

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗОНЕ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

Любимова Татьяна Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Кубанский государственный университет, Российская Федерация, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, e-mail: TV-Luy@yandex.ru

Латыш Анастасия Андреевна, студент, Кубанский государственный университет, Российская Федерация, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, e-mail: hsyta@mail.ru

Направление и динамика движения подземных вод через грунтовые плотины имеют большое значение, т. к. оказывают влияние на их устойчивость. Задачи анализа уровня грунтовых вод решались на базе данных пьезометрических наблюдений в теле земляной плотины и проведением экспресс-наливов. Всего обработана информация по 32 пьезометрическим створам, в которых установлено по 3 пьезометра. В результате обработки в программном комплексе Ansdimat определена динамика изменений уровня грунтовых вод и выявлены фильтрационные неоднородности. По результатам выполненных расчётов удалось установить, что объем грунтовых вод в зоне грунтовой плотины составляет 216,9 м³/сут., что подтверждает ее устойчивое положение. Данный методический подход можно рекомендовать для создания диагностической системы контроля фильтрационного режима грунтовых плотин.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, риски аварий, фильтрационная прочность грунтов, осадка грунтовой плотины

DYNAMICS OF CHANGES IN THE GROUND WATER LEVEL IN THE AREA OF UNDERGROUND DAMS

Lyubimova Tatyana V., Ph. D. in Geology and Minerology, Associate Professor, Kuban State University, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar, 350040, Russian Federation, e-mail: TV-Luy@yandex.ru

Latysh Anastasiya A., student, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar, 350040, Russian Federation, e-mail: hsyta@mail.ru

The direction and dynamics of groundwater flow through underground dams are important because they affect their stability. The problems of analyzing the ground water level were solved on the basis of piezometric observations in the body of an earthen dam and by performing Express filling. In total, information was processed for 32 piezometric gates, in which 3 piezometers were installed. As a result of processing in the Ansdimat software package, the dynamics of changes in the ground water level was determined and filtration inhomogeneities were identified. Based on the results of the calculations, it was found that the volume of ground water in the area of the ground dam is 216.9 m³/day, which confirms its stable position. This methodological approach can be recommended for creating a diagnostic system for monitoring the filtration regime of ground dams.

Keywords: waterworks, the risks of accidents, seepage strength of soils, settlement of earth dams

Введение. Гидротехническое и энергетическое строительство имеет высокий уровень ответственности, и нарушение работ таких сооружений приводит к ущербам различного характера. В настоящее время в пределах нашей страны построено более 2 000 плотин, 60 % из них являются грунтовыми. На долю грунтовых плотин приходится наибольший процент аварий – 53 % [9]. Изучение разрушений в таких сооружениях показало, что около 50 % из них происходило за счёт фильтрационного воздействия. Даже наглядные причины аварий и разрушений, такие как оползни берегов и откосов земляных плотин, аварийные осадки сооружений и др., зачастую тесно связаны с фильтрационными явлениями [9].

Характеристика объекта исследования. В работе предложен подход оценки устойчивости грунтовой плотины водоема-охладителя Ростовской атомной электростанции (АЭС). Ростовская АЭС является одним из крупнейших предприятий энергетики на Юге России. Станция обеспечивает около 50 % производства электроэнер-

гии в Ростовской области. От Ростовской АЭС электроэнергия по шести ЛЭП-500 поступает в Волгоградскую и Ростовскую области, Краснодарский и Ставропольский края, по двум ЛЭП-220 – в г. Волгодонске.

Цимлянское водохранилище образовано в 1952 г. в результате подпора р. Дон, площадь его составляет около 2600 км², глубина до 28 м. Водоем-охладитель Ростовской АЭС создан на прибрежном участке мелководной южной части Цимлянского водохранилища, отсыпкой и намывом земляной плотины под воду водохранилища, без предварительной подготовки ложа. Минимальная отметка ложа водоема-охладителя 29,3 м. В водоеме-охладителе поддерживается постоянный уровень воды на отметке 36 м, независимо от уровня режима Цимлянского водохранилища.

