

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-269>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/269>

УДК 532.5

УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ ЗАКРИТОЇ КОЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЇ МЕРЕЖІ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ

Л.Р. Волк¹, канд. техн. наук, О.В. Безусяк², канд. техн. наук, П.П. Волк³, канд. техн. наук

¹ Національний університет водного господарства та природокористування (НУВГП), Рівне, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-1033-6715>; e-mail: l.r.volk@ukr.net;

² Національний університет водного господарства та природокористування (НУВГП), Рівне, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-0662-9769>; e-mail: bezusyak@ukr.net;

³ Національний університет водного господарства та природокористування (НУВГП), Рівне, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-5736-8314>; e-mail: p.p.volk@nuwm.edu.ua

Анотація. Виклики сучасності та зміни клімату, а також наявне спрацювання ресурсу, визначають за необхідне удосконалення типу, конструкції та параметрів закритої колекторно-дренажної мережі, як визначального регулюючого елемента дренажних систем, у проектах їх реконструкції та модернізації. Тому розглянуто необхідність та науково-методичні підходи до удосконалення розрахунку закритої колекторно-дренажної мережі дренажних систем, які працюють у режимі осушення та підгрунтового зволоження, на основі врахування впливу ефективності її роботи на ефективність регулювання водного режиму осушуваних земель. На основі застосування системної методології визначено наявність та структуру ієрархічного і гідравлічного взаємозв'язку між водним режимом поля з режимом роботи закритої колекторно-дренажної мережі, ефективність роботи якої, своєю чергою, визначається режимом руху потоку в дренажній трубі як основному її елементі. Через наявну недосконалість загальної теорії руху турбулентного потоку в напірному трубопроводі, в тому числі дренажному, щодо недостатньої наукової обґрунтованості розподілу швидкостей в потоці, на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано порівняно нові наукові положення на відміну від наявних напівемпіричних теорій, щодо оцінювання гідродинамічної структури потоку в напірному трубопроводі. Це дає змогу шляхом розкриття повної гідродинамічної структури потоку для всіх областей турбулентного режиму в ньому, на основі застосування отриманих універсальних рівнянь, побудувати профіль розподілу загальної турбулентної кінематичної в'язкості та осередненої швидкості. Розглянутий підхід дозволить оцінити ефективність руху потоку як в складових дренажних трубопроводах, так і в закритій колекторно-дренажній мережі в цілому та в подальшому удосконалити методи проектування й розрахунку її технологічних та конструктивних параметрів й, тим самим, забезпечити загальну технічну, технологічну, економічну та екологічну ефективність функціонування дренажних систем відповідно до сучасних вимог.

Ключові слова: удосконалення, розрахунок, закрыта колекторно-дренажна мережа, дренажна система

Актуальність дослідження. Сучасні зміни кліматичних умов, зокрема зміна кількості та інтенсивності ґрунтового зволоження за рахунок зміни режиму атмосферних опадів та істотного підвищення температури повітря, потенційної випаровуваності відповідно сумарного випаровування і водопотреби вирощуваних сільськогосподарських культур, визначають за необхідне забезпечення високої продуктивності осушуваних земель на основі застосування відповідних адаптивних заходів щодо, насамперед, зарегулювання й акумуляції вологи у ґрунті та в межах системи, а також переходу від періодичного до регулярного їх зволоження [1].

Водночас, технічний стан побудованих 40–50 років тому дренажних систем (ДС)

погіршився внаслідок зношеності та невиконання необхідного комплексу експлуатаційних заходів, що призвело до деформації та замулення закритої колекторно-дренажної мережі (ЗКДМ), як основного регулюючого елемента таких систем, які працюють у режимі осушення та підгрунтового зволоження. Як наслідок, відбулося відхилення їх параметрів від проектних, порушення режиму та роботи ЗКДМ, зниження її пропускної здатності, загальної ефективності функціонування таких систем та продуктивності осушуваних земель на 25...50% проти проектної [2; 3] та ін.

Тому надзвичайно актуальним є питання щодо зміни підходів до створення й функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів на осушуваних землях,

© Волк Л.Р., Безусяк О.В., Волк П.П., 2021

зміни методології до обґрунтування в проектах будівництва та реконструкції ДС їх оптимальних конструктивних рішень (тип, конструкція, параметри систем та складових їх технічних елементів), насамперед ЗКДМ, як визначального регулюючого елемента ДС, що може працювати як у режимі осушення, так і в режимі традиційного і найбільш поширеного способу підґрунтового зволоження.

Водночас, при проектуванні та експлуатації ДС на всіх стадіях прийняття управлінських рішень у часі (1-проект, 2-планова експлуатація, 3-оперативне управління об'єктом) [4; 5], надзвичайно важливо правильно (об'єктивно) визначити параметри системи та її складових технічних елементів, насамперед регулюючої ЗКДМ, а також провідної мережі каналів, регулюючих та підпірних гідротехнічних споруд, насосних станцій тощо. Саме вони значною мірою зумовлюють вартість системи, її загальну технологічну, економічну та екологічну ефективність.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Свого часу, різними аспектами водорегулювання на осушуваних землях, розробкою теорії та гідромеханічного методу з обґрунтування типу, конструкції й параметрів ЗКДМ ДС, які працюють у режимі осушення та підґрунтового зволоження, займалися такі вітчизняні та зарубіжні вчені: Авер'янов С.Ф., Балзарявичус П.Ю., Гейтман В.Г., Єнно Ю.П., Івицький А.І., Кравченко В.П., Кожушко Л.Ф., Костяков О.М., Лабренцис В.І., Лазарчук М.О., Мурашко А.І., Олійник О.Я., Пивовар М.Г., Поляков В.Л., Ридигер В.Р., Рокочинський А.М., Скрипник О.В., Старіков Х.М., Сташук В.А., Хлапук М.М., Шкінкіс Ц.Н., Якушев А.І., Янголь А.М., Яцик А.В. [4; 6; 7] та ін.

