



УДК 626.8: 504.4.062.2

<https://doi.org/10.31713/vt3202528>

Пінчук О. Л. [1; ORCID ID: 0009-0004-4940-8389],
к.т.н., доцент,
Іванчук Н. В. [1; ORCID ID: 0000-0002-6824-9406],
к.т.н., доцент,
Бойчура М. В. [1; ORCID ID: 0000-0002-9073-4037],
к.т.н., старший викладач,
Куницький М. О. [1; ORCID ID: 0000-0003-1700-8167],
м.н.с.,
Кардаш О. С. [1; ORCID ID: 0009-0002-4343-4071],
аспірант,
Голуб А. С. [1; ORCID ID: 0009-0003-2356-5469],
аспірант,
Шостак Л. В. [1; ORCID ID: 0000-0002-7881-7366],
аспірант,
Пінчук Д. О. [1; ORCID ID: 0009-0004-4940-8389],
студент

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

АНАЛІТИЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ В БЛОК-СЕКЦІЇ ГІДРОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПОВЕРХНЕВОГО ОБІГРІВУ ҐРУНТУ

Конструктивно і технологічно спосіб поверхневого обігріву може бути реалізовано створенням спеціальної гідротехнічної системи, основним елементом якої є оболонки-рукави у формі трубопроводів, що об'єднані у окремі блок-секції та блок-модулі. Поверхневий обігрів ґрунту рукавами-трубопроводами, в яких циркулює тепла вода з температурою 20–30° С, підвищує температуру орного шару на 12–16° С в ґрунті та 7–12° С у повітрі, що забезпечує достатні умови для росту і розвитку рослин ранньою весною. В роботі отримані аналітичні залежності, які можна використовувати для умов використання п'яти рукавів діаметром 0,1 м, що розташовані на ділянці ґрунту шириною 1,0 м і захищені тунельним укриттям із плівки товщиною 100 мкм. Встановлені більш точні аналітичні залежності для розрахунку температур ґрунту на поверхні та на глибині 10, 20 і 40 см в умовах обігріву оболонками-рукавами. Окрім того, вперше встановлені залежності для розрахунку температур повітря на висоті 20, 30, 70 см в укриттях ГС ПОГ. Аналіз даних спостережень за ґрунтом у

природному стані дозволив встановити залежності зміни температури ґрунту від температури повітря.

Ключові слова: гідротехнічна система; поверхневий обігрів; аналітичні залежності; температурний режим.

Дослідження, розроблення та обґрунтування конструкцій систем поверхневого обігріву ґрунту з використанням низькотемпературних водних ресурсів [1; 2; 3], потребує проведення польових експериментів з метою отримання достовірної інформації про температурний режим ґрунту й приземного шару повітря та особливості його формування за різних метеорологічних умов.

Питанням дослідження, розрахунку та моделювання термічного режиму в ґрунті і приземному шарі повітря навколо рослин при застосуванні агрономічних та інженерно-технічних заходів присвячена значна кількість наукових праць закордонних та вітчизняних учених [4; 5; 6; 7].

Важливий внесок у дослідження температурного режиму гігморфних ґрунтів внесли М. О. Клименко та С. І. Веремеско, дослідженням осушених слабопідзолистих ґрунтів при обігріві займалися П. К. Кузьмич, Л. Волкова, В. П. Востріков та ін.

Н. Тарасюк під керівництвом проф. М. Г. Кота провела географічний аналіз гідротермічного режиму ґрунтів на прикладі Волинської області, здійснила оцінку теплових ресурсів орного шару та зробила спробу кореляційного аналізу температурних характеристик ґрунту і приземного шару повітря.

Вперше залежності для розрахунку температур ґрунту на різній глибині для умов ґрунту, що обігрівається рукавами були отримані І. В. Романюком [2]. Вказані залежності дозволяли за відомими даними про температуру теплої води в широкому рукаві і повітря розрахувати на достатньо високому рівні значущості температури ґрунту на глибині 5, 10 і 20 см.

З метою отримання даних про особливості функціонування системи поверхневого обігріву були проведені польові дослідження [8; 9; 10]. Експериментальна система обігріву працювала наступним чином (рис. 1): теплоносій із резервуара теплої води 1 під напором 0,1 м по трубопроводу 2 надходить до розподільчого колектора, який розподіляє його між рукавами 4. Тепла вода, проходячи по оболонках-рукавах, обігріває ґрунт та приземний шар повітря навколо рослин інтенсифікуючи процеси їх росту і розвитку. Охолоджена вода через колектор 5 надходить до всмоктувальної лінії насосного агрегата 6 та подається по трубопроводу 7 до

електронагрівача 8. В електронагрівачі 8 теплоносії нагрівається до заданої температури та надходить до резервуара теплої води 1. Витрата теплоносія, що надходить із резервуара 1 регулюється засувкою 12, після чого цикл повторюється. В системі обігріву підтримували температуру води в межах 20–25° С у березні-квітні, з підвищенням її до 30° С у травні.

