

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-191>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/191>

УДК 532.5:539.4:626/627

ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЙ БУДІВНИЦТВА ПРОТИФІЛЬТРАЦІЙНИХ СПОРУД

В.І. Петроченко¹, канд. техн. наук, О.В. Петроченко², канд. техн. наук, О.П. Куліков³, канд. юрид. наук

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-7035-219X>; e-mail: v_petr47@ukr.net

² Київський національний університет будівництва і архітектури МОН України, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-0551-935X>; e-mail: a_petr89@i.ua

³ Київський національний університет будівництва і архітектури МОН України, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-5400-4133>; e-mail: alexeykulikov24@gmail.com

Анотація. У статті обґрунтовано пріоритетні напрямки рішення однієї з актуальних проблем гідротехнічного будівництва – проблеми захисту від фільтрації та наведено основні науково-технічні досягнення ІВПіМ НААН у вирішенні цієї проблеми. Зазначається, що за останні 60 років у зв'язку з розвитком хімічної промисловості та можливістю широкого використання полімерних матеріалів у гідротехнічному будівництві технології будівництва протифільтраційних споруд набули значного розвитку. Підвищення технологічного рівня будівництва протифільтраційних споруд відбувалось шляхом якісного удосконалення та кількісного збільшення варіантів протифільтраційних матеріалів, конструктивних рішень протифільтраційних споруд, технологічних рішень будівництва протифільтраційних споруд, конструктивних рішень засобів механізованого укладання протифільтраційних матеріалів. За результатами системного аналізу визначена ієрархічна підпорядкованість конструктивних і технологічних рішень будівництва протифільтраційних споруд, а за результатами їх функціонально-вартісного аналізу встановлені аналітичні залежності для визначення пріоритетних напрямків інноваційного розвитку технологій будівництва протифільтраційних споруд. Наведено нові найбільш значущі конструктивні і технологічні рішення та науково-технічні розробки з будівництва протифільтраційних споруд, які були створені в ІВПіМ НААН за минулий період, у тому числі безтраншейний спосіб укладання вертикальних екранів з полімерної плівки та касетно-циклічний спосіб будівництва протифільтраційних споруд. Наведено також нові конструктивні і технологічні рішення земляних споруд з протифільтраційними діафрагмами та екранами, засновані на застосуванні зібраних у пакет полотниць полімерної плівки. Відзначено, що більшість створених в Інституті інноваційних конструктивних і технологічних рішень може бути використано при будівництві нових зрошувальних систем, а також їх реконструкції і модернізації.

Ключові слова: гідротехнічне будівництво, протифільтраційні споруди, конструктивні і технологічні рішення, функціонально-вартісний аналіз, інноваційний розвиток.

Проблема захисту від фільтрації та її актуальність. За функціональним призначенням гідротехнічні споруди можна поділити на дві основні групи.

Споруди першої групи призначені для отримання певного ефекту від споживання води або використання водних ресурсів. До цих споруд належать зрошувальні канали, трубопроводи, греблі, насосні станції тощо, що призначені для регулювання руху води від природних або штучних водних об'єктів до об'єктів споживання або використання води (зрошувані земельні ділянки, населені пункти, промислові об'єкти, об'єкти гідроенергетики тощо).

До другої групи відносять споруди відведення зайвої або забрудненої води від об'єктів,

на які вона шкідливо впливає. Це споруди захисту від шкідливої дії вод, а саме: споруди для затримання, збирання і відведення води з перезволожених сільськогосподарських земель (нагірні та осушувальні канали, колектори, дрени); споруди для захисту від паводків (берегоукріплювальні покриття, захисні дамби, протипаводкові водосховища); споруди для захисту від підтоплення населених пунктів; споруди для відведення стічних вод тощо.

У процесі функціонування гідротехнічних споруд першої, а в деяких випадках і другої групи виникає потреба захисту споруд та прилеглих до них територій від фільтрації, яку слід розглядати як окремий вид шкідливої дії вод. Фільтрація води з каналів та ставків-накопичувачів призводить до вторинного

підтоплення, засолення та заболочування земель. Фільтрація води на земляних дамбах за певних умов призводить до руйнування дамб та створення на прилеглих територіях зон надзвичайної ситуації.

У гідротехнічному будівництві проблема захисту від фільтрації завжди була актуальною. За реформування економіки України особливо важливого значення набуває використання в гідротехнічному будівництві технічно надійних, екологічно безпечних та економічно доцільних споруд захисту від фільтрації.

Мета дослідження – визначити пріоритетні напрямки інноваційного розвитку технологій будівництва протифільтраційних споруд та навести основні досягнення ІВПіМ НААН у вирішенні проблеми захисту від фільтрації в гідротехнічному будівництві за минулий період.

Методика дослідження. У дослідженні використано метод узагальнення та аналізу конструктивно-технологічних рішень складних систем.

Результати дослідження. У гідротехнічному будівництві для захисту від фільтрації здавна використовували важку глину, бутовий камінь. Пізніше стали використовувати асфальт, цемент, бетон, рідке скло. Але найбільшого розвитку будівництво протифільтраційних споруд набуло на початку 60-х років минулого століття, коли з розвитком хімічної промисловості в багатьох країнах світу стали виробляти полімерні плівки гідротехнічного призначення. Саме в цей період в колишньому СРСР була прийнята масштабна програма «Про широкий розвиток меліорації земель для одержання високих врожаїв зерна та інших сільськогосподарських культур» (1966 рік), за якою завершувалось будівництво та здійснювалась реконструкція окремих ділянок Північно-Кримського каналу, каналу Сіверський Донець-Донбас, каналу Дніпро-Кривий Ріг. Тоді ж почалось проектування та будівництво Каховського магістрального каналу, каналу Дніпро-Донбас, каналу Дніпро-Інгулець.

Будівництво та реконструкція магістральних і розподільчих зрошувальних каналів здійснювалось із використанням протифільтраційних матеріалів: монолітного бетону, збірного залізобетону, полімерних плівок. Канали, які раніше будували в земляному руслі, почали проектувати та будувати з бетонним та бетоноплівковим облицюванням. На водоймах і магістральних каналах набули широкого використання ґрунтоплівкові екрани.

За тих часів Інститут працював за двома головними напрямками наукових досліджень:

будівельним і меліоративним. Будівельна тематика досліджень була пріоритетною. Серед інших науково-дослідних інститутів, підпорядкованих Міністерству меліорації і водного господарства СРСР, Інститут був визнаний головним за будівельним напрямом досліджень. За будівельною тематикою, крім відділів та лабораторій, працювало проектно-технологічне бюро Інституту, яке налічувало понад тисячу працівників.

Дослідження і впровадження протифільтраційних споруд на каналах, водоймах та інших гідротехнічних об'єктах України проводили: відділ технології збірного залізобетону; відділ будівельних матеріалів; відділ технології, механізації та організації будівництва гідромеліоративних систем.

Основним науково-технічним досягненням відділу технології збірного залізобетону, який на той час тісно співпрацював із Київським інженерно-будівельним інститутом, була конструкція плит НПК та технологія їх виготовлення. Плити НПК за розробленими Інститутом рекомендаціями і технічними умовами виготовляли в м. Нова Каховка на заводах ЗБВ тресту Укрводзалізобетон Міністерства меліорації і водного господарства УРСР. Плити НПК широко використовували для облицювання зрошувальних каналів.

