

Методы моделирования напряженно-деформированного состояния для определения остаточного ресурса железобетонного консольного водосброса при различных граничных условиях

М.А. Бандурин, В.А. Бандурин

Большинство длительно эксплуатируемых гидротехнических сооружений России находится неудовлетворительном в состоянии, требующем модернизации и реконструкции. По прошествии длительного периода эксплуатации гидротехнические сооружения продолжают работать, без плановых ремонтов, необходимо произвести техническую реконструкцию сооружения на базе инновационных, а также ранее проверенных технологий ремонта.

Консольный водосброс - открытое сопрягающее гидротехническое сооружение, где вода сначала совершает движение по сооружению, а затем – поток воды свободно сбрасывается на неукрепленный грунт. Такие сооружения наиболее экономичны, так как при одной и той же разности бьефов их железобетонная часть значительно меньше, а водобойная часть вообще не укрепляется и в основном они устраиваются на скальных грунтах. Когда грунты слабые, то консоль гасителя необходимо выносить на большое расстояние или же укрепить легко размываемый грунт в месте падения потока воды. В наиболее опасных случаях падающий с гасителя поток направляют в водобойный колодец, для гашения энергии, из которого он в дальнейшем отводится от сооружения. Наиболее распространены железобетонные и бетонные гасители, так как экономически выгодны [1].

Оценка остаточного ресурса водопроводящих сооружений, а именно консольных водосбросов, включает в себя поиск причин ухудшения степени физического износа, а также проектирование этапов мероприятий по обеспечению их надежного работоспособного технического состояния [2].

Всего в России находится в эксплуатации гидротехнические сооружения, попадающие под действие закона «О безопасности гидротехнических сооружений» № 117-ФЗ [3], около 65 тысяч.

Безопасная эксплуатация гидротехнических сооружений обеспечивается следующими способами:

- поддержание сооружений в технически исправном состоянии, которое выполняется эксплуатационниками;

- осуществление государственного надзора за безопасностью сооружений (производится Ростехнадзором);

- декларирование безопасности гидротехнических сооружений и внесение в Российский регистр.

Актуальность безопасности гидротехнических сооружений с каждым годом возрастает. Поэтому необходимо предвидеть аварийное разрушение сооружения и своевременно оценить остаточный ресурс его технического состояния.

Сейчас применяются различные параметры по оценке остаточного ресурса длительно эксплуатируемых гидротехнических сооружений, которые представлены в нормативно-технической документации (Зарегистрировано в Минюсте РФ 18.05.2002 N 3449) подразделяют:

- критерии безопасности 1-го уровня;

- критерии безопасности 2-го уровня.

Классификация состояния гидротехнических сооружений выполняется на основе критериев безопасности по видам:

- надежное эксплуатационное состояние гидротехнических сооружений (работоспособное);

- удовлетворительное эксплуатационное состояние (частично неработоспособное);

- предаварийное эксплуатационное состояние (предельное) [4].

Железобетонные консольные водосбросы в основном проектировались как балочно-рамная система. Водоперепускной лоток

является рамой воспринимающей изгибающие моменты и перерезывающие силы, а также системой балок и ригелей перекрывающих пролет над дорогой.

Основной опорой водоперепускного лотка является с нагорной стороны - бетонная подпорная стена которая поддерживает откос выемки, а с внешней стороны - опора из двух стоек. Продольный уклон водоперепускного лотка будет равен 1,5%. Для гашения скорости течения воды русло имеет уклон от 1:1 и укреплено бетонным лотком, для исключения размыва грунта и сползания породы основания косогора [5].

Рамная конструкция перекрывает два пролета, с внешней стороны лоток водосброса может иметь консольный вылет длиной от 4 м. Для обеспечения устойчивости вышележащего земляного полотна дороги в месте падения струи воды с консольного водосброса предусмотрено каменное мощение, а также подпорная стена для укрепления сооружения.

Была построена твердотельная модель напряженно – деформированного состояния железобетонного консольного водосброса. Число элементов и число узлов ансамбля соответственно составило 127830 и 102740. Кодирование исходной информации осуществлялось в терминах метода приращений с учетом фрагментального представления железобетонного консольного водосброса в виде – пластин и стержней. Спроектированный железобетонный консольный водосброс выполнен из бетона марки – В 25.

В постановке численного расчета железобетонного консольного водосброса преследовалась цель установления адекватности твердотельной модели напряженно – деформированного состояния при максимальном напоре воды с существующими натурными испытаниями при различных граничных условиях [6].

