

**Герасімов Є. Г., д.т.н., доцент, Пінчук О. Л., к.т.н., доцент,
Романюк І. В., к.т.н., доцент, Куницький С. О., к.т.н., старший
дослідник, Шатний С. В., к.т.н., доцент, Іванчук Н. В., к.т.н., доцент**
(Національний університет водного господарства та
природокористування, м. Рівне)

АНАЛІЗ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ ТА ЗАГАЛЬНОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ 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. Дослідженнями встановлено енергетичні показники роботи гідротехнічних систем поверхневого обігріву ґрунту. Загальне теплоспоживання за період досліджень блок-секції довжиною 6,5 м склало 4579,37 МДж, або в середньому 630,98 Дж/с. Максимальна потужність системи обігріву була зафіксована на початку її роботи, коли температура замерзлого ґрунту поступово підвищувалась. Зокрема, 10.03.2011 р. у нічні та вранішні години питома потужність досягала близько 530 Вт/м². Загальна кількість спожитої електроенергії склала 1463,77 кВт·год. Отже, питоме електроспоживання складало 225,2 кВт·год/м² або 45 кВт·год/п.м.

Ключові слова: теплоспоживання; енергоефективність; гідротехнічна система; поверхневий обігрів.

Перспективним напрямом використання скидного тепла промислових та енергетичних об'єктів, як засвідчили розробки вчених різних країн, є використання в сільському господарстві, а саме для потреб рослинництва і тваринництва [1; 5; 10; 11], причому найбільший ефект очікується від комплексного поєднання різних напрямів у складі так званих «енергобіологічних комплексів», що вирішують одночасно проблеми промисловості, енергетики, сільського господарства і навколишнього середовища [2; 9]. У складі енергобіологічних комплексів технології використання низькопотенціального тепла промислових та енергетичних об'єктів конструктивно реалізуються у

вигляді спеціальних гідротехнічних систем обігріву ґрунту, а в якості обігрівачів в системах використовуються різноманітні пристрої (лотки, труби, шланги, тонкостінні оболонки тощо) [6].

Технологія теплової меліорації ґрунтів поверхневим обігрівом гнучкими оболонками-рукавами з використанням скидних теплих вод виявила свою достатньо високу тепломеліоративну та економічну ефективність [4; 7; 8], що стимулює подальший науковий пошук, а також детальну розробку гідротехнічних систем поверхневого обігріву ґрунту (ГС ПОГ) оболонками-рукавами та їх впровадження в аграрному секторі для фермерських господарств і створення на їх основі ЕБК.

Тому питання розробки, обґрунтування та дослідження технології і технічних засобів поверхневого обігріву ґрунту скидною теплою водою з використанням гнучких тонкостінних оболонок-рукавів, як одного із найбільш перспективних напрямів у складі ЕБК, залишається актуальним і на сьогодні.

Разом з тим, невирішеними залишаються багато питань, зокрема питання обґрунтування раціональних конструкцій гідротехнічних систем та форми оболонок-рукавів, визначення раціональних гідравлічних та теплотехнічних режимів роботи ГС ПОГ як окремого об'єкта та як об'єкта в складі ЕБК тощо.

Натурними дослідженнями встановлено [6], що протягом періоду роботи системи поверхневого обігріву у 2011 р. середня витрата теплої води через блок-секцію становила 0,26 л/с. Відповідно середня витрата теплої води на один рукав-оболонку складала $0,26:5=0,052$ л/с, на 1 м² блок-секції – $0,26:6,5=0,04$ л/с.

