

УДК 626.862:626.823.3:624.131.23 <https://doi.org/10.31713/vt3202529>

Турченко В. О. ^[1; ORCID ID: 0000-0002-1938-0344],

д.т.н., професор,

Козішкурт С. М. ^[1; ORCID ID: 0000-0002-3961-3731],

к.т.н., доцент,

Картавов Ю. О. ^[1],

аспірант

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ДЕФОРМАЦІЇ ТА ЗАХИСТ ДРЕНАЖНО-СКИДНИХ КАНАЛІВ РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Розглянуто особливості деформацій дренажно-скидних каналів рисових зрошувальних систем, що експлуатуються у складних гідрогеологічних та кліматичних умовах. Проаналізовано чинники, які зумовлюють руйнування укосів каналів. Визначено основні стадії розвитку деформацій русла. Обґрунтовано ефективність використання приукісних дренажів як засобу інженерного захисту, що дозволяє зменшити напір ґрунтових вод на укіс та стабілізувати фільтраційний режим. Наведено результати гідравлічних розрахунків притоку води до недосконалих приукісних дренажів залежно від глибини їх закладання, встановлено оптимальні параметри для забезпечення надійності роботи дренажно-скидної мережі. Запропоновано практичні рекомендації щодо поступового регулювання рівнів води, організації експлуатації та підвищення стійкості русел каналів у сучасних умовах функціонування рисових систем.

Ключові слова: рисові зрошувальні системи; дренажно-скидні канали; деформації укосів; приукісна дрена; фільтраційні процеси; стійкість русла.

Вступ. Складні гідрогеологічні й геологічні умови, в яких побудовані рисові системи, є причиною деформаційних явищ каналів дренажно-скидної мережі, що призводить до руйнування укосів та негативно відбивається на їхніх дренажних функціях. У процесі експлуатації форма поперечного перерізу більшості каналів поступово змінюється від трапецієвидної до форми природного русла. Деформаційні процеси дренажно-скидних каналів РЗС викликані різними факторами і залежать від багатьох чинників, насамперед від інтенсивності та спрямованості фільтраційних процесів із чеків у канали, динаміки коливання рівнів води в



каналів, закладення укосів самих каналів, кліматичних (атмосферні опади, промерзання ґрунту) та інших факторів [1; 2; 3].

Постановка задачі. Питаннями захисту каналів від деформацій займався вчені О. Я. Олійник, Б. І. Харченко, А. М. Рокочинський, О. Г. Кірічок, С. В. Телима, Р. Baily, D. Jayasundera, M. van der Meulen, D. El-Molla, M. El-Molla та інші [1–7]. Основні причини виникнення процесів руйнування укосів каналів, за висновками більшості науковців, можна поєднати у дві основні групи:

- які призводять до зміни напруженого стану порід укосу (збільшення крутизни укосів; підмив русловими течіями, дії гідростатичних і гідродинамічних сил у ґрунті, що обумовлюють розвиток у масиві фільтраційних деформацій – механічної суфозії, фільтраційного випору і розмиву);

- які призводять до зменшення міцності ґрунтів ложа каналу (перезволоження, набухання, розвиток у ґрунтах явища повзучості, перехід ґрунту в стан «пливуна»). Тому ставилася задача розроблення ефективного способу захисту дренажно-скидних каналів рисових систем від деформаційних явищ.

Результати досліджень. Візуальний огляд дренажно-скидних каналів РЗС показав, що в процесі експлуатації канали постійно піддаються деформаціям. Але деформації різних каналів розвиваються по-різному в часі і просторі. Форма поперечного перерізу каналів зазнає значних змін із часом – від трапецієдальної до форми природного русла. Процес деформацій розвивається так, що на загальному його фоні можна виділити щонайменше три стадії: початкову, коли форма русла ще близька до вихідної; перехідну, коли йде значне переформування каналу; завершальну (кінцеву), коли форма русла і процеси в ньому стають близькими до природних водотоків.

Особливістю цих деформацій є те, що фільтруючий укіс деформується нерівномірно по периметру русла з чітко вираженими зонами:

- зона сухого укосу – верхня його частина;
- зона виклинювання фільтраційного потоку на укіс і капілярного підняття;
- зона затоплення.

