

**Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния
Ташлинского дюкера на Право-Егорлыкском канале**

М.А. Бандурин

*ФГБОУ ВПО «Новочеркасская государственная мелиоративная академия»,
г. Новочеркасск*

В настоящее время по результатам визуальной инвентаризации большинство водопроводящих сооружений России находится в состоянии, требующем капитального ремонта. Практика же показывает, что по прошествии этого промежутка времени сооружения продолжают работать, не заменяясь новыми, а иногда даже без основательной реконструкции, необходимо восстановить и реконструировать имеющиеся сооружения на базе появившихся новых, а также ранее используемых надёжных технологий [1].

В качестве объекта исследования рассматривался Ташлинский дюкер Право-Егорлыкского канала. В постановке численного математического эксперимента ставилась задача научным путём определить степень надёжности сооружения за столь долгий срок эксплуатации (более 50 лет), при различных видах дефектов и повреждений.

Ташлинский дюкер Право-Егорлыкского канала расположен на ПК 586+67, служит для перехода канала через пойму р. Ташла. Длина дюкера 2531 м. Трубопровод дюкера комбинированного типа, длина металлической части 1338,25 м, длина ж/б части 1099,56 м. Диаметр трубопровода 2,9 м. Расчётный расход дюкера 19,5 м³/с, при напоре 6,77 м. [2].

В ходе проведения эксперимента была построена твердотельная модель (рисунок 1) напряжённо – деформированного состояния 12 метрового фрагмента Ташлинского дюкера, диаметром 2,9 метра.

Число элементов и число узлов ансамбля соответственно составило 73902 и 53027. Кодирование исходной информации осуществлялось в терминах метода приращений с учётом фрагментального представления металлического дюкера в виде объектов простой геометрической формы - пластин. Спроектированный дюкер выполнен из металла марки - толщиной 10 мм.

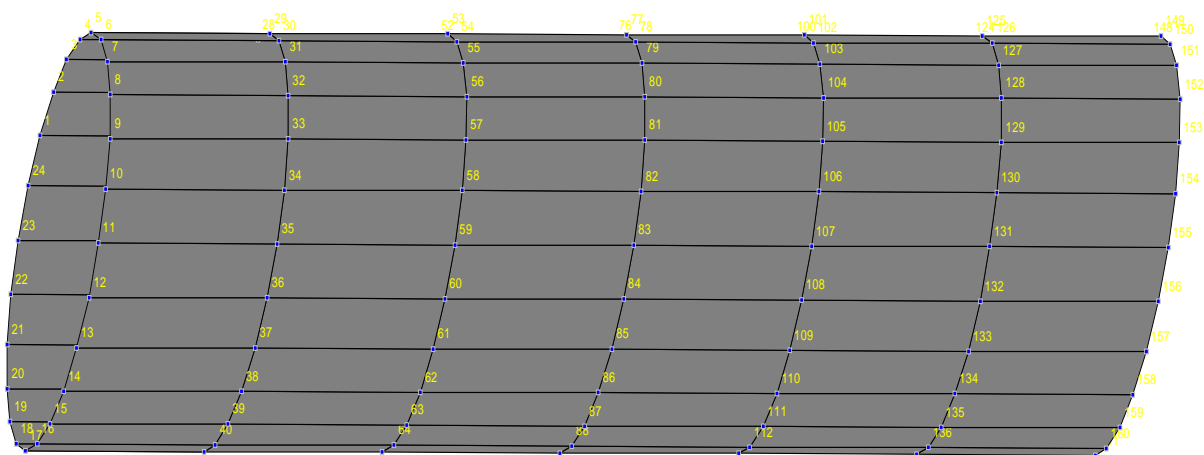


Рисунок 1 - Конечно – элементная модель 12 метрового фрагмента
металлического дюкера

В постановке численного расчёта металлического дюкера без характерных дефектов преследовалась цель установления адекватности твердотельной модели

напряжён – деформированного состояния 12 метрового фрагмента при максимальном напоре с существующими натурными испытаниями [3].

