

УДК 624.012:679

**ЕЛЕКТРОМЕТРИЧНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ
МІСЦЬ ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ВТРАТ
НА ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУДАХ
МЕЛІОРАТИВНИХ СИСТЕМ**

П.Є. ЛИТВИНЕНКО, О.В. КОВАЛЕНКО

Інститут гідротехніки і меліорації УААН

Наведено відомості про розробку комплексу електророзвідувальних методів і засобів діагностики технічного стану залізобетонних

© П.Є. Литвиненко, О.В. Коваленко, 2009
Меліорація і водне господарство. 2009. Вип. 97

гідротехнічних споруд (ГТС), заснованих на вивченні фізичних полів від елементів ГТС та навколишнього простору. Подано приклад використання діагностичного комплексу для натурних обстежень гідротехнічних споруд.

Проблема. На меліоративних системах України існуюча мережа магістральних та розподільчих каналів, а також споруди на них за довготривалий період експлуатації мають незадовільний технічний стан. Фільтраційні втрати води із каналів призводять до погіршення екологічного стану довкілля. Основними осередками фільтрації води є зруйновані деформаційні шви, тріщини облицювань, розущільнені ґрунтові відкоси та берми каналів. Раніше виконаний протифільтраційний захист унаслідок природних явищ (деформації ґрунтових основ) та експлуатаційних навантажень масово виходить з ладу насамперед у зоні стиків плит облицювання, активних та пасивних тріщин, зонах стикування бетону з металевими закладними деталями.

Відсутність постійного контролю за технічним станом ГТС меліоративних систем, їхнє несвоєчасне технічне обслуговування можуть призвести до руйнування окремих ділянок каналів та повної зупинки їх. Проведення своєчасної діагностики за допомогою електрометричних вимірів сприятиме збереженню технічного стану споруд і дасть змогу запобігти аварійним ситуаціям, що суттєво зменшить витрати на проведення капітального ремонту.

У даній роботі наведено результати досліджень із обґрунтування та розробки електрометричних методів та засобів визначення місць фільтраційних втрат на гідротехнічних спорудах діючих меліоративних систем.

Метою досліджень є розробка комплексу електророзвідувальних або електрометричних методів діагностики технічного стану ГТС на основі вимірювань електрофізичних параметрів складових елементів ГТС.

Електрометричні методи, що ґрунтуються на вивченні різноманітних фізичних полів, величина і розподіл яких у

просторі залежать від фізичних властивостей елементів ГТС та навколишнього простору, включають: метод природного електричного поля (ПЕП), мікроелектрозондування (МЕЗ) та електропрофілювання (ЕП).

Основною робочою гіпотезою розробки електрометричних методів приймалась можливість установлення залежностей параметрів фільтраційних природних полів та електрофізичних показників оточуючого середовища від фільтраційних потоків на поверхні водопропускних споруд та оточуючого середовища.

Фільтраційні поля належать до класу електрокінетичних явищ, відомих у фізичній хімії під назвою «потенціалів течії», або «потенціалів протікання» [1]. Фільтраційні поля створюються рухом води у шпаристих середовищах: під час руху води виникає електричне поле. Фільтраційне природне поле, виражене через електричний потенціал, є позитивним у напрямку витоку фільтраційної води та негативним у місці входу води в навколишній простір чи споруду. Це зумовлено тим, що при фільтрації вода є позитивно зарядженим середовищем відносно твердих частинок капілярно-пористого тіла (закріпленого шару плівкової води). Зміщення частинок позитивно зарядженої води відносно закріпленого шару плівкової води утворює відповідний напрямок фільтраційного поля. Фільтраційні природні поля широко розповсюджені та реєструються при роботах методом природного електричного поля електророзвідки в геофізиці [2].

Поровий простір бетону гідротехнічних споруд є складною системою сполучення капілярів, пор та тріщин. Фільтраційні процеси, що відбуваються в них, є одним із головних механізмів, який приводить до виникнення природного електричного поля (ПЕП). Фізична сутність його така: в бетоні через адсорбцію негативних іонів (аніонів) на стінках капілярів утворюється подвійний електричний шар. Всередині капіляра залишаються вільні дифузійно розподілені позитивні іони

(катіони), які підхоплюються водою, що рухається, і накопичуються на виході із капіляра. Це продовжується до тих пір, поки внутрішнє електричне поле, що виникає і яке діє вздовж капіляра проти потоку, який переміщує катіони, не врівноважить процес. Отже, в капілярі діє електричне поле, що має певну напруженість і яку можна виміряти.