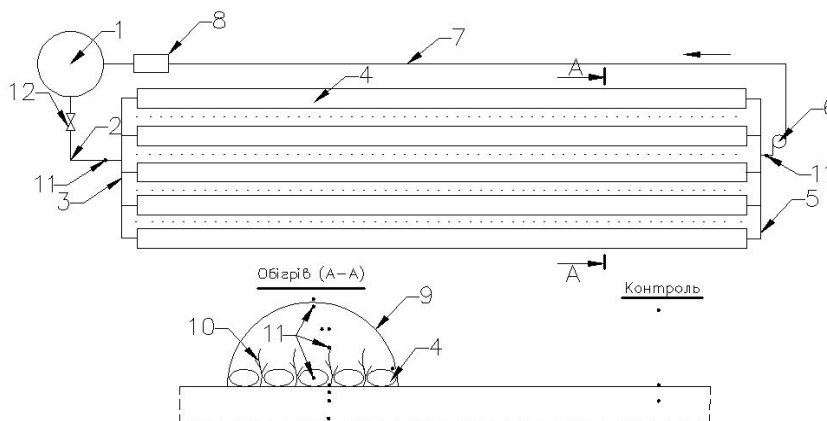


Рис. 1. Схема натурального дослідження з обігріву ґрунту:

- 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 – давачі температури; 12 – засувка

Циркуляція теплої води здійснювалась за допомогою насосного агрегату CDXM/A 90/10, а її підігрів – електроводонагрівальною установкою КЕО-4,5-6/380(220)-Б. 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 замкненому циклі, використовували водопровідну воду.

З метою найбільш ефективного використання теплової енергії води для обігріву рослин і створення комфортних умов для їх вирощування додатково використовували тунельні укриття, як світлопрозорий екран 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 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 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 $20\text{--}25^{\circ}\text{C}$ у березні-квітні, з підвищенням її до 30°C у травні.

За період роботи об'єм теплої води, що був використаний дослідною системою склав $1875,8\text{ м}^3$, що в середньому складає $22,33\text{ м}^3/\text{добу}$ або $4,47\text{ м}^3$ протягом доби одним рукавом-оболонкою. У перерахунку на 1 м^2 блок-секції ця величина складає $3,435\text{ м}^3/\text{добу}$, а на 1 п. м рукава-оболонки – $0,687\text{ м}^3/\text{добу}$.

Загальне теплоспоживання за період досліджень блок-секції довжиною 6,5 м склало $4579,37\text{ МДж}$ або в середньому $630,98\text{ Дж/с}$, а динаміка середньодакданого теплоспоживання наведена в таблиці.

Добовий хід теплотехнічних параметрів роботи ГС ПОГ (рисунок)



залежить від перепаду температур, що формується залежно від температури навколишнього середовища. Найбільші величини теплоспоживання та питомої потужності є характерними для періодів, коли температура навколишнього середовища мала від'ємні значення або починала різко знижуватись, а найкращий ефект спостерігається у нічні години. Максимальна потужність системи обігріву була зафіксована на початку її роботи, коли температура замерзлого ґрунту поступово підвищувалась. Зокрема, 10.03.2011 р. у нічні та ранішні години питома потужність досягала близько 530 Вт/м^2 . В окремі періоди роботи системи обігріву, як це спостерігалось 28.03.2011 р. з 11^{00} до 18^{00} години, внаслідок значної сонячної активності температура повітря та ґрунту в блок-секції ГС ПОГ, а також температура води в рукавах додатково підігрівається, що знижує загальну термічну ефективність, а тому в такі періоди система обігріву може бути відключена або зменшена її потужність.

Таблиця

Теплотехнічні характеристики блок-секції ГС ПОГ

Назва показника	Березень			Квітень			Травень			Сума
	I (9– 10.03)	II	III	I	II	III	I	II	III	
Загальне теплоспоживання, МДж	384,20	900,63	681,56	632,82	588,96	439,45	475,56	332,68	143,51	4579,37
Питоме теплоспоживання:										
- МДж/год	8,00	3,75	2,58	2,64	2,45	1,83	1,98	1,39	0,54	25,17
- МДж/м ² ·год	1,23	0,016	0,0098	0,011	0,01	0,0076	0,0083	0,0058	0,002	1,3
Теплоспоживання 1 рукава:										
- МДж/п.м.	11,82	27,71	20,97	19,47	18,12	13,52	14,63	10,24	4,42	140,90
- МДж/п.м.·добу	5,94	2,771	1,906	1,947	1,812	1,352	1,463	1,024	0,402	18,617
Питома теплова потужність:										
- Вт/м ² блок-секції	342,06	160,37	110,33	112,68	104,87	78,25	84,68	59,24	23,23	-
- Вт/п.м. рукава	68,41	32,07	22,07	22,54	20,97	15,65	16,94	11,85	4,65	-

