

---

# ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

HYDRAULIC CONSTRUCTION,  
WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES

УДК 631.6

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.26>

## ПРИСТРІЙ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ ҐРУНТІВ

---

**Ладичук Д. О.** – кандидат сільськогосподарських наук,  
доцент кафедри гідротехнічного будівництва,  
водної та електричної інженерії  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-5729-2521

**Ладичук В. Д.** – магістр з гідротехнічного будівництва,  
водної інженерії та водних технологій  
ORCID ID: 0009-0004-9233-7360

*В роботі наведені результати досліджень щодо можливості компенсації нестачі тепла у ґрунті за рахунок примусової його подачі у розрахунковий шар ґрунту і забезпечення необхідного водно-теплого режиму для створення комфортних умов вегетації сільськогосподарських рослин.*

*Проаналізовані відомі у гідротехнічній практиці результати досліджень, що спрямовані на вирішення задачі створення необхідного водно-теплого режиму ґрунту для умов степової зони України. Доведено, що для умов досліджуваної території Причорноморської низини водний та тепловий режими ґрунтів є взаємопов'язаними, особливо у кореневмісному шарі.*

*Для розробки ідеї комплексного регулювання водно-теплого режиму ґрунтів було виконане теоретичне обґрунтування технічних рішень, в якому розглядається рух води у системі ґрунт – рослина – атмосфера.*

*Встановлено, що виникнення потоку вологи при накладенні температурного градієнту показує, що достатньо порівняно невеликої різниці температур, щоб викликати рух води у ґрунті, особливо у обмеженому просторі. Тому створення підвищеного перепаду температур по глибині ґрунтового профілю дозволяє прискорити забезпечення необхідного водно-теплого режиму.*

*В результаті досліджень розроблений пристрій, який може бути використаний для зрошення сільськогосподарських культур та захисту ґрунту від промерзання.*

*Розглянуто конструкцію пристрою для регулювання водно-теплого режиму ґрунтів, який отримав назву зрошувач-нагрівач за деклараційним патентом України № 20031211944 одного з авторів.*

*Використання запропонованого пристрою дозволяє знизити затрати при зрошенні сільськогосподарських культур, за рахунок 60 % економії поливної води та значно скоротити експлуатаційні витрати.*

**Ключові слова:** ґрунт, кореневий шар, водно-тепловий режим, сільськогосподарські культури, температурний градієнт, зрошувач-нагрівач.

---

**Ladychuk D. O., Ladychuk V. D. Device for regulation water-thermal regime of soils**

*The paper presents the results of research on the possibility of compensating for the lack of thermal in the soil due to its forced supply to the estimated soil layer and ensuring the necessary water-thermal regime to create comfortable conditions for the vegetation of agricultural plants.*

*The results of research known in hydrotechnical practice, aimed at solving the problem of creating the necessary water-thermal regime of the soil for the conditions of the steppe zone of Ukraine, were analyzed. It has been proved that for the conditions of the studied territory of the Black Sea Lowland, the water and thermal regimes of the soil are interrelated, especially in the root layer.*

*To develop the idea of complex regulation of the water-thermal regime of soils, a theoretical justification of technical solutions was performed, which considers the movement of water in the system soil – plant – atmosphere.*

*It was established that the occurrence of moisture flow when a temperature gradient is imposed shows that a relatively small temperature difference is enough to cause water movement in the soil, especially in a limited space. Therefore, the creation of an increased temperature difference along the depth of the soil profile allows you to speed up the provision of the necessary water and thermal regime.*

*As a result of the research, a device was developed that can be used to irrigate crops and protect the soil from freezing.*

*The design of the device for regulating the water-thermal regime of the soil, which was called the irrigator-heater according to the declaratory patent of Ukraine No. 20031211944 of one of the authors, was considered.*

*The use of the proposed device allows you to reduce the costs of irrigation of agricultural crops, due to 60 % saving of irrigation water and significantly reduce operational costs.*