Природне електричне поле вивчають, вимірюючи його потенціал (спосіб потенціалів) або градієнт потенціалів (спосіб градієнта потенціалів).

Фахівцями лабораторії будівельних матеріалів і конструкцій Інституту гідротехніки і меліорації УААН розроблено способи та установку для визначення місць фільтрації води через залізобетонні облицювання меліоративних каналів методом потенціалів [3–5]. Сутність цих способів полягає в тому, що потенціал усіх точок визначеної мережі спостережень ділянки каналу, який досліджують, вимірюють відносно однієї точки, яку приймають за вихідну. За таку точку вибирають точку 0, де встановлюють нерухомий електрод N (рис. 1).

Інший електрод M послідовно переміщують у всі визначені точки, вимірюючи різницю потенціалів ΔU_{MN} . Для оцінки стабільності власної поляризації електродів M і N вимірювання починають і закінчують на опорній точці 0. Отже, деталізацію аномалій ПЕП проводять з використанням однієї опорної точки 0.

Потенціали вимірюють сучасним мультиметром типу М-43313.2, призначеним для виконання електророзвідувальних робіт методом природного електричного поля. Під час проведення робіт використовують мідно-сульфатні електроди, що не поляризуються. Вони складаються з керамічної посудини з мідним штирем, заповненої насиченим розчином мідного купоросу. Останній здійснює іонну провідність електричного струму від поверхні споруди чи ґрунту для виключення поляризації мідних штирів (зміни власних потенціалів у процесі вимірювань).

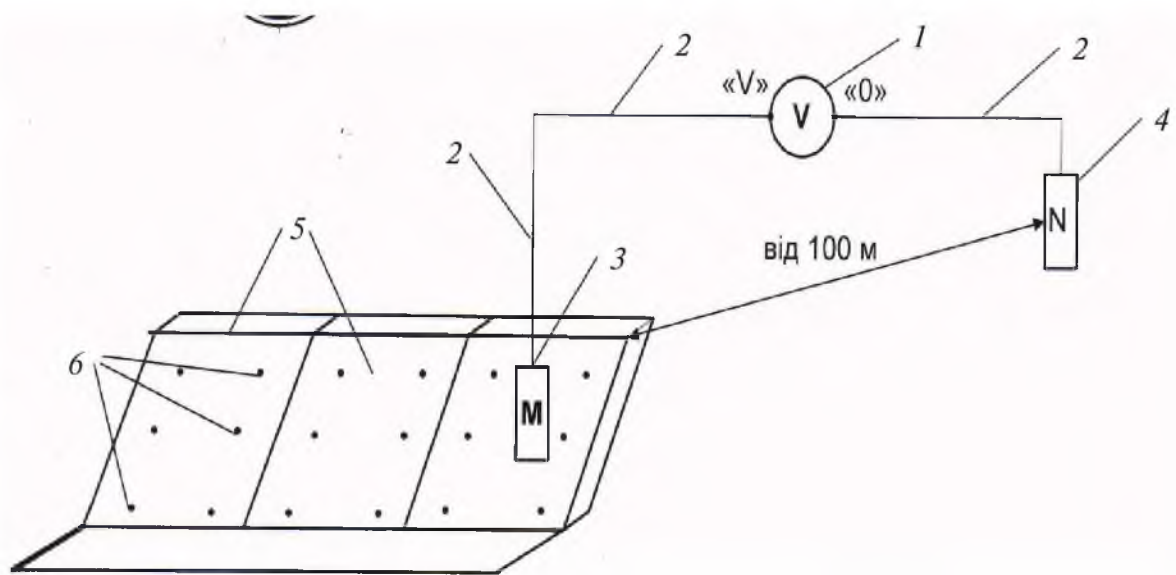


Рис. 1. *Схема установки для визначення місць фільтрації через залізобетонні облицювання магістральних каналів:*

- 1 – мультиметр спеціалізований; 2 – вимірювальні провідникові лінії; 3, 4 – мідно-сульфатні електроди порівняння (МСЕ) М і N;
5 – поверхня залізобетонних плит облицювань;
6 – визначена мережа спостережень