У кожній із наведених зон укіс деформується під дією різних факторів, які входять до складу єдиного деформаційного процесу.

Найменші деформації спостерігалися на каналах, які прокладені у важких ґрунтах і однорідних за глибиною. Стан каналів,

які проходять по легких ґрунтах (пилуватий пісок, супіски, легкий суглинок) і неоднорідних за літологією, переважно незадовільний через значні деформації укосів та руйнування русла каналу. Так, у ґрунтах середнього і важкого гранулометричного складу, де проєктом передбачалося закладення укосів $m=1,5$, фактична його величина в наведених зонах становила: $m_c=1,48$ (сухого), $m_v=2,13$ (вологого), $m_z=1,98$ (затоплення). На ґрунтах легкого гранулометричного складу, при закладенні укосів за нормативами $m=2,0$, величина закладання переформованого укосу становила відповідно $m_c=2,08$, $m_v=5,82$, $m_z=3,37$. Як видно, зона виклинювання та капілярного підняття найбільш нестійка. У ній відбувається найбільше виположування укосу, спостерігалися випадки, коли m_v доходило до 20,0, при цьому у верхній частині на межі із зоною сухого укосу утворювався обрив висотою до 0,5 м.

Значною мірою деформації укосів обумовлені нестійким рівнем води в дренажно-скидних каналах, який диктується роботою дренажних насосних станцій та роботою гідротехнічних споруд. У господарських і головних скидах рівні води залежать від режиму роботи дренажних насосних станцій, а в картових скидах – від умов експлуатації та специфіки вирощування рису. Швидке пониження рівнів води в каналах призводить до сповзання укосів, які перебувають у перезволоженому стані. Сили зчеплення між частинками у перезволоженому ґрунті зменшуються, а гравітаційні сили, що діють на укоси, обумовлюють їх руйнування. При різкому пониженні рівня води утворюється крута депресійна крива ґрунтових вод і виникає гідродинамічний тиск, спрямований у бік укосу. При цьому може відбуватися механічна суфозія. Іноді за таких умов також виникають зсуви (при значних градієнтах фільтраційного потоку). Винесення часточок призводить до утворення пустот і, отже, до ще більшого зростання швидкості руху води, що, своєю чергою, викликає вимивання більших часточок породи. Залежно від структури і складу породи, цей процес може викликати утворення пустот, нерівномірне просідання укосу, аж до його руйнування.

Вплив природних чинників на активізацію деформаційних процесів на каналах РЗС можна суттєво зменшити шляхом застосування пасивних та активних засобів інженерного захисту, а саме: зниження ерозійної та абразивної дії ґрунтових вод, перепланування укосів, закріплення укосів рослинністю, технічної меліорації ґрунтів, влаштування різного роду екранів та завіс. Більш дієвим захистом є влаштування поряд з відкритим дренажно-



скидним каналом так званої приукісної дрени, яка перерозподілить фільтраційний потік та зменшить напір ґрунтових вод на укіс.

Зменшення градієнтів напору між рівнями води в чеку і дренажних каналах зменшує як фільтраційні втрати, так і відіграє велику роль у забезпеченні стійкості русла дренажно-скидних каналів. При підпертому рівні води в каналах похил депресійної кривої значно зменшується. Але при цьому слід повільно понижувати рівень води при спорожненні каналів, щоб не допустити оповзання укосів. Тому пониження рівнів води в дренажно-скидних каналах у період осушення рисових полів необхідно здійснювати поступово, не перевищуючи їх зниження на 0,3–0,4 м/добу.

Практична реалізація управління рівнями води в дренажно-скидних каналах рисових систем можлива і передбачалася проєктами за допомогою гідроавтоматів конструкції В. Й. Маковського [8]. Основною проблемою щодо застосування цього ефективного способу є відсутність справних гідротехнічних споруд на внутрішньогосподарській дренажно-скидній мережі.

Нами пропонується дієвий захист каналів, який полягає у влаштуванні поряд із відкритим дренажно-скидним каналом так званої приукісної дрени для перерозподілу фільтраційного потоку та зменшення напору ґрунтових вод на укіс.

