

УДК 728.98.012.18

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОПРОСТОРОВОВОГО РОЗТАШУВАННЯ ТЕПЛИЦІ ЗА КРИТЕРІЄМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

САВИЦЬКИЙ М.В.^{1*}, *д.т.н., проф.*,
БАБЕНКО М.М.^{2*}, *к.т.н., докторант*,
НЕСІН О.А.^{3*}, *магістр будівництва, м.н.с.*
БОРДУН М.В.^{4*}, *аспірант*.

^{1*}Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

^{2*} Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: babenko.marina@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0002-0775-0168

^{3*} Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: asp_pgasa@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-2097-4059

^{4*} Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: klmari@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8539-2423

Анотація. Мета. Оптиміальне варіантне проектування геопросторового розташування теплиці за критерієм енергоефективності огорожувальних конструкцій - мінімізації теплових втрат. **Методика.** Визначення теплових втрат чисельним методом через огорожувальні конструкції теплиці в умовах стаціонарного процесу розповсюдження теплоти. **Результати.** Наведені результати розрахунку тепловтрат в умовах стаціонарної теплопередачі для різних схем геопросторового розташування геліотеплиці. **Наукова новизна.** Вперше отримано результати щодо вибору оптимальної схеми геопросторового розташування геліотеплиці за критерієм зменшення теплових втрат через огорожуючі конструкції в залежності від їх заглиблення у ґрунт. **Практична значимість.** Отримані результати сприятимуть оптимальному вибору схем розташування теплиць, які експлуатуються протягом всього року.

Ключові слова: теплиця; теплові втрати; огорожувальні конструкції; стаціонарна теплопередача; тепловий потік.

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕПЛИЦЫ ПО КРИТЕРИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

САВИЦЬКИЙ Н.В.^{1*}, *д.т.н., проф.*,
БАБЕНКО М.М.^{2*}, *к.т.н., докторант*,
НЕСІН А.А.^{3*}, *магістр строительства, м.н.с.*,
БОРДУН М.В.^{4*}, *аспірант*.

^{1*} Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38(0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

^{2*} Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38(0562) 47-03-19, e-mail: babenko.marina@yahoo.com, 0000-0002-0775-0168

^{3*} Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38(0562) 47-03-19, e-mail: asp_pgasa@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-2097-4059

^{4*} Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38(0562) 47-02-98, klmari@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8539-2423

Аннотация. Цель. Оптиміальное вариантное проектирование геопространственного расположения теплицы по критерию энергоэффективности ограждающих конструкций - минимизации тепловых потерь. **Методика.** Определение тепловых потерь численным методом через ограждающие конструкции теплицы в условиях стационарного процесса распространения теплоты. **Результаты.** Приведены результаты расчета теплотерь в условиях стационарной теплопередачи для различных схем геопространственного расположения гелиотеплицы. **Научная новизна.** Впервые получены результаты по выбору оптимальной схемы геопространственного расположения гелиотеплицы по критерию

уменьшения тепловых потерь через ограждающие конструкции в зависимости от их заглубления в грунт. **Практическая значимость.** Полученные результаты будут способствовать оптимальному выбору схем расположения теплиц, которые эксплуатируются в течение всего года.

Ключевые слова: теплица; тепловые потери; ограждающие конструкции; стационарная теплопередача; тепловой поток

OPTIMIZATION OF GEO-SPATIAL LOCATION OF THE GREENHOUSE BY CRITERION OF ENERGY EFFICIENCY

SAVYTSKYI M.V.^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

BABENKO M.M.^{2*}, *PhD, Post. Dr. PhD.*,

НЕСИН А.А.^{3*}, *Master of Construction, Junior Researcher*,

БОРДУН М.В.^{4*}, *Pg stud.*

^{1*}Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

^{2*} Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38(0562) 47-03-19, e-mail: babenko.marina@yahoo.com, 0000-0002-0775-0168

^{3*} Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38(0562) 47-03-19, e-mail: asp_pgasa@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-2097-4059

⁴ Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38(0562) 47-02-98, klmari@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-8539-2423

Abstract. Purpose. Optimal variant design of the geospatial location of the greenhouse by the criterion of energy efficiency of enclosing structures - minimization of heat losses. **Methodology.** Determination of thermal losses by a numerical method through the enclosing structures of a greenhouse under the conditions of a stationary process of heat propagation. **Results.** The results of calculation of heat losses in the conditions of stationary heat transfer for various schemes of the geo-spatial location of the helio-greenhouse are given. **Originality.** For the first time, the results were obtained for the selection of the optimal scheme for the geo-spatial location of the helio-greenhouse by the criterion for reducing thermal losses through the enclosing structures, depending on their penetration into the ground. **Practical significance.** The results obtained will contribute to the optimal choice of schemes for the location of greenhouses, which are maintained throughout the year.

