

УДК 631.6

Востріков В.П., к.т.н., доцент, Мельник В.С., ст. викладач, Пінчук О.Л., асистент, Гнатюк В.М., аспірант (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

МЕТОДИКА НАТУРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ СИСТЕМИ ПОВЕРХНЕВОГО ОБІГРІВУ ҐРУНТУ ТА АВТОМАТИЗОВАНОГО ЗБОРУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДАНИХ

Запропоновано автоматизовану систему збору температурних даних при дослідженні поверхневого обігріву ґрунту рукавами-теплообмінниками з використанням скидної низькотемпературної води промислових і енергетичних об'єктів.

Ключові слова: скидна тепла вода, поверхневий обігрів, теплотехнічний експеримент, рукав-теплообмінник.

Предложено автоматизированную систему сбора температурных данных при исследовании поверхностного обогрева почвы рукавами-теплообменниками с использованием сбросной низкотемпературной воды промышленных и энергетических объектов.

Ключевые слова: сбросная теплая вода, поверхностный обогрев, теплотехнический эксперимент, рукав-теплообменник.

An automated system for temperature data collection was proposed. The research in surface soil heating by heat exchangers sleeves with a use of discharge heat water from the industrial and energy objects was used in this system as well.

Keywords: discharge heat water, surface heating, heating engineering experiment, heat exchangers sleeves.

Дослідження, розроблення та обґрунтування конструкцій тепломеліоративних систем, зокрема систем поверхневого обігріву ґрунту рукавами-теплообмінниками з використанням низькотемпературних водних ресурсів [1, 4], потребує проведення натурних теплотехнічних 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 та приземному шарі повітря навколо рослин при застосуванні агрономічних та тепломеліоративних інженерно-технічних заходів присвячена значна кількість наукових праць закордонних та вітчизняних учених.

Зокрема, варто виділити дослідження, які були проведені А.Ф. Чуднов-

ським та Д.О. Куртєнером, Є.Є. Вишневським, А.М. Бутовим, Л.І. Луніним, С.В. Макаричевим, М.М. Лінкевичем, О.Е. Власовим, Е.П. Шубіним, Л.М. Альтшулером, С.С. Бенусовичем, О.І. Іоффе, Т.О. Архангельською, В.П. Востріковим та І.В. Романюком тощо.

В роботі І.В. Романюка [1] досліджено поверхневий обігрів широкими рукавами-теплообмінниками з отворами для вирощування рослин та каналами для циркуляції теплоносія при додатковому захисті ґрунту укривтями тунельного типу із поліетиленової плівки (в умовах Полісся України). На основі аналізу отриманих результатів встановлено, що для більш повного і точного опису процесів теплообміну потребують додаткового дослідження розподілу температур в приземному шарі повітря та в ґрунті за межами укривтя, вплив метеорологічних умов на формування термічного режиму, в першу чергу, несприятливих умов навколишнього середовища (заморозків, вітру, опадів тощо).

Основною інформацією при теплотехнічних дослідженнях є дані про температурний режим в середовищі «ґрунт – рослина – приземний шар повітря». Більшість дослідників вимірювали температуру ґрунту й повітря ртутними чи спиртовими термометрами, електротермометрами в ручному режимі, що не дозволяє отримувати цілодобові дані у безперервному режимі.

З метою отримання більш достовірних і точних даних про термічний режим ґрунту та приземного шару повітря в умовах Полісся України нами була обладнана дослідна ділянка зі спеціальною системою поверхневого обігріву ґрунту водонаповненими рукавами-теплообмінниками у вигляді трубопроводів. Технологія поверхневого обігріву ґрунту є базовою для створення спеціальних тепломеліоративних систем [1, 4], що призначені для надраннього вирощування сільськогосподарських культур. Джерелом теплової енергії в таких системах є скидні теплі води промислових чи енергетичних об'єктів або низькотемпературні підземні води з температурою від 20 до 40 °С.

У визначенні ефективності тепломеліоративних систем поверхневого обігріву ґрунту важливими є постановка і проведення натурних досліджень.