Для забезпечення безперервності вимірювань температурних параметрів у середовищі «грунт – рослина – приземний шар повітря», підвищення кількості проведених вимірювань з постійною високою частотою була застосована спеціально розроблена автоматизована система збору даних (АСЗД) (рис. 2).

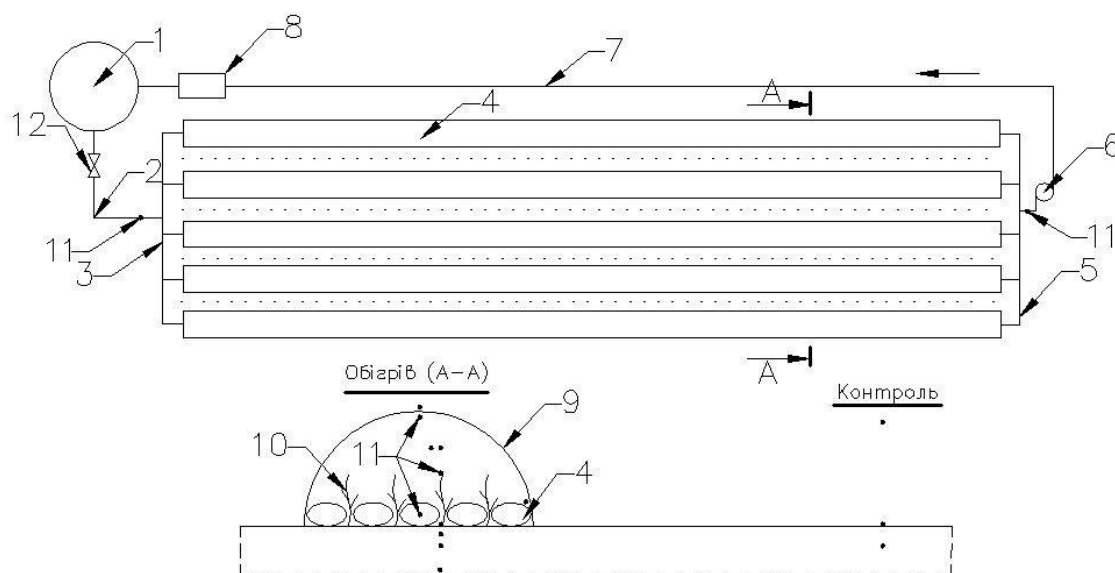


Рис. 1. Схема польового дослід з обігріву ґрунту:

- 1 – резервуар теплої води; 2 – трубопровід подачі теплоносія;
3 – розподільчий колектор; 4 – оболонка-рукав; 5 – збираючий колектор;
6 – насосний агрегат; 7 – транспортуючий трубопровід; 8 – електричний нагрівач; 9 – тунельне укриття з поліетиленової плівки; 10 – рослини;
11 – датчі температури; 12 – засувка

Вимірювання температурних параметрів відбувалось щохвилинно, а їх фіксація проводилась на персональному комп'ютері з інтервалом 5 хв.

Основою АСЗД є персональний комп'ютер (ПК) зі встановленою SCADA-системою TraceMode 6, до якого по послідовному інтерфейсу RS-485 підключені два модулі вводу аналогових сигналів MBA8 фірми «Овен». До кожного модуля MBA8 були підключені 8 датчиків температури.

Для вимірювання температури використані датчики типу «термометри опору» ТСМ-50 моделі «Овен ДТС014-50М.В3.20/0,2» з діапазоном вимірювання $-50...+150^{\circ}\text{C}$. Вказані датчики вибрані з урахуванням їх зручної малогабаритної форми (довжина циліндра 20 мм, діаметр 5 мм), корозійностійкого латунного корпусу, низької вартості та інерційності, достатньої точності ($0,5^{\circ}\text{C}$).

Датчики для зменшення впливу середовища датчики були підключені до модулів вводу аналогових сигналів екранованим кабелем, а з метою компенсації взаємного впливу опорів провідників була використана трипровідна схема.

Модулі вводу аналогових сигналів МВА8 використовуються для вимірювання температури від давачів, оцифрування сигналу, проведення попередньої обробки інформації та передачі її по інтерфейсу RS-485 до вибраного протоколу. Модулі МВА8 мають наступні технічні характеристики:

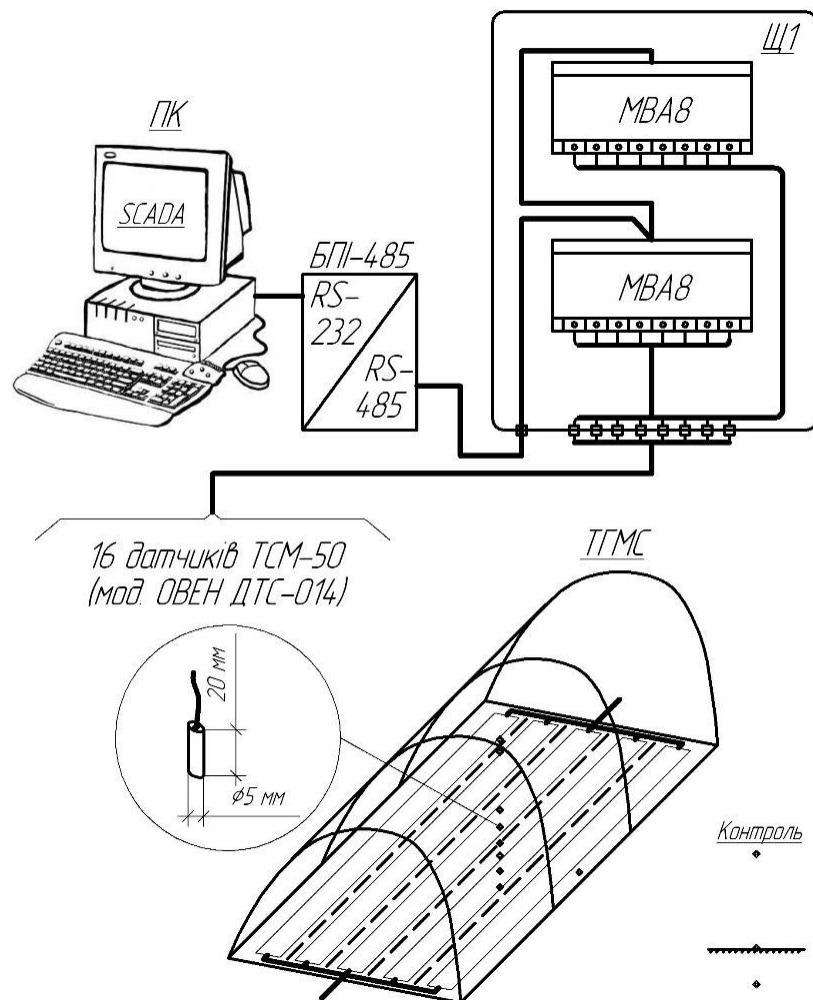


Рис. 2. Структурна схема автоматизованої системи збору даних



- живлення 90–245 В змінної напруги частотою 47–63 Гц;
- кількість каналів вимірювання – 8;
- час опитування одного каналу не більше 0,4 с;
- комунікаційний інтерфейс RS-485;
- протоколи зв'язку ODH, Modbus-RTU, Modbus-ASCII, DCON;
- можливе підключення датчиків: термометри опору (20 видів), термоелектричні перетворювачі (11 видів), уніфіковані сигнали постійного струму та напруги, датчики положення засувки, контактні дискретні датчики;
- потужність споживання 6 ВА;
- вбудоване джерело живлення 24 В (макс. 180 мА) для живлення датчиків.

Модулі вводу аналогових сигналів MBA8 розміщені в корпусі щита із ступенем захисту IP65 біля дослідної ділянки тепломеліоративної системи. На щиті встановлена лампа сигналізації наявності живлення, коло живлення захищене автоматичним вимикачем. Всі кабельні вводи виконані через герметичні сальники.

Модулі MBA8 послідовно підключені однією витю парю кабелю FTP-5 до перетворювача інтерфейсів RS-485/RS-232 моделі БПІ-485 підприємства «Мікрол». Перетворювач містить гальванічну розв'язку між інтерфейсами та живленням зовнішньою постійною напругою 24 В. На обох кінцях лінії зв'язку встановлені узгоджуючі резистори 120 Ом. Екран інтерфейсного кабелю заземлений.

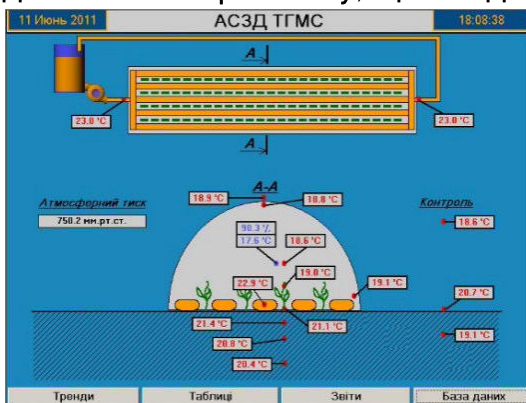
Обробка виміряної інформації, її архівування, відображення здійснюються на ПК дослідника-оператора. Основою АЗСД є SCADA-система TraceMode 6. Модуль RTM SCADA-системи в автоматичному режимі здійснює послідовне опитування каналів модулів MBA8 із заданим періодом (1 хв), здійснює попередню обробку інформації (фільтрування) та архівування в базу даних на жорсткий диск. Ємність архіву практично обмежена ємністю жорсткого диска. Для зручності обробки даних архівування здійснюється і в вбудовану в TraceMode базу даних, і в популярну реляційну базу даних Access, вбудовану в пакет Microsoft Office.

Інтерфейс оператора побудований в графічному вигляді (рис. 3, а). На екрані зображена схема ГС ПОГ і відображені вимірювані дані у відповідних точках відбору даних.