Key words: greenhouse; heat loss; walling; stationary heat transfer; heat flow

Постановка проблеми

Сьогодні аграрний сектор є однією з найбільш значущих галузей економіки України. Пріоритетну роль у задоволенні потреби населення у рослинницькій продукції належить тепличному виробництву.

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, а частка теплоти в собівартості тепличних овочів становить від 30 до 70%.

Тому проблема енергозбереження в галузі рослинництва закритого ґрунту особливо актуальна і спонукає до зниження енергоємності технологічних процесів та переходу на енергозберігаючі технології.

Зменшення енергоспоживання і суттєві досягнення в енергозбереженні можливі тільки через вдосконалення існуючих та впровадження нових енергозберігаючих технологій.

Аналіз досліджень та публікацій

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.

За даними досліджень [2] 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. Так, для м. Дніпро середньорічна температура землі на

глибині 3.2 м дорівнює 10.3°C , а середня температура за опалювальний період на цій же глибині - 9.5°C [2].

Тому, чим більше заглибити теплицю в ґрунт, тим стабільнішими будуть показники мікроклімату всередині. Підземний, екологічно чистий метод вирощування рослин існує вже багато років і довів свою ефективність, він використовує ресурси природи, щоб забезпечити стабільне і тепле середовище для річного вирощування рослин.

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. Вирощування рослин в таких теплицях можна проводити круглий рік, незалежно від погодних умов.

Крім заглиблених теплиць, всебільшої 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, створили підземні теплиці, які при використанні лише чверті доступного простору можуть вироблять від 5 до 20 тонн продукції на рік [4].

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 стикаються 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% [6].

Узагальнюючі дані в існуючих дослідженнях про зменшення теплових втрат через огорожувальні конструкції теплиць в залежності від їх заглиблення у ґрунт відсутні, тому це питання потребує додаткового вивчення.

Мета

Метою статті є оптимальне варіантне проектування геопросторового розташування теплиці за критерієм енергоефективності огорожувальних конструкцій - мінімізації теплових втрат.

Викладення матеріалу

В роботі наведені результати розрахунку тепловтрат за стаціонарного процесу

розповсюдження теплоти для чотирьох різних схем розташування геліотеплиці відносно поверхні землі:

I-варіант – звичайна теплиця, що знаходиться на поверхні ґрунту (рис.1а);

II-варіант - теплиця заглиблена в ґрунт на 1.0 м (рис.1б);

III-варіант – теплиця заглиблена в ґрунт на 1.85 м (рис.1в);

IV-варіант – теплиця підземна, для освітлення рослин використовуються порожнисті трубчаті світловоди (рис.1г).

Для всіх варіантів прийнято, що температура зовнішнього повітря дорівнює -24°C [5], 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 - $23 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ [1, 7]. Температура ґрунта задавалася пошарово згідно дослідження [2], де його постійне значення знаходиться на глибині 3,2 м і дорівнює $9,5^{\circ}\text{C}$. Коефіцієнт теплопровідності ґрунта (для суглинки) прийнятий згідно [2] $1,02 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$. 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 [3]. Коефіцієнт теплопровідності прозорих конструкцій із сотового полікарбонату 10 мм дорівнює $0,029 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ [3]. Непрозора огорожувальна цегляна стіна з північної сторони геліотеплиці прийнята товщиною 120 мм з коефіцієнтом теплопровідності $0,81 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ з утепленням зсередини екструдованим пінополістиролом 100 мм, коефіцієнт теплопровідності $0,043 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ [1, 7]. Фундамент геліотеплиці – стрічковий, ширина підшви фундаменту 200 мм, коефіцієнт теплопровідності $2,04 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ [1, 7] також утеплений зсередини екструдованим пінополістиролом товщиною 100 мм.

Що стосується повністю заглибленої теплиці із трубчатими світловодами (IV-варіант), то товщина стін із монолітного залізобетону дорівнює 200 мм утеплених зсередини 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 ($\lambda=230 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$), зовнішній прозорий купол виконаний із органічного скла ($\lambda=0,2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$) товщиною 2 мм; внутрішнє скло, що розподіляє світло ($\lambda=1,15 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$) має товщину 4 мм; прийнято, що стінки світловода утеплені мінеральною ватою ($\lambda=0,05 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$), товщиною 50 мм; замкнута повітряна порожнина всередині світлопровідного алюмінієвого каналу має теплопровідність ($\lambda=1,316 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$) [1, 7].