У практиці такого захисту каналів від деформацій важливими є параметри закладання приукісної дрени, до яких належать: місце розташування дрени в укосі – l_d , глибина закладання дрени – h_d , діаметр дрени – d_d , поглинальна здатність – q_d .

Обґрунтування параметрів приукісної дрени виявилось досить складним практичним завданням. Відстань приукісної дрени від бровки дренажно-скидного каналу, згідно із загальними рекомендаціями Б. І. Харченка та О. Г. Кірічка [1], приймається рівною не менше подвійної глибини каналу. Діаметр дрени, як правило, приймається $d_d=100$ мм та перевіряється гідравлічними розрахунками. Глибину закладання дрени приймали переважно конструктивно, враховуючи умови роботи приукісної дрени та технологічні особливості її влаштування [1; 7; 8].

Притік води до такої недосконалої дрени (рис. 1) можна прийняти як одночасний, несиметричний, двосторонній та для однорідного ґрунту обчислювати за формулою

$$Q = \frac{TS_d}{\frac{L_1L_2}{L} + 0,73m \cdot l_g} \frac{m}{\pi r_d}$$

де q – погонний притік до дрени, м²/добу; S_d – пониження РГВ на дрени, визначається за формулою

$$S_d = \frac{(H_1 - H_2)L_2}{L} + H_2 - H_d.$$

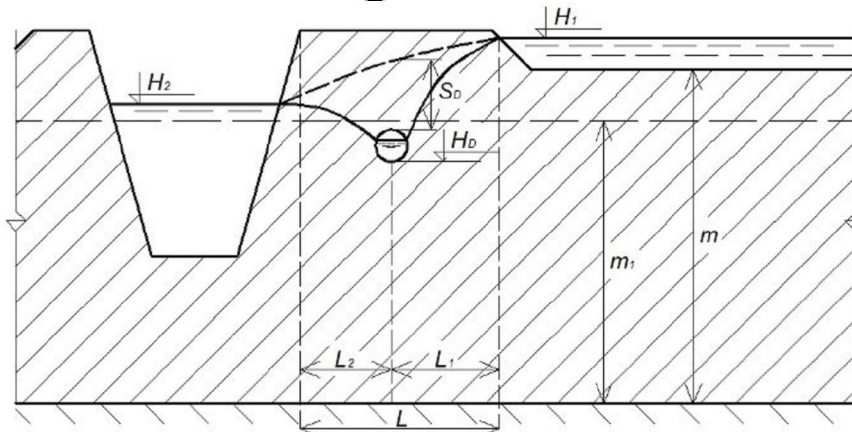


Рис. 1. Схема для визначення притоку води до приукісної дрени

Результати розрахунків, проведених для різних схем закладання недосконалої приукісної дрени та умов її роботи згідно зі схемою (рис. 1) наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Погонний притік до недосконалої приукісної дрени

H_1 , м	H_2 , м	H_d , м	m , м	K , м/добу	L_1 , м	L_2 , м	q , м ² /добу
8,2	7,5	6,5	8	0,5	3	7	0,95
8,2	7,0	6,5	8	0,5	3	7	1,24
8,2	8,0	7,0	8	0,5	3	7	0,84
8,2	7,0	7,0	8	0,5	3	7	0,29

Із таблиці видно, що зі зменшенням перепаду рівнів води у дренажно-скидних каналах та в чеку притік води до приукісної дрени також зменшується.

Розрахунки приукісного дренажу для захисту дренажно-скидних каналів в умовах РЗС (рис. 2), коли притік до дрени формується як із самого каналу, так і з рисового чеку, можна виконувати за гідромеханічним методом А. В. Романова.