Натурні дослідження з обігріву ґрунту скидною теплою водою проводились нами шляхом постановки спеціального досліду, в якому безперервний обігрів ґрунту проводився впродовж березня – травня з постійним вимірюванням температур ґрунту, приземного шару повітря і води в системі обігріву для характерних точок середовища «ґрунт – рослина – приземний шар повітря». Для порівняльного аналізу проводили також паралельні спостереження за зовнішньою температурою повітря та ґрунту на контрольній ділянці, ґрунт на якій не обігрівався. Площа ділянки обігріву складала 6,5 м².

У натурному експерименті була використана дослідна система поверхневого обігріву ґрунту (рис. 1), що складається з рукавів-теплообмінників, розташованих на поверхні ґрунту та об'єднаних для зручності експлуатації у секцію за допомогою розподільного та збираючого колекторів. Рукави-

теплообмінники були виконані із поліетиленової плівки товщиною 200 мкм і мали діаметр 100 мм при повному напірному наповненні водою.

Циркуляція теплої води здійснювалась за допомогою насосного агрегату CDXM/A 90/10, а її підігрів – електроводонагрівальною установкою КЕО-4,5-6/380(220)-Б потужністю 3,0 кВт, конструкція якої дозволяє відключати окремі нагрівачі і тим самим подавати в систему обігріву теплу воду потрібної температури. Температура теплоносія моделювалась відповідно до температурного режиму циркуляційних вод Хмельницької АЕС навесні і підтримувалась у певних межах за допомогою терморегулятора ТК-4 з похибкою регулювання $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. У системі обігріву, яка працювала повністю у закритому циклі, використовували водопровідну воду.

Кількість води, яка циркулювала в системі обігріву, визначали за допомогою крильчастого лічильника води КВ-1,5, відносна похибка вимірювань якого складає $\pm 2\%$, а регулювання витрати води в системі і рукавах виконували засувкою сферичного типу. Вимірювання об'ємів прокачаної води проводили двічі на добу, о 7 та 19 годині, загальну витрату води розраховували за вимірними об'ємами.

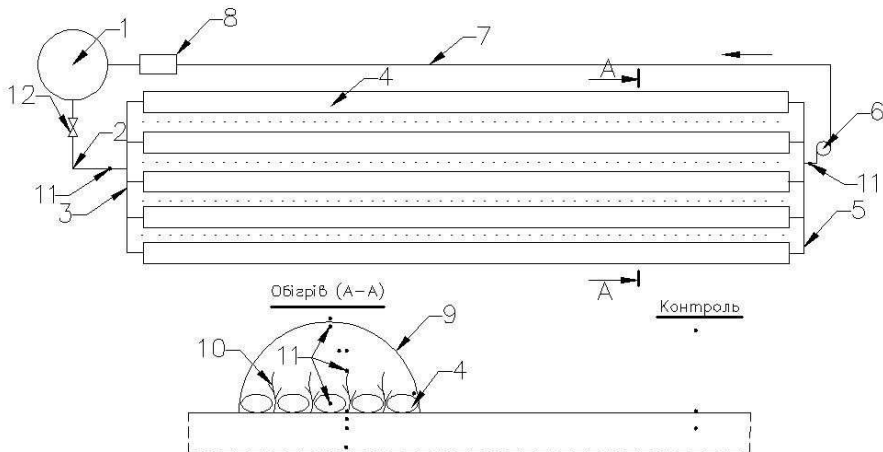


Рис. 1. Схема натурного дослідження з обігріву ґрунту:

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

Споживання електричної енергії, яка витрачалася на підігрів води та роботу насоса, фіксувалось лічильником ЦЭ6807П 1 класу точності з похибкою вимірювань $\pm 1,0\%$.

Як вказує ряд наукових публікацій [2, 3, 4], ефективність вирощування

сільськогосподарських культур досягає максимальних ефектів за умови застосування укривних матеріалів у вигляді тунелів. При цьому найкращі результати спостерігаються при використанні в якості укривного матеріалу поліетиленової плівки [5, 6].

