

ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА, ІНФОРМАТИКА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 004.42:626.8

<https://doi.org/10.31713/vt1202219>

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

КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ВТРАТ НАПОРУ В ОБОЛОНКАХ-РУКАВАХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ПОВЕРХНЕВОГО ОБІГРІВУ ҐРУНТУ

Перспективним напрямком використання скидного тепла промислових та енергетичних об'єктів є сільське господарства, а саме створення спеціальних гідротехнічних систем обігріву ґрунту. Представлено результати дослідження гідравлічних параметрів і режимів руху теплоносія в оболонках-рукавах гідротехнічних систем поверхневого обігріву ґрунту. Проведені дослідження гнучких поліетиленових оболонок-рукавів діаметром 50, 70, 85 та 100 мм довжиною 30 м в умовах вільного та підтопленого витікання води дозволили встановити характер зміни гідравлічного похилу при максимальній витраті до 1,5 л/с. Розроблено комп'ютерну програму для гідравлічного розрахунку втрат напору в оболонках-рукавах.

Ключові слова: комп'ютерна програма; втрати напору; гідротехнічна система; оболонка-рукав; поверхневий обігрів ґрунту.

Перспективним напрямком 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; 2; 3], 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 [4; 5]. 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 [7; 8], що стимулює подальший науковий пошук, а також детальну розробку гідротехнічних систем поверхневого обігріву ґрунту 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 даний час.

Водночас невирішеними залишаються питання обґрунтування раціональних конструкцій гідротехнічних систем поверхневого обігріву та форми оболонок-рукавів, розробки комп'ютерних програм для гідравлічного розрахунку втрат напору в оболонках-рукавах тощо.

З метою дослідження гідравлічних параметрів і режимів руху теплоносія в оболонках-рукавах, встановлення особливостей втрат напору та відповідно подальшої розробки комп'ютерної програми для гідравлічного розрахунку втрат напору в оболонках-рукавах були проведенні експериментальні дослідження. Методика їх проведення наведена у [9].

Важливим параметром для гідравлічного розрахунку закритих трубопровідних систем є втрати напору. У розрахунках та аналізі, як відомо, втрати напору поділяються на місцеві та втрати напору по довжині. Місцеві втрати напору у гнучкій оболонці відсутні, а втрати напору по довжині визначаються, за відомою залежністю, Дарсі-Вейсбаха. Зважаючи на той факт, що гнучкі оболонки-рукави працюють в режимі турбулентного руху води коефіцієнт гідравлічного тертя доцільно розраховувати за формулою Блазіуса.

Проведені дослідження гнучких поліетиленових оболонок-рукавів діаметром 50, 70, 85 та 100 мм довжиною 30 м в умовах

вільного та підтопленого витікання води дозволили встановити характер зміни гідравлічного похилу при максимальній витраті до 1,5 л/с (рис. 1, 2).

Аналіз отриманих експериментальних залежностей показав, що в загальному випадку залежність гідравлічного похилу від витрати води можна представити як:

$$i = a \cdot Q^b, \quad (1)$$

де a, b – коефіцієнти зміна, яких обумовлена характером руху теплоносія (рис. 3, 4).

За результатами експериментальних досліджень встановлені залежності, що описують залежність коефіцієнта гідравлічного тертя від числа Рейнольдса за різних умов витікання води (таблиця).

Температура води в дослідженнях змінювалась від 20 до 35° С, а її вплив на зміну гідравлічних характеристик враховували відповідною зміною величини в'язкості при розрахунку числа Рейнольдса.

