Інж. Н. П. ЧЕБОТАРЬОВ

КОНТРОЛЬНЕ УСТАТКУВАННЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

ЗА СИСТЕМОЮ ЛЯНҐЕ-ЧЕБОТАРЬОВА

ВРНГ УСРР. ТЕХВИДАВ

Інж. Н. П. ЧЕБОТАРЬОВ

КОНТРОЛЬНЕ УСТАТКУВАННЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД ЗА СИСТЕМОЮ ЛЯНҐЕ — ЧЕБОТАРЬОВА

ВРНГ УСРР. ДВОУ ТЕХНІЧНЕ ВИДАВНИЦТВО
ХАРКІВ 1932

Укрголовліт № 6768. 20/V 1931.
Зам. № 4893. Тираж 3.000.

ПЕРЕДМОВА

Багатюще джерело енерґетичного балянсу нашої країни є водне господарство.

Водяні маси, енерґія яких і досі пропадає в нас задарма на шкоду народнім достаткам, треба поставити на службу соціялізмові. Майже в усіх випадках використання водяної енерґії, за наявности відповідних спадів річища, витрати води на шлюзування, на будування водоймищ, на іриґаційні роботи — за наявности усіх цих умов є цілковита можливість збудувати гідросиловні. Із захованої природної енерґії води виходить зручна для розподілу, для пересилання на далеку відстань електрична енерґія, дешевша за енерґію теплосилових електровень.

Не випадково перша велика споруда в СРСР була Волховська гідроелектровня, що постачає електричний струм ленінградській промисловості.

У п'ятирічнім пляні електробудівництва передбачено збудувати 42 раїонні електроцентралі (вони збільшать споживання енерґії з 5 млрд. кіловатгодин 1927-28 року до 22 млрд. квг. 1932-33 року), а серед них і потужні гідросиловні — Дніпрянську, Свірську та інші.

З погляду технічного будівельні роботи, монтаж конструкцій та устаткування, будування гребель, гідросиловень, шлюз — все це складна робота. Треба робити перегатки, боротися з дощовими водами, кригоплавом, продуховинами тощо. Роля гідротехніків не меншає, хай роботи вже й дійшли краю. Треба повсякчас доглядати позему горішнього і долішнього б'єфу, стежити за витратою води, дбати, щоб справні були споруди підводою, стежити за фільтрацією води під основою греблі та в її тілі. І доглядати треба систематично, щоб вчасно можна було зліквідувати небезпеку.

Система „дренаж - п'езометраж", запропонована від Лянґе — Чеботарьова, зосереджує увагу гідротехніків на контролі стану основи і тіла гідротехнічних споруд, переважно гребель.

Ця найуразливіша частина гідротехнічних споруд ще мало висвітлена в технічній літературі, отже результати дослідів за системою „дренаж п'езометраж" Лянґе — Чеботарьова пожиточні для всіх, що працюють коло цього та проєктують у цій царині.

Інж. *Дементьев*

17. V. 1931 р.

ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮВАТИ Й ПОЛІПШУВАТИ СТАН ОСНОВИ І ТІЛА ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД (ДРЕНАЖ-П'ЄЗОМЕТРАЖ) СИСТЕМИ ЛЯНГЕ — ЧЕБОТАРЬОВА[1])

Щороку ми чуємо про катастрофи великих і дрібних гідротехнічних споруд. Чи так, чи інакше руйнуються гідротехнічні споруди від дрібних селянських гребель і до великих — велетнів, заввишки 50 і більше метрів.

Особливо жахливі катастрофи великих гребель, що, опріч матеріяльної шкоди, спричиняються до загину сотень людей. Кожна катастрофа гідротехнічної споруди завдає втрати до 90% початкової вартости її. Опріч того, припинена експлуатація даної споруди теж спричиняє матеріяльну шкоду.

За один з найкращих покажчиків стану гідротехніки, а також, звичайно, і інших галузей техніки, треба вважати число й розмір катастроф. Відомо, що авіяційна техніка останніми роками дуже зросла, а разом із цим число аварій дуже зменшилось.

Причини катастроф гідротехнічних споруд можна звести до двох головних категорій: це неправильний гідравлічний і статичний розрахунок і причини, зв'язані з фільтрацією води в основі або в тілі споруди.

Першу далеко краще й докладніше досліджено, і спинятися на ній ми не будемо. Укажемо тільки на характеристичну відмінну ознаку; в першому випадку початок руйнування можна виявити легко, бо руйнація починається на поверхні або поблизу споруди (вплив кінематичної енергії води), в другому випадку початок і розвиток руйнації часто приховані від людських очей, і, виходить, запобігти вчасно катастрофі майже неможливо. Майже під кожною гідротехнічною спорудою, а також у тілі греблі відбувається фільтрація води (крім випадку, коли основа й береги — моноліт без щілин). Отже, щоб запобігти пошкодженням споруди треба мати засіб, за допомогою якого можна було б спостерігати раз-у-раз стан цих вод і середовище, де відбувається ця фільтрація.

---

[1]) Цей пристрій автори запатентували (патент № 3658).

Неможливість, за браком відповідних засобів, вчасно виявити початок руйнування гідроспоруд або їхніх основ є одна з найсерйозніших прогалин у галузі гідротехніки. Майже всі технічні галузі мають свої прилади доглядати служби споруд і запобіжні засоби проти катастроф; наприклад, паровики обов'язково мають забезпечні хлипаки, в електричній мережі запроваджують запобіжні затички, на електровнях установлюють вольтметри, амперметри та ін. Інженер Журін („Основи гідротехнічного розрахунку", вид. 1924 року) говорить: „Коли ми подивимось на машини — продукт, людської творчости в іншій галузі, то побачимо, що всі вони мають багато різних допомічних приладів і пристроїв контролювати роботу машини й виявляти ті чи інші неправильності в цій роботі, що можуть спричинити або її розлад, або навіть катастрофу".

Розгляньмо кілька прикладів катастроф гідротехнічних споруд і матеріяльну шкоду від них.

1) На річці Ґурон (площ. бас. 425 кв. вер.) у штаті Мічіґан щойно закінчили греблю з кам'яним водоспуском для гідроелектровні. За основу земляної греблі правив хрящуватий шар піску на 3—6 м з підлежною глиняною верствою заввишки 10 м. На лінії, де тіло греблі з'єднувалось з основою, закладено дренаж. Коли наповняли водою водоймище, кількість дренованої води ввесь час збільшувалася і вода лишалася ввесь час прозора. Коли ж глибина води у водоймищі дійшла до 6 м, то прорвало греблю й винесло призму об'ємом 13.750 м³. Причина зруйнування ясна фільтрація води в хрящуватому піску, її не можна було виявити дренажем, бо він був закладений над цією верствою („Стр. Пром.", № 8 1925 р. стор. 563).

2) 1 грудня 1923 р. в Північній Італії на струмку Пове зруйнувалася гребля Ґлено, в наслідок цього загинуло щось із 500 ч. Гребля являла собою многосклепінну залізобетонну конструкцію з 25 склепінь шестиметрового прогону; пересічна висота греблі — 30м. Головні роботи виконано 1921 - 22 р.р. Причина — недбайливо виконані роботи, через що збільшилася фільтрація в тілі греблі; це й спричинило катастрофу. Розміром матеріяльної шкоди цей випадок далеко переважає перший; опріч згаданих 500 людських жертов, цілком зруйновано село Діццо, 4 силовні, 2 мости й чимало пошкоджено залізницю („Стр. Пром.", № 3 1924 р.).

3) 2 листопада 1924 р. в Англії в Північному Валлісі, в долині зруйновано бетонну греблю, збудовану ще 1908 р., щоб використати водяну енерґію. Напір стримувала гребля на 25 фут. Причина — проміття основи. Вода знесла село й заводські споруди, розташовані нижче за греблю („Стр. Пром." № 12 1925 р.).

4) Уночі під 13 березня 1928 р. прорвало греблю заввишки 60 метрів, збудовану впоперек Каньона Сан-Франсіско в Каліфорнії.

При цьому вся вода у водоймищі кількістю 47 млн. м³ витекла з швидкістю щось із 8 м на секунду.

391

Греблю збудовано 1924-25 р.р. для водо-й енерґопостачання м. Лос-Анжелосу. Довжина бетонної частини греблі —213 м а земляної — 168 м. Проєктуючи споруду, не зважали на можливість тиску знизу під основою. Контрольної ґалерії всередині греблі теж не було. За причину вважали підмиття ґрунту під краями греблі. Катастрофа завдала до 20 млн. долярів матеріяльної втрати й позбавила віку 400 чол. („Електрифікація", №5 1928 р.).