Згідно з цим методом сумарний погонний притік води до дрени буде рівний

$$q_d = \frac{K \cdot h_1^2}{2 \cdot L_1} + \frac{K \cdot h_2^2}{2 \cdot L_2} + \frac{K \cdot h_1}{n_1 \cdot L_1} \cdot m \cdot T + \frac{K \cdot h_2}{n_2 \cdot L_2} \cdot m \cdot T + \frac{p \cdot L_1}{2},$$

де K – коефіцієнт фільтрації ґрунту, м/добу; h_1 – напір над дренажем з



боку рисового чека, м; h_2 – напір над дренаю з боку дренажного каналу, м; L_1 – відстань від урізу води в чеку до дрени, м; L_2 – відстань від урізу води в каналі до дрени, м; T – глибина залягання водоупору над дном дрени, м; P – інтенсивність інфільтраційного живлення, м/добу; m , n – поправочні коефіцієнти, що визначаються за залежностями [9].

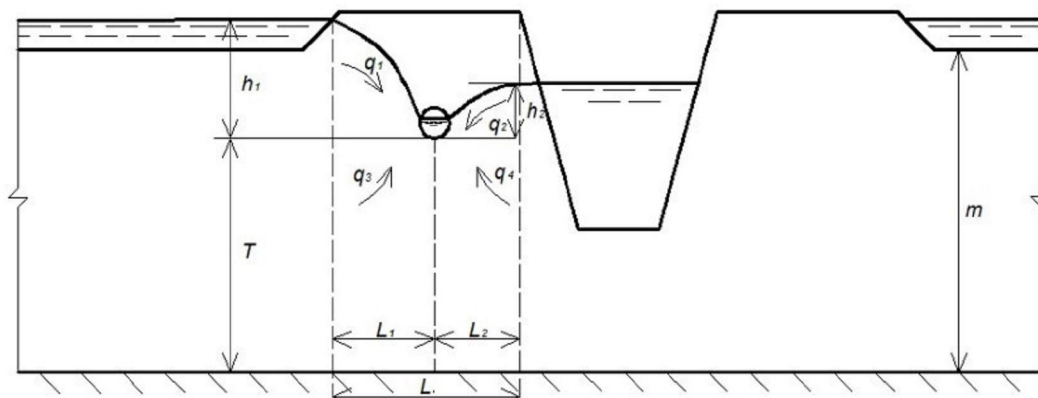


Рис. 2. Схема для розрахунку приукісного дренажу гідромеханічним методом

Розрахунки, проведені за цими формулами, підтвердили результати, отримані за попередніми залежностями, та доводять, що чим глибше буде закладена дрена, тим більшим буде до неї притік води (табл. 2).

Таблиця 2

Залежність притоку води до приукісної дрени від глибини її закладання

h_d , м	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9
q , м ³ /добу	0,24	0,38	0,52	0,67	0,8	0,88	0,94	1,0

Звідси випливає, що встановлювати оптимальну глибину закладання приукісних дрена необхідно за умовою, що зі збільшенням глибини величина фільтраційного притоку води до неї мало змінюється.

З побудованого за даними таблиці 3 графік залежності $q_d = f(h_d)$ видно, що крива притоку води до дрени має перелом на глибині близько 1,3 м (рис. 3).

Саме тому така глибина закладання приукісного дренажу є розрахунковою для даних умов.

Користуючись цією методикою, в кожному конкретному випадку можна визначити оптимальну глибину розташування недосконалої приукісної дрени.