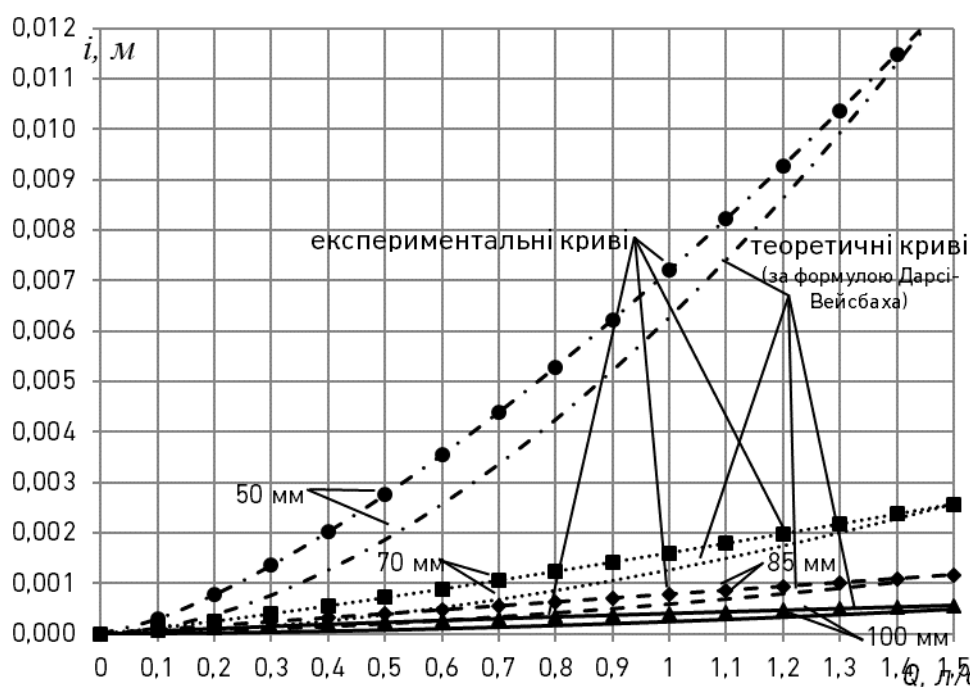


Рис. 1. Графіки зміни гідравлічного похилу оболонок-рукавів діаметром 50, 70, 85 та 100 мм за умов вільного витікання

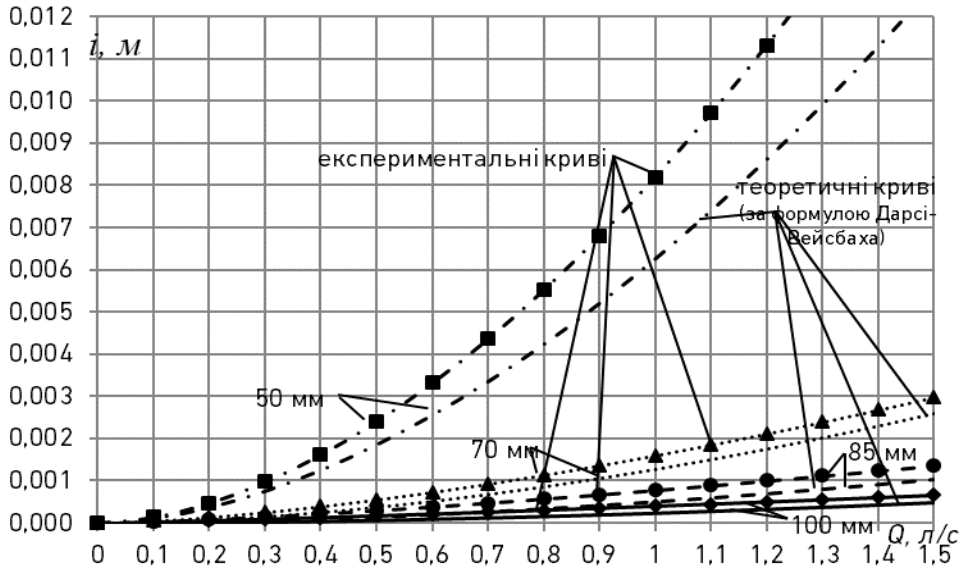


Рис. 2. Графіки зміни гідравлічного похилу оболонок-рукавів діаметром 50, 70, 85 та 100 мм за умов підтопленого витікання

