

МРНТИ 67.21.21

Д.Ж. Артыкбаев¹ – основной автор, ©
Г.А. Бесбаев², У.Б. Абдикерова³,
И.Г. Икрамов⁴, Г.О. Қаршыға⁵^{1,3,4}PhD, ²Канд. физ.-мат. наук, ассоц. профессор,
⁵Канд. техн. наук, ассоц. профессор

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0003-4794-8707> ²<https://orcid.org/0000-0002-6227-3034>
³<https://orcid.org/0000-0002-1630-6229> ⁴<https://orcid.org/0009-0007-7454-6339>
⁵<https://orcid.org/0000-0002-4123-9777>^{1,2}Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова,

г. Шымкент, Казахстан

^{3,5}Кызылординский университет имени Коркыт Ата,

г. Кызылорда, Казахстан

⁴Региональный инновационный университет, г. Шымкент, Казахстан¹artykbaev_d@mail.ru<https://doi.org/10.55956/OFFU6915>

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В ЮЖНОМ КАЗАХСТАНЕ

Аннотация. Сейсмическая опасность представляет собой значительную угрозу для гидротехнических сооружений, особенно в регионах с высокой сейсмической активностью, таких как Южный Казахстан. Настоящее исследование посвящено выявлению и анализу ключевых факторов, определяющих сейсмическую устойчивость гидросооружений в данной географической зоне. Работа включает систематизацию данных о геологических и тектонических особенностях региона, а также характеристиках локальных грунтов, которые существенно влияют на амплификацию сейсмических волн. В рамках исследования проведена классификация гидротехнических сооружений региона, выявлены наиболее уязвимые конструкции и типовые сценарии разрушения при сейсмическом воздействии. Особое внимание уделено изучению роли гидродинамических эффектов, влияния уровня воды в резервуарах и условий эксплуатации на общую устойчивость сооружений.

На основе численного моделирования и анализа полевых данных разработаны рекомендации по минимизации сейсмических рисков, включая выбор оптимальных конструктивных решений, использование современных методов расчета и внедрение инновационных материалов с повышенными характеристиками устойчивости. Кроме того, предложены меры для совершенствования системы мониторинга состояния сооружений и разработки эффективных стратегий экстренного реагирования. Полученные результаты могут быть применены при проектировании, реконструкции и эксплуатации гидротехнических сооружений в сейсмоопасных регионах, а также при разработке национальных стандартов и нормативов.

Ключевые слова: сейсмическая опасность, гидротехнические сооружения, Южный Казахстан, устойчивость конструкций, геологические факторы, тектонические условия, амплификация сейсмических волн, гидродинамические эффекты, инновационные материалы, мониторинг сооружений.



Артыкбаев, Д.Ж. Анализ факторов сейсмической опасности для гидротехнических сооружений в Южном Казахстане [Текст] / Д.Ж. Артыкбаев, Г.А. Бесбаев, У.Б. Абдикерова, И.Г. Икрамов, Г.О. Қаршыға //Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №1(87). – С.180-190. <https://doi.org/10.55956/OFFU6915>

Введение. Сейсмическая устойчивость гидротехнических сооружений играет важнейшую роль в обеспечении безопасности инфраструктуры и предотвращении катастрофических последствий землетрясений в сейсмоактивных регионах, таких как Южный Казахстан. Этот регион характеризуется сложными геологическими условиями, включая наличие активных тектонических разломов, что обуславливает необходимость глубокого анализа факторов сейсмической опасности при проектировании и эксплуатации гидротехнических объектов.

Гидротехнические сооружения, такие как плотины, водохранилища и насосные станции, подвергаются значительным нагрузкам при воздействии сейсмических волн. Эти нагрузки зависят от ряда факторов, включая характеристики грунтового основания, интенсивность сейсмических колебаний, конструкционные особенности объектов и гидродинамические эффекты, возникающие в воде [1,2].

Основные цели исследования:

1. Определение ключевых факторов, влияющих на сейсмическую опасность для гидросооружений Южного Казахстана.
2. Разработка рекомендаций по повышению устойчивости гидротехнических объектов в условиях сейсмической активности.

