:00	13,9	43,8	60,0	28,0	ПдЗ	1,4	мінлива	
	13:00	16,6	48,2	48,5	22,7	ПдЗ	1,4	мінлива	
	14:00	18,8	49,9	45,6	22,2	ПдЗ	1,4	ясно	
	15:00	18,2	49,1	43,2	22,2	Пд	1,4	ясно	
	16:00	17,6	45,1	42,5	23,7	Пд	1,4	ясно	
	17:00	17,4	40,4	45,1	27,6	Пд	1,4	ясно	
	18:00	18,2	33,0	45,4	36,2	Пд	1,4	ясно	
	19:00	17,1	21,5	47,5	60,1	Пд	1,4	ясно	
	20:00	15,0	13,6	52,8	88,9	Пд	1,9	ясно	
	21:00	13,0	11,0	57,5	98,0	Пд	2,2	ясно	
	22:00	11,3	9,6	60,0	100,0	Пд	2,2	ясно	
	23:00	10,0	8,6	61,6	100,0	Пд	2,5	ясно	
01.04.2019	0:00	9,1	7,9	63,1	100,0	ПдЗ	2,5	ясно	
	1:00	8,3	7,0	65,9	100,0	ПдЗ	2,5	ясно	
	2:00	8,1	7,1	65,9	100,0	ПдЗ	2,2	ясно	
	3:00	8,2	6,8	67,9	100,0	ПдЗ	2,2	ясно	
	4:00	7,6	5,8	67,7	100,0	ПдЗ	2,2	ясно	
	5:00	7,0	5,3	69,8	100,0	ПдЗ	2,2	ясно	
	6:00	6,3	4,8	73,3	100,0	ПдЗ	2,2	ясно	
	7:00	6,0	5,3	71,9	100,0	З	2,2	ясно	
	8:00	6,6	9,4	73,5	98,6	ПнЗ	1,9	ясно	
	9:00	8,5	17,8	71,9	94,3	Пн	1,7	мінлива	
	10:00	11,3	29,4	66,9	63,7	Пн	1,4	мінлива	
	11:00	14,3	39,3	61,1	36,4	Пн	1,9	мінлива	
12:00	16,4	47,5	50,7	22,9	Пн	2,5	мінлива		



Таблиця Г.1. Продовження

01.04.2019	12:00	18,4	51,3	43,7	20,3	Пн	3,9	мінлива	
	13:00	20,2	52,1	35,7	19,5	Пн	4,7	мінлива	
	14:00	20,0	51,0	35,5	19,7	Пн	5,6	мінлива	
	15:00	19,4	44,4	36,6	22,7	Пн	5,8	мінлива	
	16:00	18,5	34,0	41,2	31,6	Пн	5,8	мінлива	
	17:00	17,7	26,8	44,2	40,0	Пн	6,1	мінлива	
	18:00	16,3	18,6	47,1	57,0	Пн	6,3	мінлива	
	19:00	14,4	13,7	47,5	72,0	Пн	6,5	мінлива	
	20:00	13,0	11,8	49,0	79,5	Пн	6,6	мінлива	
	21:00	11,9	10,8	47,3	82,4	Пн	6,7	мінлива	
	22:00	10,7	9,6	44,4	77,9	Пн	6,7	мінлива	
	23:00	18,4	51,3	43,7	20,3	Пн	3,9	мінлива	
02.04.2019	0:00	9,8	8,6	44,9	81,6	Пн	6,7	мінлива	
	1:00	9,2	7,8	47,8	88,1	Пн	6,7	мінлива	
	2:00	8,5	7,6	51,4	85,3	Пн	6,7	мінлива	
	3:00	7,9	7,6	48,3	85,8	Пн	6,7	мінлива	
	4:00	7,3	6,6	49,5	88,9	Пн	6,7	мінлива	
	5:00	6,5	6,2	43,9	87,5	Пн	6,4	мінлива	
	6:00	6,0	6,0	44,2	85,3	Пн	6,4	мінлива	
	7:00	5,5	6,1	43,7	82,7	Пн	6,7	ясно	
	8:00	4,9	8,0	44,9	72,5	Пн	6,7	ясно	
	9:00	5,3	14,8	46,1	47,1	Пн	7,2	ясно	
	10:00	7,0	28,1	40,7	27,6	Пн	7,2	ясно	
	11:00	8,6	38,3	39,8	21,6	Пн	7,2	ясно	
	12:00	9,4	43,7	38,9	19,5	Пн	7,5	ясно	
	13:00	10,3	46,0	35,5	18,5	Пн	7,5	мінлива	
14:00	11,5	45,7	32,3	18,5	Пн	7,8	мінлива		