**Key words:** soil, root layer, water-thermal regime, agricultural crops, temperature gradient, irrigator-heater.

**Вступ.** До 70 % ґрунтових ресурсів планети потребують поліпшення і меліорацій. Природна родючість темно-каштанових ґрунтів не забезпечує без зрошення високі урожаї сільськогосподарських культур. Необхідне застосування комплексу меліоративних заходів, що знижують негативний вплив несприятливих погодних умов і підвищують родючість ґрунтів. Основним ефективним засобом підвищення родючості темно-каштанових ґрунтів є зрошення в комплексі з агротехнічними заходами, спрямованими на накопичення, або зберігання гумусу в ґрунті і підтримка проектного водно-сольового, водно-теплого, повітряного і поживного режимів ґрунтів. Тому розробка критеріїв та способів забезпечення водно-теплого режиму ґрунтів є актуальним завданням меліоративної науки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останнім часом питанням, що пов'язані з регулюванням водно-теплого режиму ґрунтів приділяється мало уваги. В першу чергу, це пов'язано з проблемами, які виникають в результаті глобальних та регіональних змін клімату [1, с. 69–72; 2, с. 215–216].

Багато авторів пристроїв, що спрямовані на вирішення задачі створення необхідного водно-теплого режиму ґрунту, кожний із режимів (водний режим, тепловий режим) розглядають окремо [3, с. 58–59]. Але у ґрунті ці два режими між собою суттєво взаємопов'язані, а також відомо, що незважаючи на достатню вивченість кожного з показників еколого-меліоративного режиму ландшафтів [4, с. 148–149], в тому числі і ґрунтів, і їх допустимих меж, фактичні їх значення у визначені періоди розвитку меліоративного стану можуть виходити за ці межі і виробниче поліпшення одного, або декількох показників еколого-меліоративного режиму в даних меліоративних умовах можуть привести, чи не привести до поліпшення меліоративного стану на зрошуваних землях степової зони України.

Тепловий режим ґрунту визначається сукупністю явищ поглинання, переміщення і віддачі тепла, і описується розподілом температур на різній глибині і в різні періоди [5, с. 1–2].

Основним показником теплового режиму ґрунту є його температура. У зв'язку з добовою та річною циклічністю надходження сонячної радіації на поверхню ґрунту, для кожного ґрунту характерними є добовий та річний ходи температури [6, с. 84–86].

Суттєві зміни в характер теплового режиму ґрунтів вносить обробіток ґрунту, а також агромеліоративні заходи. Основний показник теплозабезпеченості ґрунтів – сума активних температур ( $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) у ґрунті на глибині 20 см, тому що саме тут розміщується основна маса коренів рослин [7, с. 40–42].

В той же час зниження вологості ґрунту порівняно із встановленим рівнем у будь-який період розвитку рослин призводить до зниження урожаю, але найбільші втрати його бувають при зниженні вологості в критичний період розвитку рослин, коли закладаються, формуються і активно ростуть органи, що визначають урожай. Для регулювання водного режиму ґрунтів в зоні ризикованого землеробства степової зони України застосовується зрошення сільськогосподарських угідь, при якому витрачаються великі об'єми зрошувальної води.

**Постановка проблеми.** Заходи активного впливу на тепловий режим ґрунту ділять на: 1) меліоративні (зрошення-осушення); 2) агромеліоративні (обробіток, мульчування, гребнювання, залишення стерні на зиму, лісомеліорація) та 3) агрометеорологічні (заходи, що знижують випромінювання тепла з ґрунту, заходи по боротьбі з заморозками, димові завіси тощо).

Зрошення зменшує відбивання сонячної радіації на 20 % та знижує випромінювану радіацію, а отже, збільшує прихід теплової енергії в ґрунт. Зрошення збільшує теплопровідність ґрунту, що сприяє більш рівномірному його прогріванню і зменшенню коливань температури [5, с. 2–3].

Уміле регулювання теплового режиму ґрунтів за допомогою зміни водного режиму сприяє відтворенню ґрунтової родючості та суттєво підвищує урожайність сільськогосподарських культур.

Тому виникає питання комплексного регулювання водно-теплового режиму ґрунтів безпосередньо в кореневмісному шарі ґрунту за допомогою створення ґрунтових теплових насосів, при тому, зрошувальна вода буде подаватися безпосередньо в кореневу систему сільськогосподарських рослин, що суттєво знизить розрахункові втрати на випаровування у приземному шарі ґрунту.