Відділ будівельних матеріалів працював над розробкою полімерних добавок до бетону для підвищення їх протифільтраційних властивостей, а також матеріалів для герметизації деформаційних швів бетонних облицювань каналів, проводив дослідження конструктивних параметрів полімерних плівок та технологічних режимів їх використання в гідротехнічному будівництві.

Відділ технології, механізації та організації будівництва гідромеліоративних систем розробляв інноваційні технології та засоби механізації будівництва протифільтраційних споруд. Найбільш значущим досягненням відділу був укладальник комбінованих облицювань каналів (УКО), в основу якого було покладено технічне рішення [1]. Укладальник УКО був використаний при спорудженні комбінованих (бетоноплівкових) облицювань розподільчих та внутрішньогосподарських каналів. На основі технічного рішення [2] у відділі була розроблена та впроваджена під час будівництва ґрунтоплівкового екрану на Каховському магістральному каналі технологія будівництва ґрунтоплівкових екранів.

Розробку заходів захисту від фільтрації на гідромеліоративних системах в Інституті проводили шляхом створення, дослідження

та впровадження в практику гідротехнічного будівництва інноваційних ієрархічно підпорядкованих конструктивних рішень протифільтраційних споруд, технологічних рішень будівництва протифільтраційних споруд, конструктивних рішень засобів механізованого укладання протифільтраційних матеріалів. Ефективність цих заходів оцінювалась показником $I_{пз}$ за функціонально-вартісним принципом. В основу управління інноваційним розвитком протифільтраційних заходів була покладена цільова функція:

$$I_{пз} = \frac{\Phi ПЗ}{V_{ФПЕ}} = \frac{Ц_e \Delta G_1 + (BZ_1^{сн} + BZ_1^{екс} + BZ_1^{екн})}{\frac{B_{нфм} + B_{ем} + B_{зн}}{T} + B_1^e} \rightarrow \max, \quad (1)$$

де $I_{пз}$ – показник ефективності протифільтраційного заходу; $\Phi ПЗ$ – річний позитивний функціональний ефект від здійснення цього заходу, тис. грн./рік; $V_{ФПЕ}$ – витрати на здійснення протифільтраційного заходу, приведені до одного року експлуатації протифільтраційної споруди, тис. грн./рік; $Ц_e$ – ціна товарної води, грн./м³; ΔG_1 – об'єм відвернених протягом року фільтраційних втрат з водного об'єкту внаслідок здійснення протифільтраційного заходу, тис. м³/рік; $BZ_1^{сн}$, $BZ_1^{екс}$ і $BZ_1^{екн}$ – відвернені здійсненням заходу річні соціальні, екологічні і економічні збитки на прилеглий до водного об'єкту території, тис. грн./рік; $B_{нфм}$ – вартість використаного протифільтраційного матеріалу, тис. грн.; $B_{ем}$ – вартість експлуатації машин протягом періоду будівництва протифільтраційної споруди, тис. грн.; $B_{зн}$ – витрати на заробітну плату виконавців робіт, тис. грн.; T – розрахунковий строк експлуатації протифільтраційної споруди, рік; B_1^e – річні витрати на експлуатацію споруди, тис. грн./рік.

За результатами досліджень основних варіантів протифільтраційних споруд та факторного аналізу параметрів цільової функції (1) встановлено, що найбільшу перспективу мають протифільтраційні споруди, побудовані з використанням полімерних матеріалів, зокрема плівок. За умови якісного укладання полімерних плівок досягається максимальне значення показника $I_{пз}$. Полімерні плівки водонепроникні, що забезпечує досягнення максимальної величини параметра ΔG_1 і розміру відвернених протифільтраційними заходами збитків від фільтрації, а отже і максимального значення чисельника функції (1). Завдяки таким властивостям полімерних плівок як відносно невелика їх вартість ($B_{нфм} \rightarrow \min$), зручність укладання ($B_{зн} \rightarrow \min$), зручність в експлуатації ($B_1^e \rightarrow \min$), морозостійкість, стійкість до агресивного середовища, довго-

вічність ($T \rightarrow \max$) забезпечується відносно невелике значення знаменника функції (1).

Впровадження полімерних плівок у гідротехнічному будівництві вимагало удосконалення технологічних процесів їх використання, яке за кордоном та в Україні велось за двома пріоритетними напрямками.

За першим напрямком, характерним переважно для будівельних компаній розвинених капіталістичних країн, здійснювали пошук, наукове обґрунтування та впровадження нових, більш надійних та стійких до механічних пошкоджень полімерних плівок, які зараз, у зв'язку з їх значним удосконаленням, більш відомі як геомембрани. За цим напрямком досягалось збільшення параметра T , але вартість плівок $B_{нфм}$ також збільшувалась.

Оскільки в Україні тільки в останні роки стали впроваджувати імпорتنі геомембрани, а на той час широко використовували вітчизняну гідротехнічну плівку з поліетилену та полівінілхлориду товщиною переважно 0,2 мм, в Інституті було обрано другий напрямок удосконалення технологій будівництва протифільтраційних споруд із використанням плівок, за яким здійснювали пошук, наукове обґрунтування та впровадження нових конструктивних рішень протифільтраційних споруд, ефективних технологічних рішень їх будівництва, високопродуктивних засобів механізованого укладання полімерних плівок та нових засобів контролю якості будівництва протифільтраційних споруд.

Так, для утворення герметичних деформаційних швів бетонних облицювань каналів було запропоновано та досліджено два нових технічних рішення [3; 4], в яких наведено два варіанти ущільнюючих профілів з полімерної плівки та схеми формування ущільнюючих профілів з рулонної плівки (рис. 1). Експериментальний зразок робочого органу для утворення деформаційних швів із використанням полімерної плівки за технічним рішенням [3] був випробуваний та впроваджений під час будівництва бетонного облицювання каналу Р-9 Каховської зрошувальної системи (рис. 1д).

Для контролю якості деформаційних швів бетонних облицювань було запропоновано пристрій для визначення фільтраційних втрат води через деформаційні шви [5]. Відмінною особливістю пристрою є те, що він містить дві камери: вимірювальну і компенсаційну (рис. 2а, б). Воду в них подають двома роздільними системами, але під однаковим тиском. Використання компенсаційної камери перешкоджає витoku води з вимірювальної камери