Для підвищення ефективності функціонування ДС із двобічним регулюванням водного режиму осушуваних земель у 70–80-ті роки минулого століття інтенсивно розроблялись питання щодо автоматизації управління водорегулюванням та виробничих процесів розподілу води на осушувально-зволожувальних системах засобами гідроавтоматики (Баховець Б.О., Дупляк В.Д., Коваленко П.І., Ковальчук Ю.Г., Кумачьов В.І., Матус С.К., Наумчук О.М., Пастушенко В.Й., Тищенко О.І., Ткачук Я.В., Чалий Б.І., Яцик М.В. та ін.) [8].

Дані розробки щодо методології створення й функціонування дренажних систем були високого наукового рівня, отримали всебічне визнання, увійшли у відповідні галузеві нормативи і були широко впроваджені на практиці в умовах виробництва. Але, як показали

світова й вітчизняна практика та накопичений досвід [8; 9], на жаль, так і не був досягнутий необхідний рівень економічної й екологічної ефективності реалізації гідромеліорацій через, насамперед, недостатню досконалість методології проектування і розрахунку такого роду об'єктів та її невідповідності сучасним вимогам, в тому числі не врахування взаємозв'язку між режимом роботи ЗКДМ і водним режимом осушуваних земель.

При розв'язанні широкого класу інженерних гідравлічних задач щодо типу конструкції та параметрів напірних трубопроводів за наявності недосконалої теорії виникають складнощі, пов'язані з неможливістю визначити розподіл загальної турбулентної кінематичної в'язкості, осереднених швидкостей в трубопроводах, дотичних напружень та кутової швидкості обертання часток рідини й визначити достатньо науково обґрунтовані технологічні та конструктивні параметри напірних трубопроводів, в тому числі дренажних. Це визначає об'єктивну необхідність подальшого розвитку повної теорії руху турбулентного потоку.

Над вирішенням цієї проблеми працювало багато вчених: Альтшуль А.Д., Великанов М.А., Дайслер Р., Драйдена Х.Л., Дюренда В.Ф., Железняков Г.В., Карман Т., Кисельов П.Г., Колмогоров А.М., Куллупайло С., Макавєєв В.М., Нікітін І.К., Лойцянский Л.Г., Обухов О.М., Прандтль Л., Рейхардт Г., Ротта Д., Сміслов В.В., Тейлор Дж., Толмін В., Фрідман О.О., Шліхтінг Г. [10–20] та ін. Ними були запропоновані напівемпіричні, на їх погляд універсальні, теорії турбулентних течій, в яких невідомі зв'язки між турбулентними напруженнями і осередненими швидкостями деформації конкретизовані на основі відповідних гіпотез, якісних фізичних домислів, теорій розмірностей, що були отримані при узагальненні як власних, так і експериментальних матеріалів інших дослідників.

Але розроблені та запропоновані ними напівемпіричні теорії не можуть бути універсальними, оскільки вони обмежені діапазоном умов їх отримання та застосування, що зумовило необхідність прийняття відповідних припущень.

За цими напівемпіричними теоріями було запропоновано моделі за степеневим та логарифмічним профілями. Широкого розповсюдження набув логарифмічний профіль, незважаючи навіть на те, що ця залежність не відповідає граничним умовам на осі та на внутрішній поверхні трубопроводу. З метою забезпечення граничних умов на внутрішній

поверхні трубопроводу вченими розроблені двошарові та тришарові моделі, проте вони теж не відповідають граничним умовам по осі потоку трубопроводу [20].

Продовжуються дослідження [16; 17] у напрямку оцінки ефективності руху потоку як у складових дренажних трубопроводах, так і в ЗКДМ в цілому. Це дасть можливість удосконалити методи проектування й розрахунку технологічних та конструктивних параметрів ДС.

У зв'язку з цим, метою дослідження є подальший пошук нових підходів до удосконалення методів розрахунку закритої колекторно-дренажної мережі дренажних систем, які працюють у режимі осушення та підґрунтового зволоження, на основі обґрунтування взаємозв'язку та врахування впливу ефективності її роботи на ефективність регулювання водного режиму осушуваних земель.

Матеріали та методи досліджень. Виконано аналіз й узагальнення існуючих досліджень та загальноприйнятих методів з обґрунтування типу, конструкції та параметрів ЗКДМ як основного регулюючого елемента ДС при осушенні та підґрунтовому зволоженні осушуваних земель.

Для визначення наявності структурного зв'язку між режимом роботи ЗКДМ та водним режимом меліорованого поля при розгляді ДС не суто як технічної, а як складної природно-технічної системи, було використано інструментарій системного підходу та системного аналізу.

При проведенні теоретичних досліджень застосовано методи математичного моделювання гідродинамічної структури турбулентного потоку в напірних трубопроводах із використанням загальновідомих диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса.