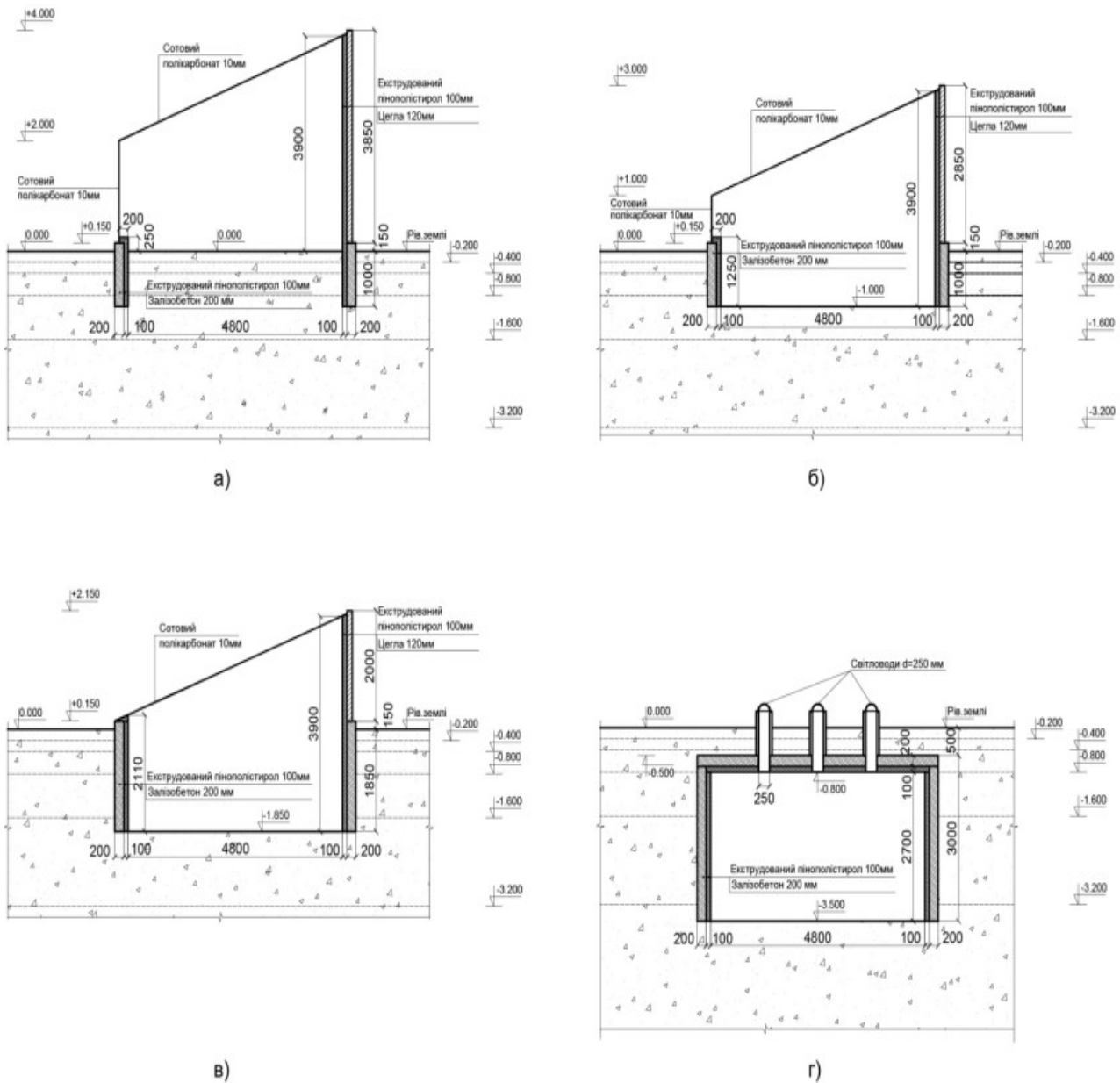


Рис. 1. Геоспросторове розташування теплиць за варіантами: а) I – стандартне на поверхні ґрунту; б) II – при заглибленні на 1.0 м; в) III- при заглибленні на 1.85 м; г) IV- підземна зі світловодами / Geospatial location of greenhouses for variants: а) I- standard on the soil surface; б) II- at depth of 1.0 m; в) III- at depth of 1.85 m; 2 m; г) IV- underground with lightguides;

Розрахунок теплопередачі проводився по огорожувальним конструкціям поперечного перерізу споруди з умовною шириною 1.0 м за допомогою програмного комплексу Elcut 5.1 Professional.

