РАЗДЕЛ I. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Догонов М.Л., Кириченко А.Ю., Якончук Д.А.

Влияние поэтапности возведения каменно-набросной плотины на напряжённо-деформированное состояние её железобетонного экрана

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(Россия, Москва)*

doi:10.18411/spc-22-07-2019-01

ids: sciencepublic-22-07-2019-01

Аннотация

Методом численного моделирования нами было исследовано напряжённо-деформированное состояние (НДС) каменно-набросной плотины с железобетонным экраном высотой 100 м для двух схем её возведения. Первая схема – возведение плотины без очередей, вторая схема – возведение в две очереди. Было выявлено, что возведение и нагружение плотины очередями в целом благоприятно сказывается на НДС железобетонного экрана. От веса плотины второй очереди на экран первой очереди передаётся сжимающее продольное усилие, которое позволяет снизить в нём растягивающие напряжения. Однако возможно появление дополнительных изгибных деформаций экрана.

Ключевые слова: каменно-набросная плотина с железобетонным экраном, напряжённо-деформированное состояние, этапы возведения, численное моделирование, растяжение, прочность.

Abstract

The finite element method was used for study of the stress-strain state (SSS) of 100 m high concrete faced rockfill dam (CFRD) for two alternatives of its construction. The first one is dam construction in one stage, the second one is two-stage construction. It was revealed that dam construction and loading by stages on the whole has a favorable effect on the reinforced concrete face SSS. Due to the weight of the second-stage dam the compressive longitudinal force is transferred to the face of the first stage which permits decreasing tensile stresses in it. However, additional face bending deformations may appear.

Key words: concrete-face rockfill dam, stress-strain state, stages of construction, numerical modeling, tensile stress, strength

Каменно-набросные плотины с железобетонным экраном являются одним из наиболее распространённых и перспективных типов грунтовых плотин. Актуальной проблемой современной гидротехники является создание благоприятного напряжённо-деформированного состояния (НДС) железобетонного экрана в целях обеспечения его трещиностойкости. Исследования [1,2] показали, что для НДС экрана характерны деформации изгиба и продольные деформации (удлинения–укорачивания). В нижней части экрана могут возникать значительные растягивающих напряжений в направлении вдоль экрана, превышающие расчётное сопротивление бетона на растяжение.

Т.к. высокие плотины, как правило, строятся очередями, при оценке трещиностойкости экрана необходимо учитывать, что последовательность возведения и нагружения плотины изменяет её НДС. Исследования, выполненные другими авторами, показывают, что изменение схемы поэтапности может как улучшать, так и ухудшать НДС экрана [3,4]. В работе нами [5] было проведено тщательное исследования влияния поэтапности возведения плотины на НДС экрана.

Исследование проводилось методом конечных элементов. Расчёты проводились для плотины высотой 100 м (рис.1). Толщина экрана принималась постоянной по высоте и равной 1 м. Расчёт проводился на нагрузки от собственного веса плотины и гидростатического давления верхнего бьефа.

Рис.1 Схема конструкции каменно-набросной плотины с железобетонным экраном.
1 – защитная призма, 2 – подэкрановая зона, 3 – упорная призма, Э – железобетонный экран, I, II – очереди плотины.

Модуль линейной деформации бетона принимался равным 30 ГПа, а его коэффициент Пуассона – 0,2. Учитывалось наличие в экране арматуры.

Расчёты проводились для четырёх вариантов значений модуля линейной деформации E наброски: 60, 120, 240 и 480 МПа, который возможен по данным [6,7] наблюдается в реальных плотинах. Коэффициент Пуассона каменной наброски был принят равным 0,25.

Использованная численная модель плотины насчитывала 1043 конечных элемента с кубической степенью аппроксимации перемещений. Общее количество степеней свободы составило 9174. Расчёты проводились с помощью вычислительной программы NDS_N [8].

Расчёт проводился для двух случаев. В первом случае рассматривалось возведение плотины без очередей. Во втором случае моделировалось возведение плотины и заполнения водохранилища в 2 этапа. Высота первой очереди принималась равной 60 м.

Были проанализированы отличия в НДС для разных случаев. Было выявлено следующее:

1) За счёт изменения последовательности загрузки происходит общее уменьшение прогибов в большей части экрана. Изгиб происходит в низовую сторону, поэтому низовая грань экрана стремится к растяжению, а верховая – к сжатию. Общее уменьшение прогибов экрана – положительное явление, т.к. уменьшает напряжения в экране.

2) Для НДС плотины, возведённой в две очереди, характерно местное увеличение прогибов экрана у гребня плотины первой очереди, которое приводит к местному изгибу участка экрана в верховую сторону. Это изгиб приводит к появлению растягивающих напряжений на верховой грани экрана вблизи гребня первой очереди.

3) При возведении плотины в две очереди на экран первой очереди передаётся дополнительное сжимающее продольное усилие от веса плотины второй очереди. Это благоприятно сказывается на распределении напряжений в экране.

Для оценки влияния последовательности возведения плотины на НДС экрана были вычислены внутренние усилия в нём – изгибающие моменты M и продольные силы N . Они определялись через продольные напряжения, полученные расчётом.

Анализ показал, что при любой схеме поэтапности возведения плотины максимальные значения изгибающих моментов характерны только для самого нижнего участка экрана. Было выявлено, что изменение последовательности возведения плотины мало влияет на максимальные значения изгибающего момента (рис.2а).