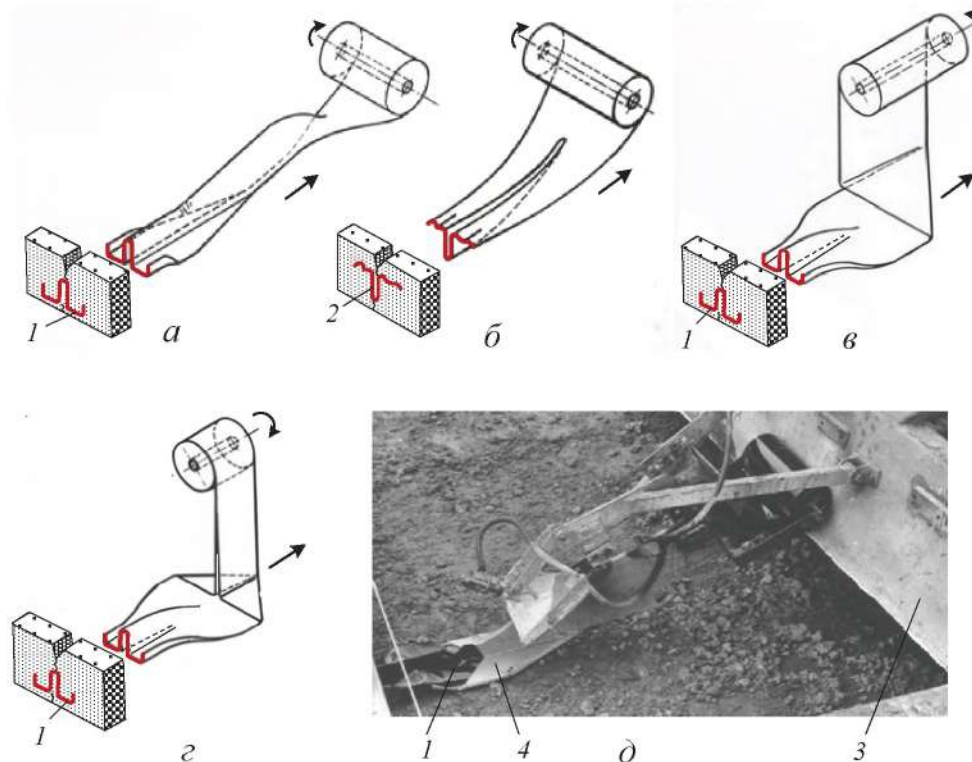


Рис. 1. Технічні рішення утворення деформаційних швів бетонних облицювань каналів з ущільнюючими елементами з рулонної полімерної плівки шляхом формування ущільнюючих профілів в процесі укладання бетонної суміші:
a, б, в, г – схеми формування ущільнюючих профілів деформаційних швів з полімерної стрічки; *д* – робоче обладнання для утворення деформаційних швів з ущільнюючим профілем з полімерної стрічки на каналі Р-9 Каховської зрошувальної системи; 1, 2 – конструктивні варіанти ущільнюючого профілю деформаційних швів з полімерної стрічки; 3 – бетоноукладальник фірми «Рахко»; 4 – робочий орган для утворення деформаційних швів з ущільнюючим профілем, сформованим за схемою *a*

Джерело: [3; 4]

у бокових напрямках, що забезпечує проходження фільтраційного потоку води тільки через деформаційний шов, а отже високу точність вимірювання фільтраційних втрат через вимірювальну ділянку шва.

Водопроникність деформаційного шва визначають за формулою:

$$k_{\phi} = \xi \frac{W_{\phi}}{l p t_{\phi}}, \quad (2)$$

де k_{ϕ} – коефіцієнт фільтраційних втрат через деформаційний шов, м/с; ξ – коефіцієнт, що враховує в'язкість води ($\xi=1,0$ при $t^{\circ} = 20^{\circ}\text{C}$); W_{ϕ} – об'єм фільтрату, що пройшов через вимірювальну камеру, м³; l – довжина вимірювальної ділянки шва (база прибору), м; p – тиск води у вимірювальній камері, м; t_{ϕ} – час вимірювання фільтраційних втрат, с.

Пристрій за технічним рішенням [5] було виготовлено і використано для контролю якості деформаційних швів бетонних облицю-

вань розподільчих каналів Каховської зрошувальної системи [6] (рис. 2в).

Однією з найбільш вагомих науково-технічних розробок Інституту в галузі гідротехнічного будівництва був безтраншейний спосіб укладання вертикальних протифільтраційних екранів з полімерної плівки [7] (рис. 3а).

Запропоновано декілька нових технічних рішень безтраншейних укладальників протифільтраційних екранів з плівки та виготовлено два експериментальних робочих органа укладальників: УВПЕ-2,0 і УВПЕ-1,5 [8]. УВПЕ-2,0 був використаний для спорудження протифільтраційних завіс із плівки глибиною 2,0 м на Зноб-Новгородському торфопідприємстві Сумської області. Завіси споруджували в ґрунтах легкого механічного складу по контуру осушуваних ділянок видобутку торфу для уповільнення надходження до них ґрунтових вод з прилеглих вищерозташованих територій.

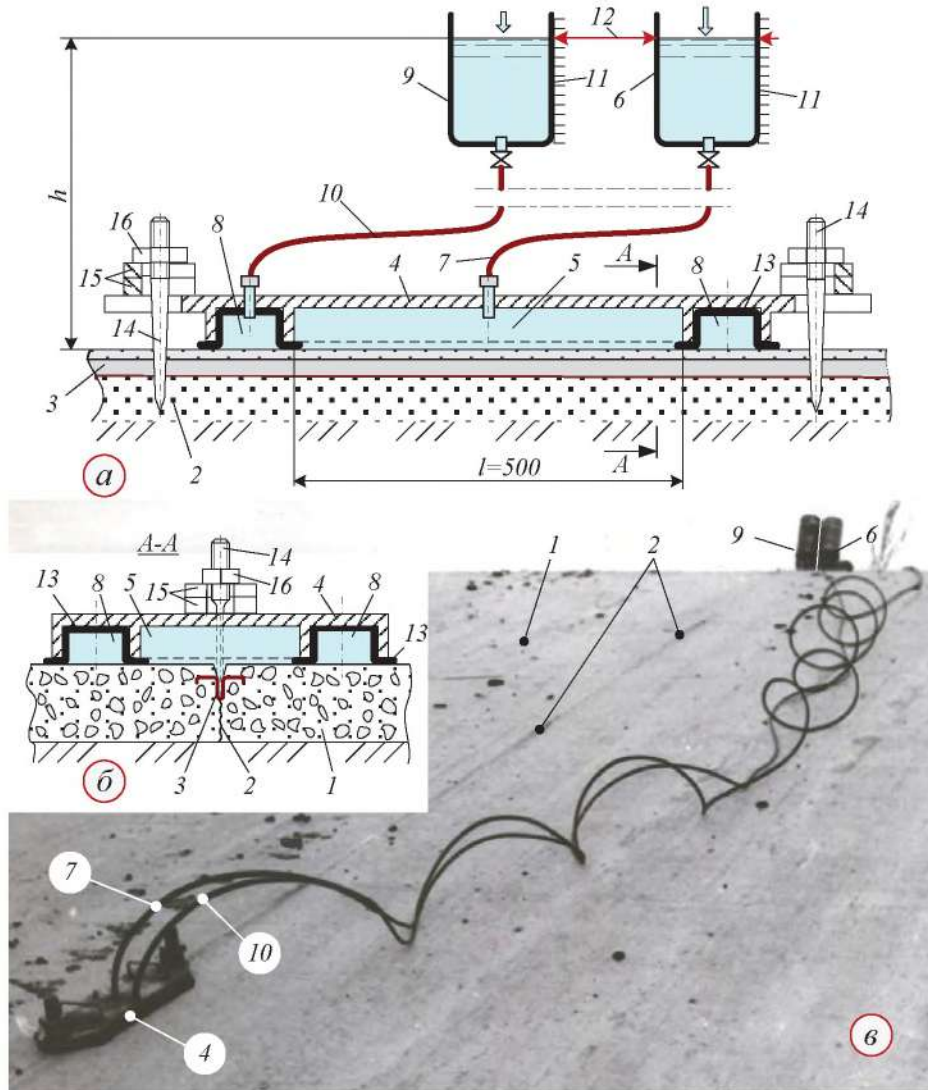


Рис. 2. Пристрій для визначення фільтраційних втрат води через деформаційні шви бетонних облицювань зрошувальних каналів:
 а і б – схема пристрою (розріз вздовж і поперек шва); в – використання пристрою під час будівництва каналу Р-9 Каховської зрошувальної системи; 1 – облицювання каналу; 2 – деформаційний шов; 3 – ущільнюючий профіль; 4 – корпус пристрою; 5 – робоча вимірювальна камера; 6 і 7 – резервуар і трубопровід подачі води у камеру 5; 8 – кільцева компенсаційна камера; 9 і 10 – резервуар і трубопровід подачі води у камеру 8; 11 – шкала рівнів води; 12 – штучно підтримуваний рівень води у резервуарах 6 і 9; 13 – еластична прокладка; 14 – анкер; 15 – розрізна шайба; 16 – гайка

