

УДК 627.81

DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-92-108

О. Г. Дегтярева, В. Г. Дегтярев, С. Ю. Найденов

Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация

СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ РАБОТЫ КОНСТРУКЦИЙ ЗА ПРЕДЕЛОМ УПРУГОСТИ

Целью исследования являлось изучение влияния сейсмической нагрузки на плотины, устраиваемые в горных ущельях, при работе конструкций за пределом упругости. Черноморское побережье Краснодарского края расположено в зоне с высокой сейсмической активностью. В действующих нормах отсутствуют критерии оценки водохранилищ на максимальное расчетное землетрясение. Вместе с тем установлено, что города Черноморского побережья Краснодарского края не обеспечены в должном объеме пресной водой в летний период. Решение проблемы возможно путем разработки технологий и технических средств, способных аккумулировать атмосферные осадки с последующим их использованием в меженный период. Оптимальным месторасположением водохранилищ на побережье являются горные ущелья. Оценка надежности и безопасности плотин была выполнена с использованием метода предельных состояний. С целью анализа влияния на сооружение сейсмического воздействия, заданного акселерограммой, осуществлено исследование системы в программном продукте STARK ES с учетом влияния на гидротехническое сооружение водной среды. Нормативные документы, действующие в строительстве, в настоящее время не регламентируют строительство плотин в горных ущельях и в зонах с высокой сейсмической активностью. Использование современных методов расчета и строительных материалов позволяет создать безопасные сооружения, отвечающие всем требованиям надежности гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: водоснабжение, водохранилище, плотины, пресная вода, технологии водообеспечения, гидротехнические сооружения.

O. G. Degtyareva, V. G. Degtyarev, S. Yu. Naydenov

Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

SEISMIC STABILITY OF HYDRAULIC CONSTRUCTIONS TAKING INTO ACCOUNT THE YIELD STRUCTURE BEYOND ELASTICITY

The aim of the research was to study the effect of seismic load on the dams in mountain gorges, when the structures operate outside the elastic limit. The Black Sea coast of Krasnodar Territory is located in a zone with high seismic activity. There are no criteria for assessing reservoirs for the maximum design earthquake in the current regulations. At the same time, it has been found that the cities of the Black Sea coast of Krasnodar Territory are not provided with adequate fresh water during the summer period. The problem can be solved by developing technologies and technical means capable of accumulating precipitation with their subsequent use in the low-flow period. The optimum location of reservoirs on the coast are mountain gorges. Dams reliability and safety assessment was done by the limit state method. To analyze the impact on the seismic impact on structure specified by the accelero-

gram, the research of system in the STARK ES software product was carried out taking into account the effect on the hydraulic structure of the aquatic environment. Regulatory documents operating in construction currently do not regulate the dams construction in mountain gorges and in areas with high seismic activity. The use of modern methods of calculation and building materials allows to create safe structures that meet all the requirements of the reliability of hydraulic structures.

Key words: water supply, reservoir, dams, fresh water, water supply technologies, hydraulic structures.

Введение. Города Черноморского побережья Краснодарского края не обеспечены в должном объеме пресной водой в летний период. Огромные площади плодородных земель, не задействованные в настоящее время, способны при орошении давать устойчивые и высокие урожаи сельскохозяйственной продукции. Решение проблемы возможно традиционно путем аккумуляции воды. Рельеф Черноморского побережья Краснодарского края преимущественно горный, образован сложной системой хребтов, постепенно повышается к юго-востоку территории [1, 2], сейсмичность 7–9 баллов, поэтому устройство традиционных водохранилищ технически и технологически сложно. Вместе с тем климатические условия складываются наилучшим образом для аккумуляции атмосферных осадков. Циркуляционные условия Черноморского побережья Краснодарского края определяются сезонными смещениями умеренной зоны западного переноса и субтропической зоны повышенного давления с разделяющим их полярным (умеренным) фронтом. Специфика региона – пограничное положение с зоной умеренного климата. Поэтому в основном преобладают подвижные циклоны и антициклоны, а обширные области повышенного давления наблюдаются лишь эпизодически [3, 4]. Разнообразие климатических условий объясняется сложным строением рельефа, под влиянием которого видоизменяется циркуляция воздушных масс. Черноморское побережье – наиболее увлажненный регион Кавказа благодаря влиянию Черного моря и преобладающим в теплый период западным ветрам. Особенно много атмосферных осадков выпадает на юго-западных, наветренных склонах Большого Кавказа [5].

Режим осадков Черноморского побережья Краснодарского края обусловлен общей циркуляцией атмосферы и сложной орографией местности. Осадки в основном определяются циклонической деятельностью, но роль внутримассовых процессов тоже велика [4]. В условиях гор количество осадков зависит от высоты местности, ориентации хребтов по отношению к влагонесущим массам воздуха, доступности их для этих масс и от особенностей синоптических процессов [6–8].

На территории Черноморского побережья Краснодарского края годовое количество осадков увеличивается с северо-запада на юго-восток от 460 мм в Анапе до 1430 мм в Туапсе и 1660 мм в Сочи. В горных районах южного склона Большого Кавказа количество осадков резко возрастает, достигая (наблюденного) максимума в бассейне Мзымты на хребте Ачишхо (более 3200 мм/год).

В целом с увеличением высоты местности возрастает количество осадков. Однако рост осадков происходит до определенной высоты, обусловленной высотой уровня конденсации [7, 9, 10]. Максимальное количество осадков на Западном Кавказе выпадает, по разным оценкам, в диапазоне высот 1800–3200 м [9].

В пределах Черноморского побережья Краснодарского края внутригодовое распределение осадков характеризуется зимним максимумом осадков, а минимум приходится либо на весну (в прибрежной зоне), либо на лето (в горной части). В зимние месяцы норма осадков вдвое превосходит норму осадков весенне-летних месяцев.