Приклади взято навмисне останніх років, щоб підкреслити стан гідротехніки на теперішній час. Вони досить ясно ілюструють прогалини гідротехніки, тобто брак запобіжних або контрольних приладів для даних споруд. Тепер на це звернули увагу; нижче подаємо спосіб не тільки контролювати й запобігати катастрофам, але й поліпшувати стан гідротехнічних споруд. Цей спосіб базується на вимірі тиску фільтраційної води за допомогою системи п'єзометрів і дренажної мережі. Отож насамперед скажемо про п'єзометри, як основний елемент конструкції, а потім перейдемо до викладу теорії, його конструкції і прикладів, як уживати.

П'ЄЗОМЕТРИ

П'єзометр у гідравліці — це вертикальні тонкі трубки, зверху відкриті, де рідина піднімається на висоту, що відповідає одиниці тиску в даній точці, м нус атмосферний тиск, бо тиск

$$hp = \frac{p - p_a}{\Delta},$$

де

hp — п'єзометрична висота, що відповідає тискові в даній точці,

p — гідростатичний тиск,

p_a — атмосферний тиск,

Δ — вага одиниці води.

А що в гідротехнічних спорудах тиск утворюється напором підпертої води, то висота води в п'єзометрах залежить від величини напору. При цьому однаково, чи буде ця вода в т, убі ґрунту, в бетоні чи в якомусь іншому середовищі; п'єзометрами скрізь можна виміряти тиск у різних точках досліджуваного середовища.

У Росії п'єзометри вперше застосував професор Фідман А. І. 1916 року на Кочетівській греблі, збудованій на річці Дон („Об измерении гидравлического давления под фундаментами плотин", „Труды Московского Института инж. Тр-та" вип. VI, 21 р.). Спідні кінці цих п'єзометрів спускали в залізні, розміщені в точках випробовуваного тиску, кухлі діяметром 2,5″ і заввишки 6″. Кухоль, наповнений дріброю щеброю, мав густу сітку отворів. Трубки діяметром 1,5″ спустили в колодязі, збудовані при устенках греблі.

Закладаючи п'єзометри, мали на меті вивчати гідростатичний тиск води під фундаментом, щоб розв'язати питання про раціональний тип фундаментів на піщаних основах.

Результати спостереження 1920-21 р.р. дали деякі висновки: поперше, проф. Фідман А. І. виявив, що поверхні дотику піску з різними будівельними матеріялами становлять для фільтрації „опір неоднакової сили", подруге, виявлено розходження спостережень епюри тиску з епюрою Бляя.

Пізніше, 1923 р., такі п'єзометри, запропоновані від проф. Лянґе Ю. В., застосовано на флютбеті греблі при Низінській цукроварні, а 1924 р. — на греблі ім. Леніна в с. Перерва, збудованій на річці Москві, описали інж. Мостовий Д. Г. [1]) і проф. Фідман А. І. [2]).

П'єзометри закладено на флютбеті в двох профілях по 4 п'єзометри в кожнім. Спостереження мали на меті з'ясувати ролю ґар і довжину схилястої підлоги і флютбета у зменшенні гідростатичного тиску. Спостереження провадили при різних напорах, тобто від 0,60 до 1,30 саж.

На підставі результатів спостереження двох гребель (Дону й Москви) проф. Фідман зробив цікаві висновки, вміщені в указаній вище праці.

З наведених прикладів бачимо, що за допомогою п'єзометра можна вивчати розподіл тиску води під гідротехнічними спорудами й розв'язувати чимало завдань з цієї царини.

А що рухи ґрунтових вод у гідротехнічних спорудах не вивчено, то це спонукає конструкторів на той чи той довільний вчинок, або принаймні користуватися тими чи іншими практичними даними, які далеко не можуть охопити всіх комбінацій, що трапляються на практиці.

Проєктуючи з проф. Лянґе Ю. В. на початку 1924 р. п'єзометри для Волховської гідроелектровні, нам пощастило натрапити на низку цікавих нових думок що чимало поширюють завдання, поставлені для розв'язування п'єзометрами; утворено нову систему п'єзометрів, що ми її назвали п'єзометражем.

П'ЄЗОМЕТРАЖ У ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУДАХ

П'єзометражем звуть таку систему п'єзометрів, користуючись з якої, можна було б, на бажання технічного догляду, змінювати показ одного або кількох п'єзометрів. У цьому і є її особлива відміна. Ми вже говорили, що фільтрація води в тілі або в основі греблі є одна з головних причин катастроф.

Зазнаючи напору, фільтраційна вода рухається в своїм середовищі з тою чи тою швидкістю; що більша ця швидкість, то

---

[1]) „К вопросу о гидростатическом давлении в основании флютбета плотины". „Водный Транспорт", № 2, 1925 р.

[2]) „Об измерении гидравлического давления под фундаментами плотин". „Труды Московского Института инж. Тр-та" вип. VI, 1927 р.

більше виноситимуться частки середовища й то більша небезпека руйнації середовища. Отже, спостерігати тиск фільтраційної води або, що те саме, її швидкість треба обов'язково, щоб запобігти катастроф.

Користуючись лише з пе'зометричних висот, утворених напором даної споруди, ми не завжди могли б уявляти собі стан фільтраційної води й ґрунту основи, бо ґрунт або навіть бетон здебільшого — це неоднорідна маса різної густини. Крім того, стан густини ґрунту під спорудою, а також бетону, згодом від безперервної фільтрації змінюється й виявити ці зміни при таких спостереженнях над п'єзометрами буде важко.

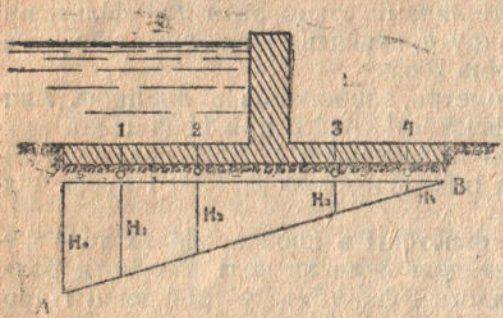

Рис. 1

Розгляньмо теорію й будову п'єзометражу на прикладі, коли досліджують основу під флютбетом греблі. Уявімо собі перекрій греблі, в якому розміщено п'єзометри, як показано на рисунку 1.

Спостерігаючи покази цих п'єзометрів, помічаємо, що тиск під греблею розподіляється по якійсь лінії *АБ*[1]), незалежно від густини ґрунту. Тепер, як що припустимо, що в ґрунті є каверна, то лінія тиску може залишитися або проста, абож зробитися ламана, залежно від положення каверни.

При цьому на ділянці каверни вона буде горизонтальна. Такий випадок можна бачити на рисунку 2.

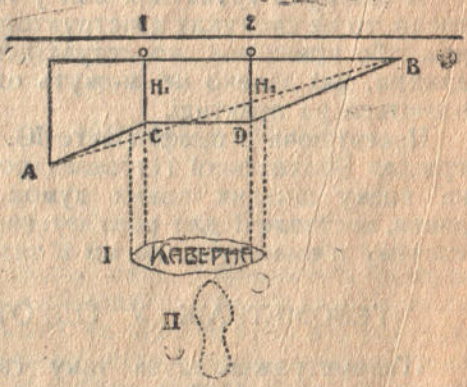

Рис. 2

Якщо каверна в простеці п'єзометрів (полож. 1, рис. 2), то лінія тиску буде *ACDB*, цебто горизонтальність води в каверні вловлять п'єзометри 1 і 2. Обидва п'єзометри 1 і 2 покажуть однакові висоти ($H_1 = H_2$), бо швидкість течії на ділянці *CD* буде мала й тиск в обох пунктах буде той самий.

---

[1]) За теорією Бляя, припускаємо, що зміна тиску йде за простою. Наші міркування лишаються дійсні, якщо тиск змінюватиметься не простою, а якоюсь кривою, як про це говорить проф. Павловський.

Але якщо каверна буде розміщена, як показано на рис. 2 полож. II, то п'єзометри не матимуть змоги вловити каверну і лінія тисків являтиме просту *AB* (пунктир). Те саме може бути, якщо каверна буде між пунктом 2 і точкою *B*.

Отже, коли тиск під греблею чомусь змінився, то лінія *AB* (див. рис. 3), обертаючись навколо точки *B*, змінюватиме величину кута з горизонтом, лишаючися простою (наприклад, *A*, *B* або *AB*, або роблячись ламаною), наприклад, A_1CB або A_2CB).