Джерело: [5; 6]

Укладальник УВПЕ-1,5 (рис. 3б) використовувався в Одеській області при спорудженні протифільтраційних завіс із плівки глибиною 1,5 м на рисових системах, а також у Чернігівській області для захисту від суфозійного руйнування укосів осушувальних каналів та при спорудженні дамб із протифільтраційною діафрагмою за схемою, наведеною на рис. 3в [9].

Було встановлено, що основною перешкодою широкого використання безтраншей-

ного способу укладання вертикальних протифільтраційних екранів з рулонної плівки є потенційно невелика глибина укладання екранів, що зумовлено недостатнім тяговим зусиллям базових тракторів. Ця проблема вирішувалась двома шляхами: оптимізацією параметрів землерийного робочого органу укладальника; пошуком нових конструктивно-технологічних рішень будівництва гідротехнічних споруд з використанням безтраншейного способу укладання вертикальних

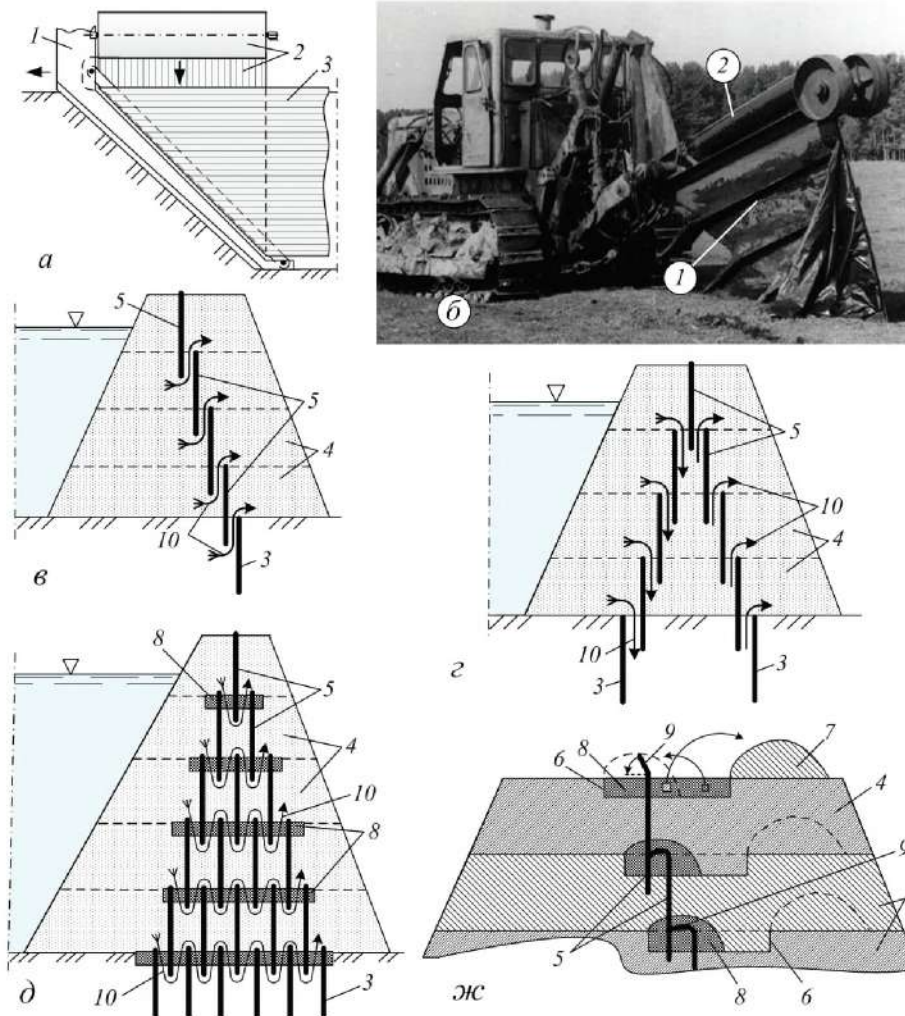


Рис. 3. Безтраншейний спосіб укладання вертикальних протифільтраційних екранів з рулонної полімерної плівки та варіанти його використання при будівництві земляних дамб з протифільтраційними діафрагмами:

- а* – схема безтраншейного укладання вертикального протифільтраційного екрану з полімерної плівки [7]; *б* – безтраншейний укладальник вертикальних протифільтраційних екранів [8]; *в* – дамба з однорядною протифільтраційною діафрагмою [9]; *г* – дамба з дворядною протифільтраційною діафрагмою [10]; *д* – дамба з протифільтраційним ядром з рулонної плівки [11]; *жс* – дамба з удосконаленою однорядною протифільтраційною діафрагмою [12]; 1 – робочий орган укладальника вертикальних протифільтраційних екранів УВПЕ-1,5; 2 – рулонна плівка; 3 – вертикальний екран з плівки; 4 – яруси дамби; 5 – секції діафрагми; 6 – технологічна прорізь у ґрунті; 7 – ґрунт, вийнятий з прорізі; 8 – глиняний замок; 9 – верхня кромка секції діафрагми; 10 – обмежена фільтрація

протифільтраційних екранів з полімерної плівки.

За результатами досліджень з оптимізації параметрів землерийного робочого органу укладальника вертикальних екранів було запропоновано ступеневе розміщення ріжучих елементів на робочому органі укладальника та виконані дослідження з визначення їх оптимальних конструктивних параметрів.

За результатами досліджень з пошуку нових конструктивно-технологічних рішень

використання безтраншейного способу укладання екранів з рулонної плівки було знайдено і запатентовано чотири нових способи будівництва земляних дамб з протифільтраційними діафрагмами [9–12]. Будівництво дамб запропоновано виконувати шляхом відсіпки ярусів дамб, на поверхні яких укладати безтраншейним способом одну чи декілька завіс з плівки (рис. 3в-жс).

Ярусний спосіб покладено також в основу двох нових технологічних варіантів

будівництва земляних дамб з протифільтраційними діафрагмами з полімерної плівки: центральною зигзагоподібною [13] (рис. 4а) і похилою [14] (рис. 4б). На відміну від технічних рішень [9–12], за якими протифільтраційну діафрагму споруджують окремими секціями безтраншейним способом з рулонної плівки, за технічними рішеннями [13–14] протифільтраційну діафрагму споруджують

з використанням складених в пакет крупногабаритних полотниць плівки, послідовно перекладаючи пакет з поверхні раніше відсіпаного ярусу на поверхню наступного ярусу дамби. За результатами досліджень [15] встановлена ефективність діафрагми, яка була побудована за технічним рішенням [13].

