РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКОЙ И ДРЕНАЖНОЙ СЕТЕЙ БУРЕЙСКОЙ ГЭС

O.H.Котлов¹, C.B.Кубетов², E.B.Николайчук³., $\Phi.\Pi.$ Собкалов⁴

В соответствии с Федеральным законом [1] безопасностью гидротехнического сооружения (ГТС) является свойство гидротехнического сооружения, позволяющее обеспечивать защиту жизни, здоровья и законных интересов людей, окружающей среды и хозяйственных объектов. Так, например, согласно [2] ущерб от аварий на крупных гидротехнических сооружениях I класса может составлять 300 млрд. руб. и более, приводить к крупным человеческим жертвам и значительным разрушениям. Поэтому приоритетной задачей эксплуатации крупных ГТС является обеспечение их безопасной работы.

Такими крупными ГТС I и II класса ответственности являются бетонные плотины гидроэнергетических узлов. Одним из наиболее распространенных типов плотин крупных гидроузлов в России и во всем мире является гравитационная плотина [3]. Отличительной особенностью данного типа плотин является значительная роль дренажных и противофильтрационных элементов в основании, снижающих противодавление по подошве сооружения [4]. Поэтому одной из важнейших составляющих безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений является контроль фильтрационного режима в их основании [5]. Основным источником информации о фильтрационном состоянии основания являются пьезометрические и дренажные скважины, расположенные в основаниях и в теле грунтовых гидротехнических сооружений [6].

Регулярное обследование пьезометрических и дренажных скважин необходимо для оценки технического состояния и безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений. Опытно-фильтрационное опробование стационарной сети скважин позволяет получить сведения о фильтрационных характеристиках и скоростях фильтрации в основании, в том числе о неоднородностях фильтрующего массива и участках повышенной водопроводимости [7].

Бетонная плотина Бурейской ГЭС расположена в русле р. Бурея в створе с шириной долины 320 м, уровен гребня 765 м. Профиль долины

Тел. (812) 493-93-90, E-mail: KotlovON@vniig.ru

Тел. (812) 493-93-47, E-mail: KubetovSV@vniig.ru

Тел. (812) 493-93-49, E-mail: NikolaychukEV@vniig.ru

Тел. (812) 493-93-66 E-mail: SobkalovFPSV@vniig.ru

АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 195220, Санкт-Петербург, Гжатская, 21

¹ Канд. техн. наук

² Инженер

³ Инженер

⁴ Инженер

реки в этом месте имеет V-образную форму с крутыми выпуклыми склонами. Коренные склоны правого и левого берегов имеют высоту от 140 до 180 м с крутизной склона $25 - 30^{\circ}$.

Геологическое строение участка основания и береговых примыканий бетонной плотины Бурейской ГЭС характеризуется развитием верхнепалеозойских интрузий гранитоидов, перекрытых отложениями неогенчетвертичного и четвертичного возраста.

Граниты расчленены трещинами выветривания, первичной отдельности и разгрузки. С глубиной частота и раскрытие трещин уменьшаются и, достигнув глубины 20–30 м, остаются практически неизмененными. Системами тектонических зон и трещин первичной отдельности гранитный массив расчленен на блоки различной формы.

При разработке строительного котлована в основании бетонной плотины Бурейской ГЭС в русле были удалены четвертичные гравийногалечниковые грунты и граниты зоны выветривания, а на склонах, в примыканиях плотины — элювиально-делювиальные образования и граниты зоны поверхностного выветривания.

В районе эксплуатируемого гидроузла подземные воды приурочены к трещиноватым гранитам, образующим единый водоносный горизонт, гидравлически связанный с поверхностными водами р. Бурея. Уровень подземных вод в зависимости от рельефа располагается на глубинах от 1,0–2,0 м вблизи реки до 50 м в бортах долины, но после снеготаяния и дождей он повышается на 1,0–2,0 м и местами выходит на дневную поверхность. Колебания уровней подземных вод, в общем, синхронны колебаниям уровня в водохранилище.