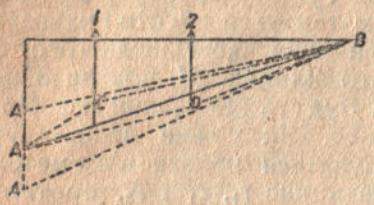

Рис. 3

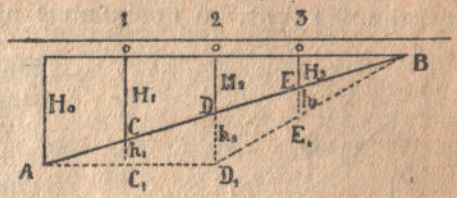

Рис. 4

При постійних спостереженнях над показами п'єзометрів (наприклад, до 3 раз на добу) кожну таку зміну можна було б зафіксувати і на підставі епюр зміни тиску, здавалося б, можна гадати про фільтрацію і стан ґрунту. Проте наявність тільки змін показів не схарактеризує ще цілковитої картини фільтрації та стану ґрунту під флютбетом. Не схарактеризує тому, що час, протягом якого змінюватимуться покази хоч би двох суміжних п'єзометрів, неоднаковий (залежно від густини ґрунту). Крім того, фіксувати початковий і кінцевий момент часу зміни п'єзометричних висот важко, навіть спостерігаючи тричі на добу, і не завжди це можливо з економічних міркувань.

Отже, щоб через спостереження над показами п'єзометрів можна було б знати стан основи споруди, а значить, і знати найслабіші місця його, треба щоб на довжині греблі (або на одній лінії) можна було б, на бажання технічного нагляду, змінювати покази п'єзометра (або кількох п'єзометрів). Тоді б із швидкости зміни показів п'єзометрів, тобто з часу, протягом якого напір сягає теоретичних розмірів, можна було б гадати про стан основи споруди й про характер фільтрації під нею.

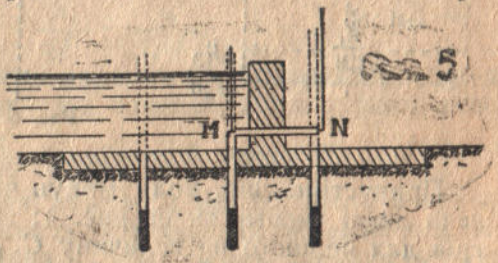

Рис. 5

Змінити покази п'єзометра можна, нагнітаючи воду тим чи тим способом — висмоковуючи або з'єднуючи з горішнім чи нижнім б'єфом.

Припустімо, що в будь-якім перекрої греблі (див. рис. 4) ми встановили три п'єзометри, що показують тиск по простій AB з ординатами. Пристосуємо п'єзометр № 2, щоб злучити його з верхнім і нижнім б'єфом так, як показано на рис. 5, і злучимо цей п'єзометр, скажімо, з верхнім б'єфом, відкриваючи хлипак M деякий час T.

Скоро но хлипак M відкритий, тиск під флютбетом починає одразу підвищуватись, і п'єзометричні висоти в трубках будуть відповідно більшати. При цьому збільшення п'єзометричних висот увесь час буде неоднакове, бо густина ґрунту різна. Що густіший ґрунт, то повільніше підійматимуться висоти і навпаки.

Коли мине час T після того, як відкрито хлипак M, покази п'єзометрів будуть ще деякий час збільшуватися. Як тільки перестануть збільшуватися покази п'єзометрів, фіксують час t_1, t_2 і t_3, протягом якого збільшувалися висоти. Разом із цим фіксують і висоти приросту показів на п'єзометрах h_1, h_2 і h_3.

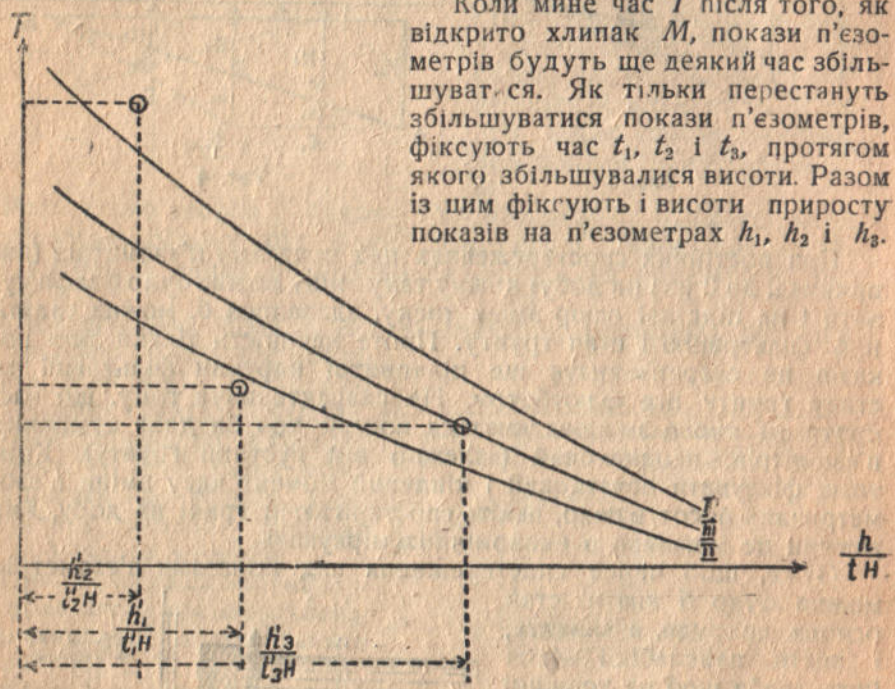

Рис. 6

Припустімо, що, коли минув час t_1, t_2 і t_3, п'єзометри показали деякі висоти, як на рис. 4; збільшились ординати п'єзометрів для першого на величину $CC_1 = h_1$, для другого на $DD_1 = h_2$ і для третього на $EE_1 = h_3$. Замість простої AB, лінія тиску стала ламана — $ACDEB$.

Кожний з приростів h_1, h_2 і h_3 п'єзометрів через якийсь період часу T_1, T_2 і T_3 з моменту граничного положення цих приростів може зменшитися на деякі величини h_1, h_2, h_3 або навіть дорівнюватиме 0 тобто лінія тисків $ACDEB$ може бути знову в положенні AB.

Змінюючи час T, протягом якого відкрито верхній або нижній хлипак, і помічаючи щоразу величину приростів h_1, h_2, h_3 (додатніх чи від'ємних), а також T_1, T_2 і T_3, на протязі яких „зникатимуть" ці прирости цілком або частково, можемо графічно збудувати залежність між швидкостями зміни показів п'єзометрів і проміжками часу відкриття хлипака, взятих до одиниці напору H. Для першого п'єзометра швидкість буде $\frac{h_1}{t_1 H}$, для $2-\frac{h_2}{t_2 H}$ і для $3-\frac{h_3}{t_3 H}$.

Покажімо графічно вказану залежність (див. рис. 6).

На абсцисі відкладаємо швидкість зміни п'єзометрів, а на ординаті — час, протягом якого щоразу відкрито хлипак (верхній або нижній). Такі криві будують для кожного п'єзометра окремо[1]). При цьому добувати дані для будови кривих треба зараз же, як збудовано п'єзомеграж, щоб за допомогою кривої можна було схарактеризувати початковий стан ґрунту під флютбетом.

Збудувавши криві залежності T від $\frac{h}{tH}$, можемо користуватися з них так. Припустімо, що ми забажали будь-коли, в будь-якому перекрої флютбета визначити стан основи його й характер фільтрації. Тоді відкриваємо якийсь з хлипаків (верхній M або нижній N), протягом певного часу T і, помічаючи час T_1', T_2', T_3' і прирости h_1, h_2', h_3', знаходимо швидкості зміни показів п'єзометрів.

$$\frac{h_1}{t'_1 H};\ \frac{h_2}{t'_2 H};\ \frac{h_3}{t'_3 H}.$$

З кривих швидкостей цьому часові T відповідають швидкості такі:

$$\frac{h_1}{t_1 H};\ \frac{h_2}{t_2 H};\ \frac{h_3}{t_3 H}.$$

Припустімо, що, порівнюючи спостережені швидкості з швидкостями, знайденими з кривих, ми виявили, що в першім п'єзометрі швидкість $\frac{h_1'}{t_1' H} > \frac{h_1}{t_1 H}$ (див. рис. 6, криву I).

В цьому разі точка лягла нижче од кривої, тобто в ґрунті сталася зміна. А що швидкість прирощення збільшилась, то, виходить, зменшилась густина і збільшилась швидкість руху води в ґрунті (к-т фільтрації більшає, як зменшується густина).

У другому п'єзометрі (рис. 6, крива II), навпаки,

$$\frac{h'_2}{t'_2 H} < \frac{h_2}{t_2 H},$$

[1]) На нашому рисунку криві побудовано у тих самих координатних осях.