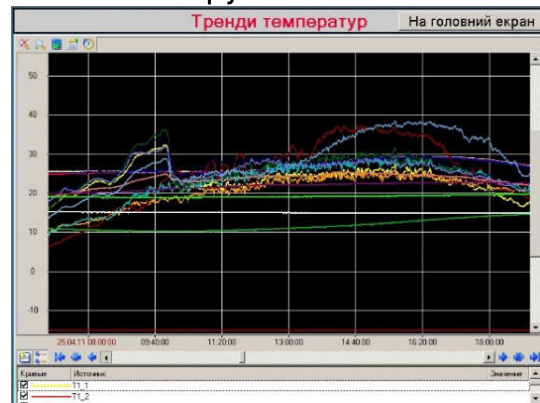
В SCADA-системі ведеться автоматичний розрахунок вологості повітря в укритті по значеннях температури вологого та сухого термометра. Значення атмосферного тиску вводиться оператором для корекції розрахунку вологості.

Знизу головного вікна розміщені кнопки виклику трендів (графіків) зміни температури (рис. 3, б), таблиць даних (рис. 3, в) та вікна генерування звітів (рис. 3, д).

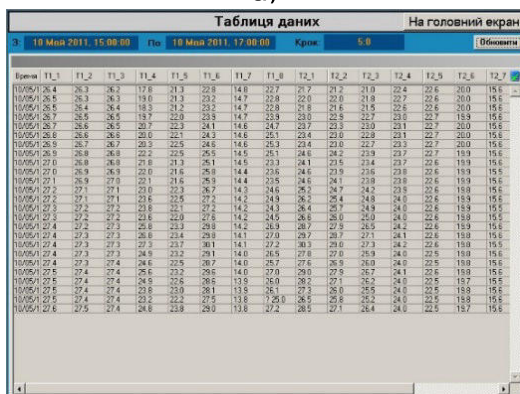
У вікні трендів температур відображаються графіки вимірної температури, здійснюється перегляд архівних графіків, можлива зміна масштабу та кольорових схем, відображення тільки вибраних даних і т.д. В таблиці даних відображаються всі виміряні та обраховані дані у встановленому діапазоні із заданим кроком. Для зручності перегляду та друку даних використовуються звіти в форматі гіпертекстових документів (вебсторінок). У звіті відображаються графіки температур та таблиці даних за вибраний діапазон та крок часу, що вводиться з вікна генерування звітів.



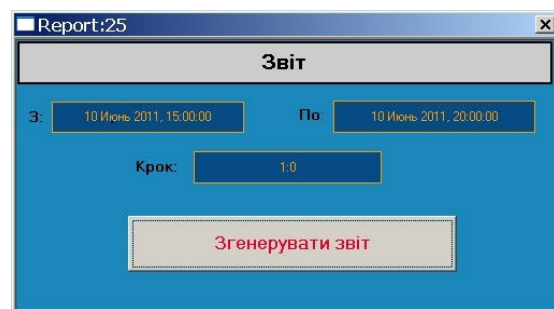
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Автоматизована система збору даних:

- а) головне вікно оператора АЗСД; б) тренди зміни температур ґрунту і повітря; в) таблиці відображення температурних даних; г) вікно генерування звітів

Температуру ґрунту на ділянці поверхневого обігріву вимірювали в автоматизованому режимі на глибинах 0, 10, 20, 40 см, температуру повітря в укритті на висотах – 10, 20, 30, 70 см. Додатково, в ручному режимі, температуру ґрунту періодично



вимірювали ртутними витяжними термометрами на глибинах 50, 80, 100 см.

Температуру повітря вимірювали також в укритті біля бічної поверхні плівки на висоті 20 см від поверхні ґрунту та ззовні укриття над плівкою. На контрольній ділянці температуру ґрунту вимірювали на глибині 0 і 20 см, а повітря на висоті 150 см.

В окремі дні та періоди доби, коли спостерігалися різкі зміни погодних умов, спостереження за температурою ґрунту та повітря проводилися з інтервалом у 5 хв та фіксацією характерного впливу таких змін на роботу системи обігріву.

Для інженерних розрахунків важливими є залежності, що надають можливість прогнозувати температуру ґрунту, що обігрівається, від температури води в рукавах-оболонках та температури повітря в метеобудці, а також температуру повітря під укриттям, особливо у нічні години, коли відсутня сонячна радіація. Такі залежності нами отримані за даними натурних спостережень.

За результатами спостережень за температурним режимом ґрунту і приземного шару повітря отримані залежності для визначення температури ґрунту на різній глибині в блок-секції ГС ПОГ залежно від температури поверхні ґрунту на контрольній ділянці, температури повітря на контрольній ділянці на висоті 2,0 м та температури теплої води, що протікає в оболонках-рукавах блок-секції ГС ПОГ.