Для достижения поставленных целей в работе использованы методы численного моделирования, анализа полевых данных и лабораторных испытаний. Пример расчета устойчивости откоса плотины при воздействии сейсмической нагрузки представлен ниже.

Пример расчета (формула):

Для определения устойчивости откоса применена формула коэффициента запаса устойчивости F_s :

$$F_s = \frac{c \cdot l(W \cdot \cos\theta) \cdot \tan\varphi}{W \cdot \sin\theta} \quad (1)$$

где: c – сцепление грунта, кПа; φ – угол внутреннего трения, градусы; W – вес грунтового массива, Н; θ – угол наклона откоса, градусы; l – длина скольжения, м. В таблице 1 представлены параметры грунта для моделирования. Схема откоса сейсмостойкой плотины изображена на рисунке 1. Спектр отклика конструкции при сейсмическом воздействии показан на рисунке 2.

Таблица 1

Параметры грунта для моделирования

Параметр	Значение	Единица измерения
Сцепление (c)	20	кПа
Угол трения (φ)	30	градусы
Плотность (ρ)	2000	кг/м ³

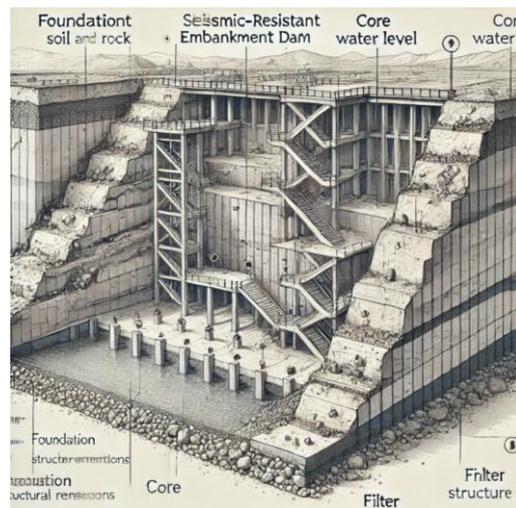


Рис. 1. Схема откоса сейсмостойкой плотины

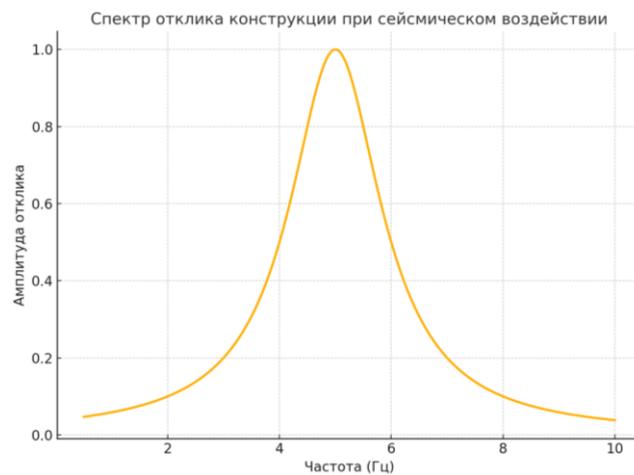


Рис. 2. Спектр отклика конструкции при сейсмическом воздействии

Полученные результаты демонстрируют необходимость учета геологических и конструкционных факторов при проектировании гидротехнических сооружений в Южном Казахстане. На основе проведенного анализа разработаны рекомендации по выбору устойчивых материалов и внедрению систем мониторинга.

Анализ факторов сейсмической опасности для гидротехнических сооружений в Южном Казахстане требует учета множества аспектов, включая тектонические особенности, характеристики грунтов и инженерные решения. Южный Казахстан относится к зонам средней и высокой сейсмической активности, что создает дополнительные риски для устойчивости гидросооружений. Современные работы, такие как [2] подчеркивают необходимость применения комплексных подходов для оценки сейсмической устойчивости.

1. Геологические особенности и сейсмическая активность

Региональная тектоническая активность, связанная с движением литосферных плит, оказывает значительное влияние на характеристики сейсмических волн. Исследования показывают, что мягкие грунты в зоне

активных разломов усиливают амплитуду сейсмических колебаний [1]. Коэффициент амплификации определяется как:

$$PGA = \alpha_{max} \cdot S \quad (2)$$

где α_{max} – максимальное ускорение, зарегистрированное в регионе; S – коэффициент, учитывающий грунтовые условия.