При проведении расчетов наибольшие значения нормальных напряжений при полном загрузении составили $782,325 \cdot 10^7$ Н/м², а в численном расчете моделировании работы водосброса – $802,274 \cdot 10^7$ Н/м², что составляет разницу менее 5% и подчеркивает адекватность твердотельной

модели напряженно – деформированного состояния железобетонного консольного водосброса [7].

Обработка полученных данных моделирования показало наличие незначительных перемещений, как по горизонтали, так и по вертикали вдоль сооружения, что подтверждает расчеты о наличии большого запаса прочности конструкции железобетонного консольного водосброса.

На рис. 1 показана эпюра суммарных перемещений, где показано наличие наибольших суммарных перемещений, а именно в местах образования прогиба железобетонного консольного водосброса по длине.

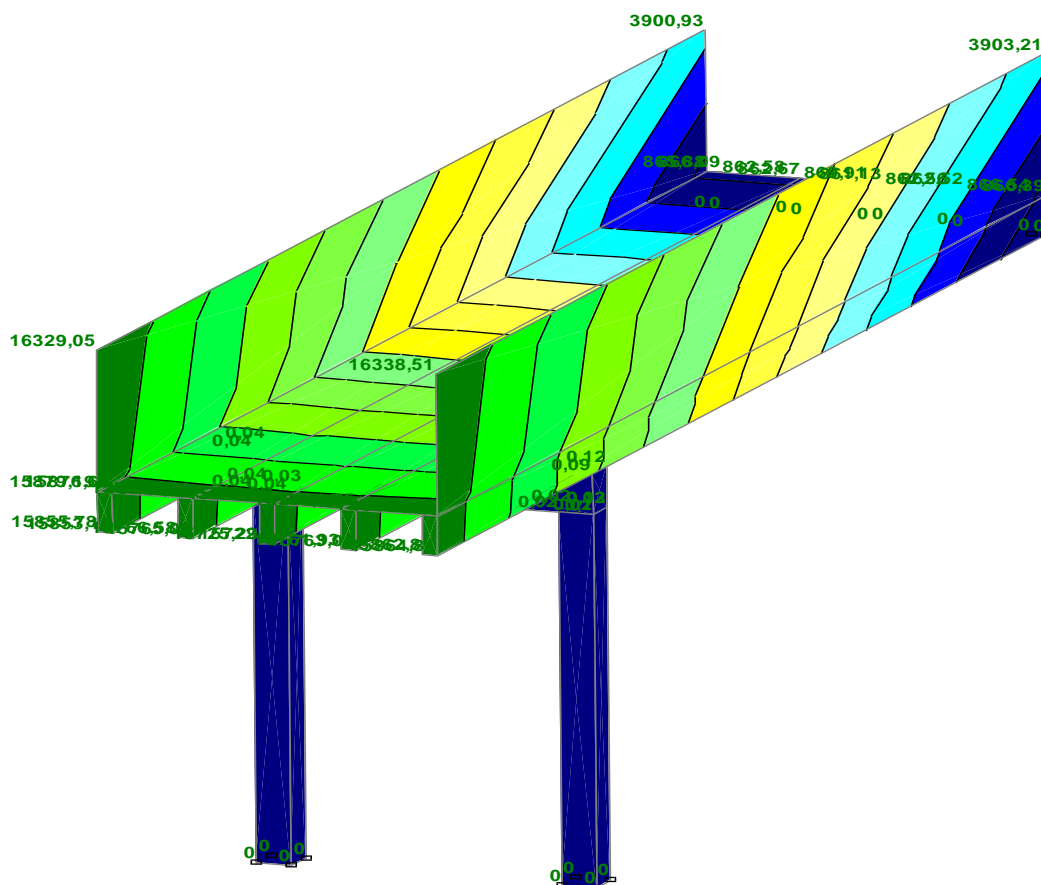


Рис. 1. Эпюра суммарных перемещений

Суммарные перемещения по горизонтали вдоль балочно-рамной системы показывают малые смещения зон опирания второстепенных железобетонных балок, а суммарные перемещения по горизонтали поперек

системы показывают критическое смещение колонны при потере несущей способности уже при 40%, которая тянет за собой и опертые на нее железобетонные балки [8].

При сравнении эпюр эквивалентного напряжения von Mises наибольшие напряжения возникают по вертикали балочно-рамной системы, а именно на горизонтальных ригелях опертых на нее. Данные результаты свидетельствуют о возникновении критических напряжений в местах опирания водоперепускного лотка консольного водосброса, что приводит к разрушению рассматриваемых элементов и потере несущей способности всего сооружения.