Для температури ґрунту, що обігрівається:

- на поверхні в блок-секції ГС ПОГ залежність матиме вигляд:

$$t_{\text{пов.ґрунту}}^{\text{ГС ПОГ}} = 0,7162 \cdot t_{\text{води}}^{\text{ГС ПОГ}} + 0,1858 \cdot t_{\text{пов.ґрунту}}^{\text{КД}}; R^2 = 0,9929; \quad (1)$$

$$t_{\text{пов.ґрунту}}^{\text{ГС ПОГ}} = 0,7039 \cdot t_{\text{води}}^{\text{ГС ПОГ}} + 0,2219 \cdot t_{\text{повітря } 2,0 \text{ м}}^{\text{КД}}; R^2 = 0,9933, \quad (2)$$

де $t_{\text{пов.ґрунту}}^{\text{ГС ПОГ}}$ – температура на поверхні ґрунту в блок-секції ГС ПОГ, °С;

$t_{\text{води}}^{\text{ГС ПОГ}}$ – температура теплої води в блок-секції ГС ПОГ, °С;

$t_{\text{пов.ґрунту}}^{\text{КД}}$ – температура поверхні ґрунту на контрольній ділянці, °С;

$t_{\text{повітря } 2,0 \text{ м}}^{\text{КД}}$ – температура повітря на контрольній ділянці на висоті 2,0 м, °С

- на глибині 0,1 м в блок-секції ГС ПОГ:

$$t_{\text{гр.0,1}}^{\text{ГС ПОГ}} = 0,7522 \cdot t_{\text{води}}^{\text{ГС ПОГ}} + 0,0965 \cdot t_{\text{пов.ґрунту}}^{\text{КД}}; R^2 = 0,9906; \quad (3)$$

$$t_{гр.0,1}^{ГС ПОГ} = 0,7387 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,1303 \cdot t_{повітря\ 2,0\ м}^{КД}; R^2 = 0,9912; \quad (4)$$

- на глибині 0,2 м в блок-секції ГС ПОГ:

$$t_{гр.0,2}^{ГС ПОГ} = 0,6656 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,113 \cdot t_{пов.грунту}^{КД}; R^2 = 0,9659; \quad (5)$$

$$t_{гр.0,2}^{ГС ПОГ} = 0,6487 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,1547 \cdot t_{повітря\ 2,0\ м}^{КД}; R^2 = 0,9670; \quad (6)$$

- на глибині 0,4 м в блок-секції ГС ПОГ:

$$t_{гр.0,4}^{ГС ПОГ} = 0,5396 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,0877 \cdot t_{пов.грунту}^{КД}; R^2 = 0,6899; \quad (7)$$

$$t_{гр.0,4}^{ГС ПОГ} = 0,5369 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,0981 \cdot t_{повітря\ 2,0\ м}^{КД}; R^2 = 0,6898. \quad (8)$$

Як видно, залежність для визначення температури ґрунту на глибині 0,4 в блок-секції ГС ПОГ має середній коефіцієнт детермінації, що не дозволяє на достатньому інженерно-науковому рівні визначати величини температур на вказаній глибині. Тому нами запропоновано залежність (7–8) доповнити температурою ґрунту на глибині 0,2 м в блок-секції ГС ПОГ, після чого вони набувають вигляду:

$$t_{гр.0,4}^{ГС ПОГ} = 1,0186 \cdot t_{гр.0,2}^{ГС ПОГ} - 0,2118 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,0709 \cdot t_{пов.грунту}^{КД}; R^2 = 0,9958; \quad (9)$$

$$t_{гр.0,4}^{ГС ПОГ} = 0,5735 \cdot t_{гр.0,2}^{ГС ПОГ} - 0,0944 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,1191 \cdot t_{повітря\ 2,0\ м}^{КД}; R^2 = 0,9833. \quad (10)$$

Поверхневий обігрів рукавами-оболонками сприяє обігріву не лише кореневмісного шару ґрунту, але й приземного шару повітря. Аналіз даних дозволив встановити залежності для визначення температур приземного шару повітря в блок-секції ГС ПОГ на різних висотах залежно від температури води в оболонці-рукаві та повітря на контрольній ділянці на висоті 2,0 м:

- на висоті 0,2 м:

$$t_{пов.0,2}^{ГС ПОГ} = 0,5175 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,5323 \cdot t_{повіт.2,0}^{КД}; R^2 = 0,9747; \quad (11)$$

- на висоті 0,3 м:

$$t_{пов.0,3}^{ГС ПОГ} = 0,4711 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,6033 \cdot t_{повіт.2,0}^{КД}; R^2 = 0,9636; \quad (12)$$

- на висоті 0,7 м:

$$t_{пов.0,7}^{ГС ПОГ} = 0,4454 \cdot t_{води}^{ГС ПОГ} + 0,6152 \cdot t_{повіт.2,0}^{КД}; R^2 = 0,9668. \quad (13)$$

За результатами натурних спостережень для контрольної ділянки також отримані залежності взаємозв'язку між температурами ґрунту і повітря:

- для розрахунку температури на поверхні ґрунту залежно від температури повітря на висоті 2,0 м:

$$t_{поверх.\ гр.}^{КД} = 1,0663 \cdot t_{повітря\ 2,0\ м}^{КД}; R^2 = 0,9626; \quad (14)$$