Для підтвердження адекватності отриманих аналітичних моделей використано загальноприйняті методи статистичного опрацювання з використанням ЕОМ загальновідомих результатів експериментальних досліджень Нікурадзе І. та Шевельова Ф.О. щодо вивчення закономірностей розподілу осереднених швидкостей турбулентного потоку в напірних трубопроводах.

Результати дослідження та їх обговорення. Згідно з [4; 8] та ін., при застосуванні найсучаснішої методології системного підходу та системного аналізу до створення і функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів, ДС постають як складні природно-технічні еколого-економічні системи, в яких має місце структурний взаємо-

зв'язок виду *ефект* \Leftrightarrow *режим* \Leftrightarrow *технологія* \Leftrightarrow *конструкція*, що визначає необхідність більш детальних досліджень закономірностей взаємопов'язаних процесів руху води як в основних елементах, так і в системі в цілому.

Тому, за аналогією та в розвиток такого підходу, доцільно виділити та розглянути підсистему виду *грунт* \Leftrightarrow *режим рівня ґрунтових вод* \Leftrightarrow *ЗКДМ як основний регулюючий елемент ДС*, елементи якої мають структурний ієрархічний та гідравлічний взаємозв'язок. При цьому, характерною особливістю ДС з двостороннім регулюванням є те, що процеси руху водного потоку в елементах ЗКДМ ДС при роботі її в режимі осушення та підґрунтового зволоження є аналогічними, але взаємопротилежними і реалізуються, використовуючи одну й ту ж КДМ.

Відповідно, означений зв'язок між режимом рівня ґрунтових вод та ЗКДМ забезпечується трансформацією фільтраційного руху відносно рівномірного та суцільного потоку в різнорідну структуру сукупності відокремлених водних турбулентних потоків в ієрархічно та гідравлічно зв'язаних напірних дренажних трубопроводах як складових елементах ЗКДМ з різними умовами формування їх градієнтів напорів та швидкостей при її роботі в режимі осушення і навпаки – при її роботі в режимі підґрунтового зволоження. Це може бути відображено відповідною підсистемою виду *режим руху ґрунтового потоку* \Leftrightarrow *режим руху потоку в ЗКДМ* \Leftrightarrow *режим руху потоку в окремому дренажному трубопроводі як основному елементі ЗКДМ*.

Своєю чергою, згідно загальної теорії руху водного потоку в напірному трубопроводі, ефективність режиму потоку в ЗКДМ визначається параметрами гідродинамічної структури розподілу швидкостей в поперечному перерізі потоку в окремому колекторно-дренажному трубопроводі як основному її елементі, що визначає ефективність роботи кожного такого елемента і ЗКДМ в цілому.

Структурно-логічна схема ієрархічного та гідравлічного взаємозв'язку і впливу режиму роботи ЗКДМ на режим рівня ґрунтових вод меліорованого поля, ефективність чого визначається гідродинамічною структурою розподілу швидкості в поперечному перерізі потоку у дренажному трубопроводі як в окремому елементі регулюючої мережі, представлена на рис. 1.

У зв'язку з тим, що існуючі залежності розподілу осереднених швидкостей в трубопроводах, в тому числі і дренажних, не відповідають граничним умовам біля стінки

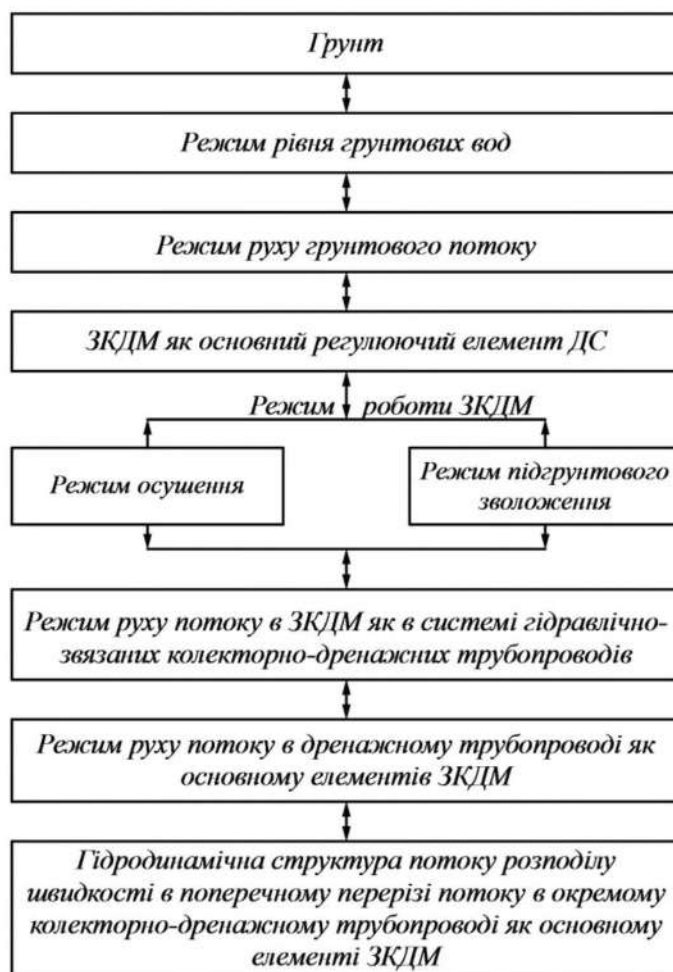


Рис. 1. Структурно-логічна схема ієрархічного та гідравлічного взаємозв'язку і впливу режиму роботи ЗКДМ на режим рівня ґрунтових вод меліорованого поля

трубопроводу (степеневі рівняння), а запропоновані логарифмічні рівняння не відповідають граничним умовам не тільки біля стінки, а й на осі трубопроводу [20], виникає об'єктивна необхідність у подальшому розвитку та поглибленні даної теорії.