$$a=f(d)$$

$$b=f(d)$$

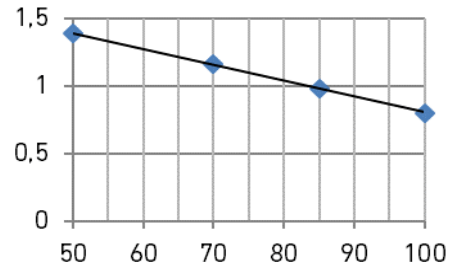
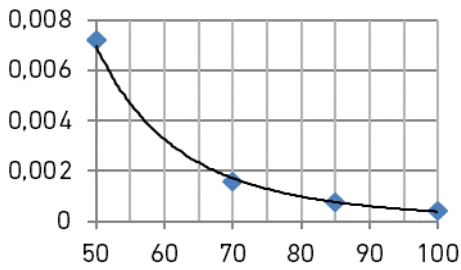


Рис. 3. Графік залежності коефіцієнтів a, b від діаметру оболонки-рукава за умов вільного витікання

$$a=f(d)$$

$$b=f(d)$$

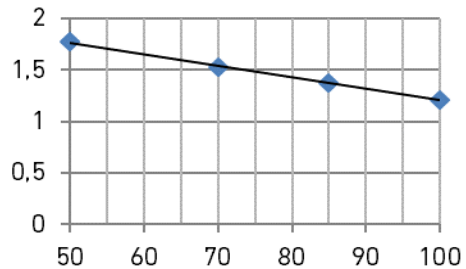
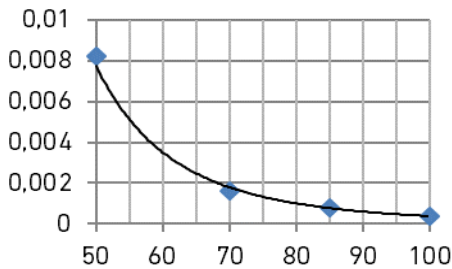


Рис. 4. Графік залежності коефіцієнтів a, b від діаметру оболонки-рукава за умов підтопленого витікання

Таблиця

Залежності коефіцієнта гідравлічного тертя від Re для
оболонки-рукавів різного діаметру за різних умов її витікання

Режим витікання	Діаметр оболонки, мм	Характер залежності
Вільне	50	$\lambda = 0,1113 / \text{Re}^{0,6119}$
	70	$\lambda = 0,2223 / \text{Re}^{0,8348}$
	85	$\lambda = 0,4346 / \text{Re}^{1,0165}$
	100	$\lambda = 0,7633 / \text{Re}^{1,1982}$
Підтоплене	50	$\lambda = 0,0526 / \text{Re}^{0,2300}$
	70	$\lambda = 0,0958 / \text{Re}^{0,4694}$
	85	$\lambda = 0,1789 / \text{Re}^{0,6310}$
	100	$\lambda = 0,2992 / \text{Re}^{0,7915}$

При цьому було встановлено, що при прокачуванні води витратою до 1,5 л/с по оболонках число Рейнольдса за температури 30° С змінювалось в межах: для діаметра 50 мм – $(0,32...4,8) \cdot 10^4$, для діаметра 70 мм – $(0,22...3,4) \cdot 10^4$, для діаметра 85 мм – $(0,19...2,8) \cdot 10^4$, для діаметра 100 мм – $(0,16...2,4) \cdot 10^4$. Воду пропускали невеликими витратами від 0,1 до 1,5 л/с, імітуючи роботу рукавів у реальній системі поверхневого обігріву.

Одержані дані гідравлічних характеристик гнучких оболонок-рукавів, виконаних із поліетиленової плівки товщиною 0,2 мм, засвідчили, що вони при довжині 25–30 м можуть пропускати значні витрати води при незначних початкових напорах і незначних швидкостях руху води як при вільному, так і при підтопленому витіканні.

Так, наприклад, для пропуску витрати води величиною 0,6 л/с по оболонці довжиною 30 м при вільному витіканні, для діаметра 50 мм потрібний напір склав 10,5 см, для діаметра 70 мм – 2,7 см, для діаметра 85 мм – 1,5 см, а для діаметра 100 мм всього на всього – 0,9 см. При вільному витіканні води, режим протікання води по оболонці переходить практично у самотісний, а рукави сплющуються до розмірів вузької щілини чи пластини, особливо при малих витратах.