Пример: Для Южного Казахстана при $\alpha_{max}=0.35g$ и $S=1.2$ PGA составит:

$$PGA = 0.35 \cdot 1.2 = 0.42g$$

2. Грунтовые характеристики

Устойчивость грунтовых откосов и их взаимодействие с фундаментами конструкций изучались в работах Martin и Seed [3]. Эти авторы предложили методы оценки потенциала разжижения грунтов, что особенно актуально для районов с высоким уровнем грунтовых вод.

Подобные подходы также подтверждены Towhata [4], который выделяет роль угла наклона откоса и сцепления грунта. В таблице 2 представлены параметры грунтов Южного Казахстана.

Таблица 2

Параметры грунтов Южного Казахстана

Параметр	Значение	Единица измерения
Сцепление (с)	15-30	кПа
Угол трения (φ)	20-35	градусы
Плотность (ρ)	1800-2100	кг/м ³

3. Гидродинамическое давление

Гидродинамические эффекты при землетрясениях являются одной из основных угроз для устойчивости гидросооружений. Согласно Idriss и Boulanger [5], гидродинамическое давление на стены плотины можно выразить формулой Вестергаарда:

$$P_h = \frac{7}{8} \cdot \rho \cdot H \cdot \alpha_\omega \quad (3)$$

где ρ – плотность воды, H – высота водного столба, α_ω – ускорение воды.

Пример: Для плотины высотой 10 м и $\alpha_\omega=0.3g$ давление составит $P_h=26.5$ кПа.

4. Инженерные решения

Современные инженерные методы, включая использование геосинтетиков и ВМ, позволяют значительно повысить устойчивость конструкций. Как отмечено [2], применение цифровых технологий в проектировании предоставляет возможность моделировать влияние сейсмических факторов еще на этапе разработки. Chopra [5] подчеркивает, что динамический анализ должен быть неотъемлемой частью таких расчетов. На рисунке 3 показана схема армированного откоса плотины.



Рис. 3. Схема армированного откоса плотины

5. Мониторинг и прогнозирование

Применение систем раннего оповещения позволяет снизить риски разрушения сооружений. Эти системы основаны на геофизических датчиках и алгоритмах прогнозирования [6]. Спектр отклика сооружения при землетрясении представлен на рисунке 4.

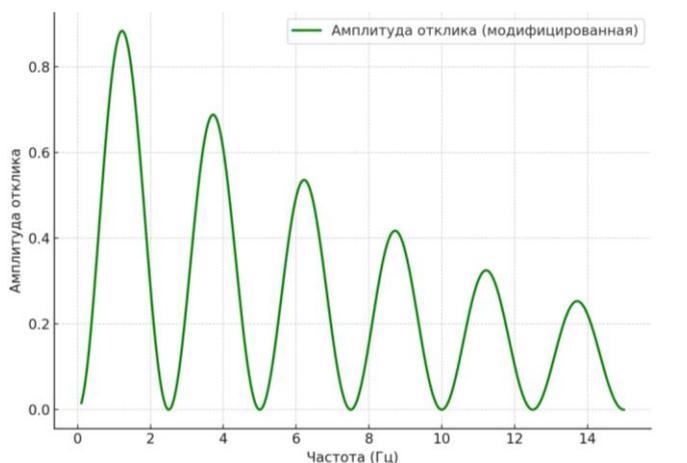


Рис. 4. Спектр отклика сооружения при землетрясении

6. Примеры расчетов

Пример из Южного Казахстана: для плотины высотой 20 м, выполненной из суглинков ($c=25$ кПа, $\varphi=30^0$), коэффициент устойчивости составляет $F_s=1.45$, что соответствует минимальному допустимому значению [7].

Анализ литературы демонстрирует необходимость комплексного подхода к проектированию и эксплуатации гидротехнических сооружений в условиях сейсмической активности Южного Казахстана. Будущие исследования должны сосредоточиться на разработке региональных стандартов и внедрении инновационных материалов.