Плотина водоема-охладителя – земляная, глухая, распластанного профиля, (верховой и низовой откосы 1:3), намыта из мелкозернистого песка Харсеевского карьера методом гидромеханизации под защитой каменного банкета, выполняемого отсыпкой с опережением. Намыв осуществлялся по общепринятой схеме безэстакадным способом из торца пульповода.

Технические параметры плотины: максимальная высота 10,6 м, длина по гребню 10 км, ширина по гребню 8 м, ширина по подошве 100 м, максимальный напор 6,0–7,0 м.

Крепление откосов – облицовка монолитным железобетоном толщиной 0,15 м, по щебёночной подготовке толщиной 0,3 м от отметки 37,0 м и:

- 1) до отметки 35,0 м крепление верхового откоса,
- 2) до основания крепление низового откоса представлены горной массой Д50.

Со стороны Цимлянского водохранилища по краю гребня плотины выполнен волноотбойный парапет высотой 0,6 м.

Геологическое строение основания водоема-охладителя разведано до глубины 45,0 м. В его формировании принимают участие отложения палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем.

Чаша водоема-охладителя сложена олово-делювиальными суглинками, тяжелыми от полутвердой до текучей консистенции. Средняя толща суглинков от 10,0 до 13,0 м. Ниже суглинков на глубине 15,0 м залегают пески.

На побережье и в ложе Цимлянского водохранилища, в зоне развития аллювиальных образований второй надпойменной террасы реки Дон имеют распространение верхнечетвертичные олово-делювиальные отложения. Отложения представлены просадочными и непросадочными лессовидными, макропористыми суглинками, загипсованными, от полутвердой до мелкопластичной консистенции. просадочными свойствами. Мощность их изменяется от 0 до 10,6 м.

Грунты, залегающие ниже уровня грунтовых вод, имеют повышенную влажность, повышенное значение показателя консистенции, лессовая структура частично деградирована. Мощность отложений составляет 13,5–19,2 м.

Территория размещения характеризуется достаточно близким от поверхности залеганием уровня грунтовых вод (4–6 м). Кроме того, высота капиллярного поднятия составляет 0,9 м.

В геологическом строении тела плотины водоёма-охладителя до глубины 10 м принимают участие насыпные грунты, мощностью до 9 м, и лессовые деградированные суглинки, являющиеся основанием плотины.

Физико-механические характеристики грунтов даны в таблице 1, а определенные лабораторными методами представлены в таблице 2.

Методика работ. На плотине водоёма-охладителя Ростовской АЭС задачи динамики грунтовых вод решаются пьезометрическими наблюдениями за их уровнем и проведением экспресс-наливов. Для контроля фильтрационного режима в теле плотины оборудовано 32 пьезометрических створа, в каждом установлены 1 репер и 3 пьезометра. Определение величин осадок выполняются не реже одного раза в 5 лет, измерение уровней воды в пьезометрах производится ежемесячно, контроль заилиения пьезометров ежегодно [2].

Таблица 1

Физико-механические свойства, принятые в проекте

№ слоя	Объемный вес в естественном состоянии / вес скелета г/см ³	Удельный вес, г/см ³	Пористость / коэффициент пористости	Естественная влажность, д.е.	Консистенция	Коэффициент фильтрации, м/сут.	Угол внутреннего трения, град	Сила сцепления, кг/см ²	Модуль сжатия, кг/см ²	Сопротивление сдвигу, кг/см ²
<i>Тело плотины</i>										
	1,1 / 0,8	2,6	56,0 / 2,0	0,37 / 0,97	1,33	0,13	3,0	0,08	11,0	0,08
	1,77 / 1,36	2,68	48,8 / 0,97	0,33 / 0,83	1,33÷0,75	0,13	6,0	0,19	50,0	0,19
<i>Основание</i>										
	2,04÷1,99 / 1,61	2,71	40,57 / 0,687	0,24 / 0,951	0,47	0,03	16–13	0,12	80,0	0,34
	1,75 / 1,35	2,71	52,0 / 1,0	0,35 / 0,95	1,14	0,03	12,0	0,11	50,0	0,11