В добовому ході за отриманими даними можна виділити 4 періоди:

1) період максимального теплоспоживання (з 20^{00} до 8^{00}), що характеризується максимальною ефективністю обігріву ґрунту;

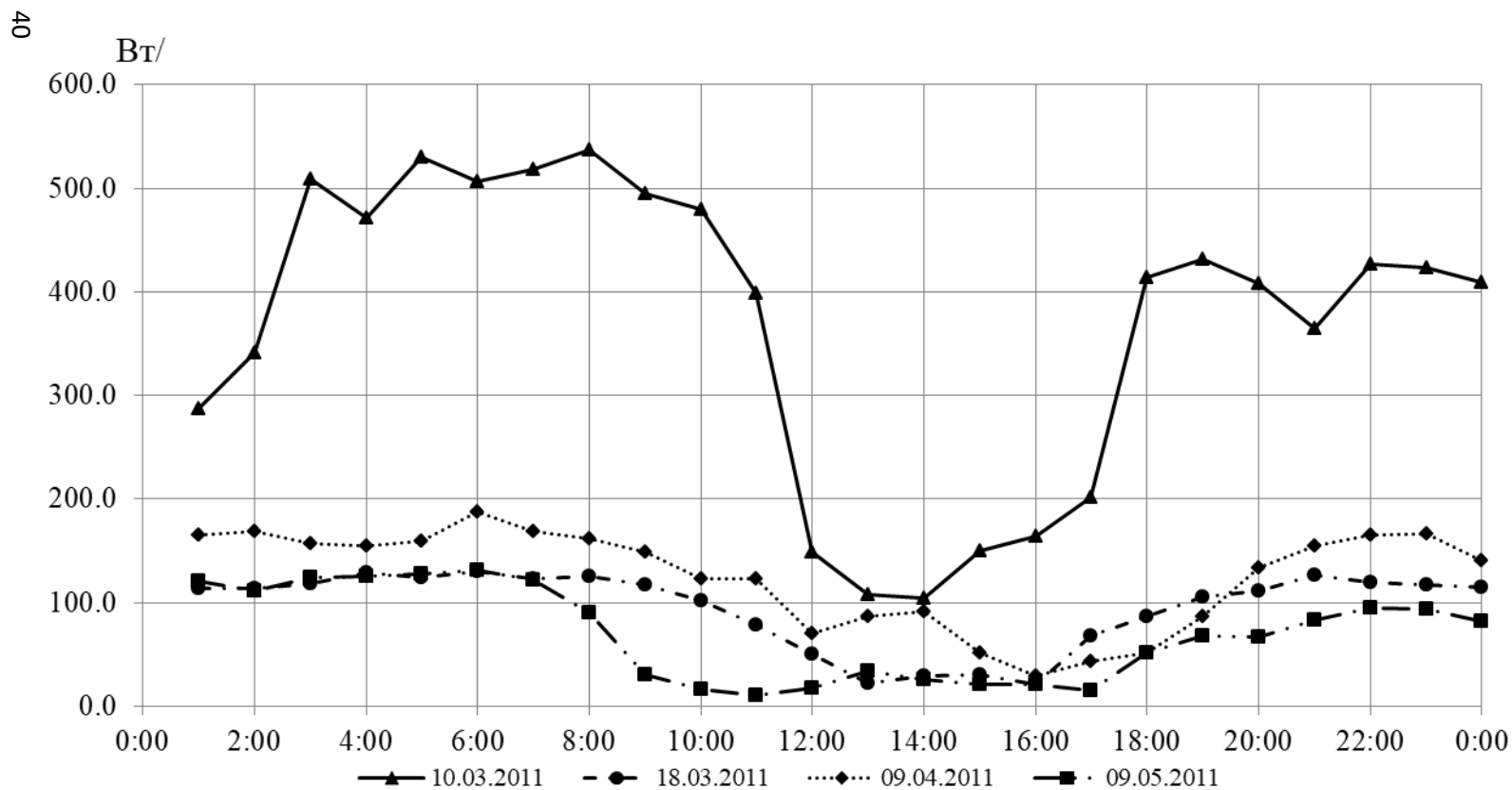


Рисунок. Добовий хід питомої теплової потужності в блок-секції ГС ПОГ, Вт/м²



2) період поступового зменшення теплоспоживання (з 9^{00} до 12^{00}), який пов'язаний з поступовим нарощуванням сонячної активності;

3) період мінімального теплоспоживання (з 13^{00} до 17^{00}), що є наслідком накопичення в системі та використання енергії сонячного проміння;

4) період поступового збільшення теплоспоживання (з 18^{00} до 19^{00}), який пов'язаний із зниженням сонячної активності та зниження загальної температури навколишнього середовища відповідно.

В дослідженнях для підігріву води електроводонагрівачем та перекачування теплої води насосом використовувалась електрична енергія. Загальна кількість спожитої електроенергії склала 1463,77 кВт·год. При цьому, питома електроспоживання складало 225,2 кВт·год/м² або 45 кВт·год/п.м.

Дослідженнями встановлені енергетичні показники роботи ГС ПОГ. Загальне теплоспоживання за період досліджень блок-секції довжиною 6,5 м склало 4579,37 МДж або в середньому 630,98 Дж/с. Максимальна потужність системи обігріву була зафіксована на початку її роботи, коли температура замерзлого ґрунту поступово підвищувалась. Зокрема, 10.03.2011 р. у нічні та вранішні години питома потужність досягала близько 530 Вт/м².

1. Бурденкова Е. Ю. Оптимизация параметров и схем теплоснабжения теплично-овощных комбинатов с использованием сбросной и низкопотенциальной теплоты КЭС : дис. ... канд. техн. наук : 05.14.01 / Саратовский государственный технический университет. Саратов, 2001. 146 с.