За результатами розрахунків отримано: розподіли температур в конструкціях та

ґрунтовому масиві (рис.2); значення величин теплових потоків по контуру внутрішнього об'єму споруд і епюри потоків теплоти для всіх досліджуваних варіантів (рис.3). Числові значення розрахунків представлені в таблиці 1 і на рис.4.

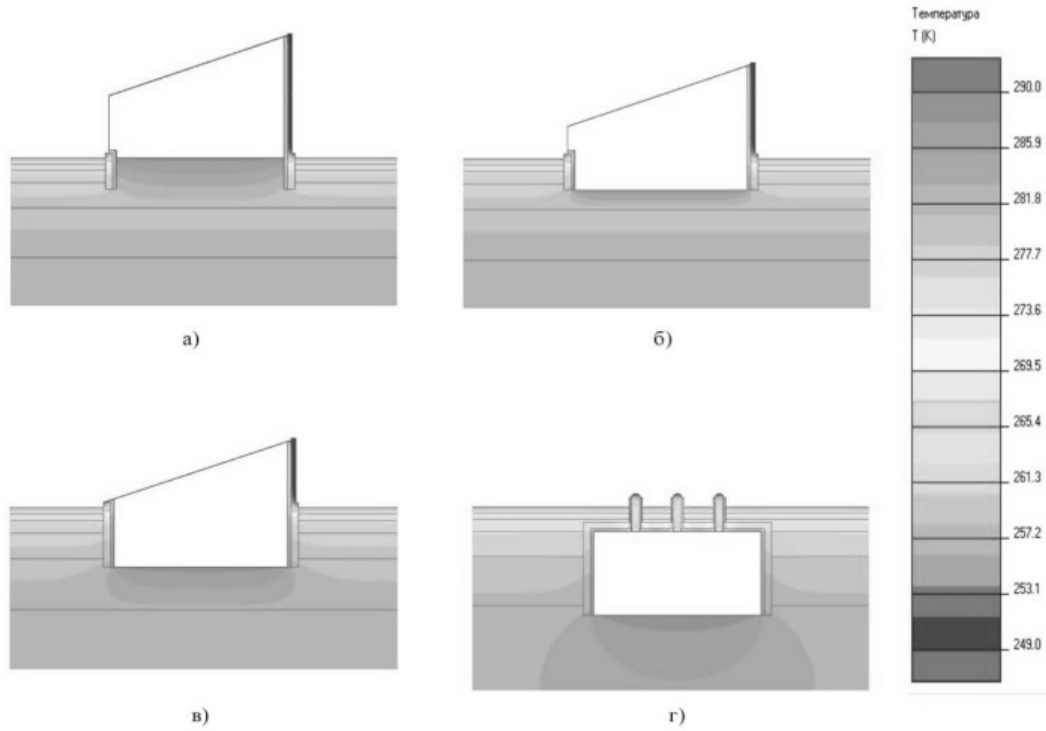


Рис. 2. Розподіл температур в огорожувальних конструкціях теплиць та ґрунтовому масиві при розрахункових температурах: зовнішнього повітря -24°C (249°K); внутрішнього повітря $+16^{\circ}\text{C}$ (289°K) / Distribution of temperatures in the fencing constructions of greenhouses and soil mass at the design temperatures: the outside air -24°C (249°K); internal air $+16^{\circ}\text{C}$ (289°K)