І. Нікурдзе було виконано ґрунтові експериментальні дослідження щодо вивчення режимів руху потоку в трубопроводах з однорідною зернистою шорсткістю і гідравлічно гладких трубах та розподілом осереднених швидкостей. Ф.А. Шевельов у лабораторних умовах на гідравлічних та аеродинамічних установках дослідив режими руху потоку та розподіл швидкостей в сталевих та чавунних трубопроводах [16]. На основі цих експериментів було побудовано графіки залежності коефіцієнта гідравлічного опору λ від числа Рейнольдса Re , на яких розкриті режими руху потоку в трубопроводах.

При турбулентному режимі в областях доквадратичного та квадратичного руху потоку коефіцієнт гідравлічного опору зале-

жить не тільки від числа Рейнольдса, але й від шорсткості внутрішньої поверхні трубопроводу. Тому існує велика кількість залежностей, які широко представлені в довідковій літературі [12; 14]. Але слід відмітити, що графік залежності зміни коефіцієнта гідравлічного опору від числа Рейнольдса розкриває тільки режими руху, але не розкриває гідродинамічної структури потоку, яку необхідно враховувати при гідравлічних розрахунках трубопроводів.

Рівняння розподілу осередненої швидкості руху рідини при ламінарному режимі було отримано в результаті замкнення диференціального рівняння Нав'є-Стокса в диференціальній формі Стоксом Дж. та врахування рівняння неперервності та прийняття крайових умов [16]

$$u_{r1} = \lambda Re^2 \frac{v}{8d^3} (r_0^2 - r^2). \quad (1)$$

Залежність (1) не може бути застосована для визначення розподілу швидкостей для турбулентного режиму, а існуючі залежності

розподілу осереднених швидкостей в трубопроводі не відповідають граничним умовам біля стінки трубопроводу (степеневі рівняння), а запропоновані логарифмічні рівняння не відповідають граничним умовам біля стінки і на осі трубопроводу. Отже було запропоновано наступне вирішення такої проблеми.

Нами було прийнято основну гіпотезу [16], що отримана з диференціального рівняння Нав'є-Стокса залежність (1), придатна для розрахунку осереднених швидкостей також при турбулентному режимі руху рідини, але для цього необхідно замінити в рівнянні Нав'є-Стокса молекулярну кінематичну в'язкість ν на загальну турбулентну кінематичну в'язкість ν_{tot} , яка включає кінематичну в'язкість на внутрішній поверхні трубопроводу ν_s та турбулентну кінематичну в'язкість ν_t , яка виникає за рахунок переміщення мас з одного шару в інший, як рекомендував Буссінеск Ж.В.

Тоді отримаємо [16]

$$u_{xr} = \lambda \operatorname{Re}^2 \frac{\nu^2}{64 \nu_{tot} r_0^3} (r_0^2 - r^2), \quad (2)$$

де ν_{tot} – загальна турбулентна кінематична в'язкість потоку, яка враховує молекулярну кінематичну в'язкість на стінці трубопроводу ν_s та турбулентну кінематичну в'язкість між шарами потоку ν_t .

Переміщення молекул рідини на внутрішній поверхні трубопроводу обмежене, тому кінематична в'язкість на внутрішній поверхні трубопроводу ν_s менша за молекулярну в'язкість рідини ν . За проведеними нами статистичними дослідженнями можна прийняти проміжну гіпотезу, що ν_s залежить від коефіцієнта гідравлічного опору і визначається за залежністю

$$\nu_s = \lambda \nu. \quad (3)$$

Турбулентна кінематична в'язкість між шарами потоку, як показують проведені статистичні дослідження, теж не є сталою фізичною величиною і також потребує додаткових досліджень.

Тому для отримання графіка залежності відносної загальної кінематичної в'язкості вздовж радіуса на основі експериментальних даних, рівняння (2) приведено до вигляду [16]

$$\frac{\nu_{tot}}{\nu} = \frac{\nu \lambda \operatorname{Re}^2}{64 u_{xr} r_0^3} (r_0^2 - r^2). \quad (4)$$

Відповідно було прийнято проміжну гіпотезу, щодо того що сума відносної турбулентної кінематичної в'язкості в точці потоку й відносної відстані до даної точки у відповідних степенях дорівнює одиниці

та враховано кінематичну в'язкість на внутрішній поверхні трубопроводу ν_s [16].

Тому, загальна турбулентна кінематична в'язкість визначається за рівнянням [16]

$$\nu_{tot} = \frac{1}{r_0^{nm}} \left(\nu_{tmax}^{1/m} (r_0^n - r^n) + \nu_s^{1/m} r_0^n \right)^m, \quad (5)$$

де невідомі параметри визначаються за системою рівнянь

$$\left. \begin{aligned} \nu_{tmax} &= k \nu \lambda \operatorname{Re}; \\ k &= a \lg \operatorname{Re} \lg(100\lambda) + b; \\ m &= c \lg \operatorname{Re} \lg(100\lambda) + d; \\ n &= 2/m; \\ \nu_s &= \lambda \nu; \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

де ν_{tmax} – максимальне значення турбулентної кінематичної в'язкості, яка виникає на осі трубопроводу; k , m і n – постійні параметри для певної області турбулентного режиму руху потоку; $(\lg \operatorname{Re}; \lg(100\lambda))$ – координати на графіку Нікурадзе, які враховують області гідравлічного опору турбулентного режиму; a , b , c , d – постійні коефіцієнти, які визначаються на основі експериментальних даних.

