

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Научная статья

УДК: 631.67

doi: 10.28983/asj.y2024i9pp128-133

Необходимость мониторинга гидротехнических сооружений

Ольга Валентиновна Михеева, Элина Борисовна Калиниченко, Эльвира Юрьевна Мизюрова

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова,
г. Саратов, Россия

e-mail: omuk@inbox.ru

Аннотация. В статье рассмотрено проведение мониторинга гидротехнических сооружений, визуальных и инструментальных наблюдений. Представлена необходимость проведения поверочного расчета устойчивости низового откоса плотины. Даны рекомендации по визуальным осмотрам сооружений.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения; мониторинг; визуальные наблюдения; плотина

Для цитирования: Михеева О. В., Калиниченко Э. Б., Мизюрова Э. Ю. Необходимость мониторинга гидротехнических сооружений // Аграрный научный журнал. 2024, № 9, С. 128–133. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i9pp128-133>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Necessity of hydraulic structures monitoring

Olga V. Mikheeva, Elina B. Kalinichenko, Elvira Yu. Misyurova

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia
e-mail: omuk@inbox.ru

Abstract. The article discusses the monitoring of hydraulic structures, visual and instrumental observations. The necessity of carrying out a verification calculation of the stability of the downstream slope of the dam is presented. Recommendations for visual inspections of structures are given.

Key words: hydraulic structures; monitoring; visual inspection; dam

For citation: Mikheeva O. V., Kalinichenko E. B., Misyurova E. Yu. Necessity of hydraulic structures monitoring. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(9):128–133. (In Russ.). 10.28983/asj.y2024i9pp128-133.

Введение. В Российской Федерации насчитывается около 37 тыс. гидротехнических сооружений. Это могут быть плотины, дамбы, противоэрозионные сооружения инженерной защиты территорий, специализированные мелиоративные сооружения, ГЭС, каналы и т.п. Но есть одно общее, что объединяет эти объекты: все они неразрывно связаны с водой и являются потенциально опасными сооружениями, за которыми необходимо вести постоянное наблюдение. Мониторинг гидротехнических сооружений вследствие различия выполняемых функций на каждом объекте осуществляется по-разному.

Основной особенностью мониторинга гидротехнических сооружений, в частности, плотин заключается в том, что требуется вести непрерывное наблюдение за их состоянием. Это позволяет вовремя исключить или своевременно предотвратить прорыв плотин и, как следствие, возникновение чрезвычайной ситуации и затопление нижнего бьефа.

Все водные объекты относят к потенциально опасным, любая авария на них может обернуться катастрофическими последствиями, поэтому необходимо проведение регулярного мониторинга безопасности данных сооружений. В настоящее время идет внедрение современных методик контроля и оборудования. Однако на уже построенных водохранилищах на местном стоке внедрение современного оборудования для контроля зачастую дорого или невозможно, поэтому применяется визуальный контроль за состоянием сооружений.





Материалы и методы. Целью данного исследования является изучение необходимости мониторинга гидротехнических сооружений, разницы в наблюдении за гидротехническими сооружениями IV класса капитальности на примере реальных объектов.

Самая рациональная компоновка гидроузла может оказаться малоэффективной, если гидроузел не будет эксплуатироваться на достаточно высоком уровне. Только рациональная эксплуатация позволит максимально использовать все возможности, заложенные в проекте, учесть результаты обследования гидроузла, выполнить анализ аварийных ситуаций на аналогичных водоподпорных гидроузлах, обеспечить безопасность и надежность гидротехнических сооружений (ГТС) [3, 8–12].

В связи с ростом размеров и количества гидротехнических сооружений своевременное выявление возможных отклонений от нормального режима эксплуатации приобретает особую актуальность. В период эксплуатации необходимо своевременно предупредить возникновение повреждений, выявить отказы и ликвидировать их.

Контролируемые показатели состояния ГТС и условий его эксплуатации характеризуют напряженно-деформированное состояние, фильтрационный, температурно-влажностный и гидравлический режимы в сооружениях, их основаниях и береговых примыканиях, параметры нагрузок и воздействий, а также уровень эксплуатационного состояния [2, 6].

При определении критериев безопасности обоснование прочности и устойчивости ГТС и их оснований должно быть выполнено, исходя из условия недопущения наступления предельных состояний на основании соответствующих строительных норм и правил [3,–5, 7–12].

Согласно СП 39.13330.2012 «Плотины из грунтовых материалов», на основе соответствующих расчетов и экспериментальных исследований фильтрационную устойчивость тела плотины необходимо оценивать при действующих в сооружении градиентах напора с учетом напряженно-деформированного состояния сооружения, а также его основания, принимая во внимание особенности конструкции и методы возведения. При оценке фильтрационной устойчивости необходимо рассчитывать условия эксплуатации сооружения с учетом факторов, влияющих на эксплуатационную надежность.