З метою найбільш ефективного використання теплової енергії води для обігріву рослин і створення комфортних умов для їх вирощування додатково використовували тунельні укриття, які дозволяли відкритий ґрунт тимчасово перевести у захищений. Сферичні дуги укриття виготовлялися із арматурного дроту діаметром 10 мм, у якості світлопрозорого екрану використовували поліетиленову плівку товщиною 100 мкм.

Експериментальна система обігріву працювала наступним чином (рис. 1): теплоносій із резервуара теплої води 1 під напором 0,1 м трубопроводом 2 надходить до розподільчого колектора, який розподіляє його між рукавами 4. Тепла вода, проходячи через теплообмінники, 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 трубопроводом 7 до електронагрівача 8. В електронагрівачі 8 теплоносій 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°C у березні – квітні, з підвищенням її до 30°C у травні.

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

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

Основою АСЗД є персональний комп'ютер (ПК) із встановленою SCADA-системою TraceMode 6, до якого по послідовному інтерфейсу RS-485 підключені два модулі вводу аналогових сигналів МВА8 фірми «Овен». До кожного модуля МВА8 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 °С. 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 °С).

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.

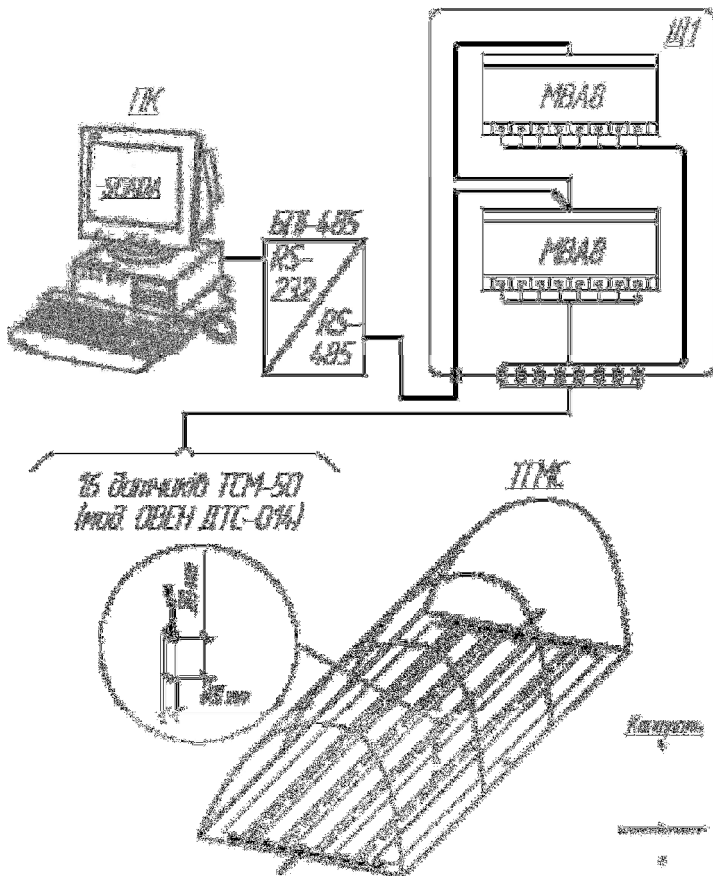


Рис. 2. Структурна схема автоматизованої системи збору даних

Модулі вводу аналогових сигналів MBA8 використовуються для вимірювання температури від датчиків, оцифрування сигналу, проведення попередньої обробки інформації та передачі її по інтерфейсу RS-485 до вибраного протоколу. Модулі MBA8 мають наступні технічні характеристики:

- 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 OBEH, 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 витотою парою кабеля 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 кабеля заземлений.

Обробка вимірної інформації, її архівування, відображення здійснюються на ПК дослідника-оператора. Основою АЗСД є SCADA-система TraseMode 6 фірми AdAstra (Росія). 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 TraseMode базу даних, і в популярну реляційну базу даних Access, вбудовану в пакет Microsoft Office.

