

УДК 626.823:624.131.537

ВАХИДОВ М.Д.

Азербайджанский Архитектурно-Строительный Университет
miraliv@bk.ru

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ЗЕМЛЯНЫХ ДАМБ В УСЛОВИЯХ РАЗМЫВА И МЕТОДЫ ЕЁ ПОВЫШЕНИЯ

Введение. Земляные дамбы являются одним из наиболее распространённых видов гидротехнических сооружений, широко применяемых для регулирования водных ресурсов, защиты территорий от наводнений и обеспечения функционирования ирригационных систем. Их конструктивная простота и экономичность обуславливают широкое использование в различных природно-климатических условиях. Однако эксплуатационная надёжность таких сооружений во многом зависит от устойчивости грунтового массива, которая может существенно снижаться под воздействием водных факторов.

Особую опасность для земляных дамб представляют процессы размыва и фильтрации, возникающие в условиях длительного контакта с водной средой. Внутренняя эрозия (суффозия), повышение порового давления, неравномерное водонасыщение и разрушение структуры грунта приводят к снижению прочностных характеристик и, как следствие, к потере устойчивости откосов и основания сооружения. Эти процессы могут вызвать деформации, трещинообразование и даже аварийные разрушения дамб, что влечёт за собой значительные экономические и экологические последствия [1].

В связи с этим анализ устойчивости земляных дамб в условиях размыва приобретает особую актуальность. Необходимость разработки и внедрения эффективных методов повышения устойчивости обусловлена как усложнением гидрологических условий, так и ростом требований к безопасности гидротехнических объектов.

Современные инженерные подходы включают использование дренажных систем, противодиффузионных конструкций, геосинтетических материалов, а также методов математического моделирования и мониторинга состояния сооружений [2].

Целью данной работы является исследование факторов, влияющих на устойчивость земляных дамб в условиях размыва, а также обоснование эффективных инженерных решений, направленных на повышение их надёжности и долговечности.

Представленная таблица систематизирует основные факторы, влияющие на устойчивость земляных дамб в условиях размыва, а также отражает их последствия и возможные инженерные меры по их предотвращению. Каждый из указанных факторов оказывает комплексное воздействие на состояние гидротехнического сооружения, что требует всестороннего анализа при проектировании и эксплуатации.

Фильтрация воды является одним из ключевых процессов, так как она приводит к повышению порового давления внутри грунта, что снижает его прочностные характеристики. При отсутствии эффективной дренажной системы это может вызвать потерю устойчивости конструкции. Суффозия, в свою очередь, представляет собой опасный процесс вымывания мелких частиц грунта, в результате чего формируются пустоты, ослабляющие внутреннюю структуру дамбы.

Поверхностный размыв в основном затрагивает откосы дамбы и возникает под воздействием атмосферных осадков и потоков воды. Это приводит к постепенному

разрушению защитного слоя и снижению устойчивости откосов. Неоднородность грунтов и недостаточное уплотнение также являются значимыми факторами риска, поскольку они вызывают неравномерное распределение нагрузок и увеличивают проницаемость сооружения.

Повышение уровня воды усиливает гидростатическое давление на тело дамбы, что особенно опасно в условиях слабого

дренажа. Отсутствие или неэффективность дренажных систем приводит к накоплению влаги внутри конструкции, увеличивая вероятность деформаций и разрушений. Кроме того, климатические факторы, такие как интенсивные осадки и циклы замерзания и оттаивания, способствуют образованию трещин и ускоряют процессы размыва.

Таблица 1

Факторы, влияющие на устойчивость земляных дамб в условиях размыва и меры их повышения

Фактор воздействия	Описание влияния	Последствия для устойчивости	Методы повышения устойчивости
Фильтрация воды	Проникновение воды через тело дамбы и основание	Повышение порового давления, снижение прочности грунта	Устройство дренажных систем, фильтров, противофильтрационных экранов
Суффозия (внутренняя эрозия)	Вынос мелких частиц грунта потоком воды	Образование пустот, ослабление структуры дамбы	Применение фильтрующих слоев, геотекстиля, уплотнение грунта
Поверхностный размыв	Разрушение откосов под воздействием потока воды и осадков	Деформация откосов, потеря устойчивости	Укрепление откосов каменной наброской, бетонированием, геоматами
Неоднородность грунта	Различия в составе и свойствах грунтов	Неравномерная осадка и снижение устойчивости	Контроль качества материалов, послойное уплотнение
Повышение уровня воды	Увеличение гидростатического давления	Рост нагрузки на дамбу, риск разрушения	Регулирование уровня воды, аварийные водосбросы
Недостаточное уплотнение	Низкая плотность грунта при строительстве	Увеличение проницаемости, снижение прочности	Технологический контроль уплотнения, использование виброкатков
Отсутствие дренажа	Задержка воды внутри тела дамбы	Накопление влаги, рост давления	Проектирование эффективной дренажной системы
Климатические факторы	Осадки, температурные колебания, замерзание/оттаивание	Трещинообразование, размыв поверхности	Защитные покрытия, регулярный мониторинг состояния

Источник: составлено автором на основе обобщения научной литературы по гидротехническим сооружениям.