Проте ярусний спосіб не може бути використаний для спорудження протифільтраційних

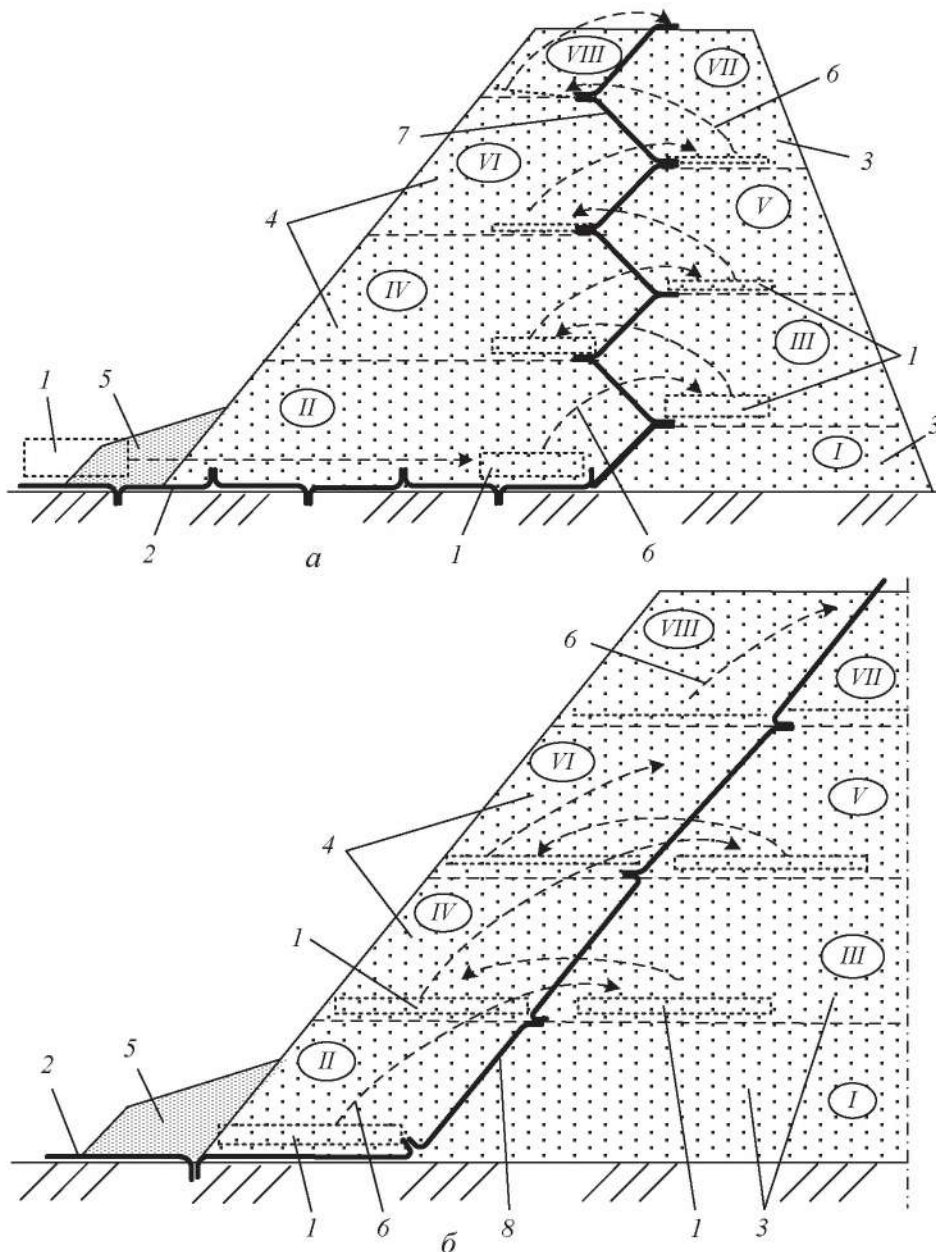


Рис. 4. Ярусний спосіб спорудження земляних дамб з протифільтраційною діафрагмою з полімерної плівки:

- a* – схема спорудження дамби із зигзагоподібною діафрагмою [13]; *б* – схема спорудження дамби з похилою діафрагмою [14]; I–VIII – послідовність відсіпки ярусів дамби; 1 – пакет з плівкою; 2 – екран в основі дамби; 3 – ярус дамби з боку низового укосу; 4 – ярус дамби з боку верхового укосу; 5 – понур; 6 – напрям технологічного переміщення пакету з плівкою; 7 – центральна зигзагоподібна діафрагма; 8 – похила діафрагма

діафрагм з плівки в тілі вже побудованих дамб, а також протифільтраційних завіс глибокого закладання. Такі споруди будують способом «стіна в ґрунті» шляхом занурення в траншею з тиксотропним глинистим розчином полотнищ полімерної плівки, до нижніх кінців яких прикріплюють грузило. За традиційною технологією полотнище з плівки при його зануренні займає довільне положення в траншеї. Потім, в момент заповнення порожнини траншеї грудковою глиною, яку відсипають з однієї сторони полотнища, глинистий розчин, що знаходиться з протилежної сторони полотнища, не встигає швидко витіснитись, а грудкова глина нерівномірно тисне на полотнище, що призводить до утворення зморшків, змінання полотнища та натягування його верхнього краю у траншею.

Для усунення цього недоліку та підвищення якості спорудження протифільтраційних завіс з плівки способом «стіна в ґрунті» запропоновано нове технічне рішення [16], за яким замість грузил одноразового використання застосовують підвишену на канаті монтажну

траверсу з решітчастими ребрами, які забезпечують можливість укладання полотнища з плівки впритул до однієї з стінок траншеї. На ребрах змонтовані зуби, на які наколюють нижній край полотнища в момент його занурення в траншею. У кінці занурення полотнища в траншею відсипають грудкову глину, яка звільняє нижній край полотнища від зубів і фіксує його положення в траншеї (рис. 5).

Нове технічне рішення [16] передано до впровадження будівельним організаціям ВАТ «Укргідроспецфундаментбуд» (м. Дніпро).

Одним із найбільш перспективних нових технічних рішень, створених в Інституті, є касетно-циклічний спосіб будівництва протифільтраційних споруд: бетоноплівкових екранів (рис. 6а); ґрунтоплівкових екранів (рис. 6б); протифільтраційних завіс (рис. 6в). За цим способом полімерну плівку збирають у пакет, а будівництва протифільтраційної споруди виконують циклами. У межах кожного циклу перед пакетом з плівкою розробляють смугу ґрунтової основи (рис. 6а, б) або ділянку