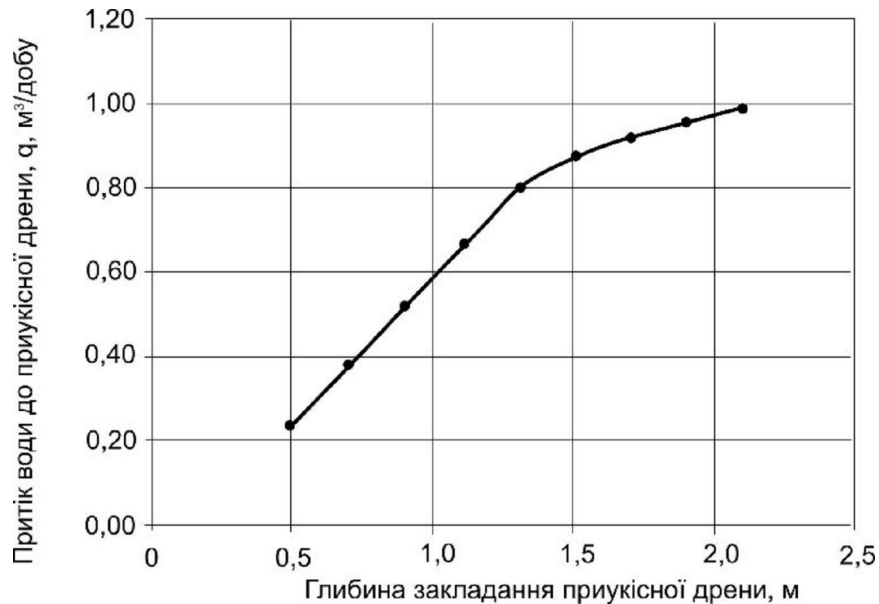


Рис. 3. Графік залежності $q_d = f(h_d)$

Висновки. Дренажно-скидні канали рисових систем піддаються інтенсивним деформаціям, що залежать від ґрунтово-літологічних умов та динаміки водного режиму. Найбільш небезпечною є зона виклинювання фільтраційних потоків.

Для захисту дренажно-скидних каналів рисових систем пропонується влаштовувати приукісну закриту дренаж. Оптимальна глибина приукісної дрени – 1,3 м, що підтверджено розрахунками.

Поступове регулювання рівнів води є обов'язковою умовою безпечної експлуатації РЗС. Запропоновані заходи можуть бути інтегровані в проєктні рішення та практику експлуатації РЗС.

1. Харченко Б. І., Кірічок О. Г. Інженерний захист меліоративних систем від деформацій. Київ : Урожай, 2001. 216 с.
2. Сталій розвиток меліорації земель в Україні в умовах змін клімату / М. І. Ромащенко, С. А. Балюк, В. А. Вергунов, Р. А. Вожегова, О. І. Жовтоног, А. М. Рокочинський та ін. *Аграрні інновації*. 2020. № 3. С. 59–64.
3. Комплекс заходів з підвищення ефективності функціонування рисових зрошувальних систем / В. О. Турченко, А. М. Рокочинський, П. П. Волк, Н. В. Приходько, Д. М. Ричко. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки*. 2018. Вип. 4. С. 3–21.
4. El-Molla D., El-Molla M. Seepage losses from trapezoidal earth canals with an impervious layer under the bed. *Water Practice and Technology*. 2021. Vol. 16, № 4. P. 530–540. DOI: 10.2166/wpt.2021.010.
5. Zhang Q., Chai J., Xu Z., Qin Y. Investigation of irrigation canal seepage losses through use of four different methods in Hetao irrigation district, China. *Journal of Hydrologic Engineering*. 2017. Vol. 22, № 3. Article ID 05016035. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001470](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001470).
6. Телима С., Олійник Є., Курганська С., Харламова О. Моделювання та розрахунки внутрішньодренажної гідравліки при експлуатації підземних водозаборів і дренажів. *Екологічна безпека та природокористування*. 2015. Вип. 19. С. 33–43.
7. Marshall D., Zhukova O. Ways of rational use of water resources in the conditions of post-war reclamation systems in



the south of Ukraine. *Journal Environmental Problems*. 2023. Vol. 8, № 4. P. 205–209. DOI: <https://doi.org/10.23939/ep2023.04.205>. 8. Маковський В. Й. Автоматизація управління режимами зрошення. Київ : Техніка, 1990. 9. Романов А. В. Теория и практика дренажа в мелиорации. М. : Колос, 1984. 10. Олійник О. Я. Геогідродинаміка дренажа. Київ : Наукова думка, 1987. 286 с.