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

В SCADA-системі ведеться автоматичний розрахунок вологості повітря в укритті за значеннями 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. 4), таблиць даних (рис. 5) та вікна генерування звітів (рис. 6).

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.

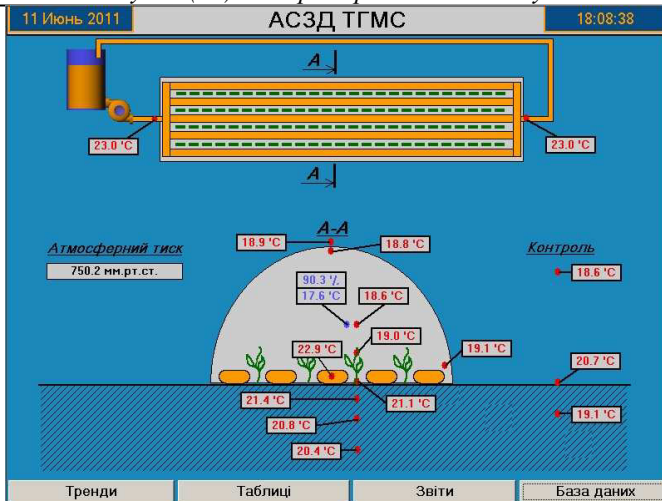


Рис. 3. Головне вікно оператора АЗСД ТГМС

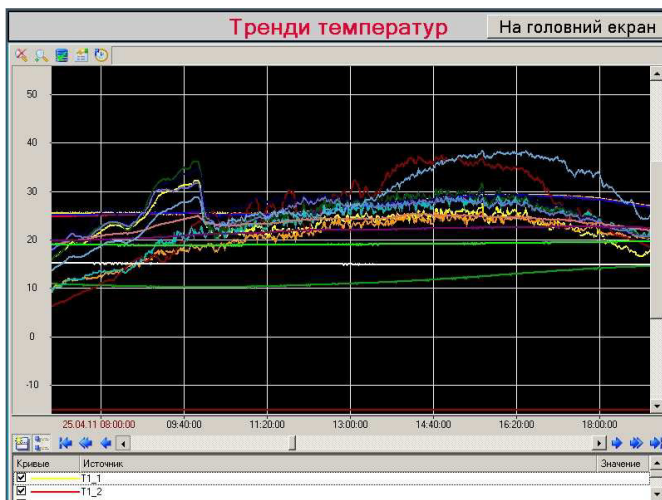


Рис. 4. Тренди зміни температур ґрунту і повітря

В таблиці даних відображаються всі виміряні та обраховані дані у встановленому діапазоні із заданим кроком.