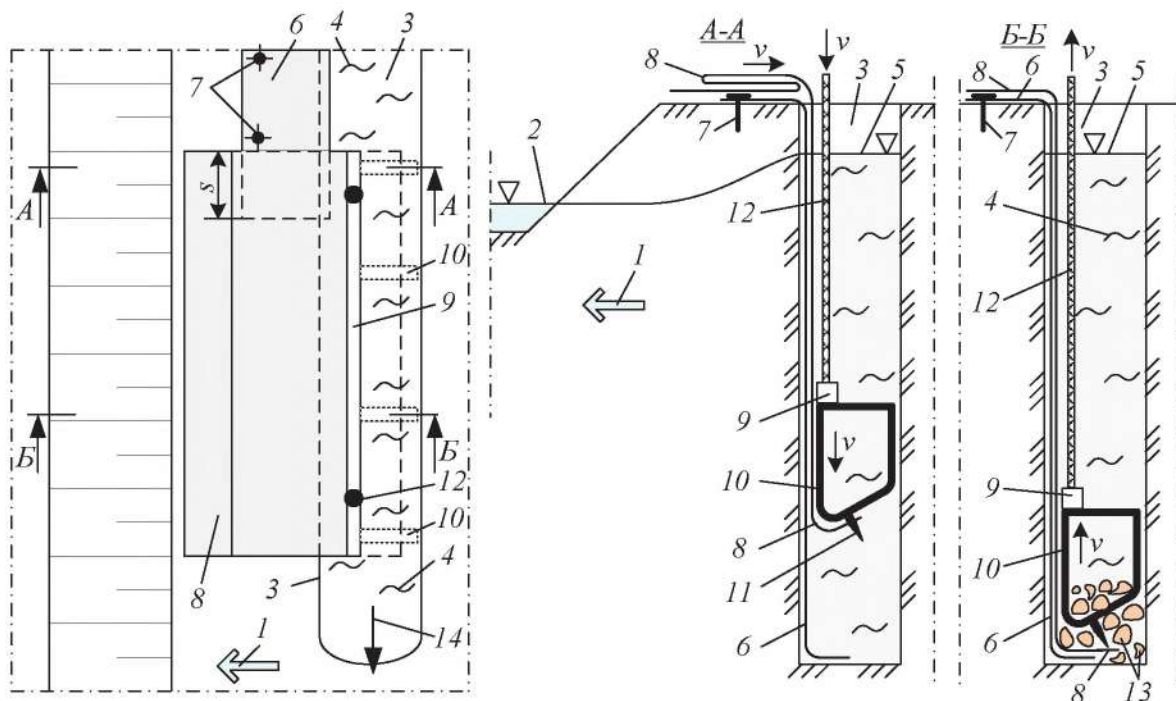


Рис. 5. Удосконалення традиційної технології будівництва способом «стіна в ґрунті» протифільтраційних завіс з полімерної плівки:
 а – схема укладання в траншею полотнища плівки, вид зверху; б – вид по А-А в момент занурення в траншею полотнища; в – вид по Б-Б в момент витягання з траншеї технологічного обладнання;
 1 – напрям руху ґрунтових вод; 2 – рівень ґрунтових вод; 3 – траншея; 4 – тиксотропний глинистий розчин; 5 – рівень заповнення траншеї глинистим розчином; 6 – раніше укладене полотнище плівки; 7 – анкерний фіксатор плівки; 8 – полотнище плівки, що укладають;
 9 – монтажна траверса; 10 – дистанційні ребра; 11 – зуб; 12 – канат; 13 – грудкова глина;
 14 – напрям руху технологічного потоку

Джерело: [16]

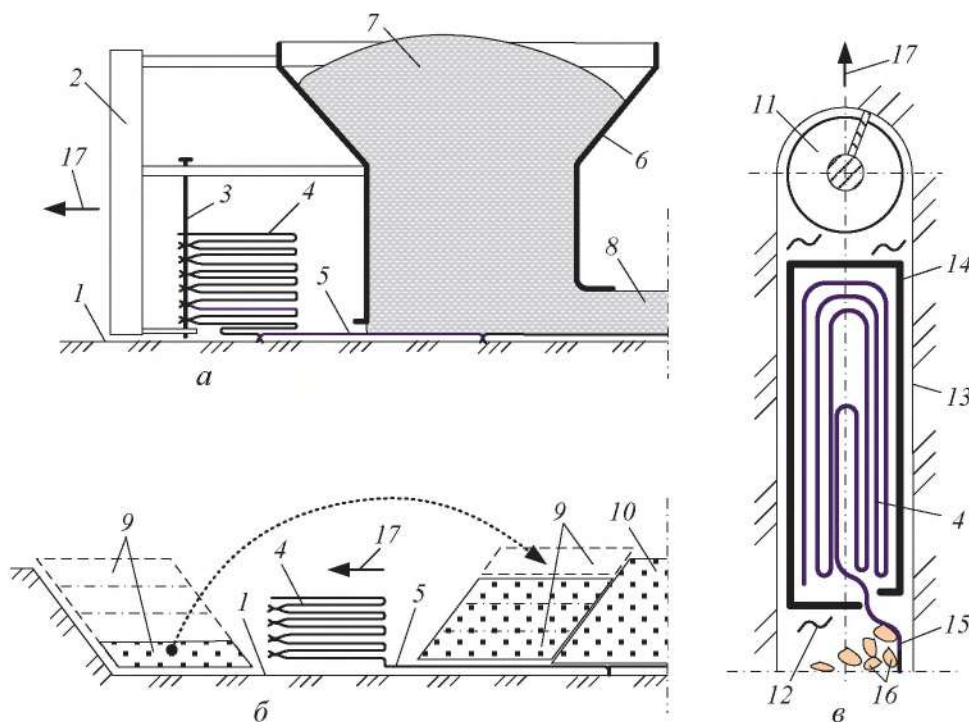


Рис. 6. Перспективні технологічні рішення будівництва протифільтраційних споруд із використанням складених у пакет полотнищ полімерної плівки:

- а* – бетоноплівкового екрану; *б* – ґрутоплівкового екрану; *в* – завіси [17]; 1 – ґрунтова основа; 2 – рама бетоноукладальника; 3 – спиця; 4 – пакет з плівки; 5 – плівковий екран; 6 – бункер; 7 – бетонна суміш; 8 – бетоноплівковий екран; 9 – смуга ґрунту, що зрізують з основи і укладають на плівковий екран; 10 – ґрутоплівковий екран; 11 – робочий орган для утворення траншеї; 12 – тиксотропний глинистий розчин; 13 – траншея; 14 – касета; 15 – завіса з плівки; 16 – грудкова глина; 17 – напрям руху технологічного потоку

траншеї (рис. 6в), переміщують на смугу ґрунтової основи або ділянку траншеї пакет, розгортаючи з нього плівку у вигляді протифільтраційного екрану чи завіси, яку потім захищають бетоном, ґрунтом або грудковою глиною. Цей спосіб може бути використаний як при будівництві нових, так і реконструкції існуючих протифільтраційних споруд.

У зв'язку зі зменшенням об'ємів споживання води на зрошувальних системах у пострадянський період водогосподарські організації зіткнулись з проблемою визначення технологічно виправданих втрат води на каналах, основну частину яких (90–98%) складають втрати води на фільтрацію. За результатами проведених в ІВПіМ НААН досліджень було встановлено, що коефіцієнт корисної дії каналу не є його виключно технічною характеристикою, залежною від фільтраційних властивостей русла каналу. Коефіцієнт корисної дії зрошувального каналу було запропоновано розглядати як його техніко-експлуатаційну характеристику, залежною також і від режиму споживання води з каналу. Розроблено

та рекомендовано для застосування водогосподарськими організаціями формулу корегування коефіцієнта корисної дії каналів [18]:

$$K_k^T = \frac{Q_{um}^\phi / Q_{um}^{np}}{Q_{um}^\phi / Q_{um}^{np} + \frac{1 - K_k^{np}}{K_k^{np}}}, \quad (3)$$

де K_k^T – відкоригований технологічно виправданий коефіцієнт корисної дії каналу; Q_{um}^ϕ і Q_{um}^{np} – витрата води в каналі нетто фактична і визначена за проектом каналу, м³/с; K_k^{np} – коефіцієнт корисної дії каналу за проектом.