На рис. 2 показаны наибольшие напряжения, возникающие в местах опирания железобетонного консольного водосброса на анкерные опоры, который работает как балочно-рамная система, жестко закрепленная на колоннах. По горизонтали возникают напряжения в нижней части балочно-рамной системы, а в напряжениях по вертикали в основном с боков вдоль фрагмента в нижней части опирания и посередине железобетонного консольного водосброса [9].

Стадии напряженно-деформированного состояния консольного водосброса - различаются при постепенном увеличении внешней нагрузки. Различают три характерные стадии; 1 – до появления трещин растянутой зоны в бетоне; 2 – после появления трещин растянутой зоны в бетоне; растягивающие усилия в местах, где образовались трещины, воспринимаются арматурой и участком бетона над трещиной; 3 – стадия разрушения, когда за короткий период напряжения в растянутой арматуре достигают физического или условного предела текучести [10].

В этой зоне происходит образование дефектов ведущих к разрушению железобетонного консольного водосброса, данная особенность моделирования подтверждается визуальными наблюдениями дефектов и повреждений, различных длительно эксплуатируемых гидротехнических сооружений. Из обработки полученных данных установлено, что опасным

является снижение фактической толщины арматурного каркаса водоперпускного лотка не более на 15% от проектной, которое ведет к выходу из строя железобетонного консольного водосброса [11].

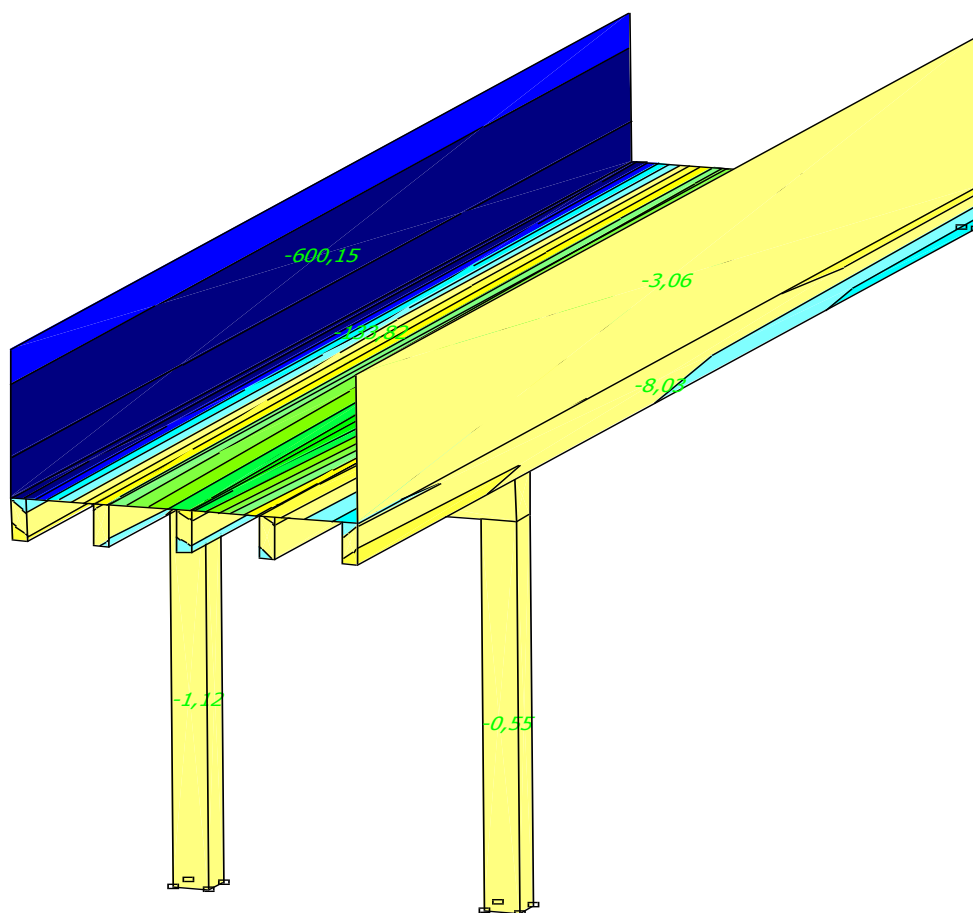


Рис. 2. Эпюра эквивалентного напряжения по von Mises по горизонтали

Данные методы моделирования подчеркивают адекватность модели напряжено-деформированного состояния консольного водосброса, а именно включения в работу гидротехнического сооружения дефектов и повреждений. Получены результаты расчетов потери устойчивости и просадки водосброса в виде эпюр избыточных эквивалентных по горизонтали и вертикали von Mises и абсолютных перемещений.