Для проведення високоточних розрахунків та зменшення часу на аналіз дослідних даних, була розроблена комп'ютерна програма для розрахунку втрат напору в оболонках-рукавах гідротехнічних

систем. Програма виконана із використанням інтегрованого середовища розробки Borland Delphi, що базується на класичній мові програмування Pascal та із дотриманням принципів сучасної розробки програмних продуктів, а саме RAD (Rapid Application Development) – високошвидкісна розробка додатків та WYSIWYG (What You See Is What You Get) – проєктування та розробка інтерфейсу в момент створення програмного продукту.

Структура програми являє собою сукупність програмних модулів, об'єднаних одним інтерфейсом взаємодії та передачі даних та із застосуванням зручного та інтуїтивно-зрозумілого інтерфейсу користувача. На рис. 5 зображений інтерфейс користувача програми із наступними блоками взаємодії: початкові налаштування – можливість вибору режиму витікання з вільним або підтопленим режимами.

Область вводу вихідних даних розділяється на можливість внесення параметрів Q , л/с; d , мм; L , м. Після внесення всіх необхідних даних, оператор натискаючи кнопку «Обрахунок» запускає на виконання основний алгоритм обчислень. Особливістю реалізації даного алгоритму є первинна перевірка правильності введених даних, перевірка коректності плаваючої коми та заповненість всіх необхідних полів. Після успішної перевірки правильності введених даних, результати обрахунку виводяться у відповідних полях. Результати обрахунків та коректності роботи програми зображені на рис. 5.

Для більш точного налаштування початкових даних, в програмі реалізований модуль «Головне меню», де можна здійснити налаштування відповідних меж, здійснити вихід із програми з видаленням займаної оперативної пам'яті персонального комп'ютера та перейти до перегляду вбудованого мультимедійного контенту, зображеного на рис. 5.

Мультимедійна інтеграція призначена для спрощення розуміння процесів, які обраховуються та забезпечує можливість використання у навчальному процесі, зокрема для підготовки студентів по відповідним спеціальностям.

Рис. 5. Інтерфейс користувача програми з результати роботи

Код програми написаний із використанням сучасних підходів та технологій. Лістинг основної програми зображено на рис. 7.

Під час написання коду програми були виявлені наступні проблеми: некоректність введення початкових даних у вигляді числа із плаваючою комою; вихід за межі допустимих значень та невідповідність введених даних до системи вимірювання. Фінальна версія програми виконана із усуненням вищевказаних недоліків.

Для усунення проблеми некоректності числа із плаваючою комою був розроблений метод послідовного перебору рядку введених символів із пошуком відповідності та подальшою заміною. Лістинг методу представлено на рис. 8.