тобто точка лягла вище за криву (II), отже, в цьому разі сталося згущення й загаяння руху води у ґрунті.

У третьому випадку (рис. 6, крива III)

$$\frac{h_3'}{t_3'H} = \frac{h_3}{t_3H},$$

тобто точка розмістилась на кривій, і густина ґрунту не змінилась.

Таким чином, можемо мати уявлення про стан ґрунту й характер фільтрації під флютбетом і в тілі греблі, отож і вжити відповідних заходів там, де загрожує небезпека від підсиленої фільтрації.

Замість обчислювати T (відкривання хлипаків), будуючи криві, можна було б обчислювати й відповідні витрати вбираної чи відводжуваної води, але тоді п'єзометри треба устаткувати водомірами.

Міру зміни густини ґрунту й швидкости фільтрації в позитивний або неґативний бік встановлюється величиною відхилення від кривої на ґрафіку.

При цьому кожній структурі й густині ґрунту відповідає своя крайня швидкість фільтрації, перебільшення якої може спричинитися до небезпечного руху часток ґрунту. Цю крайню швидкість можна встановити попередніми спробами для даного ґрунту або користуватись з приблизних даних. Швидкість руху ґрунтових вод можна виміряти п'єзометрами. Для цього треба впускати у воду верхніх (за водою) п'єзометрів фарбу або сіль. Момент появи фарби або соли в дальших п'єзометрах свідчитиме про час руху ґрунтових вод.

Поділяючи довжину путі фільтрації на час руху води від одного до другого п'єзометрів, дістанемо швидкість фільтрації. За критерій швидкости фільтрації може бути також і каламутна вода.

Нещодавно я сконструював прилад, яким можна знаходити цю критичну швидкість, як функцію від напору й характеру ґрунту. Прилад цей являє собою 4-цалеву трубу завдовжки 125 см. Один кінець труби закрито зовсім, другий — герметично закривається покришкою на прогоничах. У сліпому кінці вставлено трубу, що нагадує собою фільтр. Трубу встановлено нормально до осі труби. На кінці цієї труби натягнено ґумові трубки, злучені з напірним баком. Бакові, на бажання, можна надавати якого завгодно положення щодо висоти в межах від 0 до 1,75 м. Другий кінець труби має невеликий отвір діяметром 10 мм. Засипавши трубку випробовуваним ґрунтом і даючи різні напори, можемо знаходити цю критичну швидкість. За таку швидкість в цьому випадку треба вважати появу крізь отвори труби винесених часток ґрунту. Для різних густин заповнення труби піском поява цих часток має такі швидкості: 0,00133 см/сек., 0,00256 см/сек. і 0,0320 см/сек.

Коли злучати п'єзометри з верхнім б'єфом високонапірних гребель, може статись небезпека від розмивання ґрунту. В таких випадках можна користуватися тільки з частини всього напору, а саме частини, безпечної для даного ґрунту.

Рис. 7

Спостерігати покази п'єзометрів можна поплавцями або монометрами; їх розміщують або під п'єзометрами, або з боку на деякій віддалі від них. Від усіх реєстрівних приладів можна зробити передачу на якусь віддаль і зосередити спостереження в одному місці.

Увесь пристрій можна устаткувати самописними приладами. Всі ці міркування стосуються й до устаткування п'єзометрів водомірами.

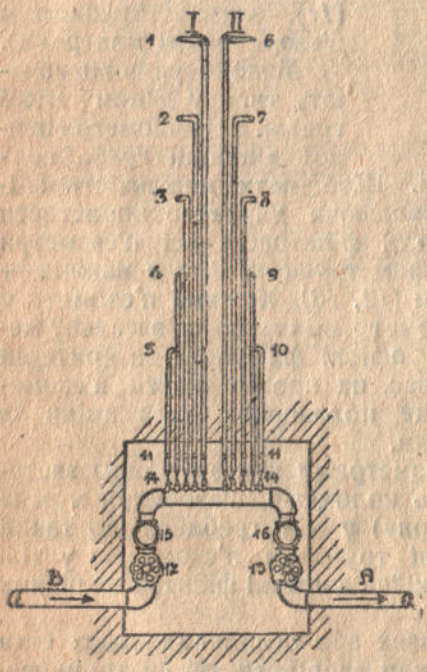

Рис. 8

Число п'єзометрів, а також і перекроїв у спорудах, визначають щоразу залежно від якости основи, висоти напору й вартости споруди. Взагалі, що більше п'єзометрів, то краще й точніше можна визначити стан основи споруди й характер фільтрації під ним.

Розглянувши теоретичні основи п'єзометражу, коли його застосовуємо до основи флютбета греблі, перейдемо тепер до п'єзометражу самого тіла греблі. Тіло греблі, що стримує напір води, здебільшого споруджують з матеріялу (бетону, каменю, цегли, землі і т. ін.), який пропускає всередину себе воду.

Фільтраційна вода в тілі греблі так само згубно відбивається на монолітності масиву греблі, як і фільтрація в основі греблі. Ця небезпека від фільтрації збільшується від того, що густина масиву греблі і його пористости далеко неоднакові в усьому об'ємі греблі, отже, фільтрація збільшуватиметься в тих місцях, де найбільша пористість і найменша густина.

Щоб довідатися про стан греблі (величина фільтрації, пористість і густина маси), можна базуватися на показах п'єзометрів, встановлених в тілі греблі.

Спеціяльна система п'єзометрів у тілі греблі принципово нічим не різниться від того п'єзометражу, про який ми говорили вище. Отже, п'єзометражем, встановленим у тілі греблі, можна завжди запобігти небезпеці прориву греблі, спостерігаючи рівень води в п'єзометрах. З'ясуємо сказане схематичними рисунками (рис. 7 — 9).

Припустімо, що ми маємо бетонну й кам'яну греблю, збудовану на суцільній скелі. Розміщуємо п'єзометри в два ряди I і II (див. рис. 7) по 5 п'єзометрів у кожнім *(1 — 10)*. В умовах греблі роблять спостережні колодязі (див. рис. 8 — 9), встановлюючи в них манометри (*11*), злучені трубами з п'єзометрами (фільтрами).

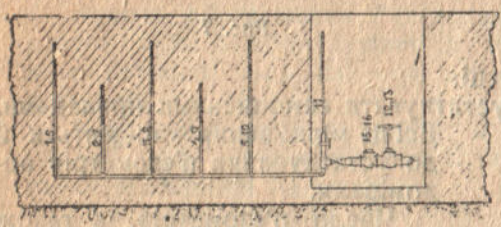

Рис. 9

Манометрами визначають тиск у даному місці греблі. Усі манометри певної дільниці греблі групуємо у спостережному колодязі. Щоб мати можливість змінювати п'єзометричні висоти, виявляючи характер пористости й густини масиву, а також швидкости фільтрації, всі п'єзометри в колодязі злучають з верхнім б'єфом трубкою *B*, а з нижнім — трубкою *A* з запірними вентилями *(12, 13)*. Кожний п'єзометр у колодязі має ґрант *(14)*, яким п'єзометр вмикають у загальну мережу або навпаки. Тут, як і при основі флютбета, за критерій стану тіла греблі правитиме той час, на протязі якого п'єзометричні висоти займуть стаціонарне положення після зміни їх висот нагнічуванням або всисанням.

Отже, вищеподану теорію п'єзометражу цілком можна застосувати й до тіла греблі. Замість колодязів, п'єзометри можна розмістити в оглядовий хід (патерну) у тілі греблі, якщо такий має бути в проекті. Вертикальні трубочки п'єзометрів у тілі греблі мають являти собою на якійсь довжині фільтри на різних висотах в однім перекрої.

Отже, спостерігаючи в колодязях або оглядових ходах стан п'єзометричних висот, можна завжди запобігти тій чи тій небезпеці катастрофи греблі. Явища фільтрації обчислюють, спостерігаючи зміну п'єзометричних висот і зміну витрати води за допомогою водомірів *(15, 16)*.

ДРЕНАЖ-П'ЄЗОМЕТРАЖ У ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУДАХ

Один із способів боротьби з наслідками фільтрації води крізь тіло й основу греблі є дренаж. Суть дренажної роботи — це

збирати напірну фільтраційну воду в окремі трубки, канали, колодязі й відводити її самотокою в нижній б'еф При цьому процесі фільтраційна вода проходить в даним середовищі до трубок з тою чи іншою швидкістю. Що більша ця швидкість, то швидше пересуваються частки й то більша небезпека виносу.