**Мета дослідження.** Розробка пристроїв комплексного регулювання водно-теплового режиму кореневого шару зрошуваного ґрунту для створення оптимальних умов вирощування сільськогосподарських культур в умовах півдня України

**Виклад основного матеріалу.** Для обґрунтування ідеї розглядається рух води у системі ґрунт – рослина – атмосфера.

Розглянемо загальновідоме рівняння теплового балансу в основі якого лежить математичне формулювання закону збереження енергії на рівні підстилаючої поверхні [8, с. 31–32]:

$$R = P + LE + V, \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв}) \quad (1)$$

Сутність рівняння зводиться до того, що баланс радіаційного тепла  $R$  витрачається на тепловіддачу шляхом турбулентного обміну  $P$ , на випаровування з підстилаючої поверхні  $LE$  і на потік тепла у ґрунт  $V$ .

Таким чином, вирішується задача аналізу випаровування та турбулентного потоку тепла (турбулентна дифузія) в приземному шарі атмосфери, коли умови переносу тепла і водяного пару приймаються еквівалентними [9, с. 65–71].

Тоді через рівняння теплового балансу з'явилася можливість регулювати потік тепла у ґрунт (В), тобто, більш раціонально використовувати баланс радіаційного тепла R.

Зміни вологозапасів в зоні аерації відбуваються безперервно. Як відомо, при зменшенні турбулентного потоку тепла спостерігається збільшення вологозапасів ґрунту і навпаки [10, с. 118–120; 11, с. 226–229]. Тоді, крім ґрунту необхідно приділити увагу і приземному шару атмосфери, виділяючи шар у поверхні ґрунту ( $z_1 = 0$ ) та культурний шар ( $z_2$  – максимальна висота вегетації рослини).

Виникнення потоку вологи при накладенні температурного градієнту ( $\delta T/\delta z$ ) показує, що достатньо порівняно невеликої різниці температур, щоб викликати рух води у ґрунті, особливо у обмеженому просторі. Тому створення підвищеного перепаду температур ( $\Delta T$ ) по глибині ґрунтового профілю ( $\Delta z$ ) дозволяє прискорити забезпечення необхідного водно-теплового режиму у двох випадках: 1) створення необхідного водного режиму ґрунту для забезпечення комфортних умов для рослини (для стабільно-теплого періоду вегетації); 2) створення необхідного водно-теплового режиму ґрунту для забезпечення нормальної вегетації рослин (для нестабільного за теплом періоду року або при виникненні приморозків).

Для району виробничої перевірки роботи запропонованого пристрою, яким є господарства різних форм власності, які розташовані в зоні Причорноморської низини Херсонської області, ці показники мають наступні значення (див. табл. 1).

Таблиця 1

**Середньобагаторічні значення показників температурного режиму  
для умов Причорноморської низини Херсонської області**

Місяці	Температура на поверхні ґрунту, °С ( $z=0$ )		Перепад температур, $\Delta T$	Температура повітря, °С ( $z=1\text{м}$ )
	максимум	мінімум		
Січень	+8,4	-9,9	18,3	-0,7
Лютий	+14,1	-9,6	23,7	+0,2
Березень	+24,3	-5,2	29,5	+4,0
Квітень	+37,7	-0,7	38,4	+10,1
Травень	+48,6	+4,2	44,4	+15,6
Червень	+53,7	+9,9	43,8	+20,2
Липень	+57,5	+12,7	44,8	+23,7
Серпень	+54,7	+11,0	43,7	+22,4
Вересень	+43,3	+3,8	39,5	+16,8
Жовтень	+31,9	-1,1	33,0	+11,3
Листопад	+18,2	-4,2	22,4	+5,1
Грудень	+10,8	-9,6	20,4	+0,8
Середнє	+33,6	+0,1	33,5	+10,8

На виконання таких задач розроблений пристрій, який відноситься до сільськогосподарських гідротехнічних та теплових меліорацій і може бути використаний для зрошення сільськогосподарських культур та захисту ґрунту від промерзання.

На рисунку 1 зображена принципова схема запропонованого пристрою, який отримав назву зрошувач – нагрівач [12, с. 1–2].