Долины и окаймляющие их хребты превращают Черноморское побережье Краснодарского края в цепь относительно обособленных речных бассейнов. Внутри каждой бассейновой «ячейки» формируются потоки морского воздуха в горы и горного – к морю и осуществляется сток поверхностных и подземных вод [3]. Направление движения подземного стока тесно связано с рельефом, а режим подземных вод отражает климатиче-

ские условия. Частичная аккумуляция подземных вод происходит в полукрытых структурах [11]. Водоносный горизонт элювиальных отложений питается главным образом за счет инфильтрации поверхностных вод в период весеннего половодья, атмосферных осадков, а также за счет разгрузки подземных вод докембрия и палеозоя [12].

Вследствие большой поглощающей способности подземной емкости речных водосборов, достаточно быстрой инфильтрации через зону аэрации, особенно в верховьях рек, где встречаются карстовые формы (котловины, воронки, карстовые источники и др.), и интенсивного водообмена в подземных водоносных горизонтах, динамика подземного стока из них в русловую сеть практически повторяет динамику поверхностной составляющей руслового стока. Из-за небольшой подземной емкости речных водосборов и малого времени склонового добега в условиях значительной расчлененности рельефа происходит быстрый сброс в русловую сеть ливневых осадков [13]. Черноморское побережье Краснодарского края представляет собой территорию с замкнутым балансом вод. Все естественные водные ресурсы (надземные и подземные реки и водотоки) разгружаются в акваторию Черного моря.

Учитывая специфику Черноморского побережья, в Кубанском государственном аграрном университете разработали системы регулирования стока атмосферных осадков [14], адаптированные для устройства в горной местности. Система включает в себя последовательно установленные друг за другом, а возможно, устроенные в ограниченном объеме ущелья не последовательно, а одно над другим два или несколько водохранилищ. Устройство данных систем предполагается в горных ущельях с целью минимизации воздействия на окружающую среду, так как имеющиеся равнинные площади рациональнее использовать для производства сельскохозяйственной продукции. Создание водохранилищ с объемом воды, достаточным для удовлетворения нужд населения и производства, коренным

образом изменяет местный ландшафт, сильно влияет на микроклимат, флору и фауну территории. Если водохранилище сооружено на крупной реке, то изменения в ее гидрологическом режиме заметны на протяжении сотен километров по руслу. Изменяется температура воды, ледовый режим, скорость течения, увеличивается высота ветровых волн [15].

Одним из аспектов, требующих детального изучения, является влияние на систему сейсмического воздействия, ведь данные сооружения предстоит реализовывать в зоне повышенной сейсмической активности (7–9 баллов). В связи с этим целью исследования являлось изучение влияния сейсмической нагрузки на плотины, устраиваемые в горных ущельях, при работе конструкций за пределом упругости.

Материалы и методы. Рассмотрим различные подходы к расчету гидротехнических сооружений и их конструкций на динамические воздействия. Требования к методу расчета представлены в СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах».

Для сооружений массового строительства возможно применение квазистатических методов, достоинством которых является простота расчета на динамические воздействия. Квазистатические методы имеют значительное количество недостатков, таких как использование кратковременных нагрузок вместо динамических, использование статических характеристик материалов вместо динамических и т. д. Главным недостатком является отсутствие возможности анализа конструкции за пределом упругой деформации, в связи с этим квазистатические методы расчета необходимо рассматривать как приближенные [16].

Современный подход к обеспечению механической безопасности сооружений, расположенных на площадках сейсмичностью 7–9 баллов, накладывает дополнительные требования к динамическим расчетам.

Изучение и анализ конструкций сооружений при значительных динамических нагрузках свидетельствует о развитии в железобетоне неупру-

гих деформаций, при этом следует отметить, что наиболее точный результат расчета достигается посредством применения нелинейного динамического расчета во временной области. При таком подходе существует возможность учитывать нелинейные характеристики системы, изменяющейся во времени [17, 18].

Под работой конструкций за пределом упругой деформации понимается учет пластических деформаций системы после достижения нагрузкой предельного значения P_u . Ниже представлена упругопластическая модель деформирования конструкции по билинейной диаграмме «нагрузка P – перемещение U » (рисунок 1). Касательная жесткость системы в неупругой стадии $K_{кас}$ принимается равной ее начальной жесткости K_0 , умноженной на коэффициент снижения жесткости, который определяется экспериментально.

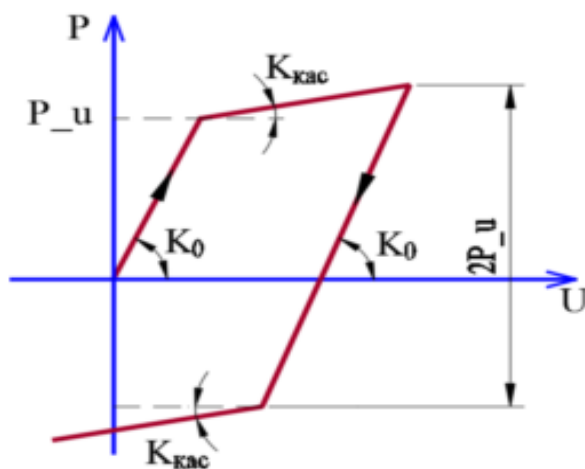


Рисунок 1 – Билинейная диаграмма «нагрузка P – перемещение U »

При динамическом анализе в качестве сейсмологических данных используют записи сейсмических движений грунта – акселерограммы.

Уравнение относительного движения неупругой конструкции в дискретной постановке по координатам имеет вид:

$$M \cdot \ddot{Y}(t) + C \cdot \dot{Y}(t) + S(t) = P(t),$$

где M – матрица масс конструкции;

C – матрица демпфирования;

$\ddot{Y}(t)$ и $\dot{Y}(t)$ – неизвестные векторы ускорений и скоростей движения конструкции относительно основания в момент времени t ;

$S(t)$ – вектор неупругих сил отпора;

$P(t)$ – вектор нагрузок.