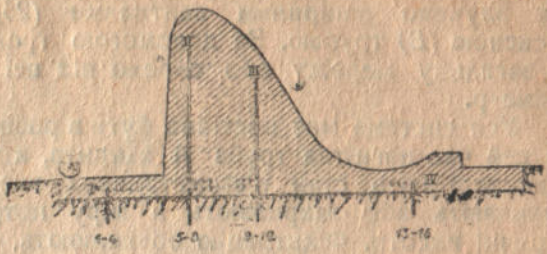

Рис. 10

Щоб запобігти винесен ню часток за того чи іншого дренажу, роблять фільтри, які мають затримати тверді змулені частки. Отже дренаж не тільки не допускає виносити частки, а й, затримуючи тверді частки на лінії фільтрів, сприяє згущенню середовища й поліпшенню даної споруди.

Дренаж звичайно застосовують у греблях і в земляних і в кам'яних. Як на приклад збудованого дренажу в кам'яній греблі, можнавказати на бетонну греблю Волховської гідроелектровні, де дренаж складається з мережі каналів і колодязів, закладених у самім тілі греблі.

А що дренаж завжди складається з відповідної мережі труб, то є можливість використати цю мережу, як п'єзометраж. Отже, поєднання дренажу з п'єзометражем за допомогою тої самої мережі труб

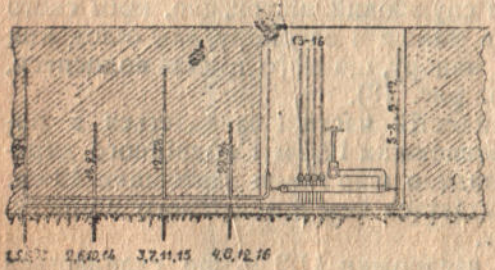

Рис. 11

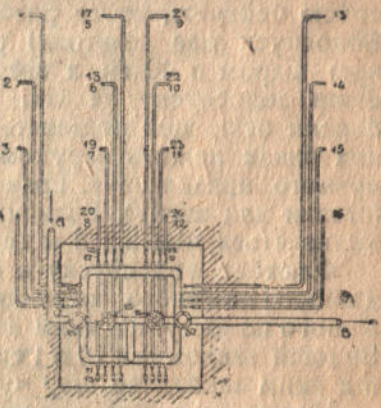

Рис. 12

становить злагоду, яка, поперше, дренуючи споруду або основу, поліпшує їх, а подруге — контролює стан і запобігає катастроф. Таку злагоду ми назвали дренаж - п'єзометраж.

Розглянемо цю злагоду на схематичнім рис. кам'яної греблі на м'якій основі, наприклад, на піску (див. рис. 10 — 12).

Поставимо чотири ряди п'єзометрів на перекрої греблі, з яких I і IV для основи *(1 — 4* і *13 — 16)*, II і III — для тіла греблі *(17 — 20, 21 — 24)* і основи *(5 — 8, 9 — 12)*. П'єзометри водночас

правлять за приймальні фільтри для дренажу. Кожний приймач тиску, що разом править і за дренажну трубу, злучено з манометром *(28)*, яким визначаємо тиск у даному місці греблі. Усі манометри певної дільниці греблі групуємо у спостережному колодязі, де їх злучено напірними вентилями *(25)* з нагнітною *(A)* і всисною *(B)* трубою. За допомогою ґрантів *(27)* можна вмикати в загальну мережу або окремо від неї будь-який фільтр-п'єзометр.

Уся система має постійно бути в роботі, як дренажна система; в цей час нагнітна труба *A* закрита, а труба *B* відкрита. Коли спостерігають стан п'єзометричних висот, то труби *A* і *B* відкривають або закривають в міру потреби змінювати п'єзометричні висоти. Фільтрацію обчислюють, спостерігаючи зміну п'єзометричних висот і зміну витрати за допомогою водоміра.

Отже, мережа труб, контролюючи стан споруди і його основи, може придатися і для дренажу.

ПРИКЛАДИ, ЯК ЗАСТОСОВУВАТИ ДРЕНАЖ-П'ЄЗОМЕТРАЖ. БУДОВА ДРЕНАЖ-П'ЄЗОМЕТРАЖУ ТА ВОДОСПУСКУ ЧЕРВОНОПОЛЯНСЬКОЇ ГІДРОЕЛЕКТРОВНІ НА РІЧЦІ ПІВНІЧНИЙ ДІНЕЦЬ

Тип водоспуску Червонополянської гідроелектровні являє собою бейшлот, тобто розбірну греблю з проміжними стоянами. Водоспуск має незатопні рублені стояни, заповнені внизу глиною шаром в 40 см, а зверху забутиновані землею. Загальний отвір водоспуску на лінії порога — 30 м. Чотирма проміжними биками отвір цей поділяється на 5 шестиметрових прогонів. На цих биках лежить нерухомий службовий місток, що, крім свого прямого призначення, править також і за опору для білоніжок (стояки для щитів). Величина напору, що його тримає водоспуск, коливається між 2 і 3 м (див. рис. 13).

Флютбет водоспуску в схилистій частині складається з подвійного кам'яного мостинця завдовжки 12,5 м і подвійного дерев'яного помосту, під яким закладено шар глини завтовшки 40 см. Водобій завдовжки 10 м і складається теж з подвійного помосту, під яким закладено шар чури.

Нижче вже йде водобій завдовжки 11,2 м, що складається з плетених кліток, засипаних камінням. Флютбет має три ґарові ряди, забитих на глибину 4 м. Верхній ряд іде лінією з'єднання подвійного мостинця з дерев'яним помостом схилястої підлоги, середній лінією порога й нижній між водобоєм і схилястою підлогою. Верхні й середні ряди продовжують фільтраційний шлях, знайдений за Бляєм, а нижній — запасна стінка на випадок винесення часток від середнього ряду. Попереднє свердління показало, що за основу флютбета править пісок середніх розмірів. Коефіцієнт для формули Бляя взято для цього ґрунту — 12.

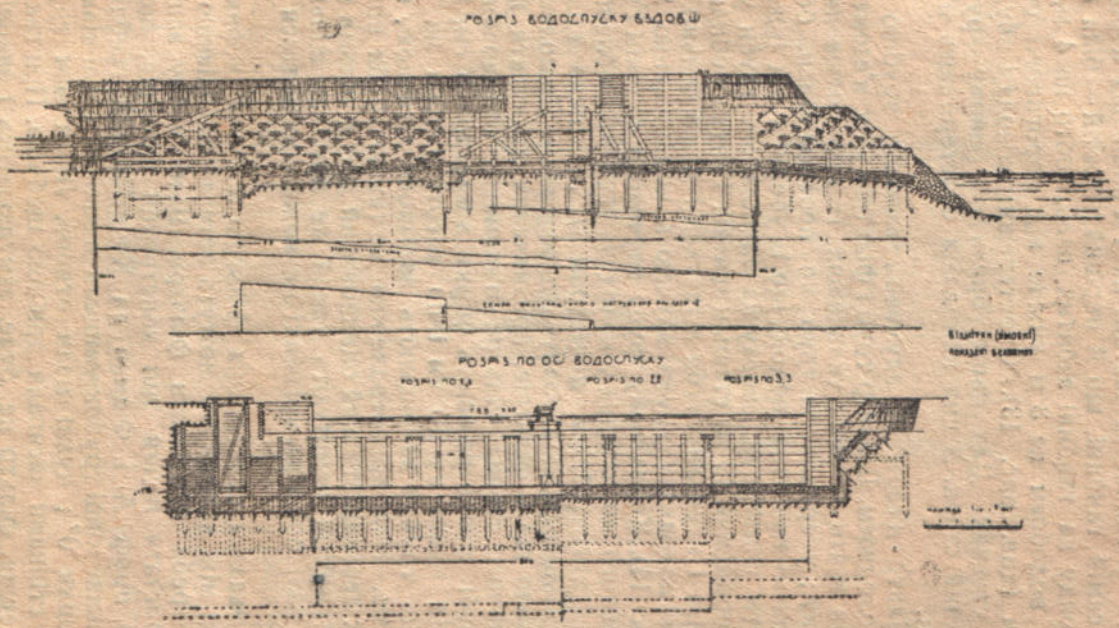

Рис. 13

Дренаж-п'єзометраж для водоспуску спроєктовано й виконано так: на ширині отвору водоспуску п'єзометри заклали в двох перекроях. У кожному перекрої по 4 п'єзометри-фільтри. Перший — під подвійним мостинцем на 2 м вище від верхнього ґарованого ряду завглибшки на $^1/_2$ м нижче від глиняного тарасника; другий — у схилястій частині на 4 м вище від порогового ряду на тій самій глибині, що й перший; третій — біля самого порогового ряду на глибині забитих паль, тобто на 4 м, і четвертий — під водобоєм на 3 м нижче від порогового ряду на глибині $^1/_2$ м (див. рис. 13). Спостережні колодязі збудували в рублених стоянах. Для цього брали по одному зрубу без землі на кожний стоян. З цих колодязів спостерігають п'єзометричні висоти.