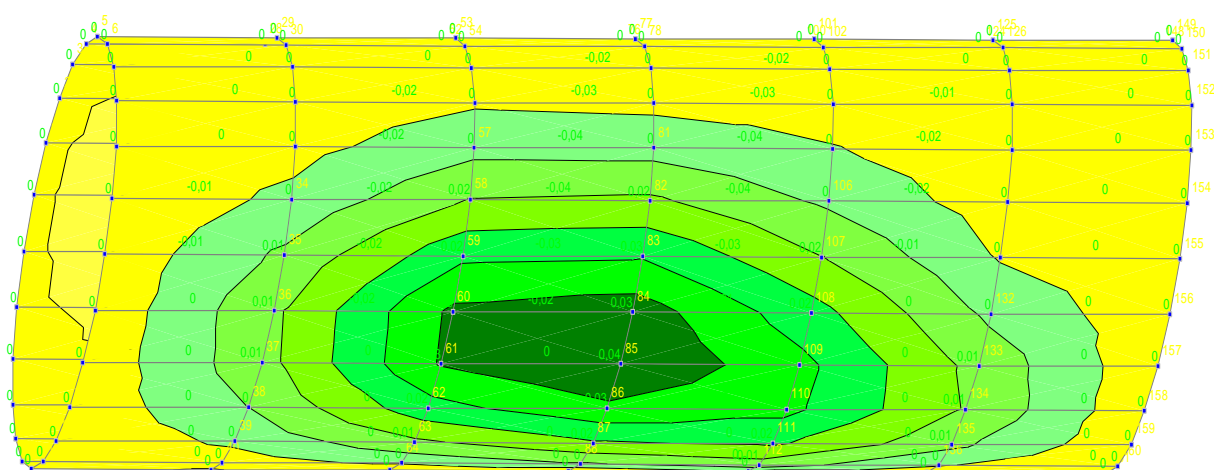


Рисунок 2 - Эпюра перемещений по горизонтали

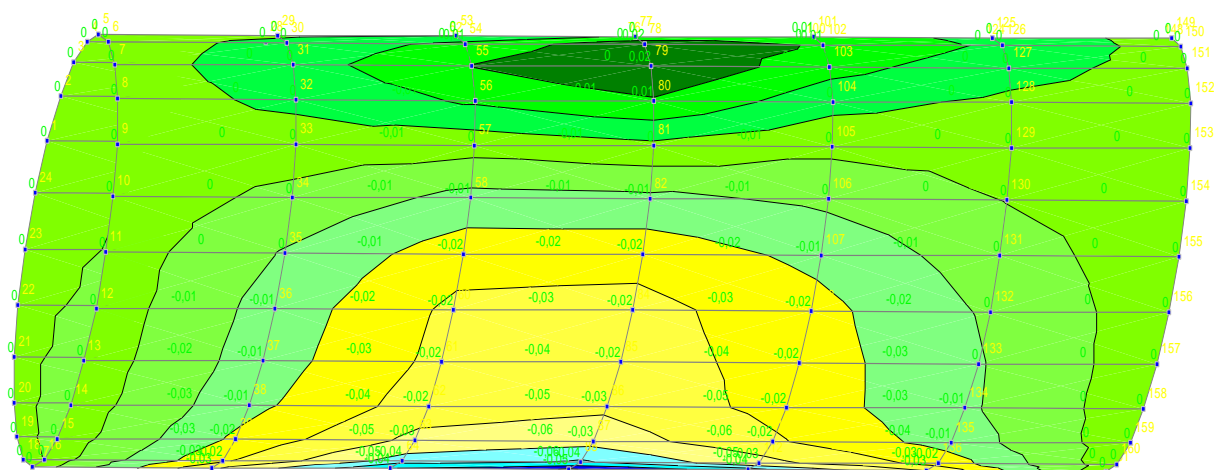


Рисунок 3 - Эпюра перемещений по вертикали

При проведении натурального эксперимента наибольшие значения нормальных напряжений при полном загрузении железобетонного лотка составили $2,74 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$ [112], в численном расчёте моделировании оросительного лоткового канала – $2,28 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$, что составляет разницу менее 10 % и подчеркивает адекватность твердотельной модели напряжён – деформированного состояния 12 метрового фрагмента металлического дюкера[4].

Обработка полученных результатов моделирования показало наличие незначительных перемещений как по горизонтали (рисунок 2) так и по вертикали (рисунок 3) вдоль фрагмента, что свидетельствует о наличии большого запаса прочности конструкции дюкера.

На эпюре суммарных перемещений (рисунок 4) отображено наличие наибольших перемещений в местах образования прогиба дюкера по длине, а также сдавливание боков во внутрь 12 метрового фрагмента[5].