- для розрахунку температури ґрунту на глибині 0,2 м залежно від температури повітря на висоті 2,0 м:



$$t_{гр.0,2}^{КД} = 0,7816 \cdot t_{повітря\ 2,0\ м}^{КД}; R^2 = 0,8524. \quad (15)$$

Важливим науково-практичним результатом є можливість прогнозувати ефективність поверхневого обігріву у нічні години (з 24⁰⁰ до 6⁰⁰). З цією метою нами було опрацьовано дані спостережень та отримані залежності температур ґрунту на різній глибині та повітря в блок-секції ГС ПОГ залежно від температури води в рукаві-оболонці та повітря навколишнього середовища.

Для температури ґрунту у нічні години (з 24⁰⁰ до 6⁰⁰):

- на поверхні в блок-секції ГС ПОГ залежність матиме вигляд:

$$t_{пов.ґрунту}^{ГС\ ПОГ} = 0,6288 \cdot t_{води}^{ГС\ ПОГ} + 0,4329 \cdot t_{повітря\ 2,0\ м}^{КД}; R^2 = 0,9971, \quad (16)$$

де $t_{пов.ґрунту}^{ГС\ ПОГ}$ – температура на поверхні ґрунту в блок-секції ГС ПОГ, °С;

$t_{води}^{ГС\ ПОГ}$ – температура теплої води в блок-секції ГС ПОГ, °С;

$t_{пов.ґрунту}^{КД}$ – температура поверхні ґрунту на контрольній ділянці, °С;

$t_{повітря\ 2,0\ м}^{КД}$ – температура повітря на контрольній ділянці на висоті 2,0 м, °С

- на глибині 0,1 м в блок-секції ГС ПОГ:

$$t_{гр.0,1}^{ГС\ ПОГ} = 0,6696 \cdot t_{води}^{ГС\ ПОГ} + 0,4544 \cdot t_{повітря\ 2,0\ м}^{КД}; R^2 = 0,9939; \quad (17)$$

- на глибині 0,2 м в блок-секції ГС ПОГ:

$$t_{гр.0,2}^{ГС\ ПОГ} = 0,5910 \cdot t_{води}^{ГС\ ПОГ} + 0,5530 \cdot t_{повітря\ 2,0\ м}^{КД}; R^2 = 0,9837; \quad (18)$$

- на глибині 0,4 м в блок-секції ГС ПОГ:

$$t_{гр.0,4}^{ГС\ ПОГ} = 0,5971 \cdot t_{води}^{ГС\ ПОГ} + 0,1448 \cdot t_{повітря\ 2,0\ м}^{КД}; R^2 = 0,5162. \quad (19)$$

Таким чином, для температури повітря в блок-секції ГС ПОГ у нічні години залежності матимуть вигляд:

- на висоті 0,2 м:

$$t_{пов.0,2}^{ГС\ ПОГ} = 0,5114 \cdot t_{води}^{ГС\ ПОГ} + 0,3090 \cdot t_{повіт.2,0}^{КД}; R^2 = 0,9949; \quad (20)$$

- на висоті 0,3 м:

$$t_{пов.0,3}^{ГС\ ПОГ} = 0,3240 \cdot t_{води}^{ГС\ ПОГ} + 0,4629 \cdot t_{повіт.2,0}^{КД}; R^2 = 0,9942; \quad (21)$$

- на висоті 0,7 м:

$$t_{пов.0,7}^{ГС\ ПОГ} = 0,4264 \cdot t_{води}^{ГС\ ПОГ} + 0,3842 \cdot t_{повіт.2,0}^{КД}; R^2 = 0,9933. \quad (22)$$

Натурними польовими дослідженнями встановлено, що поверхневий обігрів ґрунту рукавами-трубопроводами, в яких циркулює тепла вода з температурою 20–30° С, підвищує

температуру орного шару на $12\text{--}16^{\circ}\text{C}$ в ґрунті та $7\text{--}12^{\circ}\text{C}$ у повітрі, що забезпечує достатні умови для росту і розвитку рослин ранньою весною.

Зауважимо, що отримані вище залежності (1–21) можна використовувати для умов використання п'яти рукавів діаметром 0,1 м, що розташовані на ділянці ґрунту шириною 1,0 м і захищені тунельним укриттям із плівки товщиною 100 мкм. Отримані більш точні залежності для розрахунку температур ґрунту на поверхні та на глибині 10, 20 і 40 см в умовах обігріву оболонками-рукавами. Окрім того, вперше встановлені залежності для розрахунку температур повітря на висоті 20, 30, 70 см в укриттях ГС ПОГ. Аналіз даних спостережень за ґрунтом у природному стані дозволив встановити залежності зміни температури ґрунту від температури повітря.