Численное интегрирование по времени:

$$M \cdot \Delta \ddot{Y}(t) + C \cdot \Delta \dot{Y}(t) + K_{\text{кас}}(t) \cdot \Delta Y(t) = P(t),$$

где $K_{\text{кас}}(t)$ – матрица касательной жесткости конструкции в момент времени t ;

$$\ddot{Y}(t) = \ddot{Y}(t - \Delta t) + \Delta \ddot{Y}(t),$$

$$\dot{Y}(t) = \dot{Y}(t - \Delta t) + \Delta \dot{Y}(t),$$

$$Y(t) = Y(t - \Delta t) + \Delta Y(t),$$

$$S(t) = S(t - \Delta t) + K_{\text{кас}}(t) \cdot \Delta Y(t).$$

Ввиду отсутствия в действующих нормах соответствующих критериев оценки рассчитываемых сооружений на максимальное расчетное землетрясение (МРЗ), оценка надежности и безопасности гидротехнических сооружений может быть дана с использованием метода предельных состояний из условия:

$$F \leq R,$$

где F – обобщенное максимальное значение силового воздействия, деформации (смещения) или другие параметры, по которым производится [16] оценка предельного состояния;

R – обобщенное значение несущей способности, прочности, деформации (смещения) или другие параметры, по которым производится оценка.

В расчетах гидротехнических сооружений на особое сочетание нагрузок при действии МРЗ следует учитывать сейсмические инерционные нагрузки от масс сооружения, гидродинамическое давление, давление от волн, вызванных землетрясением, динамическое давление грунта, наносов.

Результаты и обсуждения. С целью анализа влияния на сооружение сейсмического воздействия, заданного акселерограммой, осуществим исследование системы в программном продукте STARK ES с учетом влияния на гидротехническое сооружение водной среды.

На рисунке 2 представлена расчетная модель сооружения, при моделировании учтена присоединенная масса воды.

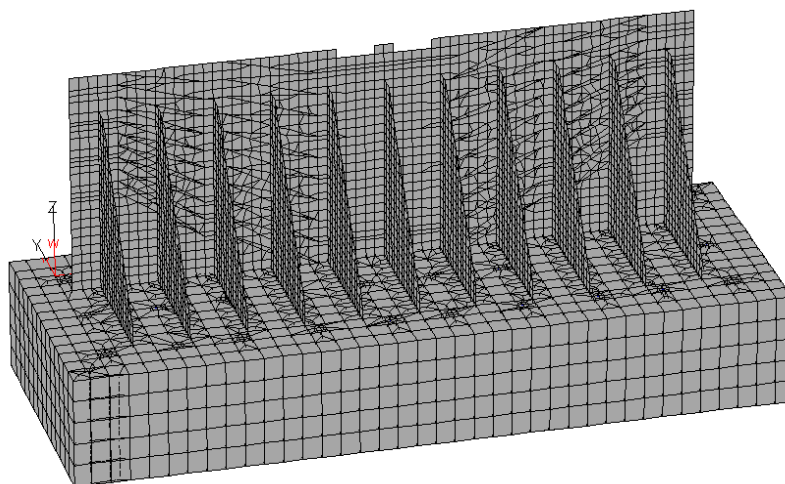


Рисунок 2 – Расчетная модель сооружения

Присоединенная масса воды при сейсмическом воздействии рассчитывается из условия:

$$m_w = \rho_w h \mu \Psi,$$

где ρ_w – плотность воды;

h – глубина воды у сооружения;

μ – безразмерный коэффициент присоединенной массы воды;

Ψ – коэффициент, учитывающий ограниченность длины водоема.

На рисунке 3 представлены формы собственных колебаний.

На рисунке 4 представлено максимальное перемещение конструкции от сейсмических (квазистатических) нагрузок с учетом работы конструкции в упругой зоне.

Исходя из представленного, необходимо констатировать, что в конструкции возникнут перемещения вдоль оси Y , максимальное значение которых составит 10,568 мм, от сейсмических (квазистатических) нагрузок.