Таблиця Г.1. Продовження

02.04.2019	15:00	11,2	46,3	31,2	18,5	Пн	7,8	мінлива	
	16:00	10,9	41,0	31,2	19,9	Пн	7,8	мінлива	
	17:00	10,7	35,5	31,8	23,7	Пн	7,8	мінлива	
	18:00	10,4	23,6	33,7	36,4	Пн	7,8	мінлива	
	19:00	9,6	15,1	36,4	52,6	Пн	6,7	мінлива	
	20:00	8,6	9,3	42,1	75,7	Пн	5	хмарно	
	21:00	7,8	7,5	45,4	83,0	Пн	4,4	хмарно	
	22:00	6,9	6,3	47,3	84,7	Пн	4,7	мінлива	
	23:00	6,2	5,7	52,1	87,0	Пн	4,7	мінлива	
03.04.2019	0:00	5,7	5,0	53,3	92,6	Пн	5	мінлива	
	1:00	5,1	4,3	58,8	94,6	Пн	4,7	мінлива	
	2:00	4,6	3,8	62,3	97,7	Пн	4,7	мінлива	
	3:00	4,1	3,3	65,4	99,8	Пн	4,4	мінлива	
	4:00	3,7	2,8	65,4	100,0	Пн	4,2	ясно	
	5:00	3,3	2,3	65,4	100,0	Пн	4,2	ясно	
	6:00	2,9	1,7	65,4	100,0	Пн	4,2	ясно	
	7:00	2,5	2,3	66,7	100,0	Пн	4,7	мінлива	
	8:00	2,8	7,0	68,2	98,9	Пн	5,3	мінлива	
	9:00	4,6	15,7	55,7	79,2	Пн	5,8	мінлива	
	10:00	6,8	25,0	48,3	34,1	Пн	6,1	хмарно	
	11:00	8,8	36,5	40,0	21,8	Пн	6,4	хмарно	
	12:00	9,2	34,5	37,8	21,8	Пн	6,7	хмарно	
	13:00	9,1	31,5	36,4	23,1	Пн	6,7	хмарно	
	14:00	10,0	41,3	33,2	18,3	Пн	6,7	хмарно	
	15:00	10,5	40,3	31,8	19,5	Пн	6,9	хмарно	
	16:00	10,4	32,5	31,2	23,7	ПнС	5,8	хмарно	
17:00	10,1	25,9	31,6	29,3	ПнС	4,4	хмарно		

Таблиця Г.1. Продовження

03.04.2019	18:00	10,0	22,2	33,4	33,9	Сх	3,3	хмарно	
	19:00	9,4	14,7	37,8	48,5	Сх	3,1	мінлива	
	20:00	7,7	7,6	45,1	78,4	Сх	2,2	мінлива	
	21:00	6,3	4,8	50,4	89,2	ПдС	0,8	мінлива	
	22:00	5,0	3,4	52,4	96,3	ПдС	1,4	хмарно	
	23:00	4,0	2,3	54,0	98,6	ПдЗ	1,7	хмарно	
04.04.2019	0:00	3,0	1,6	59,5	100,0	ПнЗ	2,2	хмарно	
	1:00	2,6	1,5	59,3	100,0	ПнЗ	2,2	мінлива	
	2:00	2,7	1,6	59,8	100,0	ПнЗ	1,9	мінлива	
	3:00	2,9	1,5	59,5	100,0	ПнЗ	1,9	мінлива	
	4:00	2,8	1,6	57,8	100,0	ПнЗ	1,9	мінлива	
	5:00	2,7	0,9	55,7	100,0	ПнЗ	1,9	мінлива	
	6:00	2,3	0,5	53,1	100,0	ПнЗ	1,7	мінлива	
	7:00	2,0	1,5	54,5	99,5	ПнЗ	1,7	мінлива	
	8:00	2,2	7,1	54,0	94,3	ПнЗ	1,7	мінлива	
	9:00	3,6	15,9	51,4	66,2	ПнЗ	1,7	мінлива	
	10:00	6,2	27,8	44,4	31,4	ПнЗ	2,2	мінлива	
	11:00	9,0	38,3	34,3	20,1	ПнЗ	2,8	мінлива	
	12:00	11,0	44,4	33,0	17,5	ПнЗ	3,3	мінлива	
	13:00	12,3	48,0	28,0	16,1	ПнЗ	3,6	хмарно	
	14:00	14,5	48,7	24,8	15,7	ПнЗ	3,9	хмарно	
	15:00	13,7	46,2	24,4	16,3	ПнЗ	4,2	хмарно	
	16:00	13,0	42,0	31,4	17,7	ПнЗ	3,6	мінлива	
	17:00	12,7	37,3	28,4	19,7	ПнЗ	3,3	мінлива	
	18:00	12,9	27,0	31,6	27,8	З	2,5	мінлива	
	19:00	12,0	16,0	34,1	44,2	З	2,8	мінлива	
20:00	9,9	8,8	42,8	73,3	ПнЗ	2,8	мінлива		