Фильтрационную прочность выполняют на основании значения наибольшего фильтрационного напора, действующего на плотину. При расчете фильтрационной прочности необходимо выполнение следующего условия:

$$J_{est,m} \leq J_{cr,m} / \gamma_n, \quad (1)$$

где $J_{est,m}$ – действующий средний градиент напора в расчетной области фильтрации; $J_{cr,m}$ – критический средний градиент напора, принимаемый на основании исследований грунтов в условиях, отвечающих реальным условиям эксплуатации сооружения; γ_n – коэффициент надежности по ответственности сооружений.

Устойчивость откоса плотины должна быть проверена по возможным поверхностям сдвига с нахождением наиболее опасной призмы обрушения, характеризуемой минимальным отношением обобщенных предельных реактивных сил сопротивления к активным сдвигающим силам.

Соблюдение неравенства является критерием устойчивости откосов плотины для наиболее опасной призмы разрушения и определяется по формуле:

$$\gamma_{lc} F \leq (\gamma_c / \gamma_n) \cdot R, \quad (2)$$

где γ_c , γ_n , γ_{lc} – коэффициенты условий работы, ответственности сооружения, сочетания нагрузок; F – расчетное значение обобщенного силового воздействия, определяемое с учетом коэффициента надежности по нагрузке (в зависимости от метода расчета устойчивости откосов – равнодействующая сил или моментов этих сил относительно оси поверхности сдвига); R – расчетное значение обобщенной несущей способности системы сооружение–основание, определяемое с учетом коэффициента безопасности по грунту, т.е. обобщенное расчетное значение сил предельного сопротивления сдвигу по рассматриваемой поверхности.

Наиболее опасная поверхность сдвига может быть определена расчетом коэффициента запаса устойчивости K_s по следующей формуле:

$$K_s = R/F \geq (\gamma_n \gamma_{lc}) / \gamma_c. \quad (3)$$



Коэффициент запаса устойчивости при соответствующем сочетании нагрузок не должен превышать величины $(\gamma_n \gamma_{lc}) / \gamma_c$ более, чем на 10 %.

Если рассматриваемая плотина относится к IV классу капитальности, необходимо предусмотреть только визуальные наблюдения. Как правило, их достаточно для оценки надежности тела и основания плотины. Для плотин III класса могут быть предусмотрены инструментальные наблюдения за смещениями, осадкой, положением депрессионной поверхности и фильтрационными расходами. Однако при соответствующем обосновании допускается не проводить инструментальные наблюдения.

Результаты исследований. Рассмотрены два объекта: Лебедевское водохранилище Краснокутского района Саратовской области [7] IV класса капитальности и пруд Казенный в Дергачевском районе Саратовской области IV класса капитальности [1]. Так, при визуальных наблюдениях можно определить возможные разрушения сооружений. Для сооружений IV класса капитальности пруда Казенный, расположенного южнее поселка Новоросляевка Дергачевского района Саратовской области, могут быть показательными дефекты, возникающие с течением времени. Противопожарный пруд использовался для хозяйственных и рекреационных целей, питается грунтовыми водами, а также водами атмосферных осадков. На рисунке 1 представлено ложе пруда со стороны верхнего бьефа.

Отметка гребня плотины (рисунок 2) по проекту составляет 72 м, однако в настоящее время наблюдается ее колебание от 71,3 до 72 м, гребень неровный в плане, четкие границы с откосами отсутствуют, что говорит о деформации и частичном размыве гребня.

Ширина проезжего гребня колеблется от 9 до 8 м. Контрольно-измерительная аппаратура на объекте не предусмотрена, поэтому возможно только визуальное обследование сооружения.

При рассмотрении низового откоса плотины (рисунок 3) видно хорошее состояние крепления гидропосевом трав. Промоины и осадочные явления отсутствуют. Не обнаружено выхода фильтрационного потока на поверхность по сухому откосе. Коэффициент запаса устойчивости находится в пределах допустимых границ.

Верховой откос плотины уположенный, подмыт волнобоем, что обеспечивает его дополнительную устойчивость. Подмыв волнобоем составляет от 1,0 до 1,5 м. По урезу водохранилища предусмотрено крепление в виде посадки лесных насаждений. Лесополоса по урезу водохранилища выполняет функцию защиты плотины от разрушающего действия волнобоя [1].

В некоторых местах гребень плотины разрушен до ширины 8 м. При дальнейшем действии волновой эрозии и отсутствии мероприятий по ликвидации разрушений возможны выходы фильтрационной воды на сухом откосе и образование промоин и проранов в теле плотины.

В случае устранения выявленных дефектов и при надлежащей эксплуатации сооружение может использоваться, не представляя угрозы.