Другу частину електрометричних методів для визначення місць можливих фільтраційних витоків становлять методи електроопорів електророзвідки в модифікаціях електропрофілювання та мікроелектрозондування. Сутність їх полягає у вимірюванні питомого електричного опору ρ_y ґрунтів, що безпосередньо прилягають до гідротехнічної споруди. Фільтраційні витоки спричиняють зміну вологості та водонасиченості ґрунтів на контакті із спорудами меліоративних каналів або сприяють підвищенню рівня ґрунтових вод (РГВ). Вимірюючи ρ_y ґрунтів, встановлюють зміни цього показника, спричинені дією фільтраційних витоків. Показник ρ_y ґрунтів за наявності фільтрації може збільшуватись для ґрунтів типу солончаків, болотних, глинистих і знижуватись для ґрунтів типу пісків, сланцевих, пісковиків, вапняків тощо.

Методи електроопорів виступають як допоміжні до методів потенціалів, але можуть використовуватись і як основні до-

слідження у випадках, коли технічно неможливо виконувати роботи методами ПЕП та градієнтів ПЕП. У цьому разі методика досліджень методами «електроопорів» полягає в тому, що натурні дослідження проводять спочатку на незаповнених каналах, а потім у тих самих точках мережі спостережень при заповнених водою каналах. Ділянки із значними відхиленнями показників ρ_y ґрунтів, одержаними при заповнених і незаповнених каналах, як правило, є місцями фільтраційних втрат.

Методи електропрофілювання та мікроелектрозондування виконуються наступним чином. Дослідження за методом ЕП проводять симетричною установкою Веннера типу АМNB (рис. 2), яку розташовують в одну лінію відповідно до НД 33-3,5-02-2008 [6]. Виміри уявного питомого електричного опору ґрунтів здійснюють вимірювачами опору заземлення типу М-416, Ф 4103-М1.

Величину уявного питомого електричного опору ґрунтів визначають із виразу:

$$\rho_y = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot \Delta U / I, \quad (1)$$

де a – відстань між електродами, м; ΔU – різниця потенціалів, В; I – сила струму, А, показані на відповідних шкалах вимірювальних приладів.

У разі застосування вимірювальних приладів М-416, Ф4103-М1 формула (1) має такий вигляд:

$$\rho_y = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot N, \quad (2)$$

де N – величина відліку, що знімається із приладу М-416, Ф4103-М1.

У найпростішому варіанті досліджень методами електроопорів симетричною установкою Веннера типу АМNB ефективну глибину h досліджень визначають для різних типів ґрунтів з виразу:

$$a \leq h \leq 2a,$$

де $a=AM=MN=NB$ – відстань між електродами заземлень вимірювальних установок.