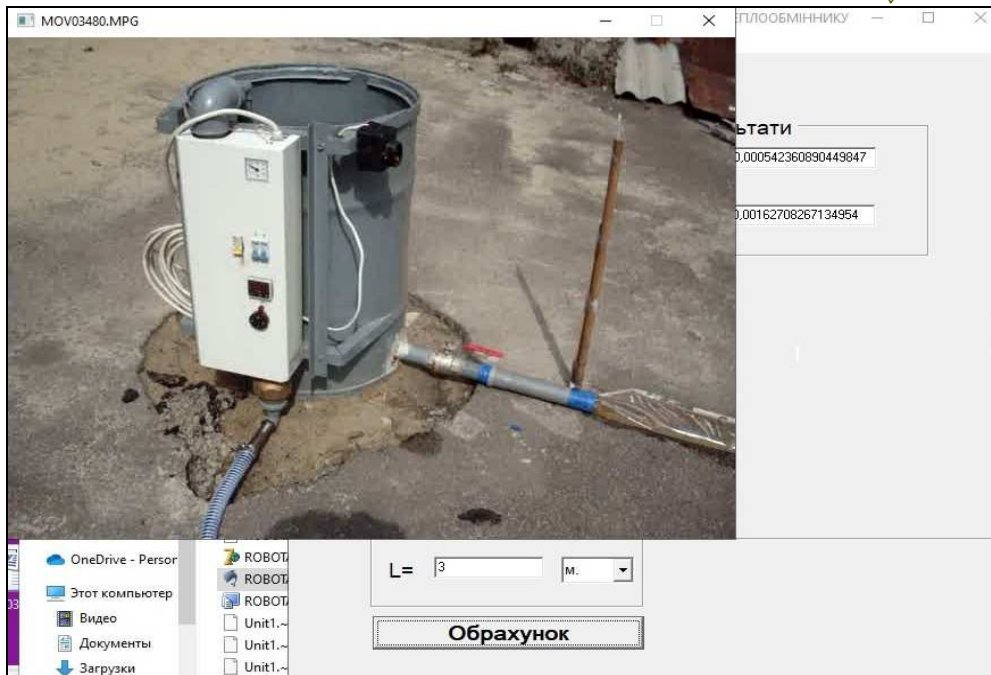


Рис. 6. Мультимедійні можливості розробленої програми

Одержані дані гідравлічних параметрів роботи тонкостінних оболонок-рукавів із гнучких матеріалів засвідчили цілковиту можливість їх використання для систем поверхневого обігріву ґрунту як вискоєфективних транспортуючих пристроїв при використанні водних теплоносіїв. При цьому оболонки діаметром 80–100 мм спроможні пропускати значні витрати води при дуже незначних втратах напору.

Проведені дослідження засвідчили також, що з точки зору мінімізації втрат напору доцільніше використовувати оболонки-рукави діаметром 80–100 мм. Такими рукавами можна перекачувати значні об'єми води на великі відстані за мінімальних початкових напорів та в режимах самопливного перетікання води (на горизонтальній місцевості).

Отримані наукові і практичні результати можуть бути використанні при проєктуванні та гідравлічному розрахунку гідротехнічних систем з оболонок-рукавів на основі використання скидних теплих вод промислових і енергетичних об'єктів.

Рукав

```

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  qmin:=strtofloat(form2.ed_minq.Text);
  qmax:=strtofloat(form2.ed_maxq.Text);
  dmin:=strtofloat(form3.ed_mind.Text);
  dmax:=strtofloat(form3.ed_maxd.Text);
  Lmin:=strtofloat(form4.ed_minL.Text);
  Lmax:=strtofloat(form4.ed_maxL.Text);

  if (ed_q.Text='') then application.MessageBox('Введіть Q','')
  else q:=strtofloat(ed_q.Text);
  if (ed_d.Text='') then application.MessageBox('Введіть d','')
  else d:=strtofloat(ed_d.Text);
  if (ed_l.Text='') then application.MessageBox('Введіть L','')
  else L:=strtofloat(ed_l.Text);

  if ((form1.RadioButton1.Checked=false) and (form1.RadioButton2.Checked=false)
  then application.MessageBox('Задайте режим поливу',''));

  if ((q<qmin) or (q>qmax)) then
    begin
      application.MessageBox('Q не задовільняє
обмеженням','Не коректні дані');
      ed_q.Text:='';
    end;

  if ((d<dmin) or (d>dmax)) then
    begin
      application.MessageBox('d не задовільняє
обмеженням','Не коректні дані');
      ed_d.Text:='';
    end;

  if ((L<Lmin) or (L>Lmax)) then
    begin
      application.MessageBox('L не задовільняє
обмеженням','Не коректні дані');
      ed_l.Text:='';
    end;

  if (((q>=qmin) and (q<=qmax) and (d>=dmin) and (d<=dmax) and (L>=Lmin) and
  (L<=Lmax)) and ((form1.RadioButton1.Checked=true) or
  (form1.RadioButton2.Checked=true))) then
    begin
      if form1.RadioButton1.Checked=true then
        begin
          a:=79736*exp((-4.155)*ln(d));
          b:=-0.0117*d+1.98;
          i:=a*exp(b*ln(q));
        end;
      if form1.RadioButton2.Checked=true then
        begin
          a:=186740*exp((-4.345)*ln(d));
          b:=-0.0112*d+2.3245;
          i:=a*exp(b*ln(q));
        end;
      ed_i.Text:=floattostr(i);
      dh:=i*L;
      ed_dh.Text:=floattostr(dh);
    end;
  end;

  procedure TForm1.Q1Click(Sender: TObject);
  begin
    form2.ShowModal;
  end;