Вихідні розрахункові параметри k і m , які визначаються рівнянням (6), включають невідомі постійні коефіцієнти a , b , c , d . Їх значення отримані на основі експериментальних профілів загальної турбулентної кінематичної в'язкості, що визначені з експериментальних досліджень Нікурадзе І. та Шевельова Ф.О., за методом найменших квадратів із довірчою ймовірністю 95% і, відповідно, дорівнюють $a = -0,000675$; $b = 0,0273$; $c = -0,0195$; $d = 0,915$.

З урахуванням рівняння (6) рівняння (5) буде мати вигляд [16]

$$\nu_{tot} = \frac{\nu \lambda}{r_0^{nm}} \left((k \operatorname{Re})^{1/m} (r_0^n - r^n) + r_0^n \right)^m. \quad (7)$$

Враховуючи рівняння загальної кінематичної в'язкості (7), залежність розподілу осередненої швидкості потоку (2) при турбулентному режимі прийме вигляд [17]

$$u_{xr} = \frac{\nu \operatorname{Re}^2 (r_0^2 - r^2)}{64 \left((k \operatorname{Re})^{1/m} (r_0^n - r^n) + r_0^n \right)^m r_0}. \quad (8)$$

На рисунку 2 представлена порівняльна характеристика профілів осереднених швидкостей руху рідини для різних режимів та їх областей.

Тоді максимальна осереднена швидкість потоку при турбулентному режимі визначається з рівняння (8) при $r = 0$

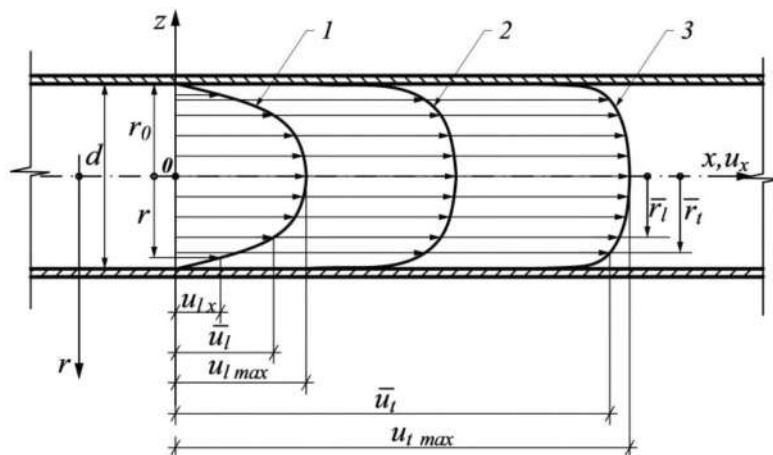


Рис. 2. Розподіл осередненої швидкості руху рідини: 1 – для ламінарного режиму руху потоку визначається за формулою (1); 2 – для області гідравлічно гладкого опору при турбулентному режимі за (8); 3 – для областей доквадратичного та квадратичного опору при турбулентному режимі за (8)

$$u_{x1max} = \frac{\nu Re^2}{64r_0^3 \left((k Re)^{1/m} + 1 \right)^m} \quad (9)$$

а на внутрішній поверхні трубопроводу – при $r = r_0$ дорівнює нулю $u_{xt} = 0$.

Для порівняння, при ламінарному режимі руху рідини максимальна осереднена швидкість потоку визначається як

$$u_{x1max} = \lambda Re^2 \frac{\nu}{8d^3} r_0^2 \quad (10)$$

Відстань від осі трубопроводу до точок, що мають середню швидкість \bar{v} при турбулентному режимі, виражається рівнянням у неявній формі

$$\frac{Re(r_0^2 - \bar{r}^2)}{32 \left((k Re)^{1/m} (r_0^n - \bar{r}^n) + r_0^n \right)^m} = 1 \quad (11)$$

Вона не є сталою і залежить від коефіцієнта гідравлічного опору та числа Рейнольдса.

Для порівняння, при ламінарному режимі руху рідини відстань від осі трубопроводу до точок, що мають середню швидкість, становить

$$\bar{r}_l = \frac{r_0}{\sqrt{2}} \quad (12)$$

Тоді відношення максимальної швидкості до середньої в трубопроводі при турбулентному режимі визначається як

$$\frac{u_{x1max}}{\bar{u}_x} = \frac{\left((k Re)^{1/m} (r_0^n - \bar{r}^n) + r_0^n \right)^m}{\left((k Re)^{1/m} + 1 \right)^m (r_0^2 - \bar{r}^2)} \quad (13)$$

Для порівняння, при ламінарному режимі руху рідини відоме відношення максимальної швидкості до середньої в трубопроводі має вигляд

$$\frac{u_{x1max}}{\bar{u}_x} = 2 \quad (14)$$

Для прикладу на рисунку 3 приведено профілі осереднених швидкостей для трубопроводу діаметром 10 см та приведені точки експериментальних досліджень, виконаних Нікурадзе І.