Таблиця Г.1. Продовження

04.04.2019	21:00	8,0	6,1	45,6	85,5	Пн	1,1	мінлива	
	22:00	6,4	4,4	46,6	91,8	ПнЗ	1,4	ясно	
	23:00	5,0	3,3	49,7	94,6	З	1,7	ясно	
05.04.2019	0:00	3,8	2,2	52,6	96,3	ПдЗ	2,2	ясно	
	1:00	2,9	1,1	56,2	98,9	ПдЗ	2,2	ясно	
	2:00	2,2	0,6	57,0	100,0	ПдЗ	2,5	ясно	
	3:00	1,5	0,2	58,5	100,0	З	2,5	ясно	
	4:00	1,0	-0,3	57,8	100,0	З	2,5	ясно	
	5:00	0,5	-0,9	61,3	100,0	З	2,2	ясно	
	6:00	-0,1	-1,5	61,8	100,0	З	2,2	ясно	
	7:00	-0,5	-0,6	62,1	100,0	З	1,7	ясно	
	8:00	0,0	3,8	68,4	96,8	З	1,1	ясно	
	9:00	2,6	14,5	64,9	64,2	ПнЗ	0,6	ясно	
	10:00	6,2	29,0	53,1	28,4	ПнЗ	0,6	мінлива	
	11:00	9,6	39,8	40,5	19,3	Пн	0,3	мінлива	
	12:00	11,6	46,1	33,4	16,5	ПнС	0,3	мінлива	
	13:00	13,6	48,9	30,8	15,9	Пн	0,8	мінлива	
	14:00	15,3	49,5	31,4	15,5	Пн	1,1	мінлива	
	15:00	15,1	48,8	30,1	15,7	Пн	1,7	мінлива	
	16:00	14,4	44,4	27,8	16,5	Пн	1,7	ясно	
	17:00	14,1	38,1	26,5	19,1	ПнС	1,4	ясно	
	18:00	14,2	29,8	29,7	23,3	ПнС	1,4	ясно	
	19:00	13,3	18,1	37,8	40,3	Сх	1,7	мінлива	
20:00	11,1	10,1	39,1	68,2	Сх	2,2	мінлива		
21:00	9,4	7,7	41,4	81,6	Сх	2,5	мінлива		
22:00	7,8	6,2	43,2	85,5	ПдС	2,5	мінлива		
23:00	6,5	5,1	47,3	91,2	ПдС	2,2	мінлива		