Водопроницаемость гранитного массива на участке расположения гидроузла обуславливается его трещиноватостью в зоне разгрузки и вдоль тектонических нарушений. Наибольшей водопроницаемостью как в русле, так и на берегах обладают граниты, в среднем, до глубины 10 м от кровли скалы, характеризующиеся удельным водопоглощением порядка 1,0—10,0 л/мин, в отдельных случаях до 50 л/мин. Ниже глубины 10 м от кровли скалы основной фон водопроницаемости скального массива характеризуется удельными водопоглощениями 0,1—1,0 л/мин и 0,01—0,1 л/мин, значения которых постепенно снижаются с глубиной. Большого различия в водопроницаемости гранитов на склонах и в русле не наблюдается и в пределах глубин 50—60 м величина удельного водопоглощения составляет 0,01—0,1 л/мин. Такое распределение проницаемости подтверждено исследованиями Павловской Л.Н. на основе статистической обработки удельных водопоглощений и численного моделирования [8].

Химический состав подземных вод близок к химическому составу воды в р. Бурея. Вода р. Буреи и водохранилища гидрокарбонатная, кальциевая, очень мягкая (общая жесткость 0,3–0,5 мг-экв/л), слабокислая (рН 6–7), пресная. Трещинные воды в гранитах основания участка станционной плотины в естественных условиях гидрокарбонатные, кальциевые, натриевые с минерализацией порядка 108 мг/л. При прохождении воды через противофильтрационную цементационную завесу частично вследствие выщелачивания ее материала, частично вследствие выщелачивания карбонатов глинистого заполнителя трещин и гидротермальных прожилков про-

исходит повышение в 2-3 раза содержания ${\rm Ca}^{2+}$, ${\rm HCO_3}^-$, ${\rm SO_4}^{2-}$, при этом профильтровавшаяся вода становится менее агрессивной по отношению к цементному камню. Повышенное содержание ионов кальция и гидрокарбонатов подтверждают многочисленные известковистые отложения в малодебитных дренажных скважинах.

Пьезометрическая сеть в основании и береговых примыканиях плотины представлена контактными (ПК) и глубинными (П) пьезометрами. Контактные пьезометры установлены на границе бетон—скала и расположены в двух продольных створах по длине плотины: ПК-1 (под напорной гранью плотины, перед цементационной завесой) и ПК-2 (непосредственно за дренажной завесой со стороны нижнего бьефа). Глубинные пьезометры (П) размещены только в шести контрольных секциях (8, 16, 21, 29, 32, 42). Пьезометры в основании здания ГЭС установлены под каждым из 6 агрегатов: ПГ-1—с верховой стороны от оси агрегатов, ПГ-2—с низовой (рис. 1). Пьезометры на открытой поверхности берегов со стороны нижнего бьефа (ПО) предназначены для контроля обходной фильтрации.

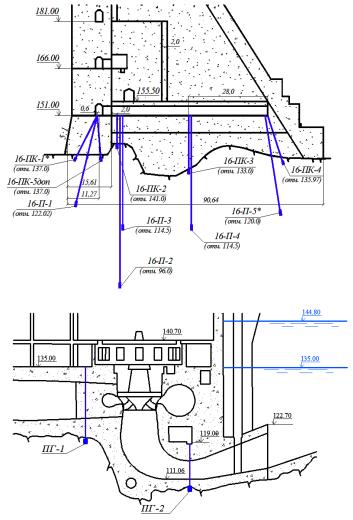


Рис 1. Размещение пьезометров в контрольной секции 16 (слева) и основании здания ГЭС (справа)

Водоприемники пьезометров выполняются из оцинкованной перфорированной трубы с внешним диаметром 88,5 мм и толщиной стенки 4 мм. Длина водоприемника для глубинных пьезометров составляет 2,5 м, для контактных — 1,0 м. Перфорация представлена отверстиями диаметром 10 мм, выполненными по периметру трубы через 100 мм по высоте. У безнапорных пьезометров на устье устанавливается патрубок длиной 0,48 м с запорной крышкой, напорные пьезометры оборудуются механическими манометрами.

Дренажная завеса создана с целью снижения противодавления на гравитационную плотину Бурейской ГЭС путем снижения напоров подземных вод зоны трещиноватости гранитного основания.