Адекватність встановлених та запропонованих нових теоретичних положень та отриманих на їх основі аналітичних моделей підтверджується практично повним співпадінням (з довірчою ймовірністю 95%) розрахованих за ними основних параметрів турбулентного потоку з результатами експериментальних досліджень провідних і визнаних вчених у цій галузі науки Нікурадзе І та Шевельова Ф.О. шляхом статистичного їх опрацювання загальноприйнятими методами з використанням ЕОМ [16, 19].

Висновки. На підставі проведених теоретичних досліджень отримані удосконалені теоретичні положення в подальший розвиток загальної теорії турбулентного руху потоку в напірних трубопроводах, які, на відміну від наявних напівемпіричних теорій, дають змогу шляхом розкриття повної гідродинамічної структури потоку для всіх областей турбулентного режиму в ньому на основі застосування отриманих універсальних рівнянь побудувати профіль розподілу загальної турбулентної кінематичної в'язкості та осередненої швидкості.

На основі застосування системної методології, на відміну від [16, 17], отримано структуру ієрархічного і гідравлічного взаємозв'язку між водним режимом поля з режимом

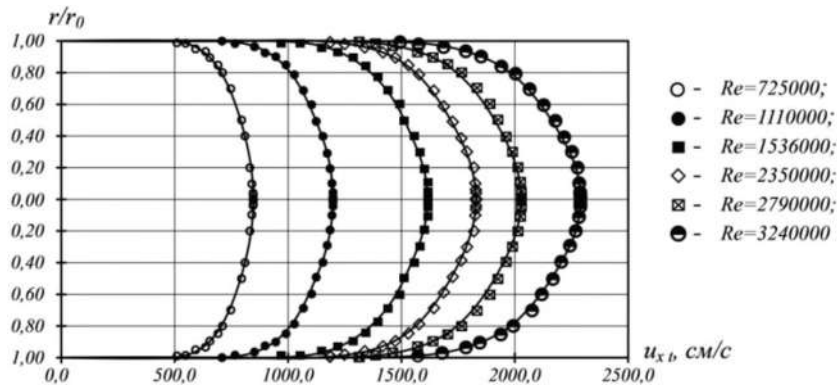


Рис. 3. Профілі осереднених швидкостей при турбулентному режимі в області гідравлічно гладкого опору для трубопроводу діаметром 10 см

роботи ЗКДМ, ефективність роботи якої, своєю чергою, визначається режимом руху потоку в дренажній трубі як основному її елементі. В подальшому це дозволить удосконалити методи проектування й розрахунку ДС

технологічних та конструктивних параметрів і, тим самим, забезпечити загальну технічну, технологічну, економічну та екологічну ефективність функціонування їх відповідно до сучасних вимог.

Бібліографія

1. Evaluation of climate change in Polissia region and ways of adaptation to it / Kovalenko P. et al. // *Journal of Water and Land Development*. 2019. Vol. 41. 72–82.
2. Оптимізація розрахунку осушувальних систем та управління ними / Лазарчук М.О. та ін., ; ред. Лазарчука М.О. Рівне, 2009. 354 с.
3. Сапсай Г.І., Бадинський Л.О., Величко С.В. Гідрологічна дія закритого дренажу при зміні його технічного стану : монографія. Івано-Франківськ : НАІР, 2013. 128 с.
4. Природообустройство Полесья : монографія / ред. Ю.А. Мажайского, А.Н. Рокочинского, А.А. Волчека, О.П. Мешика, Е. Езнаха. Рязань : Мещер. ф-л ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2017. 902 с.
5. Посібник до ДБН В.2.4.-1-99. Меліоративні системи та споруди (розділ 3. Осушувальні системи). Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем / А.М. Рокочинський та ін. Київ, 2008. 63 с.
6. Хлапук М.М., Тищенко О.І. Підвищення ефективності і надійності осушувально-зволожувальних систем // *Вісник інженерної академії України*. 2003. Вип. 2. С. 57–65.
7. Коваленко П.І., Яцик М.В., Поляков В.П. Управління вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур на меліорованих землях з урахуванням динаміки факторів зовнішнього середовища // *Меліорація і водне господарство*. 1996. Вип. 82. С. 3–12.
8. Меліорація та облаштування Українського Полісся. Т. 1. / ред. Я.М. Гадзала, В.А. Сташука, А.М. Рокочинського. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. 932 с.
9. Шестаков В.М. Теоретические основы оценки подпора водопонижения и дренажа. Москва : МГУ, 1965. 233 с.
10. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Москва : Наука, 1978. 736 с.
11. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. Москва : Энергия, 1972. 316 с.
12. Nikuradse J. Gesetzmässigkeiten der turbulenten Strömung in glatten Röhren. *Forsch. Arb. Ing. Wes.*, 1932, 356 n.
13. Nikuradse J. Strömungsgesetze in rauchen Röhren *Forsch. Ver. Dtsch. Ing.*, 1933. 361 n.
14. Шевелев Ф.А. Исследование основных гидравлических закономерностей турбулентного движения в трубах. Москва : Госстройиздат, 1953. 208 с.
15. Logarithmic scaling of turbulence in smooth-and rough-wall pipe flow / Hultmark M. et al. // *Fluid Mech*. 2013. Vol. 728. 376–395.
16. Дослідження розподілу загальної турбулентної кінематичної в'язкості в трубопроводах при турбулентному режимі / Хлапук М.М. та ін. // *Вісник НУВГП*. 2019. Вип. 4(88). С. 3–17.
17. До розвитку теорії руху потоку в трубопроводах при турбулентному режимі / Хлапук М.М. та ін. // *Вісник НУВГП*. 2019. Вип. 3(87). С. 3–18.