В ходе моделирования просадки, приведенного на рис. 3, и потери устойчивости на дне лотка установлено, что происходит потеря устойчивости опирания элементов непосредственно в эпицентре образования дефекта

консольного водосброса, в дальнейшем происходит увеличение по направлению к его центру. Вертикальные напряжения увеличиваются по балочно-рамной системе сооружения, а горизонтальные напряжения перпендикулярно. В дальнейшем с увеличением размера дефекта происходит смещение колонн относительно подстилающего грунта и потеря устойчивости их, как вокруг горизонтальной и вертикальной осей.

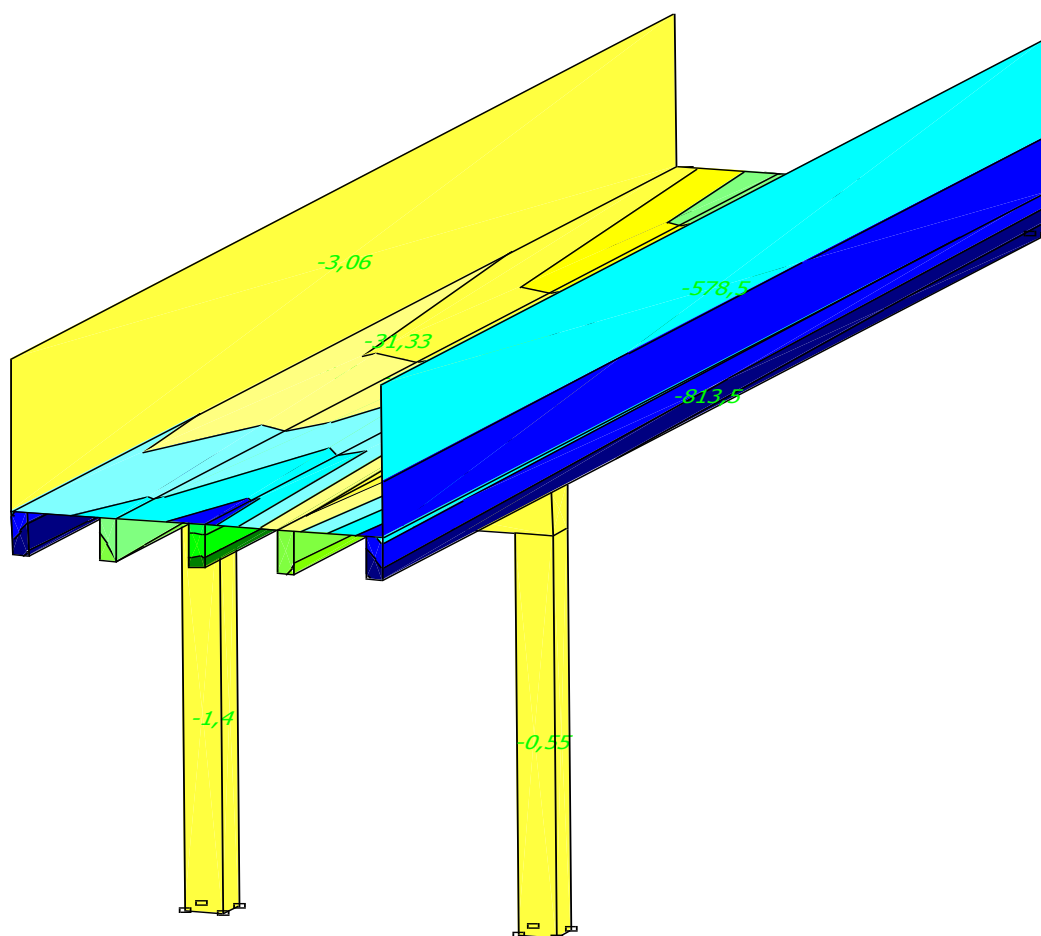


Рис. 3. Эпюра избыточных эквивалентных напряжений по von Mises

Выполнен трехмерный анализ жесткости консольного водосброса с учетом контактного опирания. В ходе проведённого анализа выявлено, что вертикальные напряжения увеличиваются по оси водоперепускного лотка, а горизонтальные напряжения перпендикулярно оси консольного водосброса.