Дренажная завеса представлена в русловой части рядом разгрузочных скважин, расположенных вдоль оси плотины с интервалом около 3 м, в береговой части — веерным дренажем. Дренажные скважины в русловой части плотины пробурены глубиной 30–35 м под углом около 15° к вертикальной оси (с падением в направлении нижнего бьефа). Скважины вскрывают хорошо проницаемые зоны выветривания и верхней части зоны разгрузки скального массива, представленные трещиноватыми и сильнотрещиноватыми гранитами. Всего в основании бетонной плотины оборудованы 262 дренажные скважины, излив по которым не превышает 10 л/сек.

Скважины дренажной завесы представляют собой открытый водоприемный ствол в трещиноватом гранитном основании, пробуренные из патерн через бетонное основание плотины.

Дренажные скважины по проекту оборудуются следующим образом. В ствол скважины Ø130 мм на глубину 1 м устанавливается кондуктор Ø127 мм, заглубленный в бетон на 0,7 м. Далее разбуривается водоприемная часть скважины Ø108 мм до проектной глубины. К кондуктору через быстроразъемное соединение подключается патрубок Ø50 мм с отводом Ø15 мм под манометр и пробковым краном Ø50 мм, который соединен с коленообразным отводом, выполненным из металлической трубы Ø50 мм и гибким рукавом, через который осуществляется сброс воды в водоотводящий лоток внутри галереи (рис. 2). Фактически же в связи с малодебетностью скважин и небольшими напорами на изливе конструкция скважин упрощена.

В состав работ по комплексному инженерно-техническому обследованию дренажной и пьезометрической сетей входили следующие виды: визуально-инструментальное техническое освидетельствование наземной части скважин с измерением их фактических параметров; видеообследование внутренней полости пьезометров и дренажных скважин; опытнофильтрационное опробование. Также в отдельных скважинах выполнялся термокаротаж, расходометрия и опытно-миграционные запуски индикаторов.

Комплексные инженерные обследования проводились в несколько этапов с 2009 г. и охватили все пьезометрические и дренажные скважины левобережного и правобережного примыканий, а также станционной части плотины.

В первую очередь специалистами АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» начато инженерно-техническое обследование скважин пьезометрической

сети с оценкой их работоспособности. Обследование направлено на визуальную оценку состояния поверхностной части пьезометров, определение чувствительности пьезометров к изменению уровней в скальном массиве с помощью экспресс-опробований, оценку состояния конструкции обсадных труб и водоприемников пьезометров.

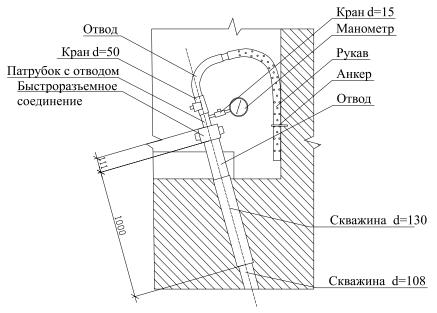


Рис. 2. Проектная конструкция оголовка скважины дренажной завесы (Все размеры в мм)

По результатам обследования и опробования пьезометров было установлено несоответствие ряда пьезометров проектной конструкции (8-П-1, 11-ПК-1, 12-ПК-1, 42-ПК-3_{доп}, 43-ПК-1, 18-ПК-2, 11-ПК-1, 36-ПК-2), а именно отсутствие кранов, манометров и рукавов для слива воды, на некоторых пьезометрах отсутствие оголовков, замоноличивания устьевой части пьезометра в бетоне.

В ряде пьезометров (8-П-1, 11-ПК-1, 12-ПК-1, 42-ПК- $3_{\text{доп}}$, 43-ПК-1) типы установленных манометров не соответствуют напорам в пьезометрах, что не позволяет производить замеры.

Выявлено засорение полостей пьезометров (8-П-1, 16-П-1, 32-П-1, 32-ПК-4, 32-П-5, 17Д13, 17Д15), что существенно снижает их чувствительность и приводит к получению недостоверных данных об уровнях.