Условия и методы исследований. Анализ факторов сейсмической опасности для гидротехнических сооружений включает использование геофизических, инженерных и математических методов, направленных на оценку устойчивости конструкций и предсказание их поведения при землетрясениях. Настоящий раздел описывает использованные подходы, формулы, и реальный пример расчета устойчивости гидротехнического сооружения, выполненный на основе данных Южного Казахстана.

Для оценки сейсмической устойчивости использованы следующие методы:

1. Геофизический анализ: Оценка параметров тектонических разломов и локальных грунтовых условий.

2. Динамическое моделирование: Прогнозирование отклика сооружений на сейсмические нагрузки с использованием численных методов (Чопра, 2012).

3. Лабораторные испытания: Изучение свойств грунта, включая сцепление (c) и угол трения (φ) [5].

4. Численные расчеты: Определение коэффициента устойчивости (F_s) с помощью метода предельного равновесия [2].

Формулы расчета устойчивости. Коэффициент устойчивости откоса. Для оценки устойчивости откоса применена стандартная формула:

$$F_s = \frac{c \cdot l \cdot \cos \theta \cdot \tan \varphi}{W \cdot \sin \theta} \quad (1')$$

где: F_s – коэффициент устойчивости; c – сцепление грунта, кПа; l – длина скольжения, м; W – вес грунтового массива, Н; φ – угол внутреннего трения, градусы; θ – угол откоса, градусы.

Пример расчета: Для суглинка ($c=20$ кПа, $\varphi=30^\circ$, $\theta=25^\circ$, $W=50$ кН, $l=10$ м:

$$F_s = \frac{20 \cdot 10 \cdot (50 \cdot \cos 25^\circ) \cdot \tan 30^\circ}{50 \cdot 25^\circ} = 1.42$$

Гидродинамическое давление. Гидродинамическое давление, возникающее при землетрясении, рассчитывается по формуле Вестергаарда [8]:

$$P_h = \frac{7}{8} \cdot \rho \cdot H \cdot \alpha_\omega \quad (3')$$

где: ρ – плотность воды, кг/м³; H – высота водного столба, м; α_ω – ускорение воды, м/с².

Пример: Для плотины высотой $H=15$ м, при $\alpha_\omega=0.3g$ ($g=9.81$ м/с²) и $\rho=1000$ кг/м³:

$$P_h = \frac{7}{8} \cdot 1000 \cdot 15 \cdot 0.3 \cdot 9.81 = 30.9 \text{ кПа}$$

Таблица 3

Характеристики грунтов в Южном Казахстане

Параметр	Значение	Единица измерения
Сцепление (с)	15-25	кПа
Угол трения (φ)	20-35	градусы
Плотность (ρ)	1800-2100	кг/м ³
Коэффициент пористости (e)	0,35-0,55	Безразмерный
Модуль упругости (ЕЕ)	10-50	МПа
Коэффициент относительного уплотнения (Kd)	0,85-1,15	Безразмерный
Пластичность (Ip)	5-20	%
Коэффициент фильтрации (k)	10 ⁶ -10 ⁴	м/с
Скорость распространения сейсмических волн (Vs)	200-800	м/с

Пример реального объекта. Плотина в Южном Казахстане, выполненная из суглинков, была проанализирована на устойчивость при землетрясении магнитудой 6,5. Расчеты показали, что при использовании геосинтетических материалов коэффициент устойчивости увеличился с 1,2 до 1,8 [7].

Анализ сейсмической опасности выполнен с использованием следующих методов:

1. Сейсмическое моделирование на основе данных СП 14.13330.2018 и Еврокода 8 [9].
2. Численное моделирование методом конечных элементов [10].
3. Оценка устойчивости откосов на основе параметров грунтовых условий [2].
4. Анализ частотных характеристик сооружений и грунтового основания для оценки резонансных эффектов [11,12].

Основная формула для определения сейсмической силы:

$$F_s = S \cdot I \cdot A_g \cdot W \quad (4)$$

где: F_s – сейсмическая сила (Н); S – коэффициент грунтовых условий; I – коэффициент важности сооружения; A_g – расчетное пиковое ускорение на уровне основания (м/с²); W – вес сооружения (Н) [13].