2. Васильев Н. Н., Ремизов Ю. В. Энергобиологические комплексы как способ утилизации сбросного тепла крупных энергообъектов и создание высокоинтенсивного безотходного производства. *Вопросы атомной науки и техники*. 2004. Вып. 1. С. 57–60.
3. 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 НУВГП. Сер. Технічні науки*. 2011. Вип. 2(54). С. 40–49.
4. Востріков В. П., Пінчук О. Л. Тепломеліоративні системи для обігріву ґрунту з використанням низькотемпературних теплових відходів. *Водне господарство України*. 2009. № 6. С. 36.
5. Ольховик О. І., Востріков В. П., Пінчук О. Л. Використання низькопотенційного тепла доквілля тепловими насосами для потреб сільського господарства. *Вісник НУВГП. Сер. Технічні науки*. 2007. Вип. 1(37). С. 54–61.
6. Пінчук О. Л. Аналіз конструкцій тепломеліоративних систем. *Вісник НУВГП. Сер. Технічні науки*. 2011. Вип. 1(53). С. 85–94.
7. 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 / Національний університет водного господарства та природокористування. Рівне, 2012. 255 с. **8.** 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 / Національний університет водного господарства та природокористування. Рівне, 2007. 249 с. **9.** Фарберов В. Г., Калмыков А. Е., Зеленина Е. С. Энергобиологический комплекс. *Экология промышленного производства*. 2001. № 4. С. 28–30. **10.** Aliev N. D., Ramasanova Z. E. An improvement of heating scheme for using of low potential heat of HPS. *Power Engineering*. 2003. № 1. P. 56–60. **11.** Setiadipura T., Dipu A., Zamengo M., Bovis T., Hokuwan D. Energy saving in nuclear power plant. *Sustainable engineering technology course*. 2010. 8 p.