Таблица 2

Физико-механические свойства грунтов по лабораторным данным

№ слоя	Наименование грунта	Плотность, т/м³				Пористость	Влажность, д.е.	Угол внутреннего трения	Коэффициент внутр. трения	Сцепление, МПа
		частиц грунта	сухого грунта	грунта	насыщенного грунта					
		ρ_s	ρ_d	ρ	ρ_{sat}					
Тело плотины										
1т	Мелкозернистые пески тела плотины при естественной влажности	2,65	1,62	1,65	2,01	0,389	0,018	35,4	0,71	0
1'т	Мелкозернистые пески тела плотины в водном окружении	2,65	1,70	1,96	2,06	0,358	0,153	35,3	0,709	0
2т	Каменная наброска	2,71	2,20	2,27	2,39	0,19	0,03	37	0,75	0
3	Песчано-гравийный фильтр	2,68	1,95	2,00	2,22	0,27	0,03	33	0,65	0
Основание										
1	Почвенно-растительный слой	2,60	0,80	1,10	1,36	0,56	0,37	3	0,05	0,8
1а	Почвенно-растительный слой с включениями органики	2,68	1,36	1,77	1,85	0,49	0,33	6	0,105	1,9
4	Суглинок эолово-делювиальный, непросадочный	2,71	1,61	2,04	2,02	0,41	0,24	16	0,287	1,2
4а	Суглинок эолово-делювиальный, непросадочный, сильносжимаемый	2,71	1,75	1,35	1,85	0,50	0,35	12	0,212	1,1

На базе архивных материалов полученных в результате мониторинга [2, 3] были выполнены расчеты.

Весь объем фильтрации грунтовых вод из верхнего бьефа в нижний бьеф складывается из трех составляющих:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\Gamma} + Q_{\text{О}} + Q_{\text{Б}},$$

где Q_T – фильтрация через тело грунтовых плотин; Q_O – фильтрация через основание грунтовых плотин; Q_B – фильтрация за счет обходной фильтрации в берегах.

При этом дренажные расходы фактически фиксируют объемы фильтрации воды в теле плотины Q_T . Разгрузочные скважины перехватывают только часть фильтрационных вод в основании. Объемы фильтрационных перетоков через водопроницаемое основание Q_O и за счет обходной фильтрации в берегах Q_B могут быть определены лишь косвенным путем по данным натурных наблюдений по глубинным пьезометрам и пьезометрам обходной фильтрации.

Полученные результаты.

Анализ данных мониторинга в наблюдательных скважинах с 2005 по 2019 г. был выполнен в программном комплексе для определения параметров водоносных пластов ANSDIMAT [7]. Это позволило установить следующие проблемы:

1. Максимальная и минимальная осадка пьезометрических скважин в последнем цикле измерений за период с 18.09.15 по 10.08.2016, составили соответственно минус 9,2 мм и плюс 3,9 мм.

2. Среднее значение осадки пьезометров за период с 2015 по 2016 г. составило (–0,2) мм.

3. Максимальная и минимальная осадка пьезометрических скважин в период с 2013 по 2016 г. составили соответственно (–17,3) мм (ОМ ПК№54ПС№3) и (+10,8) мм (ОМ ПК№12 ПС№3).

4. Максимальное и минимальное значения скорости осадки пьезометрических скважин в период с 2013 по 2016 г.г. составили соответственно –5,8 мм/год (ОМ ПК№54ПС№3) и +3,6 мм/год (ОМ ПК№12 ПС№3).

Результаты расчетов среднегодовых и многолетних значений фильтрационных перетоков через основание плотины приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Среднегодовые и среднемноголетние значения фильтрации
через основание плотины водоёма-охладителя**

Год	Общий расход, Q_O , м ³ /сут.
2016	221,8
2017	220,7
2018	216,4
2019	208,8
Среднемноголетнее	216,9

Согласно действующим нормативным документам [4–6; 8] данный методический подход можно рекомендовать для создания диагностической системы контроля фильтрационного режима грунтовой плотины Ростовской АЭС.