18. Volk L.R. Improvement of approaches and methods of turbulent flow theory in the pipes // *Вісник ОДАБА*. 2020. Вип. 80. С. 103–113.
19. Дослідження профілю осередненої швидкості потоку в трубопроводах при турбулентному режимі в області гідравлічно гладкого опору / Хлапук М.М. та ін. // *Вісник НУВГП*. 2020. Вип. 1(89). С. 3–11.
20. Волк Л.Р. Аналіз розвитку підходів до побудови профілів осередненої швидкості потоку при турбулентному режимі в трубопроводах // *Гідроаеромеханіка в інженерній практиці. XXV Міжнар. наук.-практ. конф. : тези доп.* Київ, 2020. С. 252–255.

References

1. Kovalenko, P., Rokochinskiy, A., Jeznach, J., & Volk, P. (2019). Evaluation of climate change in polissia region and ways of adaptation to it. *Journal of Water and Land Development*, 41, 72–82.
2. Lazarchuk, M.O., Cherenkov, A.V., & Rokochynskiy, A.M. (2009). *Optimizatsiia rozrakhunku osushvalnykh system ta upravlinnia nymy* [Optimization of drainage systems calculation and management]. Rivne : NUWEE. [in Ukrainian]
3. Sapsay, G.I., Badinsky, L.O., & Velichko, S.V. (2013). *Hidrolohichna diia zakrytoho drenazhu pry zmini yoho tekhnichnoho stanu* [Hydrological action of closed drainage when changing its technical condition] Ivano-Frankivsk : NAIR. [in Ukrainian]
4. Mazhayskiy, Yu.A., Rokochinskiy, A.N., Volchek, A.A., Meshik, O.P., & Eznakh, E. (2017). *Prirodoobustroystvo Polesia* [Nature management of Polesie]. Iss. 2, Vol. 1. Ryazan : Meshcher. f. VNIIGiM im. A.N. Kostyakova. [in Ukrainian]
5. *Posibnyk do DBN V.2.4-1-99 Melioratyvni systemy ta sporudy* [Guide to DBN V.2.4-1-99 Reclamation systems and structures]. Kyiv : Ukrvodproekt. [in Ukrainian]
6. Khlapuk, M.M., & Tyshenko, O.I. (2003). *Pidvyshchennia efektyvnosti i nadiinosti osushvalno-zvolozhuvalnykh system* [Improving the efficiency and reliability of dehumidification and humidification systems]. *Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*, 2, 57–65. [in Ukrainian]
7. Kovalenko, P.I., Yatsyk, M.V., & Poliakov, V.P. (1996). *Upravlinnia volohozabezpechenistiu silskohospodarskykh kultur na meliorovanykh zemliakh z urakhuvanniam dynamiky faktoriv zovnishnoho seredovyshcha* [Management of moisture supply of agricultural crops on reclaimed lands taking into account the dynamics of environmental factors]. *Land reclamation and water management*, 82, 3–12. [in Ukrainian]
8. Hadzalo, Ya.M., Stashuk, V.A., & Rokochynskiy, A.M. (Ed.) (2017). *Melioratsiia ta oblashtuvannia Ukrainського Polissia* [Reclamation and arrangement of the Ukrainian Polesie]. Kherson : OLDI-PLUS. [in Ukrainian]
9. Shestakov, V.M. (1965). *Teoreticheskie osnovy ocenki podpora vodoponizheniya i drenazha* [Theoretical bases of estimation of water lowering and drainage support]. Moskva : MGU. [in Russian]
10. Loitsianskiy, L.H. (1978). *Mekhanika zhidkosti i gaza* [Fluid and gas mechanics]. Moskva : Nauka. [in Russian]
11. Kiselev, P.G. (1972). *Spravochnik po gidravlicheskim raschetam* [Hydraulic Calculation Reference]. Moskva : Energy. [in Russian]
12. Nikuradse, J. (1932). *Gesetzmassigkeiten der turbulenten Strömung in glatten Röhren*. *Forsch. Arb. Ing. Wes.* [in German]
13. Nikuradse, J. (1933). *Strömungsgesetze in rauchen Röhren*. *Forsch. Ver. Dtsch. Ing.* [in German]
14. Shevelev, F.A. (1953). *Issledovaniye osnovnykh gidravlicheskiy zakonemernostey turbulentnogo dvizheniya v trubakh* [Study of the main hydraulic laws of turbulent motion in pipes]. Moskva : Gosstroyizdat. [in Russian]
15. Hultmark, M., Vallikivi, M., Bailey, S.C.C., Smits, A.J. (2013). *Logarithmic scaling of turbulence in smooth-and rough-wall pipe flow*. *Fluid Mech*, 728, 376–395.
16. Khlapuk, M.M., Moshynskiy, V.S., Bezusiak, O.V., & Volk, L.R. (2019). *Doslidzhennia rozpodilu zahalnoi turbulentnoi kinematychnoi viazkosti v truboprovodakh pry turbulentnomu rezhymi* [Investigation of the distribution of total turbulent kinematic viscosity in pipelines in turbulent mode]. *Visnyk NUWEE*, 4(88), 3–17. [in Ukrainian]
17. Khlapuk, M.M., Moshynskiy, V.S., Bezusiak, O.V., & Volk, L.R. (2019). *Do rozvytku teorii rukhu potoku v truboprovodakh pry turbulentnomu rezhymi* [To the development of the theory of flow in pipelines in turbulent mode]. *Visnyk NUWEE*, 3(87), 3–18. [in Ukrainian]
18. Volk, L.R. (2020). *Improvement of approaches and methods of turbulent flow theory in the pipes*. *Visnyk ODABA*, 80, 103–113.