Зрошувач – нагрівач включає тепловодонепроникний екран трапецевидної форми 1, що обмежує зону обігріву кореневмісного шару ґрунту 2, у якому

розташований теплопровідний електричний кабель 3, параметри якого визначаються теплотехнічним розрахунком, інфільтраційна вода 4, що накопичується від опадів та зрошення. Розміри тепловодонепроникного екрану встановлюються від марки використаного кабелю та глибини кореневмісного шару ґрунту, яка повинна складати не більше 60–70 см (оптимальна величина прогріву ґрунту). Крім цього робота пристрою керується електронним терморегулятором, що дозволяє гнучко регулювати температуру шару ґрунту і раціонально використовувати електроенергію.

Пристрій працює наступним чином. В час виникнення необхідності покращення водно-теплого режиму кореневмісного шару ґрунту, у один із наведених вище випадків, на теплопровідний електричний кабель 3 подається напруга. Електричний струм, що проходить по кабелю розігріває його, після чого тепло досягає інфільтраційної води 4 і нагріває її, а також прилеглий до кабелю шар ґрунту. Тепле повітря, а за ним підігріта вода по капілярах піднімаються у верхні шари ґрунту. Це створює необхідну температуру у кореневмісному шарі 2 та підживлює водою кореневу систему рослин. Тепловодонепроникний екран 1 дозволяє спрямувати тепло у належному напрямкові та акумулює інфільтраційну воду 4. Після припинення подачі напруги на теплопровідний кабель 3 інфільтраційна вода 4 накопичується на дні тепловодонепроникного екрану 1. При виникненні необхідності цикл повторюється.

**Висновки і пропозиції.** Брак сонячної енергії у шарі ґрунту, можна компенсувати за рахунок примусової подачі тепла у цей шар ґрунту. Система керована електронним терморегулятором дозволяє гнучко регулювати температуру шару ґрунту і раціонально використовувати електроенергію. Примусова подача тепла у ґрунт дозволяє регулювати не тільки тепловий режим, а і створювати комфортний для рослин водний режим кореневмісного шару ґрунту.

Використання запропонованого пристрою дозволяє знизити затрати при зрошенні сільськогосподарських культур, за рахунок 60 % економії поливної води та значно скоротити експлуатаційні витрати.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Воропай Г.В., Яцик М.В., Мозоль Н.В. та ін. Особливості формування водно-теплого режиму осушуваних ґрунтів в умовах змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 1 (802). С. 68–74.
2. Кузьмич Л.В., Коваль С.І. Аналіз природно-кліматичних та антропогенних чинників, що впливають на екологічну безпеку осушуваних торфових ґрунтів. *Науковий вісник*. 2009, Вип. 19. С. 214–218.
3. Лозовіцький П.С. Меліорація ґрунтів та оптимізація ґрунтових процесів : підручник. 2014. 528 с.
4. Ладичук Д.О., Сафонова О.П. Критерії оцінки родючості агроландшафтів півдня України в сучасних умовах землекористування. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. 2004. № 1. С. 147–151.

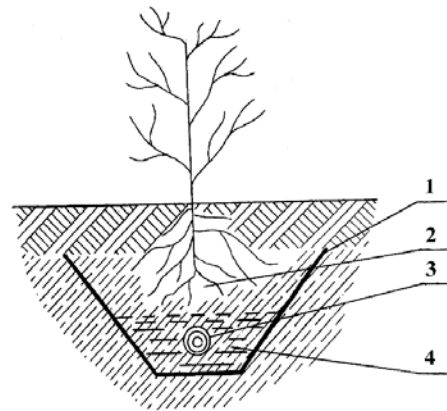


Рис. 1. Принципова схема пристрою для забезпечення необхідного водно-теплого режиму ґрунтів

5. Теплові властивості ґрунтів. URL: <http://www.geograf.com.ua/gruntoznavstvo/1008-teplovi-vlastivosti-gruntiv>
6. Jin C.X., Sands G.R., Kandel H.J. et al. Influence of Subsurface Drainage on Soil Temperature in a Cold Climate. *J. of Irrigation and Drainage Engineering*. February. 2008. V. 134. P. 83–88.
7. Смага І.С., Черлінка В.Р., Дмитрук Ю.М. Землеробство. Фактори життя рослин і родючість ґрунту : навч. посібник. Чернівці, 2022. 128 с.
8. Врублевська О.О., Катеруша Г.П. Кліматологія: Конспект лекцій. Одеса, 2011. 140 с.
9. Рижук С.М., Кочик Г.М., Мельничук А.О. та ін. Стратегічне управління продуктивністю агроценозів у системі осушеного землеробства. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 7 (832). С. 62–74.
10. Школьний Є.П. Фізика атмосфери: Підручник. Одеса, 2005. 507 с.
11. Philip G.R., de Vries D.A. Moisture movement in porous materials under temperature gradients. *Amer. Geophys. Union Transactions*. 1957. V. 38. P. 222–232.
12. Деклараційний патент на винахід 72710 А, Україна, МКІ. Зрошувач-нагрівач. / Д.О. Ладичук, О.І. Булигін. № 20031211944. Заявл. 19.12.2003 ; Опубл. 15.03.2005, Бюл. № 3. 2с.