Таблиця Г.1. Продовження

06.04.2019	0:00	5,4	4,0	50,7	93,7	Сх	2,8	мінлива	
	1:00	4,5	3,0	52,6	96,3	ПдС	2,8	мінлива	
	2:00	3,7	2,2	55,2	98,6	ПдС	2,5	мінлива	
	3:00	3,0	1,7	57,0	99,8	ПдС	2,5	мінлива	
	4:00	2,4	1,1	58,5	100,0	Сх	2,2	ясно	
	5:00	1,9	0,4	60,0	100,0	Сх	1,7	ясно	
	6:00	1,4	-0,2	61,1	100,0	Сх	1,4	ясно	
	7:00	1,0	1,0	61,8	99,8	Сх	1,4	ясно	
	8:00	1,3	5,3	59,5	94,3	Сх	1,7	ясно	
	9:00	3,4	16,1	62,8	69,8	Сх	1,7	ясно	
	10:00	7,4	30,7	54,5	26,7	Сх	1,9	мінлива	
	11:00	11,2	40,6	42,8	19,5	Сх	2,2	мінлива	
	12:00	13,7	46,9	34,6	16,3	Сх	2,5	мінлива	
	13:00	15,7	50,4	30,6	15,7	Сх	2,2	мінлива	
	14:00	17,0	50,9	28,2	15,3	Сх	2,2	мінлива	
	15:00	16,5	49,3	29,3	13,7	Сх	1,9	мінлива	
	16:00	16,0	42,6	27,6	14,3	Сх	2,5	ясно	
	17:00	15,7	28,3	29,9	97,1	Сх	3,1	ясно	
18:00	15,8	22,3	28,2	79,8	Сх	3,6	ясно		