Подтопление наблюдательной галереи и расположение ряда пьезометров (25-ПК-1, 30-ПК-1, 29-П-5, 21-П-4, 21-ПК-3, 32-ПК-3) в водоотводной канавке может приводить к попаданию воды в безнапорные пьезометры и искажать данные об уровнях.

Среди недостатков эксплуатации следует выделить ржавление резьбовых соединений, движущихся элементов кранов и вентилей, что затрудняет проведение измерений и обслуживание пьезометров (12-ПК-1, 29-ПК- $6_{\text{доп}}$).

Для оценки чувствительности пьезометров выполнялось фильтрационное опробование пьезометрических скважин. Кроме этого по результатам фильтрационного опробования получены данные о фильтрационных характеристиках гранитного массива вмещающего пьезометрические скважины [9, 10].

Одним из критериев достоверности показаний пьезометров является скорость реакции уровня в пьезометре при изменении гидростатического напора во вмещающем его массиве, которая зависит от гидравлической взаимосвязи между полостью пьезометра и окружающего трещиноватого гранитного массива (чувствительностью) и его емкостью. На чувствительность пьезометров могут влиять засорение полости пьезометра и зарастание перфорированного водоприемника различными отложениями [11].

По результатам фильтрационных испытаний пьезометрической сети выявлено 8 пьезометров открытой поверхности и 20 пьезометров основания плотины неработоспособных ввиду практической водонепроницаемости системы водоприемник—окружающий скальный массив. Время восстановления уровня воды в этих пьезометрах после опробований составило от 8 дней до 2 месяцев, или уровень так и не вернулся к начальному. Неработоспособность пьезометров можно объяснить засорением водоприемника или установкой водоприемника в монолитный участок скального массива (без водопроницаемых трещин).

При обработке данных наблюдений за восстановлением уровня воды в пьезометрах с использованием программного комплекса ANSDIMAT [12, 13], предназначенного для аналитической и численной обработки опытно-фильтрационных опробований прямыми и обратными методами, получены коэффициенты фильтрации гранитного массива, вмещающего пьезометрические скважины.

Учитывая наличие неработоспособных пьезометров полученные значения коэффициентов фильтрации по некоторым пьезометрам занижены и не отражают среднюю фильтрационную проницаемость массива. Кроме этого, ограниченность длины водоприемника пьезометра (1,0–2,5 м) допускает возможность попадания в практически монолитный участок скального массива. В связи с этим минимальные значения коэффициентов фильтрации составили порядка 10^{-6} м/сут. Максимальные значения коэффициентов фильтрации для контактных пьезометров (ПК) составили 0,6–0,8 м/сут (26-ПК-2, 28-ПК-2, 31-ПК-2); для глубинных пьезометров (П) 0,1–0,3 м/сут (21-П-3, 21-П-4, 29-П-3, 29-П-4); для пьезометров, расположенных на открытой поверхности (ПО), 1,2 – 10 м/сут (ПО-31, ПО-29); для пьезометров здания ГЭС (ПГ) 0,3–0,7 м/сут (18-ПГ-1, 20-ПГ-1, 21-ПГ-2).

На основе полученных результатов обследования выданы рекомендации по обеспечению работоспособности пьезометров:

привести конструкции пьезометров в соответствие с проектом;

установить недостающие манометры и оборудовать напорные пьезометры манометрами с интервалами измерений соответствующими давлениям в них;

ликвидировать подтопления наблюдательных галерей; уточнить абсолютные отметки устьев пьезометров; очистить полости пьезометров от засорения. Также по рекомендациям АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» в 2010 – 2012 гг. установлено 6 дополнительных контактных пьезометров между цементационной и дренажной завесами в теле плотины.

Обследование дренажных скважин. С 2011 г. предложенная методика комплексного обследования и опробования [14] нашла применение в скважинах дренажной завесы плотины Бурейской ГЭС. Выполненное обследование дренажных скважин позволило оценить состояние внутренней полости скважин, определить интервалы водопритоков, определить и дифференцировать по глубине фильтрационные характеристики дренируемого массива и скорости фильтрации в основании гидротехнических сооружений.