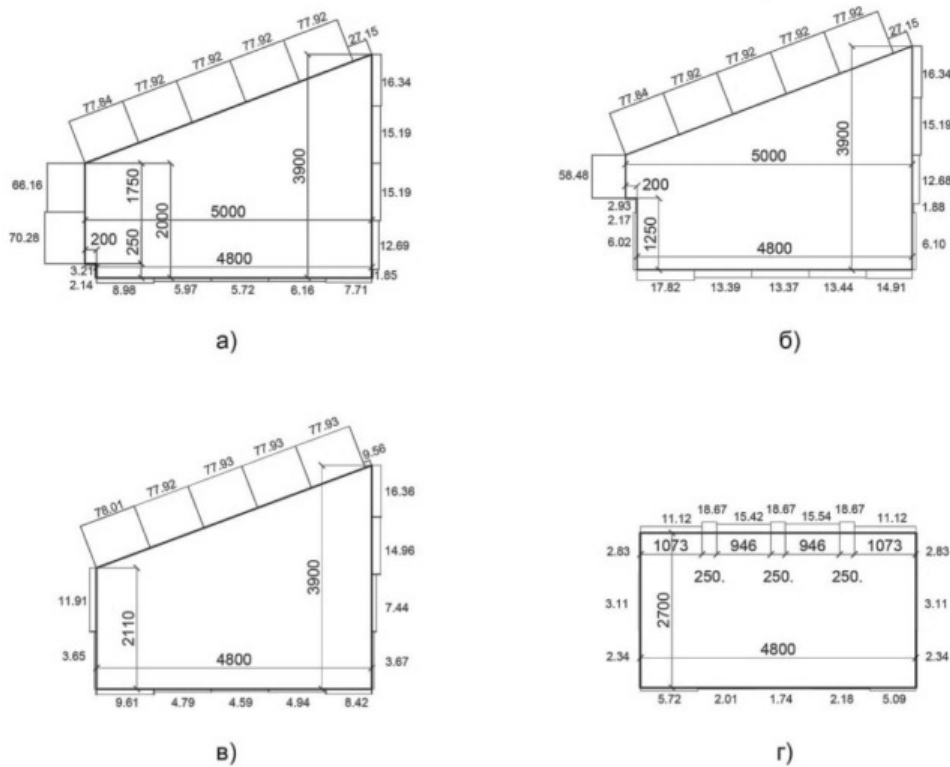


Рис. 3. Розподіл теплових потоків по внутрішнім поверхням теплиць, Вт/ Distribution of heat flows on the interior surfaces of greenhouses, W

Таблиця 1

Значення теплових потоків через огорожувальні конструкції теплиць/ Values of heat flows through the enclosure structures of greenhouses

Огорожувальні 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
грунтова робоча поверхня теплиці	34,54	72,93	32,35	16,74
Всього	654,26	611,65	489,62	142,52

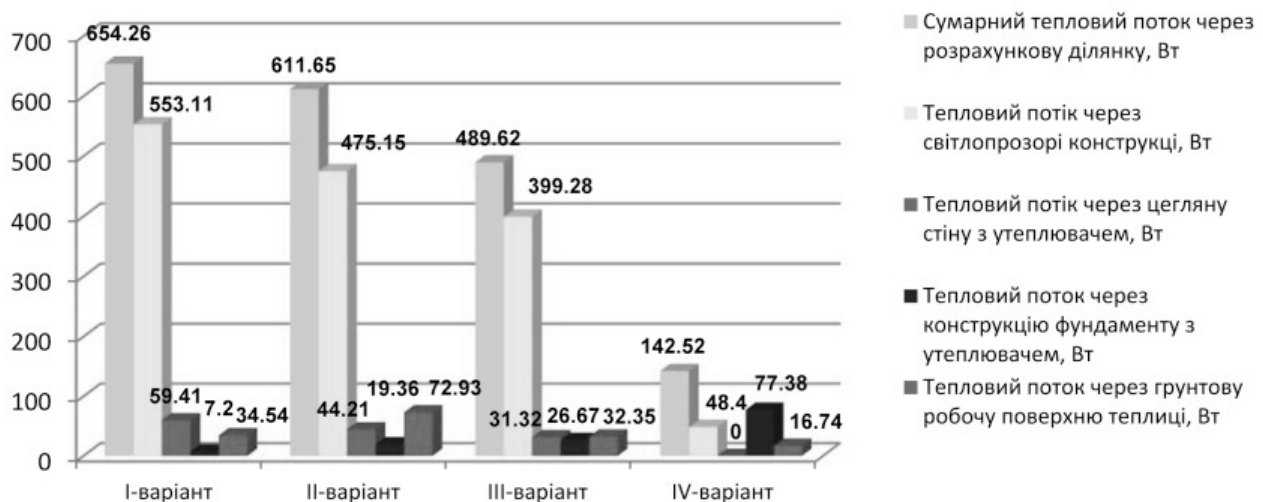


Рис. 4. Значення теплових потоків через огорожувальні конструкції теплиць, Вт/ Values of heat flows through the enclosure structures of greenhouses, W

Аналіз результатів розрахунків засвідчує, що найбільші втрати тепла у кожному варіанті спостерігаються через світлопрозорі огорожувальні 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 м в ґрунт втрати тепла зменшуються приблизно на 6,5%; при заглибленні на 1.85 м – на 24%; а при підземному розташуванні – до 75%.