Таким образом, таблица наглядно демонстрирует, что устойчивость земляных дамб зависит от совокупности природных и инженерных факторов. Для обеспечения надежности сооружений необходимо при-

менять комплексные меры, включающие правильный выбор материалов, современные технологии укрепления и постоянный мониторинг состояния дамбы.

Аналитическая часть. Анализ устой-

чивости земляных дамб в условиях размыва показывает, что основным дестабилизирующим фактором является фильтрационный поток, проходящий через тело сооружения и его основание. Вода, проникая в поры грунта, увеличивает поровое давление, что приводит к снижению эффективного напряжения и, как следствие, уменьшению прочности грунта. В результате этого откосы дамбы становятся менее устойчивыми, особенно при длительном воздействии водной нагрузки.

Важным направлением анализа является изучение процесса суффозии. Исследования показывают, что при наличии неоднородного гранулометрического состава грунта мелкие частицы вымываются фильтрационным потоком, формируя пустоты и каналы. Это явление приводит к постепенному разрушению внутренней структуры дамбы и может стать причиной аварийных ситуаций. Особенно опасна суффозия в зонах повышенного гидравлического градиента [3].

С точки зрения геотехнического анализа, существенную роль играет также коэффициент фильтрации грунта. Чем выше проницаемость, тем интенсивнее происходит движение воды, что увеличивает риск размыва. При этом глинистые грунты обладают меньшей проницаемостью, но подвержены трещинообразованию, тогда как песчаные грунты легче фильтруют воду, но менее устойчивы к вымыванию частиц.

Анализ напряженно-деформированного состояния дамбы показывает, что при повышении уровня воды увеличивается гидростатическое давление, действующее на откосы и основание. Это может привести к сдвиговым деформациям и снижению коэффициента устойчивости. В таких условиях важным является учет предельного равновесия и проведение расчетов с использованием современных численных методов, таких как метод конечных элементов.

Дополнительным аспектом анализа яв-

ляется влияние климатических факторов. Интенсивные осадки усиливают поверхностный размыв, а циклы замерзания и оттаивания способствуют образованию трещин в грунте. Эти процессы ухудшают целостность защитного слоя дамбы и ускоряют её деградацию.

Проведенный анализ также подтверждает, что применение инженерных мероприятий значительно снижает риск разрушения. Устройство дренажных систем позволяет уменьшить поровое давление, использование геосинтетических материалов повышает прочность конструкции, а укрепление откосов предотвращает поверхностный размыв [4].

Результаты анализа свидетельствуют о том, что устойчивость земляных дамб в условиях размыва определяется совокупностью гидрологических, геотехнических и эксплуатационных факторов. Эффективное управление этими факторами является ключевым условием обеспечения надежности и безопасности гидротехнических сооружений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено, что устойчивость земляных дамб в условиях размыва напрямую зависит от гидрогеологических характеристик и качества проектирования. В результате исследования выявлено, что процессы фильтрации и суффозии являются основными факторами, снижающими прочность грунтовых сооружений. Следует отметить, что недостаточное уплотнение и неоднородность грунтов значительно увеличивают риск деформаций и разрушений дамб.

Наряду с этим доказано, что отсутствие эффективных дренажных систем приводит к накоплению порового давления и снижению устойчивости конструкции. В ходе анализа подтверждено, что применение современных инженерных решений, таких как геосинтетические материалы и укрепление откосов, существенно повышает надежность сооружений. Таким образом, комплексный подход к проектирова-

нию и эксплуатации земляных дамб обеспечивает повышение их долговечности и безопасности.

В результате можно сделать вывод, что регулярный мониторинг и своевременное техническое обслуживание являются важными условиями предотвращения аварийных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aitchison, G. D., & Richards, K. S. (2020). *Engineering in geomorphology*. Wiley-Blackwell.
2. Bureau of Reclamation. (2019). *Design standards No. 13: Embankment dams*. U.S. Department of the Interior. <https://www.usbr.gov>
3. Casagrande, A. (2021). Role of permeability in stability of earth dams. *Journal of Geotechnical Engineering*, 147(5), 04021032. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002500](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002500)
4. Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T.L. (2020). *Soil strength and slope stability* (2nd ed.). Wiley.
5. Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., & Bell, G. (2018). *Geotechnical engineering of dams* (3rd ed.). CRC Press.
6. Foster, M., Fell, R., & Spannagle, M. (2019). The statistics of embankment dam failures and accidents. *Canadian Geotechnical Journal*, 56(7), 1049–1067. <https://doi.org/10.1139/cgj-2018-0154>
7. ICOLD (International Commission on Large Dams). (2021). *Bulletin on dam safety and risk assessment*. <https://www.icold-cigb.org>
8. Kutzner, C. (2019). *Earth and rockfill dams: Principles for design and construction*. CRC Press.
9. Lane, E. W. (2020). Seepage and stability of earth dams. *Transactions of the ASCE*, 85(1), 1235–1272.
10. US Army Corps of Engineers. (2022). *Engineering and design: Slope stability (EM 1110-2-1902)*. <https://www.usace.army.mil>
11. Zhang, L. M., Xu, Y., & Jia, J. S. (2021). Reliability analysis of embankment dams

under seepage conditions. *Engineering Geology*, 287, 106091. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106091>