В 2011 г. обследовались скважины дренажной сети станционной части плотины, в 2012 г. – веерные скважины глубокого дренажа в левобережной части плотины, в 2013 г. – веерные скважины глубокого дренажа правобережного примыкания.

По результатам инженерно-технического обследования дренажных скважин станционной части плотины (46 скважин, 35 из которых – самоизливающие), скважин дренажной сети левобережного примыкания плотины (66 скважин, 28 — самоизливающие) и правобережного примыкания (97 скважин, 52 — самоизливающие) отмечено в целом работоспособное состояние дренажной сети, позволяющей перехватывать фильтрационный поток в трещиноватых гранитах и эффективно снижать противодавление в основании бетонной плотины [7].

При обследовании скважин дренажной сети выявлено не соответствие проекту комплектации оголовков части дренажных скважин, что может приводить к неточному определению расхода самоизлива скважин (19Д1, 17Д17, некоторые скважины веерного дренажа в секциях 13,14, 36, 39).В дренажных галереях не организован сток и отвод дренажных вод из водосборного лотка.

В ряде скважин (19Д5, 17Д16) отмечается неконтролируемая разгрузка скважин по затрубному пространству между обсадной трубой и бетоном. В стволах пяти скважин (18Д4, 22Д5, 36Д9, 38Д7, 8Д2) зафиксировано развитие процессов заиления и осаждения хемогенных отложений по периметру ствола или засорения посторонними предметами (17Д13, 17Д15, 38Д5, 6Д2), осложняющее излив дренажных скважин. В некоторых скважинах твердые отложения полностью перекрывают сечение (17Д3, 17Д4, 17Д9, 14Д1, 14Д6, 13Д3, 13Д4, 10Д5, 10Д10, 8Д2, 6Д7, 34Д5, 34Д6, 34Д8, 34Д12, 39Д3, 39Д8, 39Д10, 41Д5, 43Д2, 43Д3).

В секции 17 станционной части плотины зафиксировано распространение карбонатных отложений в скважинах, изливающихся с небольшим расходом (17Д5, 17Д10, 17Д11, 17Д15). Развитие этих отложений в скважинах 17 секции, вероятно, связано с вымыванием карбонатов из укрепительной цементации скального массива на этом участке основания бетонной плотины.

Комплексное обследование дренажной сети не выявило прямой зависимости между величинами расхода излива скважин и степенью трещиноватости дренируемого скального массива в котором она установлена. Полученная в результате видеокаротажа картина распределения трещиноватости в целом соответствует тектоническим трещинам и зонам, выделенным при инженерно-геологических изысканиях. По результатам видеокаротажного обследования дренажных скважин построены схемы состояния стволов скважин с обозначением основных конструктивных элементов и нарушений. Схема состояния стволов веерных дренажных скважин в секции 34 бетонной плотины на отметке 132 м в качестве примера представлена на рис. 3, для скважины 13Д8 на рис. 4.

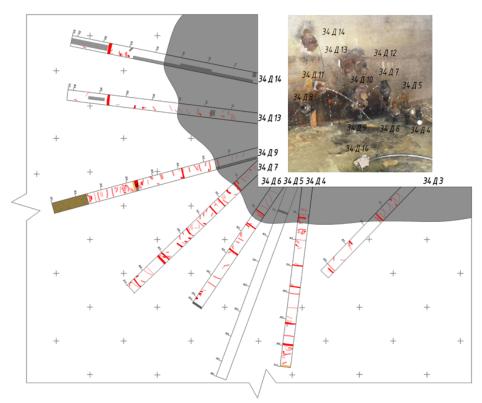


Рис. 3. Схема состояния стволов дренажных скважин в секции 34 бетонной плотины на отметке 132 м по результатам видеокаротажа:

– одиночная небольшая трещина;
 – сеть глубоких трещин;
 – каверна;
 ⊞ – гранитный массив;
 — скопление отложений на стенках;
 | – бетонная часть скважины;
 Ш – граница бетон – скала;
 — уровень воды в неизливающихся скважинах

По результатам выполненных опытных откачек в станционной части плотины выделяются две зоны по водопроводимости опробованного скального основания.