Кожен фільтр-п'єзометр злучено залізною трубою з спостережним колодязем. Діяметр труб і фільтрів усіх п'єзометрів — 1 цаль. Труби взято залізні; укладаючи, їх просмолювали з надвірнього боку; усередині ж труб не просмолювали, бо вони завжди заповнені напірною водою, що їх уберігає від іржавіння. Щоб запобігти фільтрації, зверху на прокладені труби уздовж через певні проміжки (2 м) ставили щитки. Щитки робили з казанового заліза і злучали труби з щитками дуже щільно.

Виведені в колодязях труби злучають колекторною 2″ трубою (див. рис. 14). Колекторну трубу злучено з верхнім і нижнім б'єфами. Крім того, до вхідних у колодязь труб приробленo водомірчі скла на висоті 1,6 м, діяметром $^3/_8$″. Кожне водомірне скло і кожен фільтр можна розлучити вентилем. До колекторної труби приєднано ще 5 фільтрів, призначених дренувати напірну частину рубленого стояна. Фільтри-п'єзометри побудовано так: в цалевій трубі просвердлюють дірки діяметром 5 см, на віддалі одна від одної на 10 см і по висоті трубки на 50 см. Нижній кінець трубки закріпляють залізною затичкою, прилютованою міддю. Над просвердленою частиною труби прилютовують уздовж двоміліметровий оцинкований дріт у восьми місцях. Навколо цих прутів намотують такий же дріт так щільно, що він дає дуже малі прозори, крізь які не може просипатися навіть дрібний пісок.

На жаль, вказана конструкція фільтрів має той дефект, що дрібні отвори між дротинами можуть затягатися плівкою й мулом, і тоді треба промивати фільтри. Щоб цьому запобігти, можна використати інший тип конструкції фільтрів, що його запропонував проф. А. І. Фідман на Кочетівський греблі. Цей тип такий. Нижні кінці трубок уміщали в залізні кухлі діяметром $2^1/_2$″ і заввишки 6″; кухлі мали отвори. Люзи між трубками й кухлевими стінками засипали дрібною щеброю. При такій конструкції, поперше, фільтр не буде замулюватись і заволікатись плівкою і, подруге, можна не боятися виносу часток.

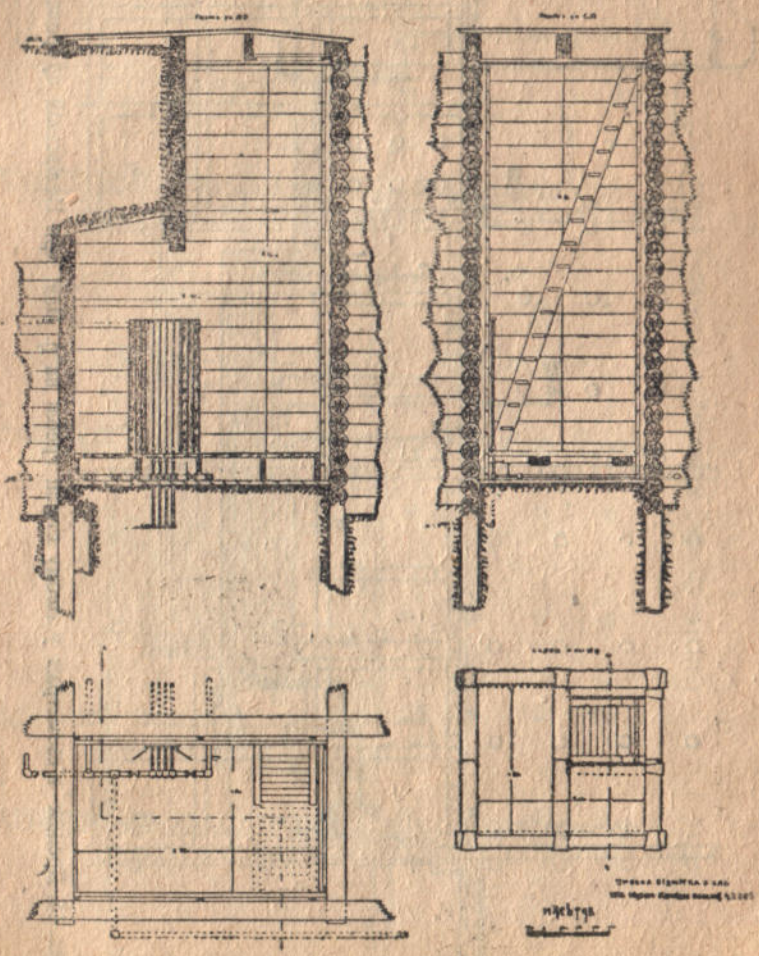

Рис. 14. Деталі спостережного колодязя для дренаж - п'єзометражу

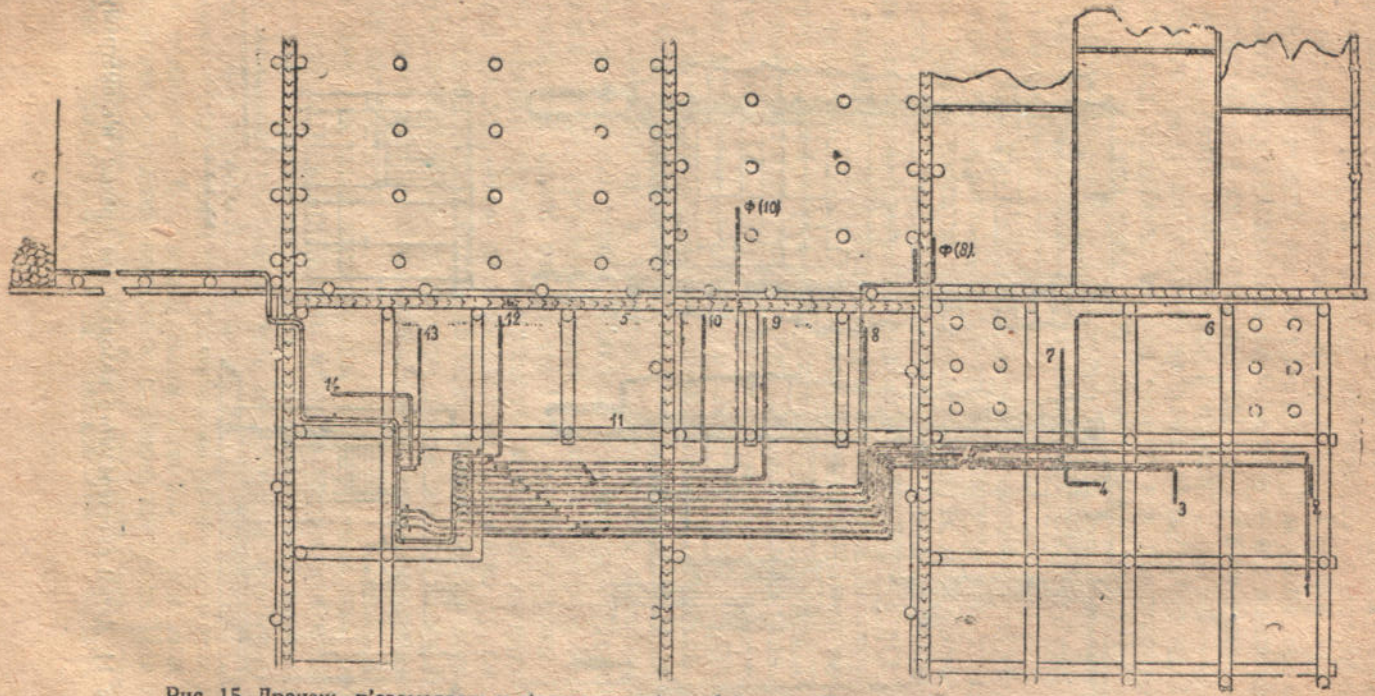

Рис. 15. Дренаж - п'єзометраж у лівому стояні греблі на р. Пслі при Низівській цукроварні