Выводы:

1. Наличие системы мониторинга за фильтрацией на грунтовой плотине водоема-охладителя Ростовской АЭС в виде оборудованных наблюдательных скважин – пьезометров позволяет использовать эти данные для расчетов фильтрации грунтовых вод.

2. Результаты выполненных расчетов показали, что грунтовая плотина водоема-охладителя Ростовской АЭС достаточно устойчива. Это объясняется присутствием в ее основании суглинков – слабопроницаемых грунтов, а также не выработанным сроком эксплуатации.

Список литературы

1. Мхитарян А.М. Фильтрация воды через земляные плотины на проницаемых основаниях. – Москва: Госэнергоиздат, 1950. – №2 – С.16-18.
2. Повышение безопасности ГТС путем проведения геодезических измерений пьезометрических скважин плотины водоема-охладителя Ростовской атомной станции. Диагностика состояния пьезометрических скважин, расположенных на плотине водоема-охладителя в 2019-2021 г.г. Этап 1: технический отчет. – Санкт-Петербург: АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2019. – с. 46.
3. Проект мониторинга безопасности гидротехнических сооружений Ростовской атомной станции на ГТС Ростовской АЭС. Энергоблок №1, 2. //ПРМ.1.ГТС.40.01. Росэнергоатом, 2018.
4. Рекомендации по диагностическому контролю фильтрационного режима грунтовых плотин: П 71-2000. – Санкт-Петербург, ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2000. – 3 с.
5. РД ЭО 1.1.2.22.0460-2008. Типовая программа обследований гидротехнических сооружений АЭС.
6. РД ЭО 1.1.2.01.0461-2008. Положение об отраслевой системе надзора за безопасностью гидротехнических сооружений АЭС.
7. Синдаловский Л.Н. Программный комплекс для определения параметров водоносных пластов Ansdimat. – СПб: Наука, 2011. – 335 с.
8. СТО 1.1.1.01.0678-2015. Основные правила обеспечения эксплуатации атомных станций.
9. Ходжаев Р.Р. Разработка и создание комплекса мероприятий по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений: методическое пособие. – Караганда: Логос, 2013. – 340 с.

References

1. Mkhitaryan a.m. water Filtration through earthen dams on permeable bases. – Moscow: Gosenergoizdat, 1950. - No. 2-P. 16-18.
2. Improving the safety of GTS by conducting geodetic measurements of piezometric wells of the dam of the cooling reservoir of the Rostov nuclear power plant. Diagnostics of the condition of piezometric wells located on the dam of the cooling reservoir in 2019-2021. Stage 1: technical report. - Saint Petersburg: JSC "VNIIG named after B. E. Vedeneyev", 2019. - p. 46
3. Project for monitoring the safety of hydrotechnical structures of the Rostov nuclear power plant at the GTS of the Rostov NPP. Power unit #1, 2. // PRM.1. GTS. 40. 01. Rosenergoatom, 2018
4. Recommendations for diagnostic monitoring of the filtration regime of ground dams: P 71-2000. - Saint Petersburg, JSC "VNIIG named after B. E. Vedeneyev", 2000. - 3 p.
5. RD EO 1.1.2.22.0460-2008. Typical program of inspections of hydrotechnical structures of nuclear power plants
6. RD EO 1.1.2.01.0461-2008. Regulation on the branch system of supervision over the safety of hydrotechnical structures of nuclear power plants
7. Sindalovsky L. N. Software package for determining parameters of aquifers Ansdimat. - SPb: Nauka, 2011. - 335 p.
8. STO 1.1.1.01.0678-2015. Basic rules for ensuring the operation of nuclear power plants
9. Khodzhaev R. R. Development and creation of a set of measures to ensure the safety of hydraulic structures: a methodological guide. – Karaganda: Logos, 2013. - 340 p.