REFERENCES:

1. Burdenkova E. Yu. Optymyzatsiya parametrov i skhem teplosnabzheniya teplychno-ovoshchnykh kombynatov s ispolzovanyem sbrosnoi i nizkopotentsialnoi teploty KES : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.14.01 / Saratovskiy gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet. Saratov, 2001. 146 s. **2.** Vasylev N. N., Remizov Yu. V. Enerhobiologicheskie komplekсы как способ utilizatsii sbrosnogo tepla krupnykh enerhoobektov i sozdanie vysokointensivnogo bezotkhodnogo proizvodstva. *Voprosy atomnoi nauki i tekhniki*. 2004. Vyp. 1. S. 57–60. **3.** Vostrikov V. P., Melnyk V. S., Pinchuk O. L., Hnatiuk V. M. Metodyka naturnykh doslidzhen roboty systemy poverkhnevoho obihrivu hruntu ta avtomatyzovanoho zboru temperaturnykh danykh. *Visnyk NUVHP. Ser. Tekhnichni nauky*. 2011. Vyp. 2(54). S. 40–49. **4.** Vostrikov V. P., Pinchuk O. L. Teplomelioratyvni systemy dlia obihrivu gruntu z vykorystanniam nyzkotemperaturnykh teplovykh vidkhodiv. *Vodne hospodarstvo Ukrainy*. 2009. № 6. S. 36. **5.** Olkhovyk O. I., Vostrikov V. P., Pinchuk O. L. Vykorystannia nyzkopotentsiinoho tepla dovkillia teplovymy nasosamy dlia potreb silskoho hospodarstva. *Visnyk NUVHP. Ser. Tekhnichni nauky*. 2007. Vyp. 1(37). S. 54–61. **6.** Pinchuk O. L. Analiz konstruktsii teplomelioratyvnykh system. *Visnyk NUVHP. Ser. Tekhnichni nauky*. 2011. Vyp. 1(53). S. 85–94. **7.** 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 / Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Rivne, 2012. 255 s. **8.** 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 / Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Rivne, 2007. 249 s. **9.** Farberov V. H., Kalmykov A. E., Zelenina E. S. Enerhobiologicheskii kompleks. *Ekolohiia promyshlennoho proizvodstva*. 2001. № 4. S. 28–30. **10.** Aliev N. D., Ramasanova Z.



E. An improvement of heating scheme for using of low potential heat of HPS. *Power Engineering*. 2003. № 1. P. 56–60. 11. Setiadipura T., Dipu A., Zamengo M., Bovis T., Hokuwan D. Energy saving in nuclear power plant. *Sustainable engineering technology course*. 2010. 8 p.

**Gerasimov I. G., Doctor of Engineering, Associate Professor,
Pinchuk O. L., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,
Romaniuk I. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,
Kunyskyi S. O., Candidate of Engineering (Ph.D.), Senior Researcher,
Shatnyi S. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,
Ivanchuk N. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor**
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

ANALYSIS OF HEAT CONSUMPTION AND GENERAL ENERGY EFFICIENCY OF THE HYDROTECHNICAL SYSTEM OF SURFACE HEATING OF THE SOIL

Constructively and technologically, the method of surface heating can be implemented by creating a special hydrotechnical system, the main element of which is the shell-sleeves in the form of pipelines, which are combined into separate block sections and block modules. Research has established energy performance indicators of hydrotechnical systems of surface heating of the soil. The total heat consumption during the research period of the block section with a length of 6.5 m was 4579.37 MJ or an average of 630.98 J/s. The maximum power of the heating system was recorded at the beginning of its operation, when the temperature of the frozen ground gradually increased. In particular, on March 10, 2011, in the night and morning hours, the specific power reached about 530 W/m². The total amount of consumed electricity was 1463.77 kWh. Therefore, the specific electricity consumption was 225.2 kWh/m² or 45 kWh/m².

Keywords: heat consumption; energy efficiency; hydraulic system; surface heating.