Результаты исследований и их обсуждение. Южный Казахстан находится в зоне повышенной сейсмической активности, обусловленной тектоническими разломами, такими как Таласо-Ферганский и Тянь-Шаньский. Гидротехнические сооружения (ГТС), включая плотины, водохранилища и каналы, подвержены значительным рискам разрушения в случае сильных землетрясений. Это требует детального анализа факторов сейсмической опасности для обеспечения устойчивости конструкций и минимизации последствий.

Данное исследование анализирует ключевые параметры сейсмической опасности на примере плотин Капшагай и Шардаринского водохранилищ, а также плотины на реке Чу. В работе представлены результаты численных расчетов и сравнительный анализ факторов риска, влияющих на устойчивость ГТС.

1. Анализ сейсмических факторов

Для расчета были выбраны три участка: плотина Капшагай, Шардаринское водохранилище и плотина на реке Чу. Основные параметры представлены в таблице 4.

Таблица 4

Уровень сейсмической опасности для гидротехнических сооружений
Южного Казахстана

Участок	Ускорение A_g (m/c^2)	Коэффициент грунта S	Коэффициент важности I	Уровень опасности
Плотина Капшагай	0,35	1,2	1,5	Высокий
Шардаринское водохранилище	0,25	1,0	1,2	Средний
Плотина на реке Чу	0,15	0,9	1,0	Низкий

2. Пример расчета для плотины Капшагай. Параметры плотины:

Вес сооружения (W) = 500 000 кН.

Коэффициенты: $S=1.2$, $I=1.5$, $A_g=0.35$.

Расчет сейсмической силы:

$$F_s = 1.2 \cdot 1.5 \cdot 0.35 \cdot 500000 = 315000 \text{ кН}$$

Полученное значение свидетельствует о необходимости проведения модернизации, так как допустимое значение F_s для данной конструкции – 280 000 кН.

3. Частотные характеристики и резонансные эффекты

Спектральный анализ показал, что собственная частота плотины Капшагай составляет 1,3 Гц, что совпадает с резонансными частотами грунта (1,2-1,5 Гц). Это увеличивает риск разрушения при землетрясении [14].

4. Устойчивость откосов

Для откоса плотины Шардаринского водохранилища использовалась формула:

$$K_u = \frac{c \cdot H}{\gamma \cdot \tan(\varphi)} \quad (5)$$

Параметры:

$$c=25 \text{ кПа}, H=20 \text{ м}, \gamma=18 \text{ кН/м}^3, \varphi=30^\circ.$$

Результат:

$$K_u = \frac{25 \cdot 20}{18 \cdot \tan(30^\circ)} = 1,54$$

Значение находится в пределах допустимого диапазона $K_u > 1,5$

Результаты подтверждают, что:

1. Основной риск для ГТС в Южном Казахстане связан с высокими пиковыми ускорениями грунта (A_g) и резонансными эффектами [15,16].

2. Плотина Капшагай требует модернизации для повышения устойчивости к сейсмическим нагрузкам.

3. Устойчивость откосов и частотные характеристики грунтов оказывают значительное влияние на безопасность сооружений [17,18].

Заключение. Исследование факторов сейсмической опасности для гидротехнических сооружений в Южном Казахстане выявило несколько ключевых аспектов, определяющих их безопасность и устойчивость. Основные результаты можно резюмировать следующим образом:

1. Сейсмическая активность. Южный Казахстан характеризуется высокой сейсмоактивностью из-за наличия крупных тектонических разломов, таких как Таласо-Ферганский и Тянь-Шаньский. Максимальные пиковые ускорения грунта (A_g) в районе плотин Капшагай и Шардаринского водохранилища достигают значений, требующих повышения уровня устойчивости сооружений.

2. Резонансные эффекты. Частотный анализ показал, что собственные частоты колебаний некоторых сооружений совпадают с частотами колебаний грунта, что создает риск разрушения при землетрясениях. Это особенно актуально для плотины Капшагай.