1. Пінчук О. Л. Обґрунтування конструкції та параметрів гідротехнічної системи поверхневого обігріву ґрунту оболонками-рукавами при використанні скидних теплих вод : дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / Нац. унів. водн. госп. та природокористування. Рівне, 2012. 255 с.
2. Романюк І. В. Теплова меліорація ґрунту скидною теплою водою за допомогою гідротехнічної системи з теплообмінниками-рукавами (в умовах Західного Полісся України) : дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / Нац. унів. водн. госп. та природокористування. Рівне, 2007. 249 с.
3. Герасімов Є. Г., Пінчук О. Л., Романюк І. В., Куницький С. О., Шатний С. В., Іванчук Н. В. Гідравлічний розрахунок та обґрунтування параметрів системи поверхневого обігріву ґрунту. *Вісник НУБГП. Сер. Технічні науки*. 2024. Вип. 1(105). С. 54–62.
4. Yadav B., Krishnan P., Parihar C.M., Banerjee K. Modelling crop growth and soil hydrothermal regimes under conservation agriculture using APSIM-wheat. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Art. 20211. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-20211-6> (дата звернення: 10.05.2025).
5. Zhang Z., Li Y., Wang L., Cheng W., Liu Z. A Study of the Soil–Wall–Indoor Air Thermal Environment in a Solar Greenhouse. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 13. P. 4041. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/13/4041> (дата звернення: 10.05.2025).
6. Zhao S. et al. Modelling the mechanism of heat and moisture transfer in soil and air inside the mulch under greenhouse mulch film cover. *Renewable Energy*. 2025. Vol. 245. Art. 122767. URL: <https://ideas.repec.org/a/eee/renene/v245y2025ics096014812500429x.html> (дата звернення: 10.05.2025).
7. Biliaieva V. V., Shcherbyna S. A. Express Model for Analyzing the Process of Soil Heating in a Greenhouse. *Science and Transport Progress*. 2025. Vol. 1, No. 109. P. 14–22. URL: <https://stp.ust.edu.ua/article/view/324153> (дата звернення: 10.05.2025).
8. Востріков В. П., Мельник В. С., Пінчук О. Л., Гнатюк В. М. Методика натурних досліджень роботи системи поверхневого обігріву ґрунту та автоматизованого збору температурних даних. *Вісник НУБГП. Сер. Технічні науки*. 2011. Вип. 2(54). С. 40–49.
9. Герасімов Є. Г., Пінчук О. Л., Романюк І. В., Куницький С. О., Шатний С. В., Іванчук Н. В. Методика натурних досліджень роботи системи поверхневого обігріву ґрунту та автоматизованого збору температурних даних. *Вісник НУБГП. Сер. Технічні науки*. 2023. Вип. 3(103). С. 36–43.
10. Герасімов Є. Г., Пінчук О. Л., Романюк І. В., Куницький С. О., Іванчук Н. В. Водний режим ґрунту в



блок-секціях гідротехнічних систем та його регулювання краплинними системами зрошення. *Вісник НУВГП. Сер. Технічні науки*. 2023. Вип. 1(101). С. 16–30.

REFERENCES:

1. Pinchuk O. L. Obgruntuvannia konstruktsii ta parametriv hidrotekhnichnoi systemy poverkhnevoho obihrivu gruntu obolonkamy-rukavamy pry vykorystanni skydnykh teplykh vod : dys. ... kand. tekhn. nauk : 06.01.02 / Nats. univ. vodn. hosp. ta pryrodokorystuvannia. Rivne, 2012. 255 s.
2. Romaniuk I. V. Teplova melioratsiia gruntu skydnoiu teploiu vodoiu za dopomohoiu hidrotekhnichnoi systemy z teploobminnykamy-rukavamy (v umovakh Zakhidnoho Polissia Ukrainy) : dys. ... kand. tekhn. nauk : 06.01.02 / Nats. univ. vodn. hosp. ta pryrodokorystuvannia. Rivne, 2007. 249 s.
3. Herasimov Ye. H., Pinchuk O. L., Romaniuk I. V., Kunytskyi S. O., Shatnyi S. V., Ivanchuk N. V. Hidravlichnyi rozrakhunok ta obgruntuvannia parametriv systemy poverkhnevoho obihrivu gruntu. *Visnyk NUVHP. Ser. Tekhnichni nauky*. 2024. Vyp. 1(105). S. 54–62.
4. Yadav B., Krishnan P., Parihar C.M., Banerjee K. Modelling crop growth and soil hydrothermal regimes under conservation agriculture using APSIM-wheat. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Art. 20211. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-20211-6> (data zvernennia: 10.05.2025).
5. Zhang Z., Li Y., Wang L., Cheng W., Liu Z. A Study of the Soil–Wall–Indoor Air Thermal Environment in a Solar Greenhouse. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 13. P. 4041. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/13/4041> (data zvernennia: 10.05.2025).
6. Zhao S. et al. Modelling the mechanism of heat and moisture transfer in soil and air inside the mulch under greenhouse mulch film cover. *Renewable Energy*. 2025. Vol. 245. Art. 122767. URL: <https://ideas.repec.org/a/eee/renene/v245y2025ics096014812500429x.html> (data zvernennia: 10.05.2025).
7. Biliaieva V. V., Shcherbyna S. A. Express Model for Analyzing the Process of Soil Heating in a Greenhouse. *Science and Transport Progress*. 2025. Vol. 1, No. 109. P. 14–22. URL: <https://stp.ust.edu.ua/article/view/324153> (data zvernennia: 10.05.2025).
8. Vostrikov V. P., Melnyk V. S., Pinchuk O. L., Hnatiuk V. M. Metodyka naturnykh doslidzhen roboty systemy poverkhnevoho obihrivu gruntu ta avtomatyzovanoho zboru temperaturnykh danykh. *Visnyk NUVHP. Ser. Tekhnichni nauky*. 2011. Vyp. 2(54). S. 40–49.
9. Herasimov Ye. H., Pinchuk O. L., Romaniuk I. V., Kunytskyi S. O., Shatnyi S. V., Ivanchuk N. V. Metodyka naturnykh doslidzhen roboty systemy poverkhnevoho obihrivu gruntu ta avtomatyzovanoho zboru temperaturnykh danykh. *Visnyk NUVHP. Ser. Tekhnichni nauky*. 2023. Vyp. 3(103). S. 36–43.
10. Herasimov Ye. H., Pinchuk O. L., Romaniuk I. V., Kunytskyi S. O., Ivanchuk N. V. Vodnyi rezhym gruntu v blok-sektsiakh hidrotekhnichnykh system ta yoho rehuliuвання kraplynnymy systemamy zroshennia. *Visnyk NUVHP. Ser. Tekhnichni nauky*. 2023. Vyp. 1(101). S. 16–30.