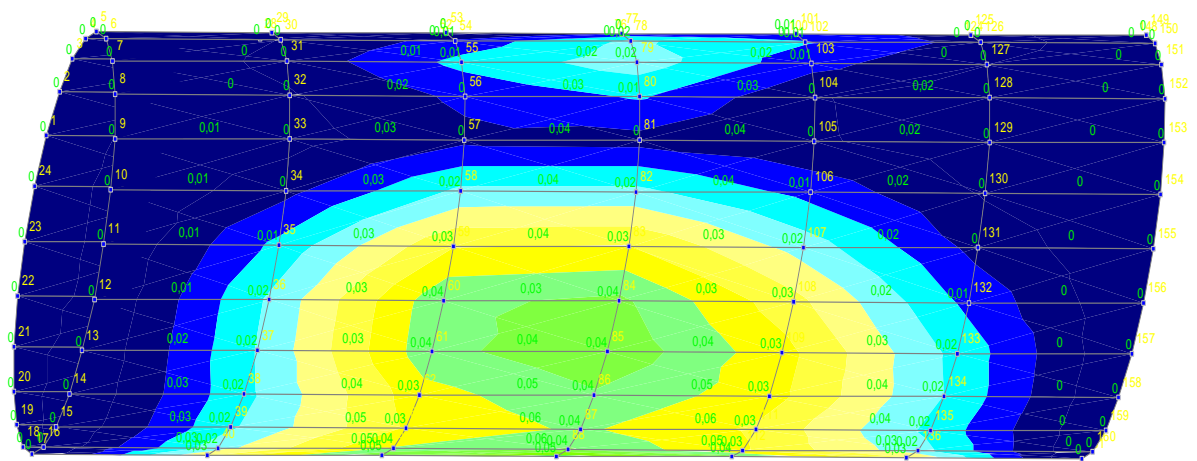


Рисунок 4 - Эпюра суммарных перемещений

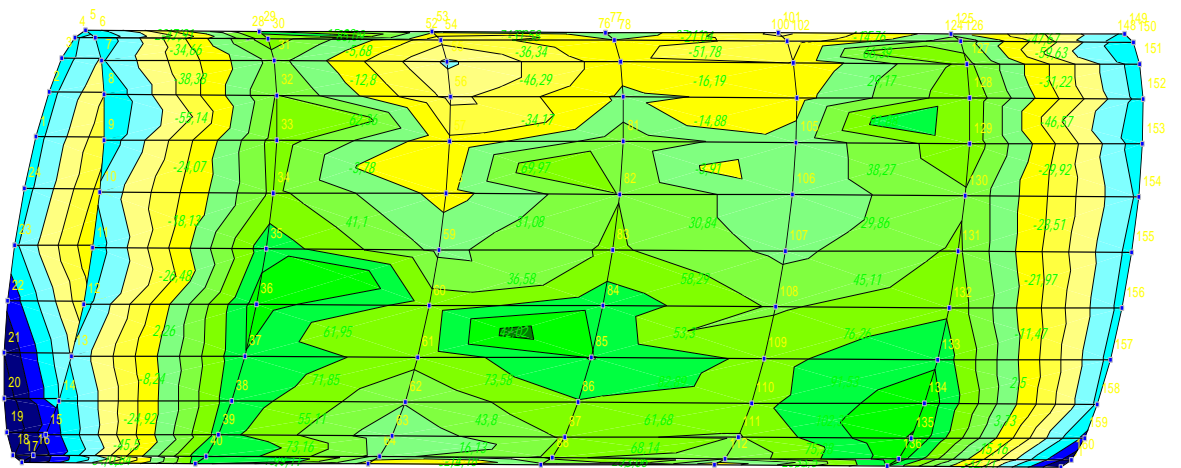


Рисунок 5 - Эпюра эквивалентного напряжения по von Mises по горизонтали вдоль фрагмента

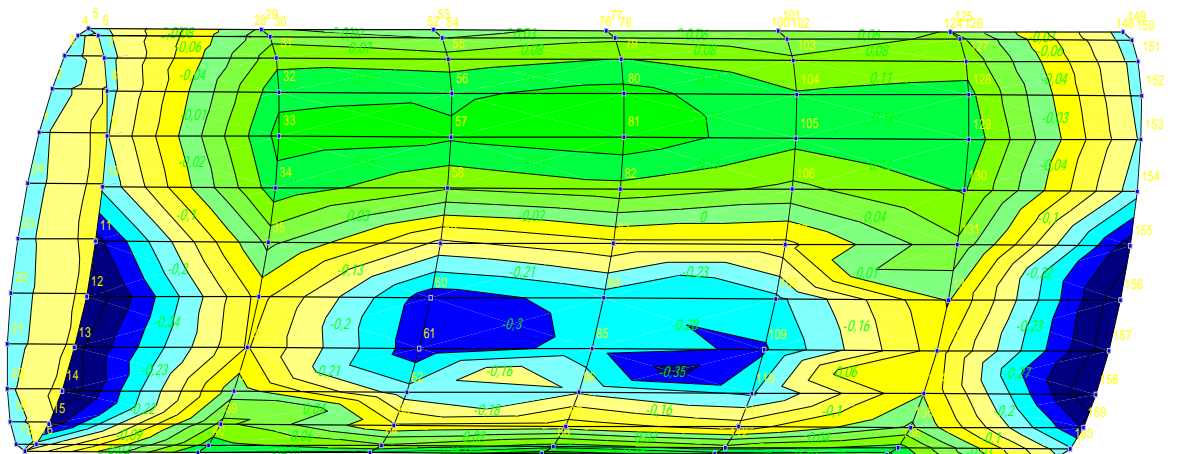


Рисунок 6 - Эпюра эквивалентного напряжения по von Mises по вертикали вдоль фрагмента