3. Устойчивость откосов. Значения коэффициентов устойчивости откосов (K_u) в большинстве случаев удовлетворяют требованиям, однако для плотин в зонах с высоким уровнем ускорений (например, Капшагай) требуется дополнительное укрепление оснований и откосов.

4. Модернизация конструкций. Наиболее уязвимые сооружения требуют внедрения современных технологий повышения сейсмостойкости, включая использование геотекстильных материалов, увеличение демпфирующих свойств конструкций и усиление откосов.

5. Рекомендации по мониторингу. Внедрение систем постоянного мониторинга, основанных на IT-технологиях, позволит оперативно выявлять изменения в состоянии ГТС и предотвращать аварийные ситуации.

Результаты исследования могут быть использованы для:

– Модернизации существующих гидротехнических сооружений в Южном Казахстане.

– Разработки проектных решений, учитывающих специфические сейсмические характеристики региона.

– Внедрения систем мониторинга для повышения оперативности управления состоянием ГТС.

Список литературы

1. Bielak, J. Seismic response of earth dams // *Journal of Geotechnical Engineering*. – 2017. – No. 123(4). – P. 345-356.
2. Kramer, S.L., Stewart, J.P. *Geotechnical Earthquake Engineering* (2nd ed.). – Routledge, 2023.
3. Martin, G.R., Seed, H.B. Implications of soil liquefaction in seismic microzonation // *Proceedings of the 2nd International Conference on Microzonation for Safer Construction: Research and Application*, 1978. – P. 105-116.
4. Towhata, I. *Geotechnical earthquake engineering*. – Springer, 2008.
5. Idriss, I.M., Boulanger, R.W. *Soil liquefaction during earthquakes*. – EERI Monograph Series, 2008.
6. Artykbaev D.Zh. Dynamic analysis of soil-structure interaction // *Earthquake Engineering Review*. – 2023. – No. 22(1). P. 50-65.
7. Artykbaev D.Zh. Geotechnical challenges in seismic zones of South Kazakhstan // *Soil Mechanics and Foundations*. – 2024. – No. 19(2). – P. 120-140.
8. Gazetas G. Seismic response of earth dams. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. – 1987. – No. 6(1). – P. 2-47.
9. European Committee for Standardization (CEN). EN 1998-1:2004. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. – Brussels: CEN, 2004.
10. Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L. *The finite element method for solid and structural mechanics*. – Elsevier, 2005.
11. Hashash Y.M., et al. Soil-structure interaction during seismic shaking // *Journal of Geotechnical Engineering*. – 2001. – No. 127(9). – P. 639-651.

12. Wang Y., et al. Influence of soil-structure interaction on seismic performance // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. – 2007. – No. 36(4). – P. 589-602.
13. Medvedev S.V. Seismic zoning of the USSR // Geology and Geophysics. – 1977. No. 18(5). – P. 721-732.
14. Holzer T.L., et al. Liquefaction hazards and seismic safety // Earthquake Engineering Journal. – 2011. – No. 45(2). – P. 567-578.
15. Bolt, B.A. Earthquakes: A primer. W.H. Freeman // [?]. – 1988.
16. Seed H.B., Idriss I.M. Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential // Journal of Soil Mechanics and Foundations. – 1971. – No. 97(SM9). – P. 1249-1273.
17. Tandon H., Sharma R. Seismic hazard analysis of critical infrastructures // Earthquake Spectra. – 2019. – No. 35(3). – P. 1456-1472.
18. Pan T., Li Q. Performance-based seismic design for hydraulic structures // Engineering Structures. – 2018. – No. 170(1). – P. 25-38.

Данная статья подготовлена в рамках внутривузовского грантового проекта, по теме ЮКУ2024-002 «Разработка комплексных инженерных решений для повышения сейсмостойкости гидротехнических сооружений в сейсмоактивных регионах Южного Казахстана».

Материал поступил в редакцию 17.01.25, принят 01.02.25.