```

Страница 2

Рис. 7. Сторінка програмного коду

```
s1:=ed_q.Text;
while True do begin
ii1:= Pos ('.', s1);
if ii1=0 then
Break
else
s1[ii1]:=', ';
end;
ed_q.Text:=s1;

s2:=ed_d.Text;
while True do begin
ii2:= Pos ('.', s2);
if ii2=0 then
Break
else
s2[ii2]:=', ';
end;
ed_d.Text:=s2;

s3:=ed_l.Text;
while True do begin
ii3:= Pos ('.', s3);
if ii3=0 then
Break
else
s3[ii3]:=', ';
end;
ed_l.Text:=s3;
```

Рис. 8. Програмна реалізація методу послідовного перебору та автозаміни некоректних символів

На основі отриманих даних, розроблено комп'ютерну програму для гідравлічного розрахунку втрат напору в оболонках-рукавах, яка виконана на високому алгоритмічному та програмному рівнях, показує високу точність обрахунків та високу обчислювальну швидкодію. Перспективність даної розробки полягає у можливості розширення функціоналу програми, збільшення обчислювальних

можливостей та реалізованих методів, розширення сфери для проведення обрахунків. Програма виконана із використанням сучасних бібліотек, що дозволяє їй функціонувати у всіх операційних системах сімейства MS Windows.

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. Саратов, 2001. 146 с. 2. Ольховик О. І., Востріков В. П., Пінчук О. Л. Використання низькопотенційного тепла доквілля тепловими насосами для потреб сільського господарства. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2007. Вип. 1(37). С. 54–61. 3. Востріков В. П., Романюк І. В., Пінчук О. Л., Новачок І. О. Обігрів ґрунту рукавами-теплообмінниками і його вплив на ґрунтові процеси, розвиток і врожайність суниць. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2008. Вип. 2(42). Ч. 1. С. 108–115. 4. Фарберов В. Г., Калмыков А. Е., Зеленина Е. С. Энергобиологический комплекс. *Экология промышленного производства*. 2001. № 4. С. 28–30. 5. 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. 6. Пінчук О. Л. Аналіз конструкцій тепломеліоративних систем. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Вип. 1(53). Рівне, 2011. С. 85–94. 7. 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. Рівне, 2007. 249 с. 8. Гурин В. А., Востриков В. П., Романюк И. В., Пинчук О. Л. Тепловая эффективность обогрева грунта водонаполненными гибкими рукавами при использовании низкотемпературной воды. *Роль мелиорации в обеспечении продовольственной и экологической безопасности России* : материалы международной научно-практической конференции. Москва, 2009. Ч. 1. С. 129–135. 9. Востріков В. П., Пінчук О. Л., Романюк І. В. Методичні аспекти гідравлічних досліджень тепломеліоративних систем поверхневого обігріву ґрунту оболонками-рукавами. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне, 2011. Вип. 3(55). С. 30–36.

REFERENCES:

1. Burdenkova E. Yu. Optimizatsiya parametrov i shem teplosnabjeniya teplichno-ovoschnyih kombinatov s ispolzovaniem sbrosnoy i nizkopotentsialnoy teploty KES : dis. ... kand. tehn. nauk : 05.14.01. Saratov, 2001. 146 s. 2. Olkhovyk O. I., Vostrikov V. P., Pinchuk O. L. Vykorystannia