Рисунок 1 – Ложе пруда Казенный со стороны верхнего бьефа

Figure 1 – Kazenny pond bed from the upstream side



Рисунок 2 – Гребень плотины

Figure 2 – Top of dam

Гидротехнические сооружения Лебедевского водохранилища расположены на р. Еруслан, впадающей в р. Волга у с. Молчановка. Протяженность р. Еруслан от истока до оси плотины составляет 72 км [7].

Основное назначение водохранилища – аккумулярование паводкового стока и волжской воды с целью использования для орошения, сельхозводоснабжения близлежащих сел и рыбозаведения. Срок эксплуатации водохранилища – 51 год. Класс капитальности сооружений – IV. На рисунке 4 представлены технические характеристики изучаемого объекта.

Результаты контроля состояния гидроузла и данных проведенных визуальных обследований элементов сооружений позволяют подтвердить соответствие параметров сооружений критериям безопасности первого уровня.

Основные характеристики ГТС (состояние гребня и откосов плотины, крепления верхнего откоса, сегментных затворов водосбросного сооружения, примыкающих конструкций, ледоподпорных конструкций, предназначенных для защиты входного оголовка паводкового водосброса от плавучих крупногабаритных объектов (рисунки 5, 6)) соответствуют принятым в проекте значениям и обеспечивают условия для безопасной эксплуатации гидросистемы.

В связи с уменьшением объемов орошаемых площадей необходимость заполнять водохранилище до проектного объема отсутствует.

Опасных повреждений и нарушений, способных вызвать аварийные ситуации и гидродинамические аварии, на гидротехнических сооружениях не выявлено. Коэффициент запаса устойчивости низового откоса – в пределах нормативных значений.

Эксплуатация ГТС, включая контроль безопасности и текущие ремонтно-восстановительные работы на гидротехнических сооружениях, осуществляется в соответствии с требованиями объекта IV класса, в связи с чем отсутствует контрольно-измерительная аппаратура (КИА) (в данных объектах не требуется).



Рисунок 3 – Низовой откос плотины

Figure 2 – Downstream slope of dam



Рисунок 4 – Технические данные Лебедевского водохранилища Краснокутского района Саратовской области

Figure 4 – Technical data of the Lebedevsky reservoir of the Krasnokutsky district of the Saratov region





Рисунок 5 – Лебедевка: дефекты плит канала водосбросного сооружения, нижний бьеф

Figure 5 – Lebedevka: defects in the plates of the channel of the spillway structure, downstream



Рисунок 6 – Верхний бьеф, ледозащитное устройство

Figure 6 – Upstream, ice protection device

Заключение. На примере двух объектов IV класса капитальности показана необходимость мониторинга гидротехнических сооружений, своевременного выявления дефектов сооружений с их последующим устранением.

Таким образом, мониторинг необходим для непрерывного сбора и обработки экологических данных специализированной службой и должен быть неотъемлемой частью производственного процесса, связанного с экологическим менеджментом. По мере накопления данных наблюдений, это позволит своевременно определить направления развития экологических систем. С помощью мониторинга можно быстро определить параметры контроля и отреагировать на возможные аварийные ситуации, связанные с природопользованием.

Создание управляемых природных инженерных систем является перспективным подходом при проектировании и эксплуатации плотин в составе гидротехнических сооружений при условии оптимизации параметров и режимов их работы для многоцелевого использования водотока, когда природные комплексы действуют как равные, а в некоторых случаях как наиболее приоритетные водопользователи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдразаков Ф. К., Михеева О. В. Исследование эксплуатационного состояния и оценка вероятного вреда при разрушении плотины на пруду Казенный Дергачевского района Саратовской области // Аграрный научный журнал. 2020. № 3. С. 66–69. DOI: 10.28983/asj.y2020i3pp66–69. EDN BURGHW.
2. Абдразаков Ф. К., Михеева О. В. Обследование гидротехнических сооружений Ахмато-Лавровского водохранилища Краснокутского муниципального района Саратовской области при оценке их безопасности // Аграрный научный журнал. 2021. № 7. С. 74–78. DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp74–78. EDN OGYLPI.
3. Абдразаков Ф. К., Панкова Т. А., Михеева О. В., Орлова С. С. Эксплуатационная надежность гидротехнических сооружений. Саратов: ИЦ Наука, 2018. 142 с. ISBN 978-5-9999-2968-6. EDN YUMGYR.



4. Ильичева И. А., Михеева О. В., Шмагина Э. Ю. К вопросу об эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений Саратовской области // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2013. № 2(2). С. 28–34. EDN SKEBJR.

5. Михеева О. В., Орлова С. С. К вопросу о расчете ущерба в результате аварии на гидротехническом сооружении // Аграрный научный журнал. 2014. № 9. С. 38–42. EDN SPKFMJ.

