

А.К. Алдунгарова¹, А.С.Тулебекова², Н. Баймаканов²

¹Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова,
г. Павлодар, Казахстан

² Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
г. Нур - Султан, Казахстан

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ДАМБ

Аннотация. Для экологически безопасного строительного производства необходимо разрабатывать новые технологии и применять строительные материалы, позволяющие максимально снизить антропогенные нагрузки на природные экосистемы. Чтобы защитить водные объекты от вредных химических веществ, необходимо принимать специальные меры и устраивать экологически безопасные подземные защитные конструкции. Строительство гидротехнических сооружений всегда вызывает те или иные отклонения от состояния природного экологического равновесия. Нарушения сложившейся природной обстановки неизбежны даже при самом тщательном соблюдении требований всех нормативных документов. В статье представлены исследования устойчивости армированных и неармированных грунтовых дамб в условиях влияния горизонтальных и вертикальных деформаций грунтового основания. Результаты исследований позволяют оценить возможность образования в моделях грунтовых насыпей трещин с определением области их распространения. Методика прогноза позволит повысить экологическую безопасность эксплуатируемых дамб.

Ключевые слова: безопасность дамбы, устойчивость дамбы, подземные защитные конструкции.

• • •

Түйіндеме. Экологиялық тұрғыдан қауіпсіз құрылыс индустриясы үшін табиғи экожүйелерге антропогендік қысымды азайтатын жаңа технологиялар мен құрылыс материалдарын қолдану қажет. Су объектілерін зиянды химиялық заттардан қорғау үшін арнайы шаралар қабылдау және экологиялық қауіпсіз жерасты қорғаныс құрылымдарын ұйымдастыру қажет. Гидротехникалық құрылыстардың құрылысы әрқашан табиғи экологиялық теңгерімнен белгілі бір ауытқуларды тудырады. Қазіргі табиғи жағдай барлық нормативтік құжаттардың талаптары мұқият сақталған күннің өзінде де бұзылуы мүмкін. Мақалада топырық негізінің бұзылуының тік және көлденең жағдайындағы шегенленген және шегенленбеген топырақ бөгеттерінің тұрақтылығы зерт-

телген. Зерттеу нәтижелері шегеннің жалпы тұрақтылығына әсер ету деңгейі, сонымен қатар, орналасу аймағына байланысты топырақтың ерекшеліктерін көрсетті. Болжалды әдіс қолданыстағы бөгеттердің экологиялық қауіпсіздігін арттырады.

Түйінді сөздер: Қауіпсіздік, бөгеттер, тұрақтылық, дамбаның тұрақтылығы, жер асты қорғау конструкциялары

• • •

Abstract. For an environmentally safe construction industry, it is necessary to develop new technologies and apply building materials that will minimize the anthropogenic pressures on natural ecosystems. In order to protect water bodies from harmful chemicals, it is necessary to take special measures and arrange environmentally safe underground protective structures. The construction of hydraulic structures always causes certain deviations from the state of the natural ecological balance. Violations of the current natural situation are inevitable even with the most careful observance requirements of all regulatory documents.

The article presents the study of the stability of reinforced and unreinforced soil dams under the influence of horizontal and vertical deformations of the soil foundation. The research results allow us to estimate the possibility of the cracks formation in the ground embankment models with the definition of their distribution area. The forecasting method will improve the environmental safety of the operated dams.

Keywords: Safety, dams, sustainability, the stability of the dam, construction of underground protection.

Введение. Все гидротехнические сооружения относятся к объектам, которые определяются высоким уровнем ответственности. Разрушения данных объектов сопровождаются значительными ущербами экономического, социального и экологического характера. Особенно это относится к гидротехническим сооружениям, которые преобладают среди построенных к настоящему времени сооружений. Статистические данные аварий и повреждений гидротехнических сооружений показывают, что вероятность даже крупных аварий и разрушений любых плотин и дамб, в том числе самых современных, не может быть полностью устранена. Проблема возможных повреждений или разрушений конструктивных элементов гидротехнических сооружений при их длительной эксплуатации возникает вследствие воздействия природно-климатических факторов и старения материала конструкций. Поэтому необходимо применять эффективные системы управления состоянием гидротехнических объектов, которые служат для предотвращения опасных разрушений объектов. От рациональной реализации такой системы зависят продолжительность безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений, минимизация эксплуатационных расходов и негативного воздействия на окружающую среду [1-2].