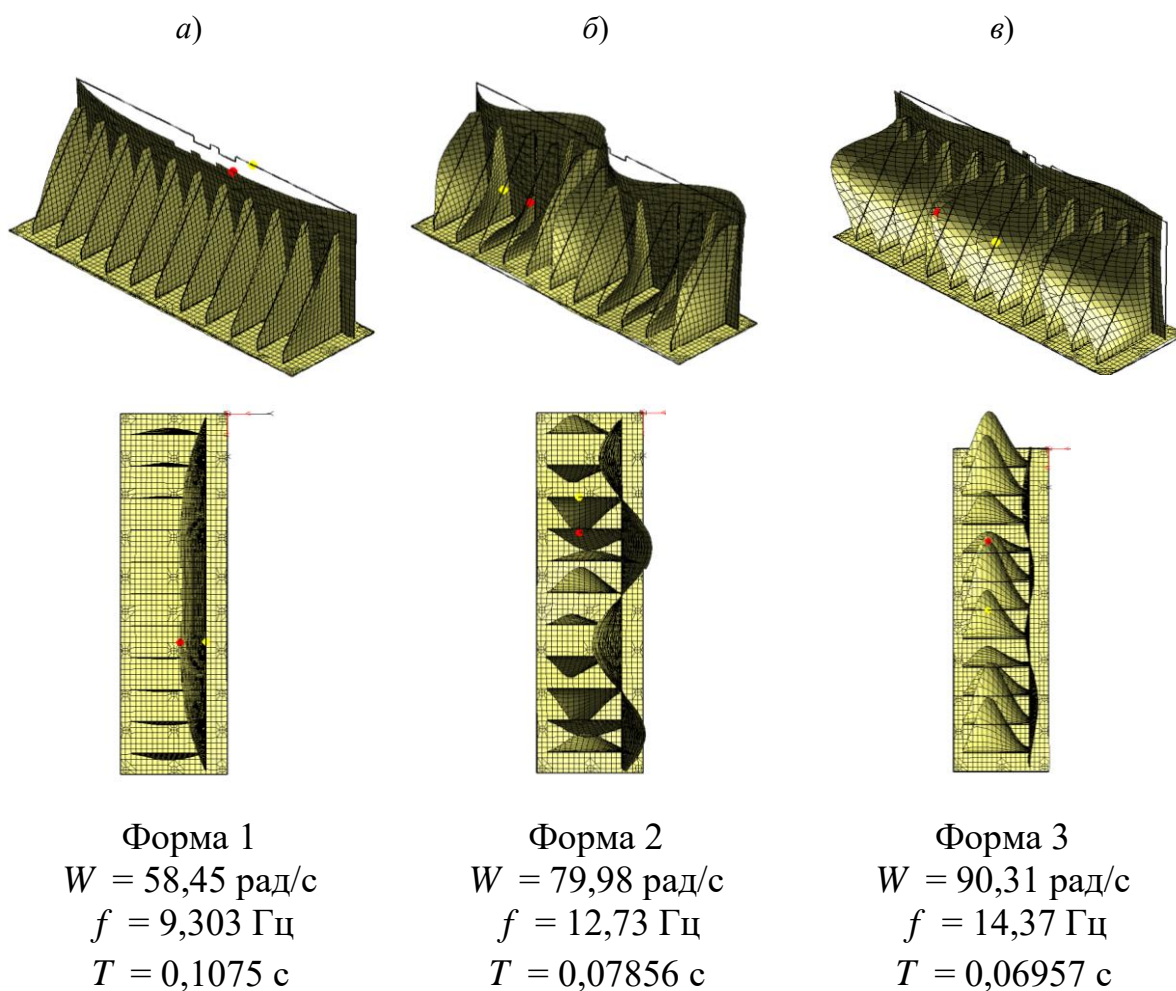
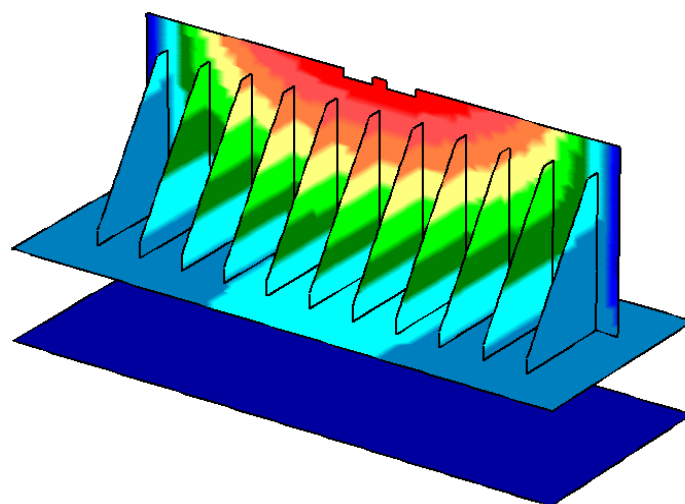


Рисунок 3 – Формы собственных колебаний



Мах: Узел 5619, $U_y = 10,568 \text{ мм}$

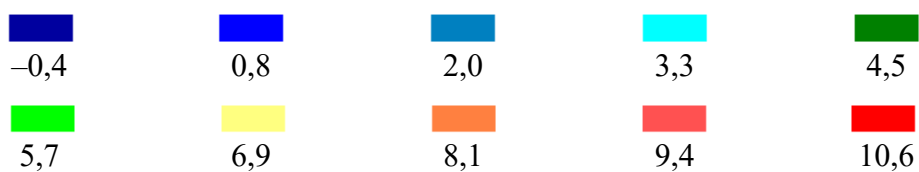


Рисунок 4 – Перемещение конструкции

На рисунке 5 представлен динамический отклик системы на сейсмическое воздействие во времени (перемещение вдоль оси Y), полученный при помощи метода разложения по собственным формам, с учетом работы конструкции в упругой зоне.

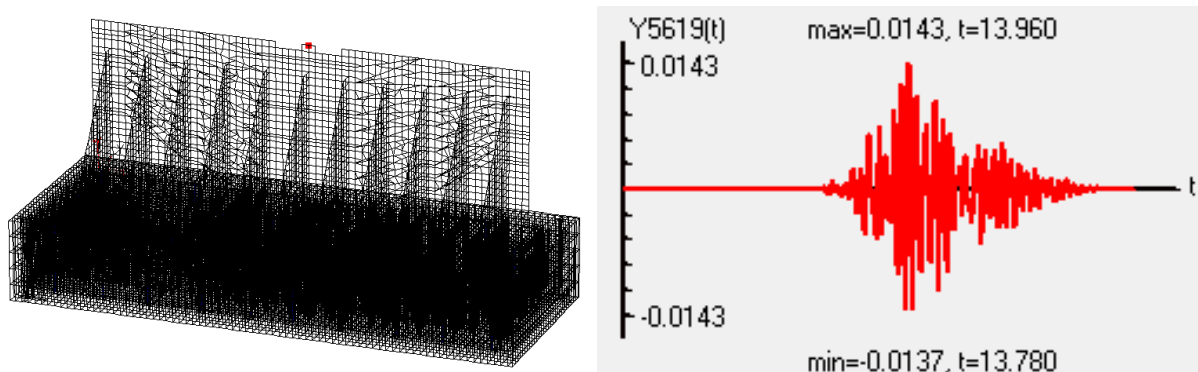


Рисунок 5 – Перемещение конструкции

Исходя из представленного, необходимо констатировать, что динамический отклик системы на сейсмическое воздействие во времени (перемещение вдоль оси Y) составит 14,3 мм с учетом работы конструкции в упругой зоне. Данный эффект наблюдается на 13,96 с при временном интервале воздействия, равном 25 с.