Однако возведение плотины в две очереди благоприятно сказывается на продольные усилия. Максимальное значение растягивающей продольной силы N в экране снизилось почти в 2 раза (рис.2б). Дополнительная продольная сжимающая

сила, возникающая в экране от веса плотины второй очереди, составляет около 1 МН и мало зависит от модуля деформации каменной наброски. При этом величина максимальной сжимающей силы несколько снижается по мере роста модуля линейной деформации каменной наброски.

Рис.2 Изменение максимальных значений внутренних усилий в железобетонном экране в зависимости от модуля деформации каменной наброски
а – изгибающий момент, б – продольная сила.

Благодаря дополнительной сжимающей силе удалось снизить максимальные значения растягивающих напряжений в экране (рис.3). Тем не менее, это не позволило добиться снижения растягивающих напряжений в бетоне экрана до расчётного сопротивления бетона на растяжение (1,7 МПа).

Рис.3 Изменение максимальных значений продольных напряжений на гранях железобетонного экрана в зависимости от модуля деформации каменной наброски

Выводы:

1. Строительство грунтовой плотины очередями оказывает существенное влияние на НДС её противофильтрационного железобетонного экрана – на него передаются нагрузки от собственного веса плотины. В экране возникает дополнительное сжимающее продольное усилие, это повышает трещиностойкость экрана. По этой причине рекомендуется возводить плотины с железобетонным экраном очередями.

2. Изменение схемы поэтапности возведения плотины оказывает неоднозначное влияние на форму деформаций экрана. Изгибные деформации могут как увеличиваться, так и уменьшаться. Деформации изгиба увеличиваются на тех участках экрана, которые возводятся на последующих этапах.

1. Саинов М.П. Влияние деформируемости каменной насыпи на напряжённо-деформированное состояние железобетонного экрана плотины // Вестник МГСУ. 2015. №3. С.69-78.
2. Wen L., Chai J., Xu Z., Qin Y., Li Y. Junrui C. A statistical review of the behaviour of concrete face rockfill dams based on case histories. A statistical review of the behaviour of concrete-face rockfill dams based on case histories. Géotechnique. 2018. 68, No.9. Pp.749–771

3. Саинов М.П. Влияние формы створа на напряжённое состояние железобетонного экрана каменно-насыпной плотины // Инженерно-строительный журнал. 2016. №3. С.16-39
4. Zhang B., Wang J.G., Shi R. Time-dependent deformation in high concrete-faced rockfill dam and separation between concrete face slab and cushion layer Computers and Geotechnics. 2004. No.31. Pp.559–573.
5. Подвысоцкий А.А., Саинов М.П., Сорока В.Б., Догонев М.Л. Поэтапность возведения каменно-набросной плотины – способ регулирования напряженно-деформированного состояния железобетонного экрана // Вестник МГСУ. 2018. Т.13. Вып.11. С.1395–1406
6. Marques Filho, P., De Pinto, N.L.S. CFRD dam characteristics learned from experience // International Journal on Hydropower and Dams. 2005. No.12 (1). Pp.72-76.
7. Сорока В.Б., Саинов М.П., Королев Д.В. Каменно-набросные плотины с железобетонным экраном: опыт исследований напряженно-деформированного состояния // Вестник МГСУ. 2019. Т.14. Вып.2. С.207–224
8. Саинов М.П. Вычислительная программа по расчету напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин: опыт создания, методики и алгоритмы // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2013. Volume 9. Issue 4. С.208-225.

Саинов М.П., Пак К.В., Юрьева Е.А.

Оценка эффективности увеличения толщины железобетонного экрана каменно-набросной плотины как способа повышения его надёжности

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(Россия, Москва)*

doi:10.18411/spc-22-07-2019-02

idsp: sciencepublic-22-07-2019-02

Аннотация

Существует заблуждение, что увеличение толщины железобетонного экрана каменно-набросной плотины или увеличение его массивности ведёт к повышению его надёжности. С помощью аналитического метода и метода численного моделирования нами показано, что это не так. Увеличение толщины экрана может снизить только ту часть напряжений, которая вызвана наличием в нём продольных сил, однако оно повышает моментную составляющую напряжений при изгибе. Как правило, увеличение толщины экрана увеличивает риск трещинообразования в экране.

Ключевые слова: каменно-набросная плотина с железобетонным экраном, напряжения, толщина экрана, изгиб.

Abstract

Assessment of effectiveness of rockfill dam reinforced concrete face increase of thickness as the way of enhancing its safety

With the aid of the analytical method and the method of numerical modeling we showed that increase of the rockfill dam reinforced concrete face does not result in enhancing its safety. Increase of the face thickness may decrease only part of stresses caused by presence of longitudinal forces in it. The moment component of stresses caused by the wall bend is growing at increase of thickness. Thus, increase of the face thickness, as a rule, increases the risk of cracking in the face.

Key words: concrete faced rockfill dam, stresses, face thickness, bending

Железобетонные экраны являются одним из наиболее перспективных типов негрунтовых противофильтрационных элементов каменно-набросных плотин [1]. Они могут воспринимать высокие напоры (100÷200м), имея толщину всего 1% от высоты плотины. Однако практический опыт применения данного типа противофильтрационных элементов свидетельствует о том, что тонкостенный железобетонный экран может находиться в неблагоприятном напряжённом состоянии.