Гидротехническое сооружение – искусственная структура (постройка) промышленного, гражданского, военного или другого назначения, установленная (построенная) на искусственном или естественном водном объекте, либо в непосредственной близости от него, либо сама по себе являющаяся искусственным водным объектом [3].

Виды гидротехнических сооружений представлены на рисунке 1.

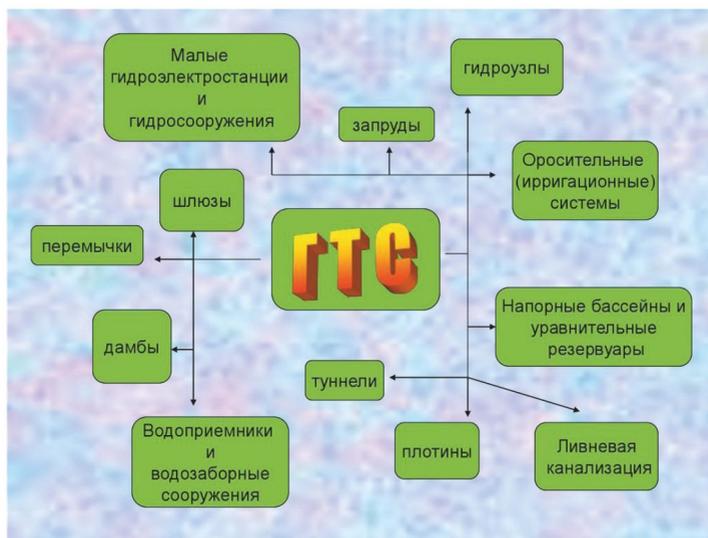


Рисунок 1 - Виды гидротехнических сооружений

Методы исследований. Проведены испытания на установке, с помощью которой можно осуществлять исследования по изучению развития трещинообразования и устойчивости, модельных образцов грунтовых сооружений в условиях приложения деформаций растяжения в вариантах с армированием и без армирования моделей конструкции.

Основные результаты. Стенд для моделирования деформаций работает следующим образом: с помощью болтового соединения (3) производят сжатие или растяжение швеллерных секций (1), вместе с которыми деформируется материал в лотке. Горизонтальные деформации растяжения грунта обеспечиваются за счет сил упругого восстановления сжатых упругих (резиновых) прокладок (2) при ослаблении болтовых соединений (3). Горизонтальные деформации сжа-

тия грунта обеспечиваются сжатием упругих (резиновых) прокладок (2) при помощи болтовых соединений (3), сближающих швеллерные секции (1).

Вертикальные деформации обеспечиваются за счет поэтапного опускания швеллерных секций (7). Моделью грунтовой дамбы служила насыпь с размерами в плане 700мм × 150мм (основание модели дамбы), 200мм × 150мм (гребень модели дамбы), высота модели дамбы 430мм.

а) Укладка основания

Перед укладкой грунтового основания устанавливался стенд так, чтобы в дальнейшем 1/3 часть подошвы модели дамбы была уложена на основании, приподнятом на определенное расстояние с помощью швеллерных секций. Швеллерные секции (рисунок 2) подняты вверх при помощи болтов на 40 мм [4]

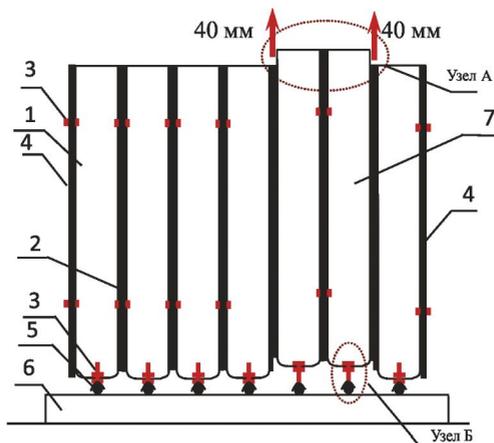


Рисунок 2– Стенд (объемный) для моделирования деформаций модели грунтовой дамбы (вид сбоку)

а) После подготовки эквивалентного материала в объемный стенд укладывалось основание. Эквивалентный материал помещался в объемный стенд слоями по 7 см и уплотнялся катком (7 полных циклов укладки);

б) Укладка модели дамбы без армирования (рисунок 3) выполнялась путем послойной укладки в 6 слоев по 7 см + уплотнение. Меж-

ду каждым слоем укладывали окрашенный песок толщиной ≈ 2 мм.