На рисунке 6 представлен динамический отклик системы на сейсмическое воздействие во времени (перемещение вдоль оси Y), полученный при помощи метода разложения по собственным формам, с учетом работы конструкции за пределом упругости при коэффициенте снижения жесткости, равном 0,5.

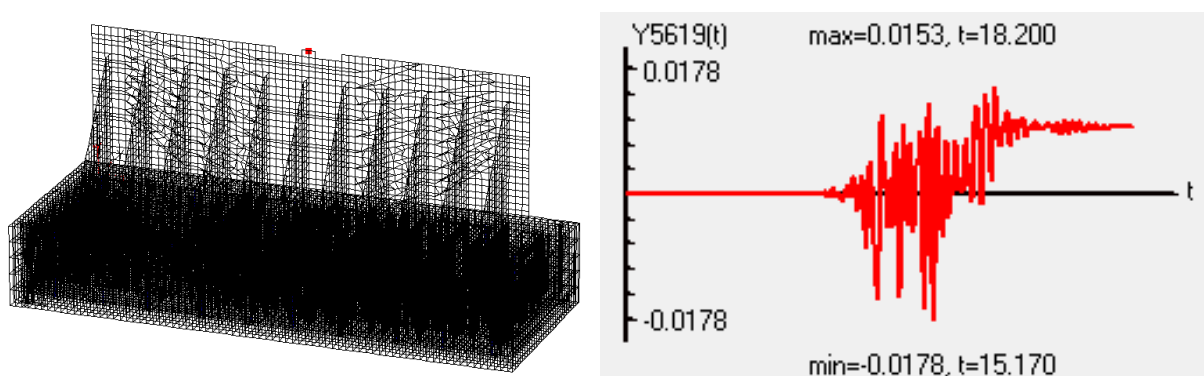


Рисунок 6 – Перемещение конструкции

Исходя из представленного, необходимо констатировать, что динамический отклик системы на сейсмическое воздействие во времени (перемещение вдоль оси Y) составит 15,3 мм с учетом работы конструкции за пределом упругости. Данный эффект наблюдается на 18,20 с при временном интервале воздействия, равном 25 с. Следует отметить, что конструкция после окончания воздействия не вернулась в первоначальное состояние, т. е. наблюдаются остаточные деформации.

На рисунке 7 представлен динамический отклик системы на сейсмическое воздействие во времени (перемещение вдоль оси Y), полученный при помощи метода разложения по собственным формам, с учетом работы конструкции за пределом упругости, при коэффициенте снижения жесткости, равном 0,2.

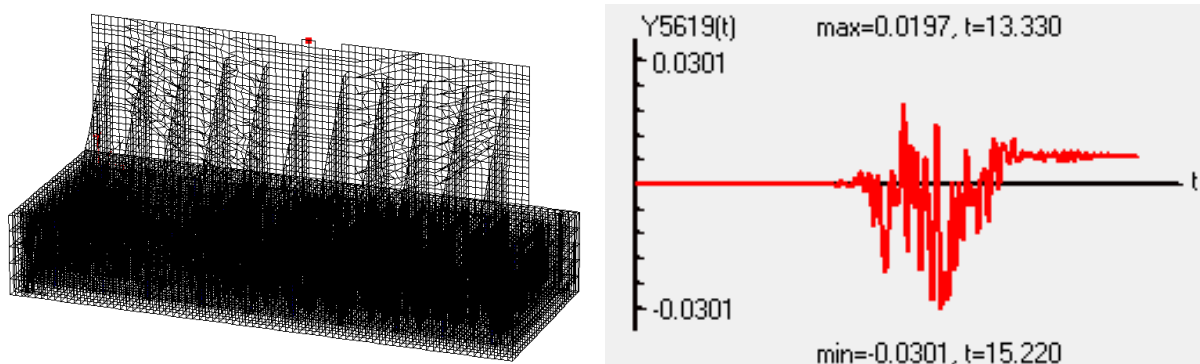


Рисунок 7 – Перемещение конструкции

Исходя из представленного, необходимо констатировать, что динамический отклик системы на сейсмическое воздействие во времени (перемещение вдоль оси Y) составит 19,7 мм с учетом работы конструкции за пределом упругости. Данный эффект наблюдается на 13,33 с при временном интервале воздействия, равном 25 с. Следует отметить, что конструкция после окончания воздействия также не вернулась в первоначальное состояние, т. е. наблюдаются остаточные деформации.

На рисунке 8 представлен динамический отклик системы на сейсмическое воздействие во времени (перемещение вдоль оси Y), полученный при помощи метода разложения по собственным формам, с учетом работы

конструкции за пределом упругости, при коэффициенте снижения жесткости, равном 0,1.