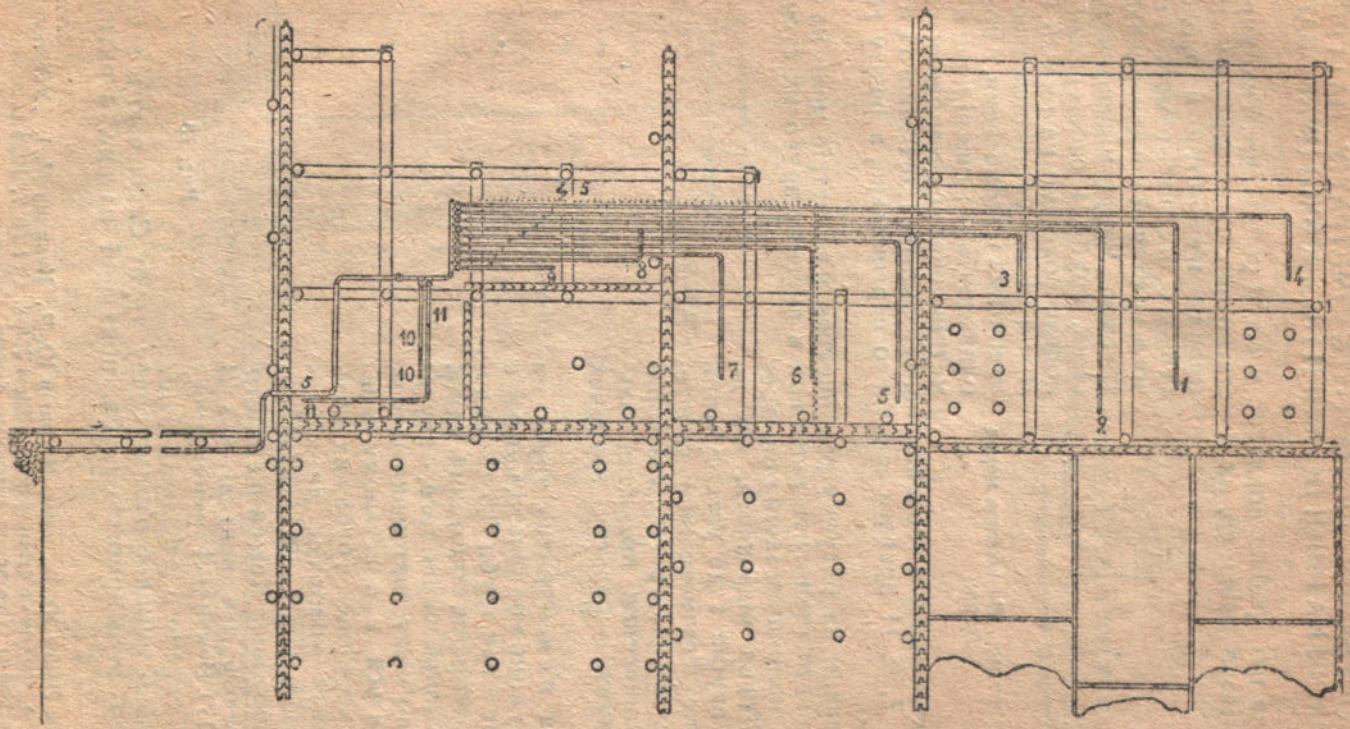

Рис. 16. Дренаж - п'езометраж у правому стоянi

ЗАСТОСУВАННЯ ДРЕНАЖ-П'ЄЗОМЕТРАЖУ НА ГРЕБЛІ, ЗБУДОВАНІЙ НА РІЧЦІ ПСЛІ ПРИ НИЗІВСЬКІЙ ЦУКРОВАРНІ[1])

Описав цю греблю докладно в своїй роботі інж. Тихомирів[2]). Тут ми тільки опишемо, як її устатковано п'єзометражем. Встановили п'єзометри в рублених стоянах під час ремонту після того, як стояни почали дуже фільтрувати. Як розміщено в пляні сітки, труби і спостережні колодязі, показано на рис. 15 і 16. Лівий стоян устатковано чотирнадцятьма п'єзометрами, а правий одинадцятьма; нижні кінці п'єзометрів почасти установили горизонтально, а почасти вертикально. П'єзометри 1, 6, 9 лівого стояна і 2, 3, 5, 7, 9, 11 правого закладено вертикально, а решту горизонтально.

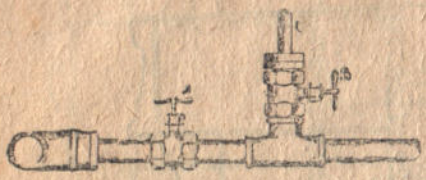

Рис. 17. *А*—вентиль, *В*—вентиль перед мотором

Показаним на рисунку розміщенням п'єзометрів мали на меті контролювати стан ґрунтових вод в окремих зрубових стоянах, а також поліпшити їхній стан дренажем. Треба відзначити, що до ремонту зрубів і до устаткування їх дренаж-п'єзометражем спостерігали велику фільтрацію, яка спричинила винесення потрібної кількости ґрунту — балясту зрубових ящиків.

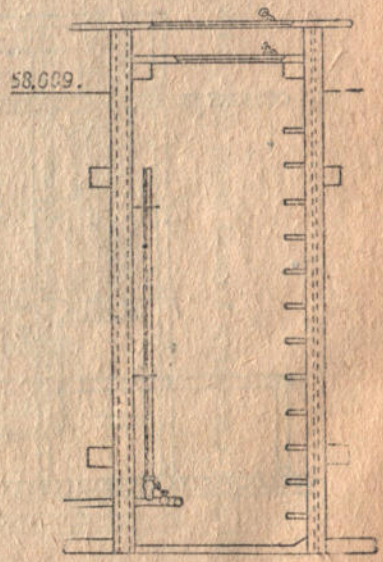

Рис. 18

Кожна п'єзометрична труба на нижньому кінці має фільтр, що являє собою відтинок труби 0,5 м завдовжки з отворами, обмотаний удвоє сіткою. Фільтр, опріч того, занурений у шар піску завтовшки 0,30 м, що міститься в повстяному мішку. Другим кінцем труба виходить у оглядовий колодязь, де злучається з спільною вивідною (колекторною) трубою. Кожен п'єзометр обслуговують два вентилі *А* і *В* (див. рис 17). Вентиль *А* вимикає кожну трубу окремо в загальній сітці, а вентиль *В* вимикає п'єзометричну трубу *С*. Злучають з верхнім б'єфом за допомогою труби, показаної на рис. пунктиром;

---

[1]) Проф. Лянґе Ю. В., студ. Щуригін Ю. Р., Кулинич М. І. „Устаткування греблі Позре дренаж-п'єзометражем", Вісті Харк. СГІ № 7, 1926 р.

[2]) „Постройка Низовской плотины" Харків, 1925 р.

злуку з нижнім б'єфом показано суцільними лініями. Спостережний колодязь, в якому спостерігають п'єзометри, показано в розрізі на рис. 18.

УСТАТКУВАННЯ ДРЕНАЖ - П'ЄЗОМЕТРАЖЕМ КАМ'ЯНОЇ И ЗЕМЛЯНОЇ ЧАСТИН ГРЕБЛІ ГІДРОЕЛЕКТРОВНІ НА Р. ГІРСЬКИЙ ТІКИЧ ПІД С. БУКИ

Збудована 1930 р. гідроелектровня на р. Гірський Тікич під селом Буки є одна з перших на Україні комплексних споруд використовувати водяну енергію.