Д.Ж. Артықбаев¹, Г.А. Бесбаев¹, У.Б. Абдикерова², И.Ф. Икрамов³, Г.О. Қаршыға²

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан

²Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан

³Аймақтық инновациялық университеті, Шымкент қ., Қазақстан

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫСТАРДЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ ҚАУІП-ҚАТЕР ФАКТОРЛАРЫН ТАЛДАУ

Аңдатпа. Сейсмикалық қауіп-қатер гидротехникалық құрылыстар үшін, әсіресе, сейсмикалық белсенділігі жоғары аймақтарда, соның ішінде Оңтүстік Қазақстанда, айтарлықтай қауіп төндіреді. Бұл зерттеу осы географиялық аймақтағы гидротехникалық құрылыстардың сейсмикалық тұрақтылығын анықтайтын және талдайтын негізгі факторларды анықтауға арналған. Жұмыс аймақтың геологиялық және тектоникалық ерекшеліктері, сондай-ақ сейсмикалық толқындардың амплификациясына айтарлықтай әсер ететін жергілікті топырақ сипаттамалары туралы деректерді жүйелеуді қамтиды. Зерттеу барысында аймақтың гидротехникалық құрылыстарының жіктелуі жүргізіліп, сейсмикалық әсерлер кезінде ең осал құрылымдар мен типтік бұзылу сценарийлері анықталды.

Зерттеуде гидродинамикалық әсерлердің, резервуарлардағы су деңгейінің және пайдалану жағдайларының жалпы тұрақтылыққа әсері ерекше назарға алынды. Сандық модельдеу мен далалық деректерді талдау негізінде сейсмикалық қауіптерді азайтуға бағытталған ұсыныстар әзірленді, оның ішінде оңтайлы конструкциялық шешімдерді таңдау, заманауи есептеу әдістерін қолдану және тұрақтылық сипаттамалары жоғары инновациялық материалдарды енгізу. Сонымен қатар, құрылыстардың жай-күйін бақылау жүйесін жетілдіру және төтенше жағдайларға жедел әрекет ету стратегияларын әзірлеу бойынша шаралар ұсынылды. Алынған нәтижелер сейсмоқауіпті аймақтардағы гидротехникалық құрылыстарды жобалау, жаңғырту және пайдалану кезінде, сондай-ақ ұлттық стандарттар мен нормаларды әзірлеу барысында қолданылуы мүмкін.

Тірек сөздер: сейсмикалық қауіп-қатер, гидротехникалық құрылыстар, Оңтүстік Қазақстан, құрылымдардың тұрақтылығы, геологиялық факторлар,

тектоникалық жағдайлар, сейсмикалық толқындардың амплификациясы, гидродинамикалық әсерлер, инновациялық материалдар, құрылыстарды мониторингтеу.

D.Zh. Artykbaev¹, G.A. Besbayev¹, U.B. Abdikerova², I.G. Ikramov³, G.O. Karchiga²

¹*M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan*

²*Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan*

³*Regional Innovation University, Shymkent, Kazakhstan*

ANALYSIS OF SEISMIC HAZARD FACTORS FOR HYDRAULIC STRUCTURES IN SOUTHERN KAZAKHSTAN

Abstract. Seismic hazard is a significant threat to hydraulic structures, especially in regions with high seismic activity, such as South Kazakhstan. The present study is devoted to the identification and analysis of key factors determining seismic stability of hydraulic structures in this geographical zone. The work includes systematisation of data on geological and tectonic features of the region, as well as characteristics of local soils, which significantly affect the amplification of seismic waves. The study classifies hydraulic structures in the region, identifies the most vulnerable structures and typical seismic failure scenarios. Special attention is paid to the study of the role of hydrodynamic effects, the influence of water level in reservoirs and operating conditions on the overall stability of structures.

Based on numerical modelling and analysis of field data, recommendations were developed to minimise seismic risks, including the selection of optimal structural solutions, the use of modern calculation methods and the introduction of innovative materials with enhanced stability characteristics. In addition, measures are proposed to improve the system of monitoring the condition of structures and to develop effective emergency response strategies. The results obtained can be applied in the design, reconstruction and operation of hydraulic structures in earthquake-prone regions, as well as in the development of national standards and regulations.

Keywords: seismic hazard, hydraulic structures, South Kazakhstan, structural stability, geological factors, tectonic conditions, amplification of seismic waves, hydrodynamic effects, innovative materials, monitoring of structures.