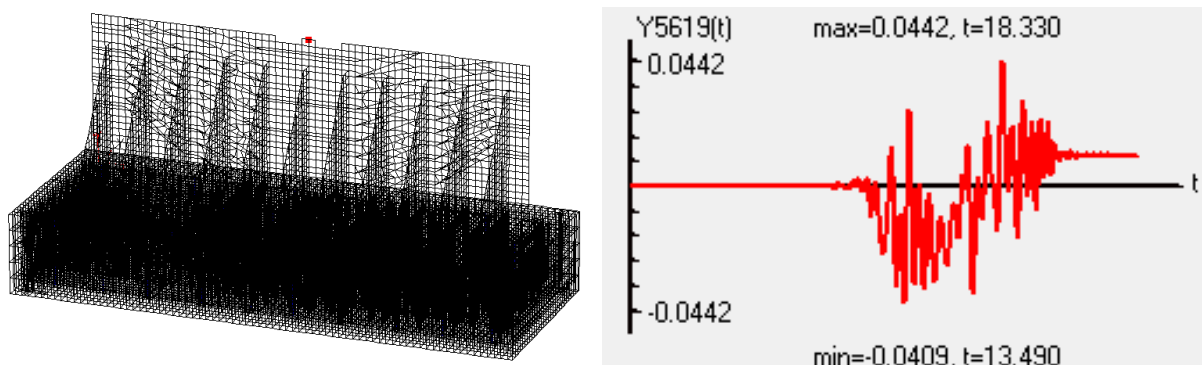


Рисунок 8 – Перемещение конструкции

Исходя из представленного, необходимо констатировать, что динамический отклик системы на сейсмическое воздействие во времени (перемещение вдоль оси Y) составит 44,2 мм с учетом работы конструкции за пределом упругости. Данный эффект наблюдается на 18,33 с при временном интервале воздействия, равном 25 с. Конструкция после окончания воздействия не вернулась в первоначальное состояние, т. е. наблюдаются остаточные деформации.

Выполним анализ несущей способности напорной грани сооружения с учетом сейсмического воздействия во времени. На рисунке 9 представлена оценка прочности элементов напорной грани.

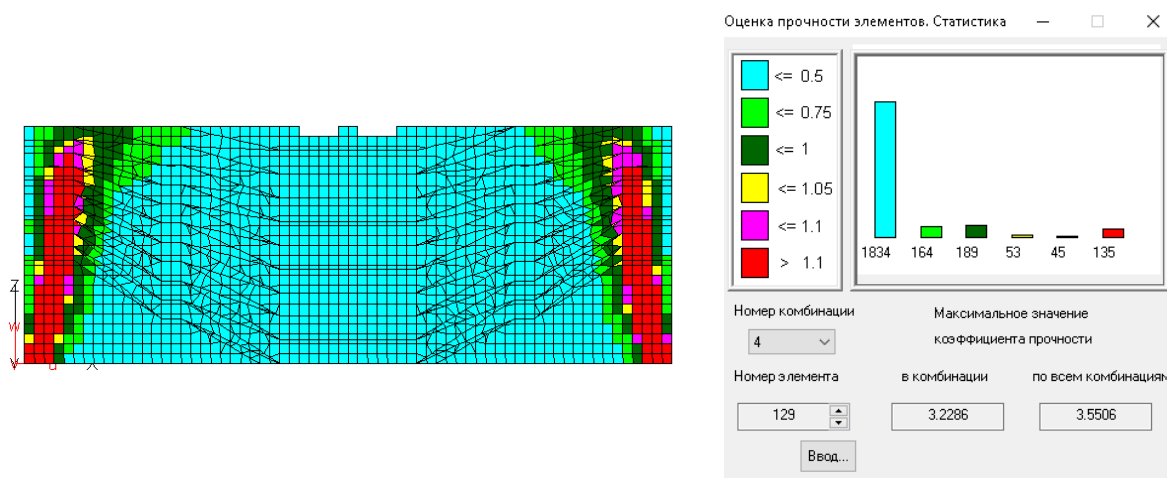


Рисунок 9 – Оценка прочности элементов напорной грани

Исходя из представленного, необходимо констатировать, что в напорной грани присутствуют элементы с недостаточной несущей способностью, это свидетельствует о необходимости увеличения несущей способности конструкции.

На рисунке 10 представлена оценка прочности элементов напорной грани после увеличения несущей способности конструкции напорной грани, свидетельствующая, что прочность напорной грани обеспечена.

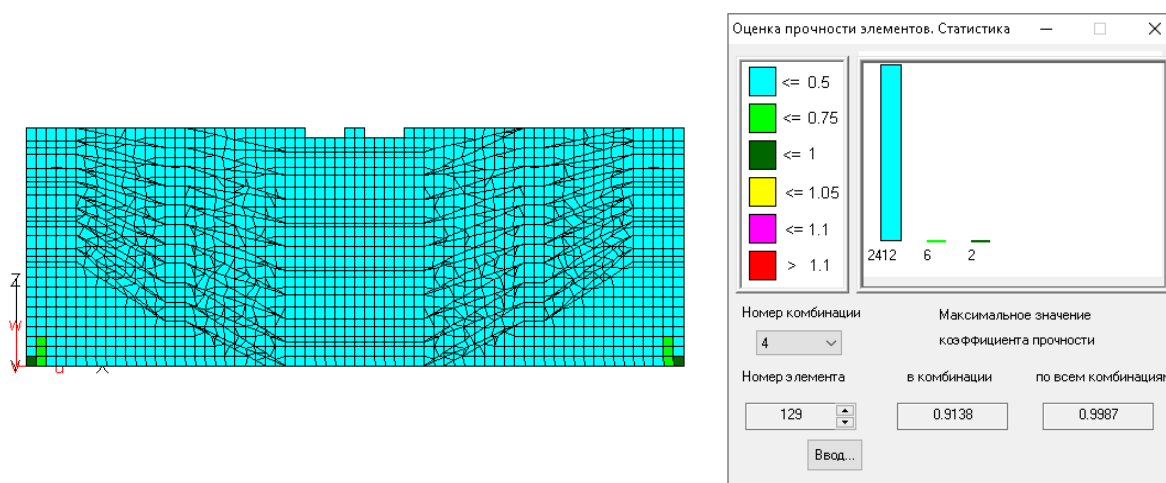


Рисунок 10 – Оценка прочности элементов напорной грани

Выводы. Исходя из представленного исследования, для анализа сейсмостойкости гидротехнических сооружений необходимо установление величин следующих параметров: обобщенное максимальное значение силового воздействия, деформации (смещения); обобщенное значение несущей способности, прочности, деформации (смещения); степень влияния пластических деформаций на несущую способность конструкции.