#### REFERENCES:

1. Voropay H.V., Yatsyk M.V., Mozol N.V. ta in. (2020). Osoblyvosti formuvannya vodno-teplovoho rezhymu osushuvanykh gruntiv v umovakh zmin klimatu [Peculiarities of the formation of the water-thermal regime of drained soils under conditions of climate change]. *Visnyk ahrarnoyi nauky*, V. 1 (802), pp. 68–74 [in Ukrainian].
2. Kuzmich L.V., Koval S.I. (2009). Analiz pryrodno-klimatychnykh ta antropohennykh chynnykiv, shcho vplyvayut na ekolohichnu bezpeku osushuvanykh torfovykh gruntiv [Analysis of natural-climatic and anthropogenic factors affecting the ecological safety of drained peat soils]. *Naukovyy visnyk*, V. 19, pp. 214–218 [in Ukrainian].
3. Lozovitskyu P.S. (2014). Melioratsiya gruntiv ta optymizatsiya gruntovykh protsesiv [Land reclamation and optimization of soil processes]. *Pidruchnyk*. 528 s. [in Ukrainian].
4. Ladychuk D.O., Safonova O.P. (2004). Kryteriyi otsinky rodyuchosti ahro-landshaftiv pivdnya Ukrayiny v suchasnykh umovakh zemlekorystuvannya [Criteria for assessing the fertility of agricultural landscapes of southern Ukraine in modern land use conditions]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*, V. 1, pp. 147–151 [in Ukrainian].
5. Teplovi vlastyivosti hruntiv [Thermal properties of soils]. URL: <http://www.geograf.com.ua/gruntoznavstvo/1008-teplovi-vlastivosti-gruntiv> [in Ukrainian].
6. Jin C.X., Sands G.R., Kandel H.J. et al. (2008). Influence of Subsurface Drainage on Soil Temperature in a Cold Climate. *J. of Irrigation and Drainage Engineering*. February, V. 134, pp. 83–88.
7. Smaha I.S., Cherlinka V.R., Dmytruk Yu.M. (2022). Zemlerobstvo. Faktory zhyttya roslin i rodyuchist ґрунту [Agriculture. Factors of plant life and soil fertility]: navch. posibnyk. Chernivtsi. 128 p.
8. Vrublevska O.O., Katerusha H.P. (2011). Klimatohiya: Konspekt leksiiv [Climatology: Synopsis of lectures]. Odessa. 140 p. [in Ukrainian].
9. Ryzhuk S.M., Kochyk H.M., Melnychuk A.O. ta in. (2022). Stratehichne upravlinnya produktyvnisty u systemi osushuvanoho zemlerobstva [Strategic management of the productivity of agroecosystems in the system of drained agriculture]. *Visnyk ahrarnoyi nauky*, V. 7 (832), pp. 62–74 [in Ukrainian].
10. Shkolnyy Ye.P. (2005). Fizyka atmosfery [Physics of the atmosphere]: Pidruchnyk. Odessa. 507 s. [in Ukrainian].
11. Philip G.R., de Vries D.A. (1957). Moisture movement in porous materials under temperature gradients. *Amer. Geophys. Union Transactions*, V. 38, pp. 222–232.
12. Deklaratsiynyy patent na vynakhid 72710 A, Ukrayina, MKI. Zroshuvach-nahrivach [Irrigator-heater] / D.O. Ladychuk, O.I. Bulyhin. № 20031211944. Zayavl. 19.12.2003; Opubl. 15.03.2005, Byul. № 3. 2s. [in Ukrainian].