Висновки. За останні 60 років, у зв'язку з розвитком хімічної промисловості та можливістю широкого використання полімерних матеріалів у гідротехнічному будівництві, технології будівництва протифільтраційних споруд в Україні та за кордоном набули значного розвитку.

За результатами системного аналізу визначено два пріоритетних напрямки інноваційного розвитку ієрархічно підпорядкованих конструктивно-технологічних рішень будівництва протифільтраційних споруд:

створення нових більш надійних та стійких до механічних пошкоджень полімерних матеріалів; удосконалення технологічних процесів та розробка засобів механізованого укладання полімерних протифільтраційних матеріалів.

За тематикою захисту від шкідливої дії фільтрації в ІВПіМ НААН за останні 60 років створено комплекс перспективних конструктивно-технологічних рішень та розробок з удосконалення технологічних процесів укладання протифільтраційних матеріалів, головним чином полімерних плівок.

В Інституті науково обґрунтовано та розроблено: безтраншейний спосіб укладання вертикальних протифільтраційних екранів та нові конструктивно-технологічні рішення і технологічні процеси будівництва протифільтра-

ційних споруд із використанням безтраншейного способу; нові конструктивно-технологічні рішення будівництва земляних дамб, бетоноплівкових екранів, ґрунтоплівкових екранів, протифільтраційних діафрагм і завіс з використанням складених у пакет полотниць полімерної плівки; удосконалена технологія будівництва способом «стіна в ґрунті» протифільтраційних завіс з полімерної плівки; рекомендації з обґрунтування технологічних нормативів втрат води на зрошувальних каналах в умовах зменшення корисної витрати води в них.

Більшість створених в Інституті конструктивно-технологічних рішень і розробок з будівництва протифільтраційних споруд може бути використано також в умовах реконструкції і модернізації зрошувальних систем України.

Бібліографія

1. Устройство для образования противофильтрационных облицовок оросительных каналов / А.И. Харин, П.И. Григоренко, Г.М. Куделя: А.с. 488892 СССР; заявл. 04.02.74; опубл. 25.10.74, Бюл. № 39.
2. Способ образования грунтопленочного экрана русла канала / В.В. Варваров, Е.А. Богатов: А.с. 599006 СССР; заявл. 02.06.76; опубл. 25.03.78, Бюл. № 11.
3. Устройство для образования деформационных швов в бетонных покрытиях / В.И. Петроченко, Е.А. Богатов, В.В. Варваров: А.с. 775216 СССР; заявл. 25.14.78; опубл. 30.10.80, Бюл. № 40.
4. Устройство для укладки пленочных уплотнительных элементов в деформационные швы бетонных покрытий / В.И. Петроченко, Е.А. Богатов: А.с. 983167 СССР; заявл. 02.10.80; опубл. 23.12.82, Бюл. № 47.
5. Устройство для измерения фильтрации / В.М. Бойко, В.И. Петроченко: А.с. 804758 СССР; заявл. 18.06.79; опубл. 25.02.81, Бюл. № 6.
6. Петроченко В.И. Устройство для определения фильтрационных потерь воды через деформационные швы облицовок каналов. Москва: Экспресс-информация ЦБНТИ Минводхоза СССР. 1984. Сер. 5. Вып. 3. С. 8–10.
7. Устройство для образования вертикальной противофильтрационной завесы / В.И. Петроченко: А.с. 685749 СССР; заявл. 06.01.78; опубл. 15.09.78, Бюл. № 34.
8. Укладчик вертикального противофильтрационного экрана / В.И. Петроченко: А.с. 1211378 СССР; заявл. 16.08.84; опубл. 15.02.86, Бюл. № 6.
9. Способ сооружения грунтовой дамбы с пленочной диафрагмой / В.И. Петроченко: А.с. 1133331 СССР; заявл. 18.07.83; опубл. 07.01.85, Бюл. № 1.
10. Грунтовая дамба с противофильтрационным ядром / В.И. Петроченко, Л.Ю. Гальчинский: А.с. 1168653 СССР; заявл. 14.10.83; опубл. 23.07.85, Бюл. № 27.
11. Грунтовая плотина с противофильтрационным ядром / В.И. Петроченко: А.с. 1386695 СССР; Заявлено 04.09.86; опубл. 07.04.88, Бюл. № 13.
12. Способ сооружения грунтовой дамбы с пленочной диафрагмой / В.И. Петроченко: А.с. 1209749 СССР; заявл. 16.08.84; опубл. 07.02.86, Бюл. № 5.
13. Способ сооружения земляной плотины / В.И. Петроченко: А.с. 1585438 СССР; заявл. 17.03.88; опубл. 15.08.90, Бюл. № 30.
14. Способ возведения насыпного сооружения с пленочной диафрагмой / В.И. Петроченко, Т.В. Рунова, Ю.В. Бунча: А.с. 1701792 СССР; заявл. 09.02.90; опубл. 30.12.91, Бюл. № 48.
15. Зверев А.О., Сайнов М.П. Работоспособность зигзагообразной полимерной диафрагмы высокой грунтовой перемычки // *Вестник МГСУ*. 2016. т. 12. Вып. 5(104). С. 490–495.
16. Обладнання для укладання в траншею протифільтраційної завіси з плівки. / В.І. Петроченко, О.В. Петроченко: пат. на корисну модель 86864 Україна; заявл. 31.07.2013; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1.
17. Спосіб будівництва підземних дренажно-протифільтраційних споруд. / В.І. Петроченко: пат. на винахід 92544 Україна; заявл. 13.03.2009; опубл. 10.11.2010, Бюл. № 21.

18. Петроченко В.І., Розгон В.А., Петроченко О.В. Обґрунтування технологічних нормативів втрат води на зрошувальних каналах в умовах зменшення корисної витрати води в них // Меліорація і водне господарство. 2015. №102. С. 62–69.