При незначительных потерях толщины арматуры на эпюрах перемещений характерно отражаются допустимые значения [12]. Образование дефектов приводит к нарушению нормального технического состояния железобетонного консольного водосброса.

В ходе проведенного расчета были выделены зоны консольного водосброса, которые содержат однотипные виды повреждений, что позволяет в дальнейшем упорядочить специфику прокладывания профилей георадаров и определения мест для измерения толщины металла.

Программно-технический комплекс (ПТК) для проведения оценки остаточного ресурса технического состояния гидротехнических сооружений предназначен для определения различных параметров дефектов и повреждений, а также расчета прогнозируемого срока остаточного ресурса их элементов [13].

При создании ПТК использованы результаты проведенных наблюдений и исследований, к которым относятся:

- результаты произведенного визуального осмотра консольного водосброса;
- геометрические размеры дефекта, полученные при помощи георадара ОКО-2.

Техническая часть ПТК для проведения эксплуатационного мониторинга включает в себя техническую схему и может быть использована для проведения оценки остаточного ресурса технического состояния консольного водосброса и грунтов под ними, выявлению опасных дефектов и повреждений, а также оценке и прогнозированию его технического состояния и дальнейшей пригодности к эксплуатации [14].

В качестве исходных данных для работы программной среды ПТК служат результаты наблюдений и исследований, к которым относятся:

- результаты произведенных выявления дефектов;
- количественные параметры повреждения элементов консольного водосброса;

– количественная оценка в различных частях элементов консольного водосброса.

Оценивалась также степень риска аварии элементов консольного водосброса. ПТК запроектирован с использованием линейки системы управления базами данных Microsoft Access, проекта Microsoft Access [15].

В программной среде ПТК существует также возможность выводить профили георадарного зондирования с каждой антенны и производить обработку полученных данных. В среде ПТК, возможно, также проводить классификацию дефектов и координатную привязку с помощью системы ГЛОНАСС.

Использование предлагаемого ПТК позволяет выполнить оценку и прогнозирование напряженно-деформированного состояния и степени риска аварии элементов консольного водосброса. Одной из злободневных задач в настоящее время в сфере обеспечения безопасности длительно эксплуатируемых гидротехнических сооружений является оценка остаточного ресурса.

Литература:

1. Reinertsen R. Residual life of technical systems; diagnosis, prediction and life extension // Reliability Engineering & System Safety. 1996. Т. 54. № 1. С. 23-34.

2. Бандурин, М.А. Мониторинг и расчет остаточного ресурса аварийных мостовых переездов через водопроводящие сооружения [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, № 4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1260> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

3. Ray A.K., Tiwari Y.N., Chaudhuri S. Evaluation of mechanical properties and assessment of residual life of a service-exposed water wall tube // Engineering Failure Analysis. 2000. Т. 7. № 6. С. 393-402.

4. Ищенко, А.В. Повышение эффективности и надежности противofiltrационных облицовок оросительных каналов [Текст]: Монография / А.В. Ищенко. – Ростов-на-Дону, Сер. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион, 2006. – 364 с.

5. Бандурин, М.А. Особенности технической диагностики длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, № 2. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/861> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

6. Бандурин, М.А. Совершенствование методов проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса водопроводящих сооружений [Текст] // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2013. № 1. С. 68-79.

7. Бандурин, М.А. Проблемы оценки остаточного ресурса длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №3. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/891> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

8. Бандурин, М.А. Совершенствование методов продления жизненного цикла технического состояния длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, №1. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1510> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

9. Бандурин, М.А. Особенности технической диагностики длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений [Текст] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2005. № 1. С. 141.

10. Бандурин, М.А. Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния Ташлинского дюкера на Право-Егорлыкском канале [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №3. –

Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/889> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

11. Бандурин, М.А. Применение программно-технического комплекса для решения задачи проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса водопроводящих сооружений [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1200> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

12. Бандурин, М.А. Мониторинг напряженно-деформированного состояния мостовых переездов на водопроводящих каналах [Текст] // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2012. № 4. С. 110-124.

13. Дьяченко В.Б., Бандурин М.А. Мониторинг длительно эксплуатируемых мелиоративных систем с помощью неразрушающих методов диагностики [Текст] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2009. Т. 1. № 21. С. 169-171.

14. Бандурин, М.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния оросительного лотка-оболочки [Электронный ресурс] // «Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета», 2006, № 24. С. 76-81. - Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2006/08/pdf/33.pdf>, (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

15. Ткачев, А.А. Управление водораспределением в оросительных магистральных каналах [Текст] // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова, 2010, № 06. С. 24-27.