Остаточные деформации при коэффициенте снижения жесткости, равном 1,0, составляют 0,0 мм, при коэффициенте 0,5 – 9,9 мм, при коэффициенте 0,2 – 6,6 мм, при коэффициенте 0,1 – 10,6 мм.

Представленные параметры позволят оценить сейсмостойкость гидротехнического сооружения и, как следствие, проанализировать резерв или недостаток несущей способности конструкций, тем самым обеспечить соблюдение количественных и качественных показателей сооружения для обеспечения безопасной эксплуатации.

Список использованных источников

- 1 Панов, В. Д. Реки Черноморского побережья Кавказа: гидрография и режим стока / В. Д. Панов, А. А. Базелюк, П. М. Лурье. – Ростов н/Д.: Дон. изд. дом, 2012. – 605 с.
- 2 Экстремальные гидрологические ситуации / под ред. Н. И. Коронкевича, Е. А. Барабанова, И. С. Зайцевой. – М.: Медиа-ПРЕСС, 2010. – 464 с.
- 3 Климат и природопользование Краснодарского Причерноморья / С. Я. Сергин, Е. А. Яйли, С. Н. Цай, И. А. Потехина. – СПб.: РГГМУ, 2001. – 188 с.
- 4 Темникова, Н. С. Климат Северного Кавказа и прилежащих степей / Н. С. Темникова. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 368 с.
- 5 Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 9. Закавказье и Дагестан. Вып. 1. Западное Закавказье / под общ. ред. Т. Н. Джапаридзе. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 312 с.
- 6 Алибегова, Ж. Д. Статистическая структура атмосферных осадков в горных районах (на примере Закавказья) / Ж. Д. Алибегова, Э. Ш. Элизбарашвили. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 136 с.
- 7 Барри, Р. Г. Погода и климат в горах / Р. Г. Барри. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 312 с.
- 8 Русин, И. Н. Синоптическая интерпретация данных при расчете ливневых осадков в горах / И. Н. Русин. – СПб.: РГГМУ, 2003. – 219 с.
- 9 Битюков, Н. А. Анализ режима увлажнения за многолетний период в бассейне реки Мзымты / Н. А. Битюков, Н. М. Пестерева, Ю. Ю. Ткаченко // Вестник СГУТиКД. – 2011. – № 3(17). – С. 244–255.
- 10 Лурье, П. М. Водные ресурсы и водный баланс Кавказа / П. М. Лурье. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 506 с.
- 11 Аравин, В. И. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде / В. И. Аравин, С. И. Нумеров. – М.: Гостехстройиздат, 1953. – 616 с.
- 12 Каменский, Г. Н. Гидродинамические принципы изучения режима грунтовых вод / Г. Н. Каменский // Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии. – 1963. – Вып. 10. – С. 28–36.
- 13 Географо-гидрологическая оценка наводнений в Российском Причерноморье / И. А. Вишневецкая, Л. В. Денисов, С. В. Долгов, Н. И. Коронкевич, С. И. Шапоренко, М. Б. Кирева, Н. Л. Фролова, Е. П. Рец, С. Н. Голубчиков // Известия РАН. Серия географическая. Региональные географические проблемы. – 2016. – № 1. – С. 131–146.
- 14 Дегтярева, О. Г. Анализ напряженно-деформированного состояния конструкции плотины бассейна сезонного регулирования / О. Г. Дегтярева, Д. А. Дацьо // Сборник статей по материалам X Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 120-летию И. С. Косенко, 29–30 нояб. 2016 г. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – С. 1026–1027.
- 15 Крупнейшие водохранилища Краснодарского края: названия, размеры, отдых и рекреация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fb.ru/article/236182/>, 2018.
- 16 Дегтярев, Г. В. Математическое моделирование ослабленных вертикальных несущих конструкций здания при усилении самоупрочаемым бетоном / Г. В. Дегтярев, В. Г. Дегтярев, И. А. Табаев // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 52. – С. 192–198.
- 17 Дегтярев, Г. В. Особенности расчета плиты покрытия как несущего основания / Г. В. Дегтярев, Д. А. Дацьо // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 62. – С. 157–165.
- 18 Мариничев, М. Б. Защита территорий от камнепадных процессов: учеб. пособие / М. Б. Мариничев, А. В. Макушева. – Краснодар: Обществ. наука, 2017. – 97 с.