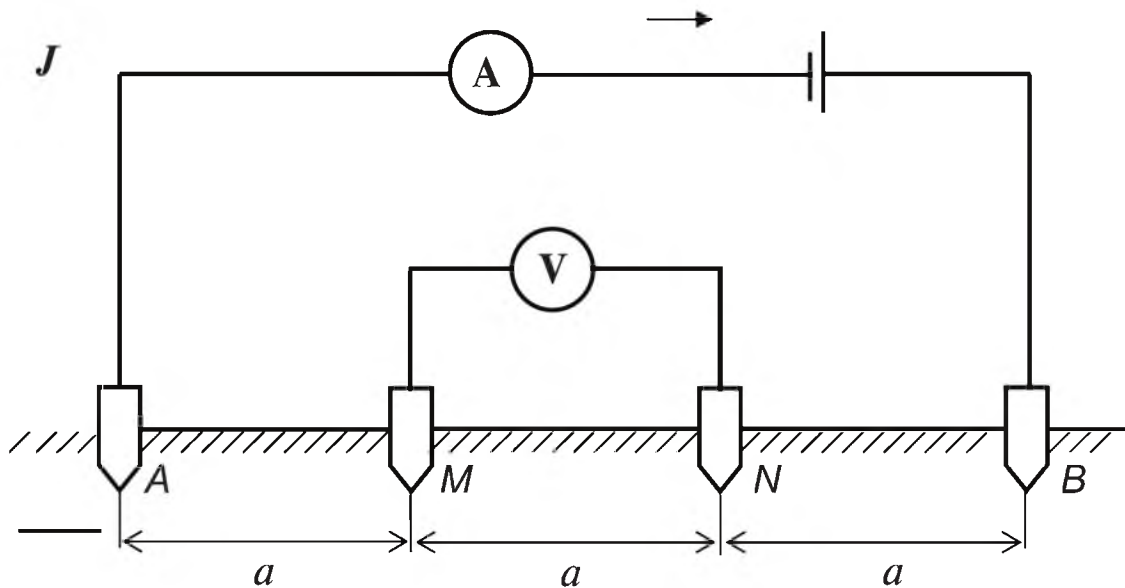


Рис. 2. *Схема вимірювання уявного питомого електричного опору ґрунтів:*

a – відстань між електродами, м; A – амперметр; V – вольтметр; M, N – потенціальні електроди заземлень, A, B – струмові електроди заземлень

Для проведення досліджень було розроблено та виготовлено вимірювальні установки з розмірами a , що дорівнюють 1,59; 3,18; 6,37 і 12,73 м. Можуть бути використані вимірювальні установки з іншими «розносами», наприклад 1 і 3 м. При глибині каналу понад 6 м додатково має бути проведена низка замірів з розносом установки $h \leq a \leq 2h$, де h – глибина каналу.

Крок вимірів приймається рівним від 100 до 50 м уздовж траси каналу при використанні методу ЕП як допоміжного і рівним від 25 до 100 м при використанні методу ЕП як основного із згущенням від 10 до 15 м на перетині природних та штучних перешкод.

Мікроелектрозондування виконують для визначення геоелектричного розрізу вздовж траси каналів, на площадках

накопичувальних басейнів, а також для встановлення рівня ґрунтових вод та його аномальних відхилень, пов'язаних з фільтрацією. Схему побудови геоелектричного розрізу або параметрів верхніх шарів ґрунту (уявні питомі електроопори – ρ_y) методом МЕЗ показано на рис. 3.