References

1. 'Kharin, A.I., Grigorenko, P.I., & Kudelia, G.M. (1974). Ustroystvo dlya obrazovaniya protivofil'tratsionnykh oblitsovok orositel'nykh kanalov [Device for the formation of impervious lining of irrigation canals]. Author's certificate of the USSR. № 488892. [in Russian].
2. Varvarov, V.V., & Bogatov, E.A. (1978). Sposob obrazovaniya gruntplenochnogo ekrana rusla kanala [The method of formation of a soil-film screen channel bed]. Author's certificate of the USSR. № 599006. [in Russian].
3. Petrochenko, V.I., Bogatov, E.A., & Varvarov, V.V. (1980). Ustroystvo dlya obrazovaniya deformatsionnykh shvov v betonnykh pokrytiyakh [Device for the formation of expansion joints in concrete coatings]. Author's certificate of the USSR. № 775216. [in Russian].
4. Petrochenko, V.I., & Bogatov, E.A. (1982). Ustroystvo dlya ukladki plenochnykh uplotnitel'nykh elementov v deformatsionnyye shvy betonnykh pokrytiy [Device for laying film sealing elements in expansion joints of concrete coatings]. Author's certificate of the USSR. № 983167. [in Russian].
5. Boiko, V.M., & Petrochenko, V.I. (1981). Ustroystvo dlya izmereniya fil'tratsii [Filtration Measurement Device]. Author's certificate of the USSR. № 804758. [in Russian].
6. Petrochenko, V.I. (1984). Ustroystvo dlya opredeleniya fil'tratsionnykh poter' vody cherez deformatsionnyye shvy oblitsovok kanalov [Device for determining filtration losses of water through deformation seams of channel liners]. Moskva: Express information TsBNTI Ministry of water economy of the USSR. [in Russian].
7. Petrochenko, V.I. (1978). Ustroystvo dlya obrazovaniya vertikal'noy protivofil'tratsionnoy zavesy [Device for the formation of a vertical impervious curtain]. Author's certificate of the USSR. № 685749. [in Russian].
8. Petrochenko, V.I. (1986). Ukladchik vertikal'nogo protivofil'tratsionnogo ekrana. [Vertical Screen Stacker]. Author's certificate of the USSR. № 1211378. [in Russian].
9. Petrochenko, V.I. (1985). Sposob sooruzheniya gruntovoy damby s plenochnoy diafragmoy [The method of construction of a soil dam with a film diaphragm]. Author's certificate of the USSR. № 1133331 USSR. [in Russian].
10. Petrochenko, V.I., & Galchinskii, L.Iu. (1985). Gruntovaya damba s protivofil'tratsionnym yadrom [Dirt core with antifiltration core]. Author's certificate of the USSR. № 1168653. [in Russian].
11. Petrochenko, V.I. (1988). Gruntovaya plotina s protivofil'tratsionnym yadrom [Dirt core with anti-seepage core]. Author's certificate of the USSR. № 1386695. [in Russian].
12. Petrochenko, V.I. (1986). Sposob sooruzheniya gruntovoy damby s plenochnoy diafragmoy [The method of construction of a soil dam with a film diaphragm]. Author's certificate of the USSR. № 1209749. [in Russian].
13. Petrochenko, V.I. (1990). Sposob sooruzheniya zemlyanoy plotiny [The method of construction of the earthen dam]. Author's certificate of the USSR. № 1585438. [in Russian].
14. Petrochenko, V.I., Runova, T.V., & Buncha, Iu.V. (1990). Sposob vozvedeniya nasypnogo sooruzheniya s plenochnoy diafragmoy [The method of construction of an embankment with a film diaphragm]. Author's certificate of the USSR. № 1701792. [in Russian].
15. Zverev A.O., & Sainov M.P. (2016). Rabotosposobnost' zigzagoobraznoy polimernoy diafragmy vysokoy gruntovoy peremychki [Performance of the zigzag polymer diaphragm of a high soil bridge]. Moskva. Bulletin of MGSU, 2016, Vol. 5 (104), 490–495. [in Russian].
16. Petrochenko, V.I., & Petrochenko, O.V. (2014). Obladnannya dlya ukladannya v transheyu protyfil'tratsionnoi zavisy z plivky [Equipment for laying in a trench of anti-filtration veil of film.]. Patent of Ukraine. № 86864. [in Ukrainian].
17. Petrochenko, V.I. (2010). Sposib buduvannya pidzemnykh drenazhno-protyfil'tratsionnykh sporud [Method of constructing underground drainage and anti-filtration structures]. Patent of Ukraine. № 92544. [in Ukrainian].
18. Petrochenko V.I., Rozgon V.A., & Petrochenko O.V. (2015). Obgruntuvannya tekhnologichnykh normatyviv vtrat vody na zroshuval'nykh kanalakh v umovakh zmenshennya korisnoyi vytraty vody v nykh [Substantiation of technological norms of water losses on irrigation channels in the conditions of reduction of useful water consumption in them]. Melioratsiya i vodne hospodarstvo, 102, 62–69. [in Ukrainian].

В.И. Петроченко, А.В. Петроченко, А.П. Куликов

Инновационное развитие технологий строительства противофильтрационных сооружений

Аннотация. В статье обоснованы приоритетные направления решения одной из актуальных проблем гидротехнического строительства – проблемы защиты от фильтрации и приведены основные научно-технические достижения ИВПиМ НААН в решении этой проблемы. Отмечается, что за последние 60 лет, в связи с развитием химической промышленности и возможностью широкого использования полимерных материалов в гидротехническом строительстве, технологии строительства противофильтрационных сооружений получили значительное развитие. Повышение технологического уровня строительства противофильтрационных сооружений происходило путем качественного совершенствования и количественного увеличения вариантов противофильтрационных материалов, конструктивных решений противофильтрационных сооружений, технологических решений строительства противофильтрационных сооружений, конструктивных решений средств механизированной укладки противофильтрационных материалов. По результатам системного анализа определена иерархическая подчиненность конструктивно-технологических решений строительства противофильтрационных сооружений, а по результатам их функционально-стоимостного анализа установлены аналитические зависимости для определения приоритетных направлений инновационного развития технологий строительства противофильтрационных сооружений. Приведены новые, наиболее значимые конструктивные и технологические решения и научно-технические разработки по строительству противофильтрационных сооружений, созданные в ИВПиМ НААН за прошедший период, в том числе бестраншейный способ укладки вертикальных экранов из полимерной пленки и кассетно-циклический способ строительства противофильтрационных сооружений. Приведены также новые конструктивные и технологические решения земляных сооружений с противофильтрационными диафрагмами и экранами, основанные на применении собранных в пакет полотнищ полимерной пленки. Отмечено, что большинство созданных в Институте инновационных конструктивных и технологических решений может быть использовано при строительстве новых оросительных систем, а также их реконструкции и модернизации.

Ключевые слова: гидротехническое строительство, противофильтрационные сооружения, конструктивные и технологические решения, функционально-стоимостный анализ, инновационное развитие.

V.I. Petrochenko, O.V. Petrochenko, O.P. Kulikov

Innovative development of technologies for the construction of antifiltration facilities

Abstract. The article substantiates the priority areas for solving one of the urgent problems of hydraulic engineering – the problems of protection against filtration and presents the main scientific and technical achievements of the Institute of Water Problems and Land Reclamation NAAS in solving this problem. It is noted that over the past 60 years, in connection with the development of the chemical industry and the possibility of widespread use of polymeric materials in hydraulic engineering, construction technologies for anti-filtration facilities have received significant development. An increase in the technological level of construction of antifiltration facilities occurred through a qualitative improvement and a quantitative increase in options for antifiltration materials, structural solutions for antifiltration structures, technological solutions for the construction of antifiltration structures, and structural solutions for mechanized installation of antifiltration materials. Based on the results of the system analysis, the hierarchical subordination of structural and technological solutions for the construction of anti-filter structures was determined, and based on the results of their functional-cost analysis, analytical dependencies were established to determine priority areas for the innovative development of technologies for the construction of antifiltration structures. The new most significant design and technological solutions and scientific and technical developments for the construction of anti-filtration structures, created at the of Institute of Water Problems and Land Reclamation NAAS in the past, including the trenchless method of laying vertical screens made of polymer film and the cassette-cyclic method of building anti-filtration structures, are presented. Also, new structural and technological solutions of earth structures with anti-filtration diaphragms and screens are presented based on the application of polymer films collected in the package. It is noted that most of the innovative design and technological solutions created at the Institute can be used in the construction of new irrigation systems, as well as during their reconstruction and modernization.

Key words: hydrotechnical construction, anti-filtration structures, structural and technological solutions, functional-cost analysis, innovative development.