в) Подготовка модели насыпи с армированием (рисунок 4) производилась путем послойной укладки в 6 слоев по 7 см + уплотнение. Насыпь размещалась с помощью специальной формы. Между каждым слоем укладывался окрашенный песок толщиной 2 мм. После укладки каждого слоя и окрашенного песка, накладывалась арматурная сетка площадью равная площади укладываемого слоя модели дамбы;

г) Средняя плотность грунта основания и модели дамбы без армирования и с армированием равна 119 г/см^3 , без учета веса алюминиевой емкости ($\rho = 13 \text{ г/см}^3$).

Процесс развития трещин, деформации и обрушения модели дамбы при одновременных горизонтальном растяжении и вертикальной деформации грунтового основания, можно было визуально наблюдать и фиксировать с помощью фотокамеры. Появление и развитие цифровой фотографии позволило разработать бесконтактный фотограмметрический способ мониторинга жизнедеятельности трещин и других деформаций исследуемых объектов [5,6]. Вертикальные и горизонтальные деформации основания и модели насыпи в процессе проведения эксперимента определялись фотограмметрическим способом.

Фотограмметрический метод позволяет определить деформации, возникающие в плоскости, и служит для исследования плоских объектов. Сущность метода состоит в том, что с одной и той же неподвижной точки получают несколько снимков исследуемого объекта, например первый до деформаций, второй во время деформаций и третий после деформаций. При этом фотокамеру устанавливают так, чтобы плоскость прикладной рамки была параллельна плоскости объекта и элементы ориентирования снимков сохранялись [7-8].

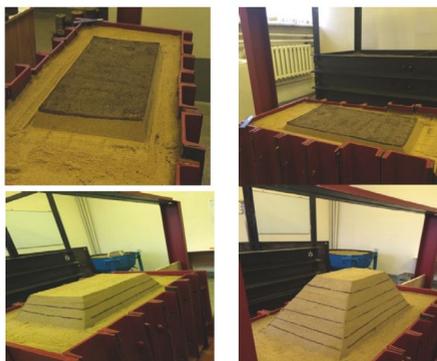


Рисунок 3 - Послойная укладка модели дамбы без армирования



Рисунок 4- Послойная укладка модели дамбы с армированием

В этом случае производится их периодическая съемка обору-дованием с высокой разрешающей способностью матрицы (до 2 тыс. пикселей на 1 см^2). В нашем конкретном случае использовалась камера Canon EOS Rebel T3 / DS126291 с разрешением матрицы 12,2 МПикс. Данные съемок заносились в сетку для документирования механических изменений на откосах и гребне модели дамбы. Задача заключалась в изучении устойчивости модели при 5 ступенях горизонтальных деформаций ($\epsilon=(3,6,9,12,15)\times 10^{-3}$) и одновременного вертикального обрушения (рисунок 5) части грунтового основания в вариантах с армированием модели дамбы и без армирования, чтобы выявить условия критического состояния насыпи.

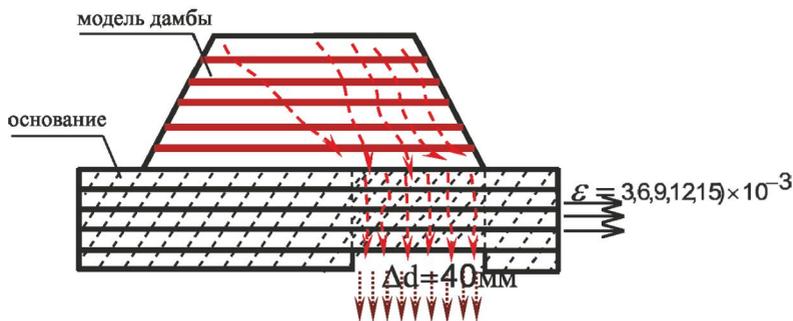


Рисунок 5 - Схема действия горизонтальных и вертикальных деформаций на работу моделей дамб

Объемный стенд позволил в значительном диапазоне создавать независимые деформации растяжения, вертикального подъема и опускания грунтового основания [9].