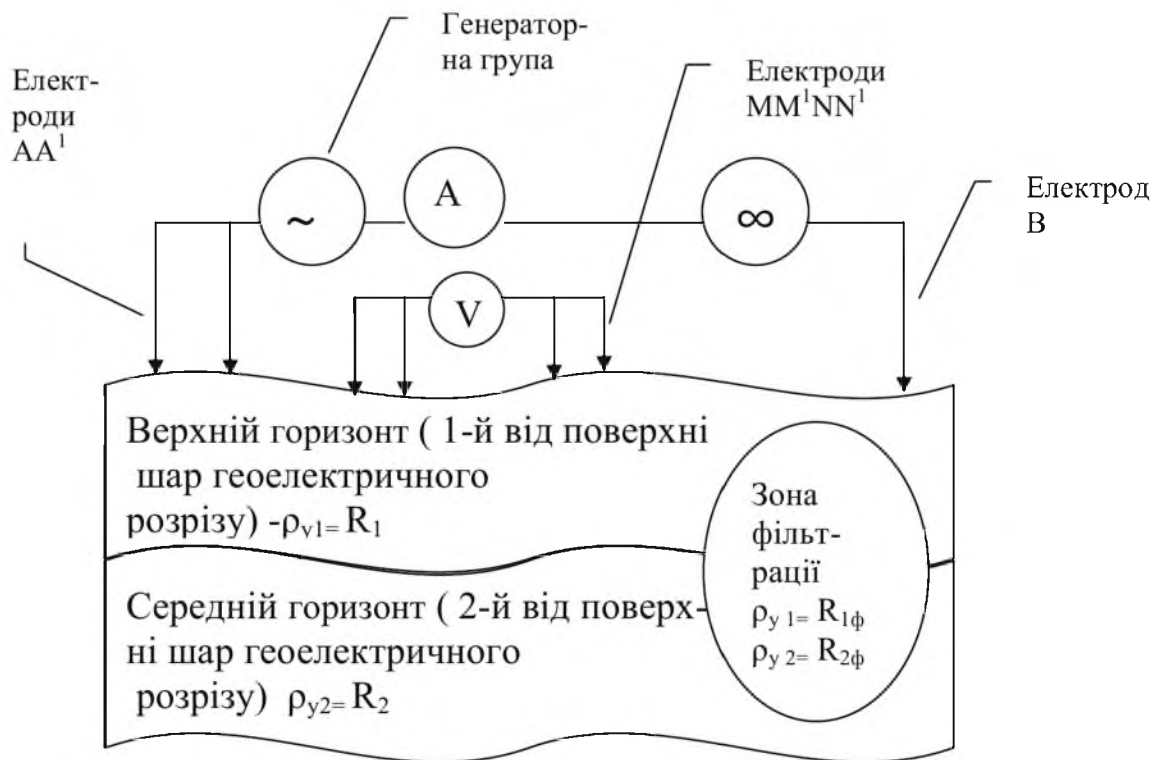


Рис. 3. *Схема встановлення геоелектричного розрізу або параметрів верхніх шарів ґрунту (уявні питомі електроопори – ρ_y) методом МЕЗ: А – амперметр; V – вольтметр*

Метод МЕЗ проводиться установкою типу АМNB, де електрод В відносять у «безкінечність», а електроди А, М, N розміщують у верхньому шарі землі за певними схемами відповідно до Інструкції з електророзвідки [7]. Як вимірну апаратуру використовують станції АНЧ-3, «ЕРА», вимірювач Ф 4103-М1 та аналогічні їм. Електродами заземлення слугують сталеві, латунні та мідні штирі. У методі МЕЗ електрод А рекомендується максимально відносити на відстань від 50 до 65 м. Крок вимірювань вибирають залеж-

но від природних умов та поставленого завдання і становить він, як правило, від 100 до 1000 м. Вимірювальну установку частково монтують у базових умовах, а остаточно – на місці виконання робіт.

Дослідження методом МЕЗ повинні узгоджуватися із даними опорних свердловин для встановлення параметризації (відповідності) геоелектричного розрізу (розподілом у просторі шарів ґрунту із різними питомими електричними опорами) геологічній будові підстилаючих порід та положенню рівня РГВ. Прийнятним вважається, коли на 10 точок виконання МЕЗ є одна параметрична свердловина чи дані про геологічну будову.

Для встановлення кількісних кореляційних зв'язків між виявленими аномальними електричними полями в місцях підвищеної фільтрації через дно і борти каналів по елементах облицювань (бетон тіла облицювання, тріщини і шви) додатково при натурних дослідженнях може бути використаний метод фільтромірів, наприклад фільтромір типу ФМ-2, фільтроміри конструкції ІГіМ, Укрводпроект.

Комплекс електророзвідувальних методів діагностики технічного стану ГТС застосовано для обстеження водопропускних споруд у зоні перетину Північно-Кримського каналу (ПКК) із р. Салгир.

Дослідницькі роботи велись у напрямках: встановлення корозійної агресивності навколишнього середовища (ґрунтів та водних потоків) до залізобетону дюкера; оцінка технічного стану залізобетонних облицювань берегів р. Салгир.

Корозійну агресивність навколишнього середовища до залізобетону протифільтраційних облицювань визначали за показником питомого опору ґрунтів ρ_y згідно з НТД 33.63-094-91 [8].

Дослідження корозійної агресивності ґрунтів відносно залізобетону дюкера на р. Салгир проводили у 20 фізичних точках методом визначення питомого електричного опору ґрунтів ρ_y на глибині залягання споруди. Установлено, що питомий опір ґрунтів на глибині залягання дюкера є в межах від

2,76 до 7,78 Ом·м. Нижній поріг агресивності відносно арматури залізобетонних конструкцій становить 50 Ом·м. Корозія арматури призводить до руйнування бетону та утворення суцільних тріщин і каверн, по яких може відбуватися фільтрація води через облицювання.

Оцінку технічного стану залізобетонних облицювань берегів р. Салгир проводили методом природного електричного поля згідно з розробленим способом [3]. Результати досліджень наведено в таблиці.