Таблиця даних На головний екран

З: 10 Май 2011, 15:00:00 По: 10 Май 2011, 17:00:00 Крок: 5:0 Обновити

Время	T1_1	T1_2	T1_3	T1_4	T1_5	T1_6	T1_7	T1_8	T2_1	T2_2	T2_3	T2_4	T2_5	T2_6	T2_7
10/05/1 26.4	26.3	26.2	17.8	21.3	22.8	14.8	22.7	21.7	21.2	21.0	22.4	22.6	20.0	15.6	
10/05/1 26.5	26.3	26.3	19.0	21.3	23.2	14.7	22.8	22.0	22.0	21.9	22.7	22.6	20.0	15.6	
10/05/1 26.5	26.4	26.4	18.3	21.2	23.2	14.7	22.8	21.9	21.6	21.5	22.6	22.6	20.0	15.6	
10/05/1 26.7	26.5	26.5	18.7	22.0	23.9	14.7	23.3	23.0	22.9	22.7	23.0	22.7	19.9	15.6	
10/05/1 26.7	26.5	26.5	20.7	22.1	24.1	14.6	24.7	23.7	23.3	23.0	23.1	22.7	20.0	15.6	
10/05/1 26.8	26.5	26.6	20.0	22.1	24.3	14.6	25.1	23.4	23.0	22.9	23.1	22.7	20.0	15.6	
10/05/1 26.9	26.7	26.7	20.3	22.5	24.6	14.6	25.3	23.4	23.0	22.7	23.3	22.7	20.0	15.6	
10/05/1 26.9	26.8	26.8	22.2	22.5	25.5	14.5	26.1	24.6	24.2	23.9	23.7	22.7	19.9	15.6	
10/05/1 27.0	26.8	26.8	21.8	21.3	25.1	14.5	23.3	24.1	23.5	23.4	23.7	22.6	19.9	15.6	
10/05/1 27.0	26.9	26.9	22.0	21.6	25.8	14.4	23.6	24.6	23.9	23.6	23.8	22.6	19.9	15.6	
10/05/1 27.1	26.9	27.0	22.1	21.6	25.9	14.4	23.5	24.6	24.1	23.9	23.8	22.6	19.9	15.6	
10/05/1 27.2	27.1	27.1	23.0	22.3	26.7	14.3	24.6	25.2	24.7	24.2	23.9	22.6	19.8	15.6	
10/05/1 27.2	27.1	27.1	23.6	22.5	27.2	14.2	24.9	26.2	26.4	24.8	24.0	22.6	19.9	15.6	
10/05/1 27.3	27.2	27.2	23.8	22.1	27.2	14.2	24.3	26.4	26.7	24.9	24.0	22.6	19.9	15.6	
10/05/1 27.3	27.2	27.2	23.6	22.0	27.6	14.2	24.5	26.6	26.0	25.0	24.0	22.6	19.8	15.5	
10/05/1 27.4	27.2	27.3	26.8	23.3	29.8	14.2	26.3	28.7	27.9	26.5	24.2	22.6	19.9	15.6	
10/05/1 27.4	27.3	27.3	26.9	23.4	29.8	14.1	27.0	29.7	28.7	27.1	24.1	22.6	19.9	15.6	
10/05/1 27.4	27.3	27.3	27.3	23.7	30.1	14.1	27.2	30.3	29.0	27.3	24.2	22.6	19.8	15.5	
10/05/1 27.4	27.3	27.3	24.9	23.2	29.1	14.0	26.5	27.8	27.0	26.3	24.0	22.5	19.8	15.6	
10/05/1 27.4	27.3	27.4	24.6	22.5	28.7	14.0	26.7	27.6	26.9	26.0	24.0	22.5	19.9	15.6	
10/05/1 27.5	27.4	27.4	26.6	23.2	29.6	14.0	27.0	29.0	27.9	26.7	24.1	22.6	19.8	15.6	
10/05/1 27.5	27.4	27.4	24.9	22.6	28.6	13.9	26.0	28.2	27.1	26.2	24.0	22.5	19.7	15.5	
10/05/1 27.5	27.4	27.4	23.8	23.0	29.1	13.9	26.1	27.9	26.0	26.5	24.0	22.5	19.9	15.6	
10/05/1 27.5	27.4	27.4	23.2	22.2	27.5	13.8	25.0	26.5	26.9	25.2	24.0	22.5	19.8	15.6	
10/05/1 27.6	27.5	27.4	24.8	23.8	29.0	13.8	27.2	28.5	27.1	26.4	24.0	22.5	19.7	15.6	

Рис. 5. Таблиці відображення температурних даних

Для зручності перегляду та друку даних використовуються звіти в форматі гіпертекстових документів (веб-сторінок). У звіті відображаються графіки температур та таблиці даних за вибраний діапазон та крок часу, що вводиться з вікна генерування звітів (рис. 6).

Report:25 X

Звіт

З: По:

Крок:

Згенерувати звіт

Рис. 6. 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.

На формування теплового режиму та процеси теплопередачі і теплообміну в ґрунті значний вплив здійснює його вологість. Дослідженнями було передбачено проведення систематичних спостережень за водним режимом ґрунту.