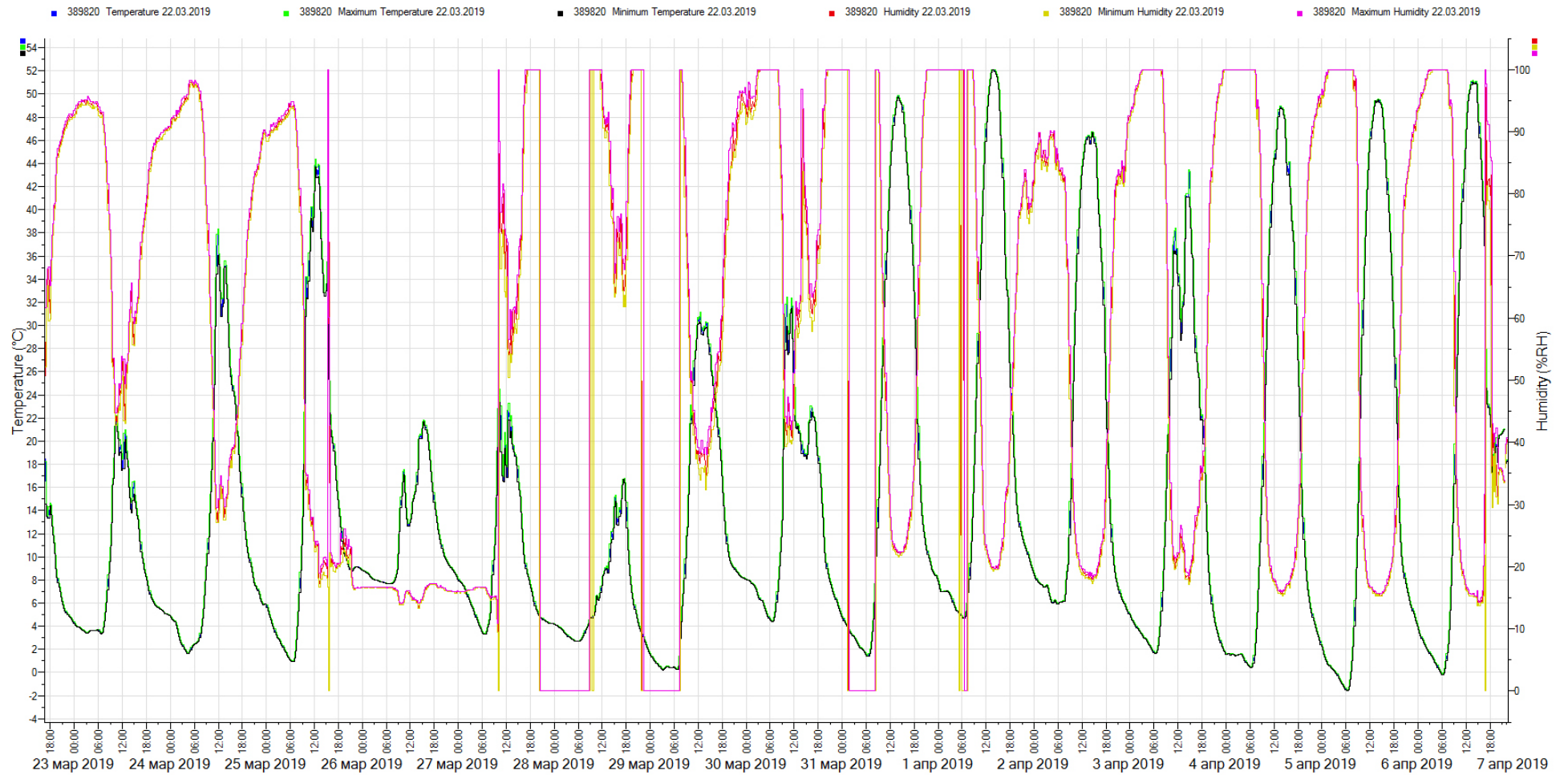


Рисунок Г.1 – Температура і вологість повітря всередині теплиці за період з 23.03.2019 р.– 6.04.2019 р.

**ДОДАТОК Д.**  
**Акти впровадження**



**ВИКОНАВЧИЙ КОМІТЕТ СЛОБОЖАНСЬКОЇ СЕЛИЩНОЇ РАДИ  
ДНІПРОВСЬКОГО РАЙОНУ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

вул. Василя Сухомлинського, 56-б, смт Слобожанське, Дніпровський район,  
Дніпропетровська область, 52005, тел.: (056) 719-91-52,  
e-mail: [vykonkom@slobozhanska-gromada.gov.ua](mailto:vykonkom@slobozhanska-gromada.gov.ua) , код ЄДРПОУ 40198703

21.06.2020 № 02-10/07/1068

Ректору ДВНЗ “Придніпровська державна  
академія будівництва та архітектури”  
д.т.н., професору  
Савицькому М. В.

Довідка  
про впровадження

Виконком Слобожанської селищної ради повідомляє, що результати дисертаційної роботи аспіранта кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій ДВНЗ “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури” Бордун Марини В'ячеславівни на тему “Конструкції енергоефективних споруд закритого ґрунту” на здобуття наукового ступеня доктора філософії, використані на підприємствах агропромислового комплексу територіальної громади.

З повагою  
Селищний голова



І.М. Камінський

вик.: Осадчук В.І.  
719-91-52

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Ректор  
ДВНЗ «ДДАБА» д.т.н., професор

Микола САВИЦЬКИЙ  
« 15 »  2020 р.

### ДОВІДКА ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

За результатами наукових досліджень по дисертаційній роботі: «Конструкції енергоефективних споруд закритого ґрунту» захищено 2 магістерські роботи за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, 8.06010101 – Промислове і цивільне будівництво (науковий керівник – к.т.н., доцент Зінкевич О. Г.; консультант - Бордун М. В.):

1. Махсудова Ельміра Васифівна. Тема: «Дослідження об'ємно – планувальної структури енергобіологічного комплексу», 2018 р.
2. Сачко Ірина Ігорівна. Тема: «Дослідження конструктивного рішення замкнутих тваринницьких та культивацийних об'єктів», 2018 р.

Декан факультету  
«Будівельний»,  
д.т.н., проф.



Т. Нікіфорова

В.о. зав. каф. ЗБіКК,  
к.т.н., доц.



О. Конопляник



ЗАТВЕРДЖЕНО  
Ректор  
ДВНЗ «ПДАБА» т.н., професор  
Микола САВИЦЬКИЙ  
«10» вересня 2020 р.



### ДОВІДКА ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

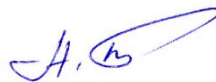
Результати наукових досліджень, що викладені у дисертаційній роботі: «Конструкції енергоефективних споруд закритого ґрунту» Бордун М. В. є складовою розділів держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України і міжнародних науково-дослідних робіт:

1. «Наукові основи створення будівельно-аграрних кластерів із замкнутим циклом матеріальних та енергетичних потоків» (номер державної реєстрації № 0117U000367, 2017 – 2018 рр.).

2. «Науково-практичні засади проектування автономних екобудівель за концепцією «Потрійний Нуль» (номер державної реєстрації № 0117U006728, 2017-2020 рр.).

3. InStep Project «International Sustainable Engineering Practices» (Ref.21810098, 2018 – 2019 рр.).

Начальник НДЧ  
ДВНЗ «ПДАБА»,  
к.т.н., доцент



О. Титюк