REFERENCES:

1. Kharchenko B. I., Kirichok O. H. Inzhenernyi zakhyst melioratyvnykh system vid deformatsii. Kyiv : Urozhai, 2001. 216 s. 2. Stalyi rozvytok melioratsii zemel v Ukraini v umovakh zmin klimatu / M. I. Romashchenko, S. A. Baliuk, V. A. Verhunov, R. A. Vozhehova, O. I. Zhovtonoh, A. M. Rokochynskyi ta in. *Ahrarni innovatsii*. 2020. № 3. S. 59–64. 3. Kompleks zakhodiv z pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannia rysovykh zroshuvannykh system / V. O. Turcheniuk, A. M. Rokochynskyi, P. P. Volk, N. V. Prykhodko, D. M. Rychko. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Tekhnichni nauky*. 2018. Vyp. 4. S. 3–21. 4. El-Molla D., El-Molla M. Seepage losses from trapezoidal earth canals with an impervious layer under the bed. *Water Practice and Technology*. 2021. Vol. 16, № 4. P. 530–540. DOI: 10.2166/wpt.2021.010. 5. Zhang Q., Chai J., Xu Z., Qin Y. Investigation of irrigation canal seepage losses through use of four different methods in Hetao irrigation district, China. *Journal of Hydrologic Engineering*. 2017. Vol. 22, № 3. Article ID 05016035. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001470](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001470). 6. Telyma S., Oliinyk Ye., Kurhanska S., Kharlamova O. Modeliuvannia ta rozrakhunky vnutrishnodrenazhnoi hidravliky pry ekspluatatsii pidzemnykh vodozaboriv i drenazhiv. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia*. 2015. Vyp. 19. S. 33–43. 7. Marshall D., Zhukova O. Ways of rational use of water resources in the conditions of post-war reclamation systems in the south of Ukraine. *Journal Environmental Problems*. 2023. Vol. 8, № 4. P. 205–209. DOI: <https://doi.org/10.23939/ep2023.04.205>. 8. Makovskyi V. Y. Avtomatyzatsiia upravlinnia rezhymamy zroshennia. Kyiv : Tekhnika, 1990. 9. Romanov A. V. Teoriya y praktyka drenazha v melyoratsyy. M. : Kolos, 1984. 10. Oliinyk O. Ya. Heohidrodynamiczna drenazha. Kyiv : Naukova dumka, 1987. 286 s.

Turcheniuk V. O. [1; ORCID ID: 0000-0002-1938-0344],

Doctor of Engineering, Professor,

Kozishkurt S. M. [1; ORCID ID: 0000-0002-3961-3731],

Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,

Kartavov Yu. O. [1],

Post-graduate Student

¹National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

DEFORMATIONS AND PROTECTION OF DRAINAGE-DISCHARGE CANALS OF RICE IRRIGATION SYSTEMS

Drainage-discharge canals of rice irrigation systems operate under

complex hydrogeological and geological conditions, which leads to the intensive development of deformation processes. During operation, the cross-sectional shape of most canals gradually transforms from the designed trapezoidal profile to a natural riverbed form, negatively affecting their drainage capacity. The most vulnerable is the zone of seepage outflow and capillary rise, where slope flattening, bank collapses, and suffusion processes are most pronounced. The main causes of canal deformations include seepage losses from rice fields, dynamic fluctuations of water levels, soil and lithological conditions, precipitation, soil freezing, and other natural factors. It was established that in light soils the intensity of deformations is significantly higher compared to medium and heavy soils. Sharp water level fluctuations in canals, caused by the operation of pumping stations and hydraulic structures, result in dangerous phenomena such as slope sliding, mechanical suffusion, and in some cases landslides.

To reduce deformation processes, an engineering protection method was proposed based on the installation of slope-adjacent drains. This solution allows redistribution of seepage flows and reduction of groundwater pressure on canal slopes, significantly improving the stability of channels. Hydraulic calculations confirmed the effectiveness of this approach and showed that the optimal depth of the slope-adjacent drain is about 1.3 m. Another essential condition for safe canal operation is gradual regulation of water levels in the drainage network, which should not exceed 0.3–0.4 m/day.

The obtained results have both theoretical and practical significance, as they can be applied in the design of new rice irrigation systems and in the rehabilitation of existing ones. The proposed measures will improve the reliability of drainage-discharge canals, reduce water losses, and extend the service life of hydraulic infrastructure in the challenging conditions of southern Ukraine.

Keywords: rice irrigation systems; drainage-discharge canals; slope deformations; slope-adjacent drain; filtration processes; channel stability.

Отримано: 17 червня 2025 року
Прорецензовано: 02 вересня 2025 року
Прийнято до друку: 25 вересня 2025 року