Зона низкой водопроводимости приурочена к правобережной части плотины (секции 17, 18). Коэффициенты фильтрации в этой зоне составили 0,003 — 0,04 м/сут. Низкая проводимость в этой зоне объясняется площадной укрепительной цементацией участка интенсивной трещиноватости на глубину до 10 м, захватывающей дренажные скважины 17-18 секций.

Водопроводимость остального участка гранитного основания станционной части плотины в среднем выше. Коэффициенты фильтрации в этой зоне меняются от 0,1 до 2 м/сут.

Полученные коэффициенты фильтрации были сопоставлены с расходами самоизливающих дренажных скважин. Результаты сравнения пред-

ставлены на рис. 5. Из приведенного рисунка видна зависимость расхода, разгружающегося через дренажную скважину, от проводимости дренируемого трещиноватого гранитного массива в основании плотины.

Дебиты скважин, расположенных в зоне низкой проводимости, составляют 0.003 - 0.2 л/сек.

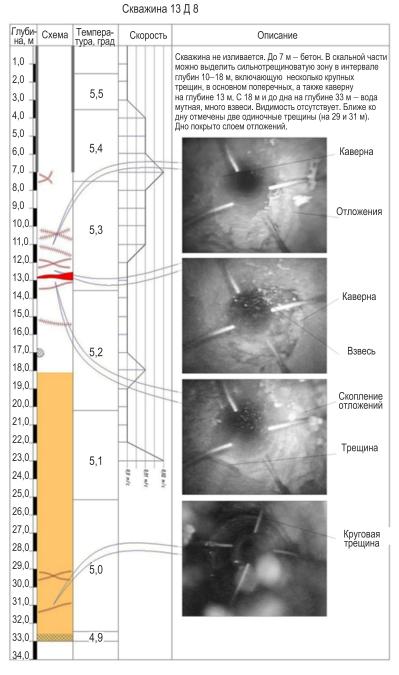


Рис. 4. Ведомость видеокаротажа скважины 13Д8

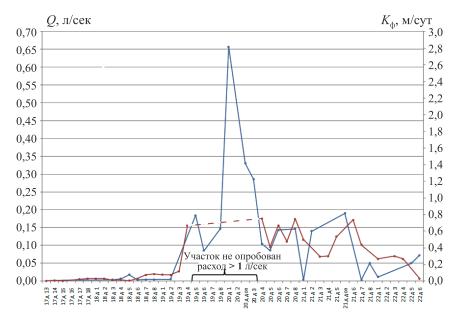


Рис. 5. Сравнение дебитов (Q) дренажных скважин в станционной части бетонной плотины и коэффициентов фильтрации (K_{Φ}) , полученных при интерпретации откачек:

— Q, π/cek ;
— K_{Φ} , M/cyr

По результатам экспресс-опробования веерных дренажных скважин в левобережном примыкании коэффициенты фильтрации составили $0.9-10^{-5}$ м/сут, в правобережном примыкании $-6.2\cdot10^{-1}-2.0\cdot10^{-4}$ м/сут. При этом наблюдается зависимость уменьшения коэффициентов фильтрации при увеличении отметок заложения веерных дренажных скважин.

На рис. 6 приведена зависимость коэффициентов фильтрации, полученных при интерпретации опытных работ, от отметок заложения веерных дренажных скважин в левобережном и правобережном примыкании соответственно. Из данных рисунка видно закономерное увеличение коэффициентов фильтрации при снижении отметок заложения скважин.

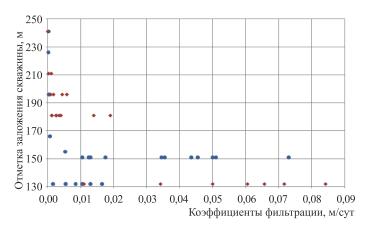


Рис. 6. Зависимость коэффициентов фильтрации от отметок заложения дренажных скважин в левобережном и правобережном примыканиях бетонной плотины:

— правобережное; — левобережное

При проведении продолжительных откачек определены коэффициенты пьезопроводности гранитного массива, которые в секциях 17-18 составили 10^2-10^3 м²/сут, в секциях $19-22-10^3-10^4$ м²/сут, что в целом соответствует значениям пьезопроводности напорного водоносного горизонта трещиноватых скальных пород.