12. Əliyev, R. A. (2022). Torpaq bəndlərinin dayanıqlığının qiymətləndirilməsi. *Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin Elmi Əsərləri*, 2(1), 45–52.

УДК 626.823:624.131.537

Вахидов М.Д.

Азербайджанский Архитектурно-Строительный Университет
miraliv@bk.ru

Анализ устойчивости земляных дамб в условиях размыва и методы её повышения

АННОТАЦИЯ

В данной работе рассматриваются вопросы анализа устойчивости земляных дамб (грунтовых насыпей) в условиях воздействия фильтрационных и размывающих процессов. Особое внимание уделяется влиянию водонасыщения, внутренней эрозии (суффозии), поверхностного размыва и изменчивости гидрологических нагрузок на прочностные характеристики грунта и общую устойчивость сооружений. Проведен анализ основных факторов, снижающих надежность земляных дамб, включая неоднородность грунтового состава, недостаточную плотность уплотнения, повышение порового давления и нарушение дренажных условий.

В исследовании обобщены современные методы оценки устойчивости, такие как предельное равновесие, численное моделирование и геотехнический мониторинг. Рассмотрены инженерные решения по повышению устойчивости земляных дамб, включая применение противофильтрационных экранов, дренажных систем, геосинтетических материалов, а также методов армирования и укрепления откосов

Ключевые слова: земляные дамбы, устойчивость, размыв, фильтрация, суффозия, гидротехнические сооружения, дренажные системы.

УДК 626.823:624.131.537

Vahidov M.D.

Azerbaijan University of Architecture and Construction
miraliv@bk.ru

Analysis of the stability of earth dams under erosion and methods for increasing it

ABSTRACT

This paper examines the stability analysis of earthen dams (earth embankments) exposed to seepage and erosion processes. Particular attention is paid to the influence of water saturation, internal erosion (suffusion), surface erosion, and variability of hydrological loads on the strength characteristics of soil and the overall stability of structures. An analysis of the main factors reducing the reliability of earthen dams is provided, including heterogeneity of soil composition, insufficient compaction, increased pore pressure, and impaired drainage conditions.

The study summarizes modern stability assessment methods, such as limit equilibrium, numerical modeling, and geotechnical monitoring. Engineering solutions for improving the stability of earthen dams are considered, including the use of anti-seepage screens, drainage systems, geosynthetics, as well as methods for reinforcing and stabilizing slopes.

Key words: earth dams, stability, erosion, filtration, suffusion, hydraulic structures, drainage systems.

Redaksiyaya daxil olma/Received 20.04.2026

Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 22.05.2026

УДК 626.823:624.131.537

Vahidov M.D.

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti
miraliv@bk.ru

Torpaq bəndlərinin eroziya şəraitində dayanıqlığının təhlili və onun artırılması üsulları

XÜLASƏ

Bu işdə sızma və eroziya proseslərinə məruz qalan torpaq bəndlərinin dayanıqlığının təhlili araşdırılır. Su ilə doymuşluğun təsiri, daxili eroziya (sufuziya), səthi eroziya və hidroloji yüklərin dəyişkənliyi torpaq xüsusiyyətlərinə və qurğuların ümumi dayanıqlığına təsiri baxımından təhlil edilir. Torpaq bəndlərinin etibarlılığını azaldan əsas amillər – torpaq tərkibinin qeyri-bərabərliyi, kifayət qədər sıxlaşdırılmama, artan məsamə təzyiqi və zəif drenaj şəraiti – araşdırılır.

Tədqiqatda limit tarazlıq metodu, ədədi modelləşdirmə və geotexniki monitoring kimi müasir dayanıqlıq qiymətləndirmə üsulları ümumiləşdirilir. Torpaq bəndlərinin dayanıqlığının artırılması üçün mühəndis həlləri nəzərdən keçirilir: anti-sızma ekranları, drenaj sistemləri, geosintetik materiallar, eləcə də yamacların möhkəmləndirilməsi və stabilləşdirilməsi üsulları.

Açar sözlər: torpaq bəndləri, dayanıqlıq, eroziya, filtrasiya, sufuziya, hidrotexniki qurğular, drenaj sistemləri.

Məqaləyə AzMIU-nun

“Meliorasiya və su təsərrüfatı tikintisi” kafedrasının dosenti A.Ə. Mürsəlov rəy vermişdir.