Pinchuk O. L. [1; ORCID ID: 0009-0004-4940-8389],
Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,
Ivanchuk N. V. [1; ORCID ID: 0000-0002-6824-9406],
Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,
Boichura M. V. [1; ORCID ID: 0000-0002-9073-4037],
Candidate of Engineering (Ph.D.), Senior Lecturer,
Kunytskyi M. O. [1; ORCID ID: 0000-0003-1700-8167],
Junior Research Fellow,
Kardash O. S. [1; ORCID ID: 0009-0002-4343-4071],
Post-graduate Student,
Holub A. S. [1; ORCID ID: 0009-0003-2356-5469],
Post-graduate Student,
Shostak L. V. [1; ORCID ID: 0000-0002-7881-7366],
Post-graduate Student,
Pinchuk D. O. [1; ORCID ID: 0009-0004-4940-8389],
Senior Student

¹National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

ANALYTICAL RELATIONSHIPS FOR CALCULATING THE TEMPERATURE REGIME IN A BLOCK SECTION OF A HYDROTECHNICAL SURFACE SOIL HEATING SYSTEM

Research and justification of surface soil heating systems using low-temperature water resources necessitate comprehensive field experiments to acquire reliable information on soil temperature regimes and the thermal behavior of the near-surface air layer under varying meteorological conditions. Understanding these dynamics is crucial for optimizing system design and ensuring effective thermal management in agricultural environments. Structurally and technologically, the surface heating approach can be implemented through a specialized hydrotechnical system, whose primary components are sleeve-shells in the form of flexible pipelines. These pipelines are systematically arranged into block sections and further integrated into block modules, enabling modular deployment and scalable design according to the requirements of specific soil plots. To obtain precise operational data on the surface heating system, extensive field studies were conducted. Continuous measurement of temperature parameters within the “soil–plant–near-surface air” environment was ensured through a specially developed automated data acquisition system, which significantly increased the frequency and reliability of temperature monitoring, providing a robust dataset for subsequent analysis. Experimental results demonstrated that circulating warm water at 20–30° C



through the sleeve-pipelines elevates the temperature of the arable soil layer by 12–16° C, while increasing the temperature of the near-surface air by 7–12° C. Such thermal conditions are sufficient to support early spring plant growth and development, thus extending the effective growing season. The obtained dependencies are applicable for configurations utilizing five sleeves of 0.1 m diameter, distributed across a soil plot 1.0 m wide and protected by a tunnel covering composed of 100 μ m thick film. The research further provides detailed relationships for calculating soil temperatures at the surface and at depths of 10, 20, and 40 cm, allowing accurate prediction of thermal gradients within the soil profile under operational heating conditions. Additionally, for the first time, dependencies were established for calculating air temperatures at heights of 20, 30, and 70 cm within tunnel-covered surface heating systems. Analysis of soil temperature behavior in natural conditions also allowed the determination of functional relationships between soil and air temperatures, offering predictive capability for thermal regime management under diverse agrotechnical and climatic scenarios. These findings provide a foundation for optimizing surface soil heating systems to enhance plant growth efficiency and improve early-season agricultural productivity.

Keywords: hydrotechnical system; surface heating; analytical relationships; temperature regime.

Отримано: 17 червня 2025 року
Прорецензовано: 02 вересня 2025 року
Прийнято до друку: 25 вересня 2025 року