Проведенный анализ результатов обследования дренажных скважин позволил разработать следующие рекомендации по дальнейшей эксплуатации дренажной завесы бетонной плотины:

привести конструкции дренажных скважин в соответствие с проектом в части упорядочивания излива скважин;

выполнить мероприятия по организации стока и отвода дренажных вод из водосборного лотка в дренажных галереях;

включить в эксплуатационные мероприятия регулярные очистки стволов скважин с помощью эрлифта и замерять фактические глубины скважин;

оборудовать дренажные галереи трубопроводом с сжатым воздухом для проведения промывки скважин.

Выводы

Выполненное комплексное инженерно-техническое обследование пьезометрической и дренажной сетей Бурейской ГЭС включало проведение визуально-инструментального освидетельствования скважин; видеообследование внутренней полости пьезометров и дренажных скважин; опытно-фильтрационное опробование; термокаротаж скважин; расходометрию и опытно-миграционные запуски индикаторов. Комплексный подход к оценке состояния пьезометрических и дренажных скважин позволил не только определить техническое состояние оголовков, обсадных труб, фильтров, полостей скважин, но и определить фильтрационные характеристики вмещающего их гранитного массива, дифференцировать основание плотины по проницаемости, установить зависимость между расходом излива дренажных скважин и коэффициентами фильтрации основания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. **Федеральный** закон от 21.07.1997 N $117-\Phi3$ (ред. от 13.07.2015) «О безопасности гидротехнических сооружений».
- 2. **СП 58.13330.2012** Гидротехнические сооружения. Основные положения (Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003). М. 2012.
- 3. **Pecypc** Международной комиссии по большим плотинам http://www.cawater-info.net/int_org/icold/dam_types.htm
- 4. **Рассказов Л.Н.**, **Орехов В.Г.**, **Анискин Н.А. и др**. Гидротехнические сооружения (в 2-х частях). М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов. 2008.
- 5. **ГОСТ Р 22.1.11-2002.** Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг состояния водоподпорных гидротехнических сооружений (плотин) и прогнозирование возможных последствий гидродинамических аварий на них. Общие требования.

- 6. **СТО 17330282.27.140.021-2008.** Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений ГЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. 2008.
- 7. **Сольский С.В.**, **Новицкая О.И.**, **Кубетов С.В.** Оценка эффективности дренажных и противофильтрационных устройств бетонных плотин на скальном основании (на примере Бурейской ГЭС) // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 4 (48). С. 28-39
- 8. Павловская Л.Н., Савельева Ю.Ю., Фролова Л.А. Оценка фильтрационных воздействий в системе плотина—основание в периоды наполнения водохранилища и начальной эксплуатации Бурейской ГЭС // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2009. Т. 254. С. 18–35.
- 9. **Руководство** по определению коэффициента фильтрации водоносных пород методом опытной откачки. П-717-80/Гидропроект. М.: Энергоиздат. 1981.
- 10. **Методические** указания по натурным исследованиям фильтрации в трещиноватых скальных основаниях: ВСН 33-70/ВНИИГ. Л. 1971.
- 11. Воробьева Н.Н., Лопатина М.Г., Кубетов С.В. Проектирование реконструкции вертикального дренажа водосливной плотины Камской ГЭС // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2009. Т. 254. С. 107–113.
- 12. Синдаловский Л.Н. Справочник аналитических решений для интерпретации опытно-фильтрационных опробований. СПб.: Изд. СПбГУ. 2006.
- 13. Синдаловский Л.Н. ANSDIMAT программный комплекс для определения параметров водоносных пластов. СПб: Наука. 2011.
- 14. Лопатина М.Г., Гусакова И.Н., Аксенов Е.А., Кубетов С.В. Совершенствование методов оценки состояния пьезометрической КИА оснований ГТС / Сб. трудов Пятой научно-технической конференции «Гидроэнергетика. Новые разработки и технологии». С.-Петербург: ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева». 2010.