6. Мухамедшин Э. Р., Корнюшин П. С. Методика оценки эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений // Технические и естественные науки: актуальные исследования и инновационные разработки: сб. науч. трудов по материалам Междунар. науч.-практ. конф., 22 апреля 2020 года. Белгород, 2020. С. 56–58.

7. Панкова Т. А., Михеева О. В., Орлова С. С. К вопросу мониторинга безопасности гидротехнических сооружений Лебедевского водохранилища Краснокутского района Саратовской области // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2013. № 2(2). С. 35–42. EDN QOIWBG.

8. Chakravorty U., Magné B., Moreaux M. A hotelling model with a ceiling on the stock of pollution // Journal of Economic Dynamics and Control. 2008. Vol. 30. No. 12. P. 2875–2904.

9. Chakravorty U., Umetsu Ch. Basinwide water management: a spatial model // Journal of Environmental Economics and Management. 2003. Vol. 45. No. 1. P. 1–23.

10. Ding Y., Song R. Effects on non-renewable resource exploitation, a dynamic comparative model // Asian Social Science. 2009. Vol. 2. No. 12. P. 36–40.

11. Goncharova O., Bunina Y., Gaidukova M. Wave breakthrough factor in dam destruction // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Rostov-on-Don, 2020. 012099. DOI: 10.1088/1757-899X/1001/1/012099. EDN BIZEYJ.

12. Schuck E., Green G.: Supply based water pricing in a conjunctive use system: implications for resource and energy use // Resource and Energy Economics. 2002. Vol. 24. No. 3. P. 175–192.

REFERENCES

1. Abdrazakov F. K., Mikheeva O. V. Study of the operational condition and assessment of probable harm in the event of the destruction of the dam on the Kazenny pond, Dergachevsky district, Saratov region. *Agricultural Scientific Journal*. 2020;(3):66–69. DOI: 10.28983/asj.y2020i3pp66–69. EDN BURGHW. (In Russ.).

2. Abdrazakov F. K., Mikheeva O. V. Inspection of hydraulic structures of the Akhmato-Lavrovsky reservoir, Krasnokutsky municipal district, Saratov region when assessing their safety. *Agricultural Scientific Journal*. 2021;(7):74–78. DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp74–78. EDN OGYLPI. (In Russ.).

3. Abdrazakov F. K., Pankova T. A., Mikheeva O. V., Orlova S. S. Operational reliability of hydraulic structures. Saratov, 2018. 142 p. ISBN 978-5-9999-2968-6. EDN YUMGYP. (In Russ.).

4. Ilyicheva I. A., Mikheeva O. V., Shmagina E. Yu. On the issue of operational reliability of hydraulic structures in the Saratov region. *Technical Regulation in Transport Construction*. 2013;2(2):28–34. EDN SKEBJR. (In Russ.).

5. Mikheeva O. V., Orlova S. S. On the issue of calculating damage as a result of an accident at a hydraulic structure. *Agricultural Scientific Journal*. 2014;(9):38–42. EDN SPKFMJ. (In Russ.).

6. Mukhamedshin E. R., Korniyushin P. S. Method of assessing the operational reliability of hydraulic structures. *Technical and Natural Sciences. Current Research and Innovative Developments*. Belgorod; 2020; 56–58. (In Russ.).

7. Pankova T. A., Mikheeva O. V., Orlova S. S. On the issue of monitoring the safety of hydraulic structures of the Lebedevka reservoir, Krasnokutsky district, Saratov region. *Technical Regulation in Transport Construction*. 2013;2(2):35–42. EDN QOIWBG. (In Russ.).

8. Chakravorty U., Magné B., Moreaux M. A hotelling model with a ceiling on the stock of pollution. *Journal of Economic Dynamics and Control*. 2008;30(12):2875–2904.

9. Chakravorty U., Umetsu Ch.: Basinwide Basinwide water management: a spatial model. *Journal of Environmental Economics and Management*. 2003;45(1):1–23.

10. Ding Y., Song R. Effects on Non Renewable Resource Exploitation, a Dynamic Comparative Model. *Asian Social Science*. 2009;2(12):36–40.

11. Goncharova O., Bunina Y., Gaidukova M. Wave breakthrough factor in dam destruction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Rostov-on-Don, 2020. 012099. DOI 10.1088/1757-899X/1001/1/012099. EDN BIZEYJ.

12. Schuck E., Green G. Supply Based Water Pricing in a Conjunctive Use System: Implications for Resource and Energy Use. *Resource and Energy Economics*. 2002;24(3):175–192.

Статья поступила в редакцию 22.03.2024; одобрена после рецензирования 20.05.2024; принята к публикации 24.05.2024.
The article was submitted 22.03.2024; approved after reviewing 20.05.2024; accepted for publication 24.05.2024.