References

- 1 Panov V.D., Baseljuk A.A., Lurie P.M., 2012. *Reki Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza: gidrografiya i rezhim stoka* [The Rivers of the Black Sea Coast of the Caucasus: Hydrography and Flow Regime]. Rostov n/Don, Don Publ., 605 p. (In Russian).
- 2 Koronkevich N.I., Barabanov E.A., Zaitseva I.S., 2010. *Ekstremal'nye gidrologicheskie situatsii* [Extreme Hydrological Situations]. Moscow, Media-PRESS Publ., 464 p. (In Russian).
- 3 Sergin S.Ya., Yayli E.A., Tsai S.N., Potekhina I.A., 2001. *Klimat i prirodopol'zovanie Krasnodarskogo Prichernomor'ya* [Climate and Environmental Engineering of the Krasnodar Black Sea Coast]. Saint Petersburg, RSHU Publ., 188 p. (In Russian).
- 4 Temnikova N.S., 1959. *Klimat Severnogo Kavkaza i prilezhashchikh stepey* [Climate of the North Caucasus and the Adjacent Steppes]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 368 p. (In Russian).
- 5 Japaridze T.N., 1969. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Gidrologicheskaya izuchennost'. T. 9. Zakavkaz'e i Dagestan. Vyp. 1. Zapadnoe Zakavkaz'e* [Surface Water Resources of the USSR. Hydrological Knowledge. Vol. 9. Transcaucasia and Dagestan. Iss. 1. Western Transcaucasia]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 312 p. (In Russian).
- 6 Alibegova Zh.D., Elizbarashvili E.Sh., 1980. *Statisticheskaya struktura atmosferykh osadkov v gornykh rayonakh (na primere Zakavkaz'ya)* [The Statistical Structure of Precipitation in Mountainous Areas (using the example of Transcaucasia)]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 136 p. (In Russian).
- 7 Barry R.G., 1984. *Pogoda i klimat v gorakh* [Weather and Climate in the Mountains]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 312 p. (In Russian).
- 8 Rusin I.N., 2003. *Sinopticheskaya interpretatsiya dannykh pri raschete livnykh osadkov v gorakh* [Synoptic Interpretation of Data at Calculating Rainfall in the Mountains]. Saint Petersburg, RSU Publ., 219 p. (In Russian).
- 9 Bityukov N.A., Pestereva N.M., Tkachenko Yu.Yu., 2011. *Analiz rezhima uvlazhneniya za mnogoletniy period v basseine reki Mzymty* [Analysis of the moisture regime for a long-term period in the Mzymta river basin]. *Vestnik SGUTiKD* [Bullet. of State University of Technology and Technology], no. 3(17), pp. 244-255. (In Russian).
- 10 Lurie P.M., 2002. *Vodnye resursy i vodnyy balans Kavkaza* [Water Resources and Water Balance of the Caucasus]. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 506 p. (In Russian).
- 11 Aravin V.I., Numerov S.I., 1953. *Teoriya dvizheniya zhidkostey i gazov v nedeformiruемой poristoy srede* [The Theory of the Motion of Liquids and Gases in an Undeformable Porous Medium]. Moscow, Gostekhstroyizdat Publ., 616 p. (In Russian).
- 12 Kamensky G.N., 1963. *Gidrodinamicheskie printsipy izucheniya rezhima gruntovykh vod* [Hydrodynamic principles for studying the groundwater regime]. *Voprosy gidrogeologii i inzhenernoy geologii* [Issues of Hydrogeology and Engineering Geology], vol. 10. pp. 28-36. (In Russian).
- 13 Vishnevskaya I.A., Denisov L.V., Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Shaporenko S.I., Kireeva M.B., Frolova N.L., Retz E.P., Golubchikov S.N., 2016. *Geografo-gidrologicheskaya otsenka navodneniy v Rossiyskom Prichernomor'e* [Geographical and hydrological assessment of floods in the Russian Black Sea region]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. Regional'nye geograficheskie problemy* [Bullet. of the Russian Academy of Sciences. Geographic series. Regional geographic problems], no. 1, pp. 131-146. (In Russian).
- 14 Degtyareva O.G., Datsio D.A., 2017. *Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya konstruksii plotiny basseyna sezonnogo regulirovaniya* [Analysis of the stress-strain state of the dam structure of the seasonal regulation basin]. *Sbornik statey po materialam X Vserossiyskoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 120-letiyu I. S. Kosenko* [Proceed. of the X All-Russian Conference of Young Scientists dedicated to 120 anniversary of

I.S. Kosenko]. Krasnodar, Kuban State Agrarian University Publ., pp. 1026-1027. (In Russian).

15 *Krupneyshie vodokhranilishcha Krasnodarskogo kraya: nazvaniya, razmery, otdykh i rekreatsiya* [The Largest Reservoirs of Krasnodar Territory: Names, Sizes, Rest and Recreation], available: <http://fb.ru/article/236182/>, 2018. (In Russian).

16 Degtyarev G.V., Degtyarev V.G., Tabaev I.A., 2015. *Matematicheskoe modelirovanie oslablennykh vertikal'nykh nesushchikh konstruksiy zdaniya pri usilenii samonapryagaemym betonom* [Mathematical modeling of weakened vertical supporting structures of a building when reinforced by self-stressed concrete]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceed. of Kuban State Agrarian University], no. 52, pp. 192-198. (In Russian).

17 Degtyarev G.V., Datsyo D.A., 2016. *Osobennosti rascheta plity pokrytiya kak nesushchego osnovaniya* [Features of calculation of cover plate as a carrier base]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceed. of Kuban State Agrarian University], no. 62, pp. 157-165. (In Russian).

18 Marinichev M.B., Makusheva A.V., 2017. *Zashchita territoriy ot kamnepadnykh protsessov: ucheb. posobie* [Protection of Territories from Rock-falling Processes: manual]. Krasnodar, Social Science Publ., 97 p. (In Russian).

Дегтярева Ольга Георгиевна

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: доцент

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

Адрес организации: ул. Калинина, 13, г. Краснодар, Российская Федерация, 350044

E-mail: marxotgeo@mail.ru

Degtyareva Olga Georgievna

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Associate Professor

Affiliation: Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin

Affiliation address: st. Kalinina, 13, Krasnodar, Russian Federation, 350044

E-mail: marxotgeo@mail.ru

Дегтярев Владимир Георгиевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: старший преподаватель

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

Адрес организации: ул. Калинина, 13, г. Краснодар, Российская Федерация, 350044

E-mail: cst2007@mail.ru

Degtyarev Vladimir Georgievich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Senior Teacher

Affiliation: Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin

Affiliation address: st. Kalinina, 13, Krasnodar, Russian Federation, 350044

E-mail: cst2007@mail.ru

Найденов Сергей Юрьевич

Должность: аспирант

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

Адрес организации: ул. Калинина, 13, г. Краснодар, Российская Федерация, 350044

E-mail: 15serg1193@mail.ru

Naydenov Sergey Yurevich

Position: Postgraduate Student

Affiliation: Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin

Affiliation address: st. Kalinina, 13, Krasnodar, Russian Federation, 350044

E-mail: 15serg1193@mail.ru