Висновки

1. Результати досліджень геопросторового розташування теплиць засвідчують, що основні тепловтрати відбуваються через світлопрозорі огорожувальні конструкції (до 85%). Заглиблення теплиці в ґрунт приводить до зменшення площі світлопрозорих огорожувальних конструкцій, що

приводить до зниження загальних втрат теплової енергії для обігріву теплиць.

2. При заглибленні теплиці на 1 м в ґрунт втрати тепла зменшуються приблизно на 6,5%; при заглибленні на 1.85 м – на 24%; а при підземному розташуванні – до 75%.

3. Переміщення сільськогосподарських «ланів» під землю - дуже перспективний напрямок, з огляду на постійну урбанізацію людства, зростання населення, проблеми з наявністю вільних сільськогосподарських земель, високе енергозатратне ґрунтозакрите виробництво сільгосппродукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. – Київ: Мінрегіонбуд та ЖКГ України, - 2017. – Режим доступу : http://dbn.at.ua/dbn/DBN_V.2.6-31-2016_Teplova_izolyatsiya_budively.pdf
2. Нікіфорова Т.Д. Наукові основи і методи розрахунку конструкцій заглиблених будівель з урахуванням зовнішніх впливів: дис. ... докт. техн. наук: 05.23.01 / Нікіфорова Тетяна Дмитріївна; ПДАБА – Дніпро, 2016. – 349 с.
3. Савицький М.В. Рациональне проектування теплиці за критерієм вартості життєвого циклу / М.В. Савицький, М.М. Бабенко, О.А. Несін, М.В.Бордун // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. Серія: Створення високотехнологічних екокомплексів в Україні на основі концепції збалансованого (стійкого) розвитку– 2017. – Випуск 99. – С. 15-21.
4. Выращивание салата в подземных бункерах Лондона. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://geektimes.ru/post/261986/>
5. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія – Київ: Мінрегіонбуд України, - 2011.-123 с.
6. Технология Solatube: перспективы для архитектуры и строительства. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ardexpert.ru/article/5038>
7. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. – Київ: Мінрегіон України, - 2014.

REFERENCES

1. *DBN V.2.6-31:2016. Teplova izolyatsiia budivel.* [Thermal insulation of buildings.] – Kyiv: Minrehionbud ta ZhKHUkraine, - 2017.
2. Nikiforova T.D. *Naukovi osnovy i metody rozrakhunku konstruktzii zahlyblynykh budivel z urakhuvanniam zovnishnykh vplyviv* [Scientific bases and methods of calculation of structures of earth sheltered buildings taking into account external influences.]: *dyss. ... dokt. tekhn. nauk: 05.23.01 «Budivelni konstruktzii, budivli ta sporudy»* [The thesis...doctor of technical science: 05.23.01 «Building constructions, buildings and structures».] PDABA – Dnipro, 2016. – 349 p.
3. Savyts'kyu M.V. *Ratsional'ne proektuvannya teplytsi za kriteriyem vartosti zhytvevoho tsyклу* [The rational design of greenhouse on the criterion of value of life cycle] / M.V. Savyts'kyu, M.M. Babenko, O.A. Nesin, M.V.Bordun // *Budivnytstvo, materialoznavstvo,mashynobuduvannya. Seriya: Stvorennya vysokotekhnolohichnykh ekokompleksiv v Ukrayini na osnovi kontseptsiyi zbalansovanoho (stiykoho) rozvytku– 2017. – Vypusk 99. – S. 15-21.*
4. *Vyrashchывanye salata v podzemnykh bunkerakh Londona.* [Growing salad in London's underground bunkers] / [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu : <https://geektimes.ru/post/261986/>
5. DSTU-N B V.1.1-27:2010. *Budivelna klimatolohiia* [Civil Engineering Climatology]– Kyiv: Minrehionbud Ukraine, - 2011.-123 p.
6. *Tehnologiya Solatube: perspektivy dlya arhitektury i stroitelstva* [Solatube technology: perspectives for architecture and construction] / [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupu : <http://ardexpert.ru/article/5038>
7. DSTU- B V.2.6-189:2013. *Metody vyboru teploizolyatsiynoho materialu dlya uteplennya budivel.* [Methods of choosing insulation material for insulation of buildings] / – *Kyyiv: Minrehion Ukrayiny, - 2014.*

Стаття надійшла до редколегії 21.08.2017 р.