Были проведены следующие серии испытаний:

а) испытание на модели дамбы при различных условиях одновременного опускания части грунтового основания и горизонтального растяжения основания без предварительного армирования:

- деформирование основания в горизонтальном направлении без армирования модели дамбы до величины $\varepsilon=3\times 10^{-3}$ и вертикального опускания грунтового основания на величину $\Delta d=8\text{ мм}$;

- деформирование основания в горизонтальном направлении без армирования модели дамбы до величины $\varepsilon=6\times 10^{-3}$ и вертикального опускания грунтового основания на величину $\Delta d=16\text{ мм}$;

- деформирование основания в горизонтальном направлении без армирования модели дамбы до величины $\varepsilon=9\times 10^{-3}$ и вертикального опускания грунтового основания на величину $\Delta d=24\text{ мм}$;

- деформирование основания в горизонтальном направлении без армирования модели дамбы до величины $\varepsilon=12\times 10^{-3}$ и вертикального опускания грунтового основания на величину $\Delta d=32\text{ мм}$;

- деформирование основания в горизонтальном направлении без армирования модели дамбы до величины $\varepsilon=15\times 10^{-3}$ и вертикального опускания грунтового основания на величину $\Delta d=40\text{ мм}$;

б) Проведение испытаний на модели дамбы при различных условиях одновременного опускания части грунтового основания и горизонтального растяжения основания с армированием:

- деформирование основания в горизонтальном направлении с армированием модели дамбы до величины $\varepsilon=3\times 10^{-3}$ и вертикального опускания грунтового основания на величину $\Delta d=8\text{ мм}$;

- деформирование основания в горизонтальном направлении с армированием модели дамбы до величины $\varepsilon=6\times 10^{-3}$ и вертикального опускания грунтового основания на величину $\Delta d=16\text{ мм}$;

- деформирование основания в горизонтальном направлении с армированием модели дамбы до величины $\varepsilon=9\times 10^{-3}$ и вертикального опускания грунтового основания на величину $\Delta d=24\text{ мм}$;

- деформирование основания в горизонтальном направлении с армированием модели дамбы до величины $\varepsilon=12\times 10^{-3}$ и вертикального опускания грунтового основания на величину $\Delta d=32\text{ мм}$;

- деформирование основания в горизонтальном направлении с армированием модели дамбы до величины $\varepsilon=15\times 10^{-3}$ и вертикального опускания грунтового основания на величину $\Delta d=40\text{ мм}$;

После каждого эксперимента грунт из лотка вынимался и готовилось новое основание для следующих серий.

На рисунке 6 показаны ключевые этапы проведения эксперимента: 1 – после 2 этапа приложения деформаций, 2 – после 3 этапа приложения деформаций, 3 – после 5 этапа приложения деформаций. Трещины у модели неармированной дамбы (рисунок 6, а1) начинаются параллельно по всему телу уже при первых секундах деформа-

ций, общая длина трещин равна 60-80 мм, у армированной модели развитие трещин происходит ниже полотна арматурной сетки (рисунок 6, б1), общая длина трещин равна 6-10 мм. На 3 этапе (рисунок 6, 1а) неармированная модель дамбы начала получать частичные обрушения, общая длина трещин равна 100-120 мм, армированная модель дамбы получила сдвиг нижней части тела, общая длина трещин 10-20 мм.

Модель армированной дамбы подвержена больше сдвигу, чем разрыхлению и деформированию, верхняя часть модели, которая уложена выше армированной сетки, после последнего 5 этапа деформаций осталась в первоначальном виде (рисунок 6, б3), фактически без трещин, при двухсантиметровом сдвиге модели дамбы, гребень неармированной дамбы (рисунок 6, а3) деформирован трещинами.

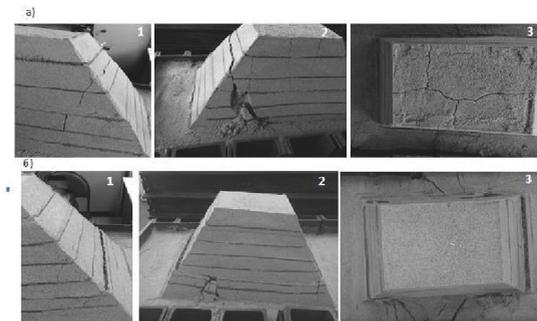


Рисунок 6 - Сравнение ключевых этапов моделирования устойчивости модели дамбы без армирования (а) и с армированием (б)

По графику (рисунок 7), соответственно можно сделать вывод, что укрепление модели дамбы арматурной сеткой, существенно повлияло на ее устойчивость при горизонтальных и вертикальных деформациях. Данный вариант укрепления может быть рассмотрен в случаях проектирования гидротехнических сооружений, как один из способов повышения устойчивости и надежности [10].