19. Khlapuk, M.M., Moshynskiy, V.S., Bezusiak, O.V., & Volk, L.R. (2020). Doslidzhennia profilu osередnenoї shvydkosti potoku v truboprovodakh pry turbulentnomu rezhymi v oblasti hidravlichno hladkoho oporu [Investigation of the profile of the averaged flow rate in pipelines in turbulent mode in the region of hydraulically smooth resistance]. *Visnyk NUWEE*, 1(89), 3–11. [in Ukrainian]

20. Volk, L.R. (2020). Analiz rozvytku pidkhodiv do pobudovy profiliv osередnenoї shvydkosti potoku pry turbulentnomu rezhymi v truboprovodakh [Analysis of the development of approaches to the construction of profiles of the averaged flow rate in turbulent mode in pipelines]. *Hidroaeromekhanika v inzhenerii praktytsi: XXV Mizhnarodna nauk.-praktych. konf. Kyiv*, 252–255. [in Ukrainian]

Л.Р. Волк, А.В. Безусьяк, П.П. Волк

Усовершенствование расчета закрытой коллекторно-дренажной сети дренажных систем

Аннотация. Вызовы современности и изменения климата, а также выработка ресурса, определяют необходимость совершенствования типа, конструкции и параметров закрытой коллекторно-дренажной сети, как определяющего регулирующего элемента дренажных систем в проектах их реконструкции и модернизации. Поэтому рассмотрена необходимость и научно-методические подходы к совершенствованию расчета закрытой коллекторно-дренажной сети дренажных систем, работающих в режиме осушения и подпочвенного увлажнения, на основании учета влияния эффективности ее работы на эффективность регулирования водного режима осушаемых земель. На основе применения системной методологии определено наличие и структура иерархической и гидравлической взаимосвязи между водным режимом поля с режимом работы закрытой коллекторно-дренажной сети, эффективность работы которой, в свою очередь, определяется режимом движения потока в дренажной трубе как основном ее элементе. Через имеющееся несовершенство общей теории движения турбулентного потока в напорном трубопроводе, в том числе дренажном, относительно недостаточной научной обоснованности распределения скоростей в потоке, на основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований предложены сравнительно новые научные положения в отличие от имеющихся полумпирических теорий по оценке гидродинамической структуры потока в напорном трубопроводе. Это позволяет путем раскрытия полной гидродинамической структуры потока для всех областей турбулентного режима в нем, на основании применения полученных универсальных уравнений, построить профиль распределения общей турбулентной кинематической вязкости и осредненной скорости. Рассмотренный подход позволит оценить эффективность движения потока как в составляющих дренажных трубопроводах, так и в закрытой коллекторно-дренажной сети в целом и в дальнейшем усовершенствовать методы проектирования и расчета ее технологических и конструктивных параметров и, тем самым, обеспечить общую техническую, технологическую, экономическую и экологическую эффективность функционирования дренажных систем в соответствии с современными требованиями. **Ключевые слова:** усовершенствование, расчет, закрытая коллекторно-дренажная сеть, дренажная система

L.R. Volk, O.V. Bezusyak, P.P. Volk

Improving the dimensioning of closed collecting and drainage network of drainage systems

Abstract. Today's challenges and the climate change along with the current depletion of resources call for the improvement of the type, design and parameters of the closed collecting and drainage network, which is a key regulatory element of drainage systems in projects of their reconstruction and modernization. Therefore, the paper examines the need for and scientific and methodological approaches to improving the dimensioning of a closed collecting and drainage network of drainage systems operating in the regime of drainage and subsoil humidification based on the impact of the network efficiency on the efficiency of regulation of drained lands water regime. Through the system methodology application, determined is the existence and structure of the hierarchical and hydraulic relationship between the field water regime and the operation regime of the closed collecting and drainage network, the efficiency of which depends on the flow regime in the drainage pipe, which is the network's main element. Due to the current flaws in the general theory of turbulent flow in a pressure pipe, including a drainage one, which are related to the lack of scientific foundation for the velocity distribution in the flow, and based on the conducted theoretical and experimental research, the relatively new scientific findings are proposed, that contrast the existent semi-empirical theories for assessing the hydrodynamic structure of the flow in the pressure pipe. This allows to discover the entire hydrodynamic structure of the flow for all turbulence areas therein, and, based on the application of the obtained universal equations, to design a distribution profile of the overall turbulent kinematic viscosity and averaged velocity. The presented approach will enable the efficiency assessment of flow both in constituent drainage pipes and in a closed collecting and drainage network in general. Also, the approach will further be helpful in improving the methods of designing and dimensioning technological and structural parameters of the network and ensuring the total technical, technological, economic, and environmental efficiency of drainage systems in line with the modern requirements.

Key words: improvement, dimensioning, closed collecting and drainage network, drainage system