228

nyzkopotentsiinoho tepla dovkillia teplovymy nasosamy dla potreb silskoho hospodarstva. *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky* : zb. nauk. prats. Rivne : NUVHP, 2007. Vyp. 1(37). S. 54–61. **3.** Vostrikov V. P., Romaniuk I. V., Pinchuk O. L., Novachok I. O. Obihriv gruntu rukavamy-teploobminnykamy i yoho vplyv na gruntovi protsesy, rozvytok i vrozhainist sunyts. *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky* : zb. nauk. prats. Rivne : NUVHP, 2008. Vyp. 2(42). Ch. 1. S. 108–115. **4.** Farberov V. G., Kalmyikov A. E., Zelenina E. S. Energobiologicheskiiy kompleks. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*. 2001. № 4. S. 28–30. **5.** Vasilev N. N., Remizov Yu. V. Energobiologicheskie kompleksyi kak sposob utilizatsii sbrosnogo tepla krupnih energoobyektov i sozдание vyisokointensivnogo bezothodnogo proizvodstva. *Voprosyi atomnoy nauki i tekhniki*. 2004. Vyip. 1. S. 57–60. **6.** Pinchuk O. L. Analiz konstruksii teplomelioryatyvnykh system. *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky* : zb. nauk. prats. Vyp. 1(53). Rivne, 2011. S. 85–94. **7.** 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. Rivne, 2007. 249 s. **8.** Gurin V. A., Vostrikov V. P., Romanyuk I. V., Pinchuk O. L. Teplovaya effektivnost obogreva grunta vodonapolnennymi gibkimi rukavami pri ispolzovanii nizkotemperaturnoy vodyi. *Rol melioratsii v obespechenii prodovolstvennoy i ekologicheskoy bezopasnosti Rossii* : materialyi mejdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Moskva, 2009. Ch. 1. S. 129–135. **9.** Vostrikov V. P., Pinchuk O. L., Romaniuk I. V. Metodichni aspekty hidravlichnykh doslidzhen teplomelioryatyvnykh system poverkhnevoho obihrivu gruntu obolonkamy-rukavamy. *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky* : zb. nauk. prats. Rivne, 2011. Vyp. 3(55). S. 30–36.

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

COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATION OF PRESSURE LOSSES IN SHELLS-SLEEVES OF HYDROTECHNICAL SYSTEMS OF SURFACE HEATING SOIL

Agriculture is a promising direction for the use of waste heat from industrial and energy facilities, namely the creation of special hydrotechnical systems for heating the soil. The technology of heat

reclamation of soils by surface heating with flexible shells-sleeves using discharge warm water has shown its sufficiently high heat reclamation and economic efficiency. The results of the study of the hydraulic parameters and modes of movement of the heat carrier in the casings-sleeves of hydrotechnical systems of surface heating of the soil are presented. Conducted studies of flexible polyethylene sheaths-sleeves with a diameter of 50, 70, 85 and 100 mm and a length of 30 m in conditions of free and flooded outflow of water made it possible to establish the nature of the change in the hydraulic slope at a maximum flow rate of up to 1.5 l/s. According to the results of experimental studies, the dependences describing the dependence of the hydraulic friction coefficient on the Reynolds number under different conditions of water outflow have been established. The water temperature in the studies varied from 20 to 35° C, and its influence on the change in hydraulic characteristics was taken into account by the corresponding change in viscosity when calculating the Reynolds number. At the same time, it was established that when pumping water with a flow rate of up to 1.5 l/s through the shells, the Reynolds number at a temperature of 30° C varied within the following limits: for a diameter of 50 mm – $(0.32...4.8) \cdot 10^4$, for a diameter of 70 mm – $(0.22...3.4) \cdot 10^4$, for a diameter of 85 mm – $(0.19...2.8) \cdot 10^4$, for a diameter of 100 mm – $(0.16...2.4) \cdot 10^4$. Water was passed at a small rate of 0.1 to 1.5 l/s, simulating the operation of the sleeves in a real surface heating system. The obtained data on the hydraulic characteristics of flexible sheaths-sleeves, made of polyethylene film with a thickness of 0.2 mm, proved that they can pass significant water flows at a length of 25–30 m with small initial pressures and small speeds of water movement both at free and at submerged outflow. A computer program has been developed for the hydraulic calculation of pressure losses in casings-sleeves.

Keywords: computer program; head loss; hydraulic engineering systems; shell-sleeve; surface heating of soil.