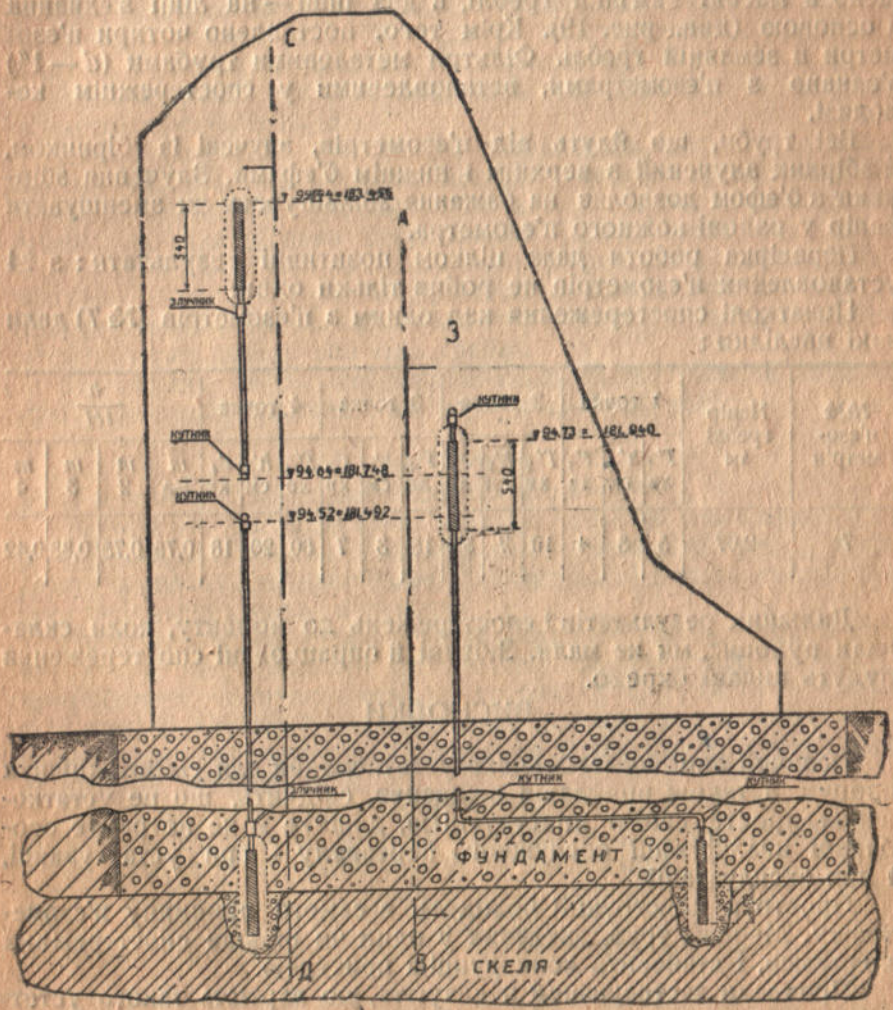

Рис. 19

Комплекс складається з кам'яної й земляної частин греблі заввишки близько 4 м, дериваційного каналу завдовжки близько 800 м і напірної дерев'яної труби завдовжки щось із 100 м. Робітний напір становить 18 м, а розрахована витрата — 2,8 м³/сек. Установна потужність — 800 HP.

Кам'яна гребля (з бутобетону) має за основу щілинистий ґраніт, а земляна — намулений алювіяльний ґрунт. Контрольний прилад особливо цікавий досліджувати бутобетон і з'ясовувати здатність його до фільтрації й тиску всередині такої греблі.

П'єзометри в кам'яній частині греблі встановлено в п'яти перекроях по 4 п'єзометри в кожному. Два п'єзометри розміщено в масиві кам'яної греблі, а два інші — на лінії з'єднання з основою (див. рис. 19). Крім того, поставлено чотири п'єзометри в земляній греблі. Фільтри металевими трубами (d — 1″) з'єднано з п'єзометрами, встановленими у спостережнім колодязі.

Всі труби, що йдуть від п'єзометрів, злучені із збірником, а збірник злучений з верхнім і нижнім б'єфами. Злучення збірника з б'єфом дозволяє на бажання збільшувати чи зменшувати напір у районі кожного п'єзометра.

Перевірка роботи дала цілком позитивні результати: з 24 установлених п'єзометрів не робив тільки один.

Початкові спостереження над одним з п'єзометрів (№ 7) дали такі наслідки:

№№ п'єзометрів	Напір греблі тм	1 точка			2 точка			3 точка			4 точка			$\frac{h}{tH}$			
		T'_1 хв	h'_1 см	t'_1 хв	T'_2 хв	h'_2 см	t'_2 хв	T'_3 хв	h'_3 см	t'_3 хв	T'_4 хв	h'_4 см	t'_4 хв	m 1-а	m 2	m 3	m 4
7	≈2,67	5	8	4	10	7	3,5	15	3	7	60	20	18	0,75	0,75	0,88	0,42

Дальших результатів і спостережень до моменту, коли складали рукопис, ми не мали. Зібрані й опрацьовані спостереження будуть видані окремо.

ВИСНОВКИ

Поданий опис контрольного устаткування для гідротехнічних споруд, а також прикладів вживання, свідчить, що це устаткування просте своєю конструкцією, дешеве й не потребує особливої кваліфікації обслужного персоналу і при устаткуванні, і при експлуатації.

Простота конструкції походить з самого принципу п'єзометражу. Мережа труб, зведених у один чи більше спостережних колодязів, і становить конструкцію пристрою.

Приклади застосування показують, що вартість такого устаткування коливається від 1 до 2% — для невеликих споруд 1 до

0,2% для великих від вартости тої споруди чи її частини, що устаткована цим пристроєм. Коли ж вартість устаткування взяти до всього комплекту (напр., гідроелектровні), то цей відсоток буде ще менший.

Укладання й монтаж труб, а також устаткування колодязів можуть виконати водопровідники. Наглядає за роботою технік один-два рази на місяць.

Щодо роботи самого устаткування, то, як показали приклади застосування (Гірський Тікич і Низівська гребля), воно дає найкращі наслідки.

Фільтри для п'єзометрів на зазначених греблях можуть функціонувати протягом кількох років; наприклад, проф. Фідман А. І.[1]) установив п'єзометри 1916 р., а спостереження провадили 1920 р., і робота їх була цілком нормальна.

Коли з якоїсь причини буде засмічено фільтри, то їх можна промити напірною водою.

Число потрібних п'єзометрів і простеців залежить головно від ґрунту або від густини досліджуваного середовища. Що ближче п'єзометри стоятимуть один від одного, то докладніше можна дослідити дане середовище. Проте густе розміщення п'єзометрів може чимало збільшити вартість контрольного устаткування. Тим то не треба дуже часто розставляти п'єзометри, подруге, якщо надто рідко розмістити п'єзометри, то вони не цілком обслуговують основу або тіло греблі.

За границю найбільшої віддалі може бути половина довжини путі фільтрації, знайденої за формулою Блея, тобто:

$$L = H \cdot C,$$

де H напір, а C к-т, залежний від роду ґрунту.

Звичайно в простецях (перекроях) п'єзометри розміщують у характеристичних точках основи флютбета або тіла греблі. Вибираючи віддаль між простецями (перекроями), можна додержуватися зазначених вище міркувань.

Пропоноване контрольне устаткування є тільки перший крок вивчати й контролювати стан найвідповідальнішої частини гідротехнічної споруди — основи греблі, її флютбетів і самого тіла греблі. Пристрій, можливо, ще далекий від цілковитої досконалости, але практично вивчаючи й змінюючи, його можна поступінно вдосконалити.

Проте наш пристрій уже перевірено на практиці, його робота цілком нормальна й жодних труднощів для виконання його, а тим паче під час експлуатації не траплялося. Ще на початку 1926 р. на І Всесоюзній меліоративній нараді ухвалено, на доповідь проф. Лянґе Ю. В., резолюцію про потребу завести на гідротехнічних спорудах контрольне устаткування (див. дод. № 1),

---

[1]) „Об измерении гидравлического давления под фундаментами плотин". „Труды Моск. института инж. транс." випуск VI, стр. 160, 1927 р.

а також у засіданні Техради при Укрводобуді 14/IV 1930 року (див. додат. № 2).

Це устаткування, крім суто практичного, мусить мати значення і наукове, бо уможливить вивчати розподіл фільтраційного тиску й густину досліджуваного середовища та їхні зміни в часі.

Захований від спостереження стан основи й середини гідротехнічної споруди стає цілком приступний для справжнього контролю й вивчення, а це допоможе запобігати аваріям цих споруд.

Додаток 1

РЕЗОЛЮЦІЯ НА ДОПОВІДЬ ПРОФ. ЛЯНҐЕ НА НАРАДІ В МОСКВІ В ЛЮТОМУ 1926 РОКУ

Щодо пристроїв устатковувати греблі п'єзометрами, поєднаними з дренажем, Нарада вважає, що кожну гідротехнічну споруду, яка стримує напір води і зруйнування якої може пошкодити розміщеним нижче спорудам, берегам або заплавним землям,— треба устаткувати пристроями, щоб стежити так за станом основи споруди, як і за міцністю самої споруди.

Додаток 2

ПРОТОКОЛ № 3 ЗАСІДАННЯ ТЕХРАДИ ПРИ УКРВОДОБУДІ 14/IV — 30 р.

Присутні: проф. Малишевський (голова),
„ Ненько
„ Шматько
Інженери: Ґраціянський, Герасімов, Соколовський, Чеботарьов, Петров, Тітов, Корчан, Годлінський, Ґалаґан.
Голова Техради — проф. Малишевський.
Секретар — тов. Краснов.

Ухвалили: Зважаючи на те, що устаткування греблі дренаж - п'єзометражем дає можливість контролювати стан споруди, а також дренувати й досліджувати рух ґрунтових вод під спорудами, треба побудувати такі пристрої на всіх греблях, що їх будуватиме трест.

Водночас бажано робити спостереження за допомогою відкритих п'єзометрів. Насамперед устаткування дренаж - п'єзометражем треба включити в проєкт греблі на р. Немишль.

ЗМІСТ

Стор.

Ціна 60 коп.