Кількість атмосферних опадів вимірювали за допомогою опадоміра Третьякова. Вологість ґрунту визначали термостатно – ваговим способом. Відбір ґрунтових зразків проводився на режимних ділянках, розташованих на відстані 0,5...1,0 м від місця вимірювання температури ґрунту. При цьому зразки відбирались у зоні між двома трубопроводами – теплообмінниками і під теплообмінниками, а вологість розраховувалась як середня для цієї зони. Визначення вологості ґрунту проводилося один-два рази в декаду через кожні 10 см до глибини 0,5 м у 3-х кратній повторності. В окремі періоди вологості ґрунту визначалась пошарово до глибини 1,0 м.

На дослідній ділянці у якості основної сільськогосподарської культури – індикатора використовували полуницю сорту **Кліро**, рослини якої висаджували рядами з відстанню 20 см між рядами і 15 см між рослинами в рядах.

Висновки. Проведення натурних теплотехнічних спостережень за температурними режимами в середовищі «ґрунт – рослина – приземний шар повітря» потребують збору значної кількості даних про температури ґрунту й повітря на різних глибинах та висотах.

Високий рівень достовірності фактичних результатів і безперервність процесу вимірювань може бути забезпечена використанням автоматизованих вимірювальних систем на базі комп'ютерних програм і персональних комп'ютерів.

Перспективною для температурних вимірювань є система автоматизованого збору даних (АСЗД ТГМС) на основі SCADA-системи TraceMode6, модулів аналогового вводу MBA8 та датчиків термічного опору TCM-50 фірми «Овен».

Розроблена і використана нами у натурному експерименті АСЗД ТГМС дозволила здійснювати неперервний моніторинг за параметрами роботи системи поверхневого обігріву в режимі реального часу з високою точністю, здійснювати архівування отриманих даних та генерацію звітів. Система безперервно діяла впродовж 4-х місяців 2011 року і показала свою високу надійність, дозволила отримати значну кількість температурних даних середовища

«грунт – рослина – приземний шар повітря» та даних про температурний режим циркулюючої в системах обігріву води.

Отримані експериментальні дані є необхідною умовою для створення і перевірки математичних мультифізичних моделей ТГМС, розробки і вдосконалення конструкцій самих систем та обґрунтування агротехніки вирощування сільськогосподарської продукції.

1. Романюк І. В. Теплова меліорація ґрунту скидною теплою водою за допомогою гідротехнічної системи з теплообмінниками-рукавами (в умовах Західного Полісся України): канд. техн. наук : 06.01.02 / Романюк Іван Васильович. – Рівне, 2007. – 249 с.
2. Шеренговий П. З. Вирощування ранніх сортів суниці (*Fragaria ananassa* Duch.) [Електронний ресурс] / П. З. Шеренговий, В. Т. Гонтар // Наук. вісник НУБіП: зб. наук. праць. – 2009. – Вип. 133. – Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/portal/chem_biol/nvnau/2009_133/09spz.pdf.
3. Гель І. Деякі елементи сучасних технологій вирощування позасезонної продукції суниці [Електронний ресурс] / І. Гель // Вісник Львівського НАУ: збірник наук. праць. Серія «Агрономія». – 2010. – №14(2). – Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/portal/chem_biol/vidau/Agr/2010_2/.../10gicpos.pdf.
4. Гурін В. А. Тепловая меліорація локальних участків ґрунта сбросными теплыми водами промышленных и энергетических объектов / В. А. Гурін, В. П. Востриков, И. В. Романюк, О. Л. Пинчук // Природообустройство: научно-практический журнал. – №2.– Москва, 2009. – С. 30-34.
5. Копылов В. И. Пути снижения сезонности выращивания земляники (*Fragaria ananassa* Duch.) в Украине [Електронний ресурс] / В. И. Копылов, Т. Г. Копылова, А. А. Мазуркевич и др. // Науковий вісник НУБіП: збірник наукових праць. – 2009. – Вип. 133. – Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/portal/chem_biol/nvnau/2009_133/09kvi.pdf.
6. Żuravich E. Integrowana produkcja owoców truskawki / E. Żuravich. – Skierniewice: Instytut sadownictwa i kwaciarnictwa, 2002. – 60 s.

Рецензент: д.т.н., професор Власюк А.П. (НУВГП)