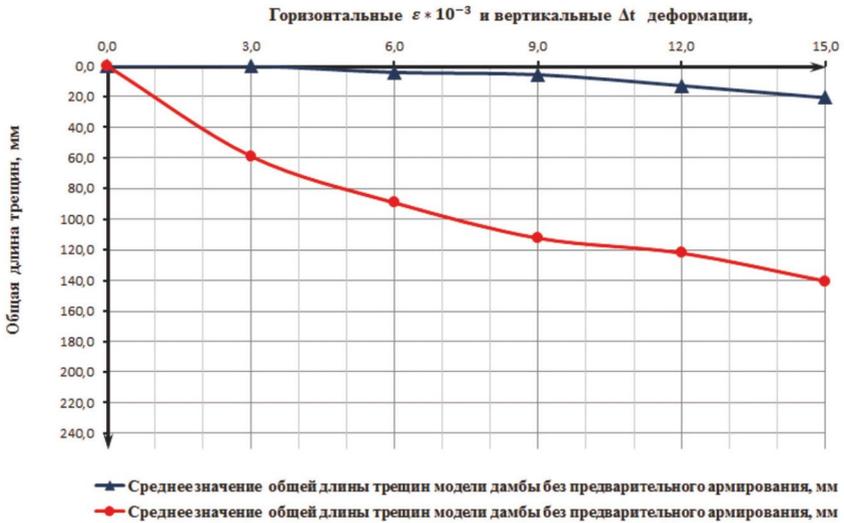


Рисунок 7- График зависимости длины трещин моделей грунтовых дамб с армированием и без армирования от горизонтальных и вертикальных деформаций

Заключение. В результате проделанной работы, были получены следующие выводы:

- На основе сочетания результатов численных, модельных и натурных исследований деформируемых грунтовых оснований получены численные значения предела устойчивости армированной и неармированной дамб в зависимости от горизонтальных и вертикальных деформаций грунтовой толщи;

- Положительное влияние армирующего эффекта при горизонтальных и вертикальных деформациях грунтового основания экспериментально доказано в опытах на грунтовых моделях дамб, где общая длина раскрытия трещин в случае работы модели грунтовой дамбы без армирования превысила на 5 этапах эксперимента с средним в 7-30 раз, по сравнению с моделью армированной дамбы;

- Использованный объемный стенд для моделирования деформаций основания позволяет расширить диапазон моделируемых явлений, близких к натурным условиям подработки гидротехнических сооружений и позволяет изучить механизм взаимодействия грунтовой дамбы с подрабатываемым основанием.

Армирующий эффект в дамбе позволит продлить сроки эксплуатации гидротехнического сооружения и соответствовать нормам экологической безопасности.

Список литературы

- 1 Руководство по проектированию бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений. Стройиздат, 1983 - 360с.
- 2 *Драницын Е. М.* Водосбросные сооружения высоконапорных гидроузлов: // лекции, 2009.
- 3 *Алдунгарова А.К., Исина А.З.* Состояние работы дамб в Казахстане // Вестник Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева. – 2013. – Т. 2, №4(95). – С. 391-395.
- 4 *Алдунгарова А.К., Тулебекова А.С.* Features of modeling of dams: электронное учебное пособие.- Астана, 2019.
- 5 *Жусупбеков А.Ж., Алдунгарова А.К., Тулебекова А.С.* Numerical modeling of stability of the soil dam: электронное учебное пособие.- Астана, 2019.
- 6 *Васильева И.А.* и др. Гидротехнические сооружения: учеб. пособие для вузов / под ред. Н.П. Розанова. – М., 1978. – 647 с.
- 7 *Добрецов Д.Г.* Обеспечение экологической безопасности // Мониторинг правоприменения.- 2014.- С.35-42.
- 8 *Бальзанников М.И., Родионов М.В.* Повышение экологической безопасности эксплуатируемых грунтовых гидротехнических сооружений // Экологическая безопасность строительства.- 2014.- С. 100-108
- 9 *Можевитинов А.Л.* Введение в гидротехнику: учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 232 с.
- 10 *Рыжанкова Л.Н., Аргал Э.С.* Проблемы экологии в гидротехническом строительстве // Гидравлика и инженерная гидрология.- 2008.- С.135-144.

Алдунгарова А.К. - Ph.D, доцент, e-mail liya_1479@mail.ru

Тулебекова А.С. - Ph.D, доцент, e-mail krasavka5@mail.ru

Баймаканов Н. - магистрант, e-mail: nurik@mail.ru