Результати електрометричних досліджень технічного стану плит облицювань р. Салгир, проведених методом природного електричного поля

| Ряд вимірів від урізу води | Значення потенціалу природного електричного поля ΔU_f (мВ) у точках проведення вимірів | | | | | | | | | |
|------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <i>Північний схил</i> | | | | | | | | | | |
| 1 | -90 | -20 | -170 | -206 | -180 | -90 | -60 | 14 | -48 | -30 |
| 2 | -255 | -250 | -318 | -290 | -280 | -218 | -242 | -194 | -260 | -360 |
| 3 | -297 | -124 | -323 | -381 | -336 | -246 | -336 | -285 | -224 | -193 |
| 4 | -155 | -170 | -160 | -244 | -169 | -140 | -128 | -90 | -40 | -106 |
| 5 | -30 | -260 | -190 | -144 | -111 | -105 | -60 | -118 | -32 | -125 |
| <i>Південний схил</i> | | | | | | | | | | |
| 1 | -18 | -17 | -6 | -4 | -15 | -5 | -20 | -20 | -2 | -30 |
| 2 | -27 | -8 | -7 | -18 | -23 | -7 | -58 | -47 | -66 | -6 |
| 3 | -11 | -35 | -58 | -51 | -50 | -11 | -54 | -54 | -4 | -11 |
| 4 | -25 | -30 | -20 | -31 | -77 | -19 | -17 | -68 | -49 | -78 |
| 5 | -12 | -11 | -11 | -9 | -9 | -7 | -8 | -7 | -5 | -7 |

Для забезпечення контактів електродів порівняння (МСЕ) з бетоном облицювань застосовували штучний підлив води. Після узагальнення результатів вимірювань встановлено, що середня величина потенціалу створеної (штучної) фільтрації на північному схилі річки на 150 – 200 мВ перевищує відповідний показник на південному схилі. Це свідчить про те, що пропорційно потенціалу фільтрації ΔU_f від поверхні плит облицювань у середину бетону (як шпаристого середовища) вірогідним

є збільшення глибини тріщин [1]. Отже, плити облицювань на північному схилі мають погіршений технічний стан та знижені протифільтраційні властивості облицювання, які виникли в процесі експлуатації, порівняно з південним схилом.

Висновки. Застосування комплексу електророзвідувальних методів діагностики технічного стану ГТС, розробленого на основі вимірювань електрофізичних параметрів складових елементів ГТС, дає змогу швидко і своєчасно встановити місця розвитку дефектів та корозійних пошкоджень облицювань меліоративних каналів, визначити місця можливих фільтраційних витоків з точністю до 10 см за методами природного електричного поля і до 0,5 м за методами мікроелектрозондування та електропрофілювання. Електрометричне обладнання комплектується приладами, що серійно випускаються в Україні. Використання електрометричних методів і технологій дає змогу запобігти аварійним ситуаціям та подовжити термін експлуатації гідротехнічних споруд меліоративних систем завдяки своєчасному плануванню й проведенню ремонтно-відновлювальних робіт.

1. *Семенов А.С.* Электроразведка методом естественного электрического поля. – Л.: Недра, 1980. – С. 446.

2. *Огильви А.А.* Основы инженерной геофизики. – М.: Недра, 1990. – С. 501.

3. *Литвиненко П.Є., Коваленко О.В., Вітковський Ю.А.* Спосіб визначення мікротріщин залізобетонних плит облицювань меліоративних каналів: патент на корисну модель №44571. – 2009; Бюл. № 19.

4. *Литвиненко П.Є., Коваленко О.В., Вітковський Ю.А.* Спосіб контролю корозійного стану залізобетонних облицювань меліоративних каналів: патент на корисну модель № 44575. – 2009; Бюл. № 19.

5. *Литвиненко П. Є., Коваленко О.В., Вітковський Ю.А.* Установка для визначення місць фільтрації води через залізобетонні облицювання меліоративних каналів: патент на корисну модель №44474. – 2009; Бюл. № 19 .

6. *НД 33-3.5-02-2008*. Методика визначення корозійного стану трубопроводів зрошення та водопостачання. – К., 2008.

7. *Инструкция по электроразведке*. – Л.: Недра, 1984. – С. 352.

8. *НТД 33.63-094-91*. Рекомендации по электрохимической защите напорных железобетонных трубопроводов оросительных систем / Минводхоз УССР, Укргипроводхоз. – К., 1991. – С. 85.

Представлены сведения о разработке комплекса электроразведочных методов диагностики технического состояния железобетонных гидротехнических сооружений (ГТС), основанного на изучении физических полей от элементов ГТС и окружающего пространства. Приведен результат использования данного диагностического комплекса для натурных обследований гидротехнических сооружений.

The article presents data on the methods and equipment for remote control of the technical state of concrete hydro-technical constructions, grounded on the study of the physical fields of the elements of concrete hydro-technical constructions and environment. Here are the results of natural investigation hydro-technical constructions.