Наибольшие напряжения возникают в местах опирания 12 метрового фрагмента на анкерные опоры (рисунки 5, 6), так как в основном данный фрагмент работает как 12 метровая балка, жёстко закреплённая на опорах. По горизонтали возникают напряжения в нижней части опирания, а в напряжениях по вертикали вдоль фрагмента в основном с боков в нижней части опирания и по середине 12 метрового пролёта фрагмента дюкера.



Рисунок 7 - Место образования дефекта снаружи дюкера

При снижении толщины металла пластин 12 метрового фрагмента дюкера, на $1/3$ толщины, значительно возрастают напряжения и как следствие перемещения. Сравнения эпюр эквивалентных напряжений, по von Mises, с запроектированной толщиной (рисунок 6) и эпюр с потерей толщины на $1/3$ вследствие коррозионных процессов, за период длительной эксплуатации дюкера показало возникновение значительных напряжений по периметру, особенно можно выделить зону от 2 до 3 метров от края 12 метрового фрагмента. Данная особенность моделирования подтверждается визуальными наблюдениями дефектов и повреждений различных длительно эксплуатируемых дюкеров (рисунки 7), а именно в этой зоне происходит образование дефектов ведущих к разрушению металлической трубы дюкера. Из обработки полученных данных установлено, что наиболее опасным является снижение фактической толщины металла дюкера не более на $1/3$ от проектной, которое ведёт к выходу из строя отдельного 12 метрового фрагмента сооружения. При незначительных потерях толщины металла на эпюрах перемещений характерно отражаются допустимые значения. Данная проблема подтверждена нормативными документами [6, 7, 8]. Происходит в основном образование дефектов, ведущее к нарушению нормального функционирования водопроводящего дюкера. Возникает интенсивная утечка воды, что способствует ускоренному разрушению данного участка[9].

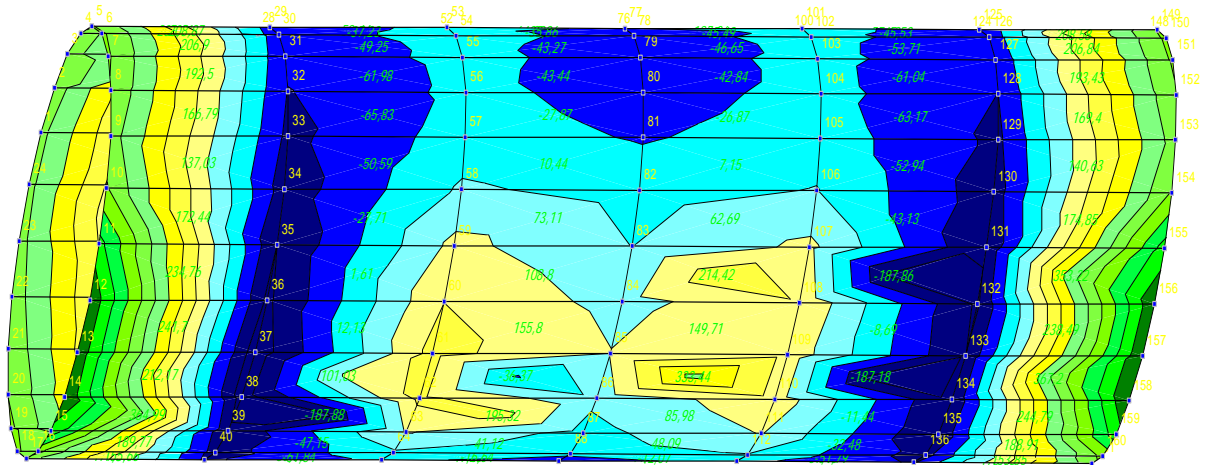


Рисунок 8 - Эпюра избыточных эквивалентных напряжений по von Mises

При моделировании различных дефектов небольших по размеру от 5 мм до 15 мм в диаметре, возникают избыточные эквивалентные напряжения (рисунок 8) [10] вокруг них, что не оказывает существенного влияния на работу всего 12 метрового фрагмента дюкера. При своевременном ремонте данных дефектов можно восстановить работоспособность дюкера, ликвидировать протечку воды.

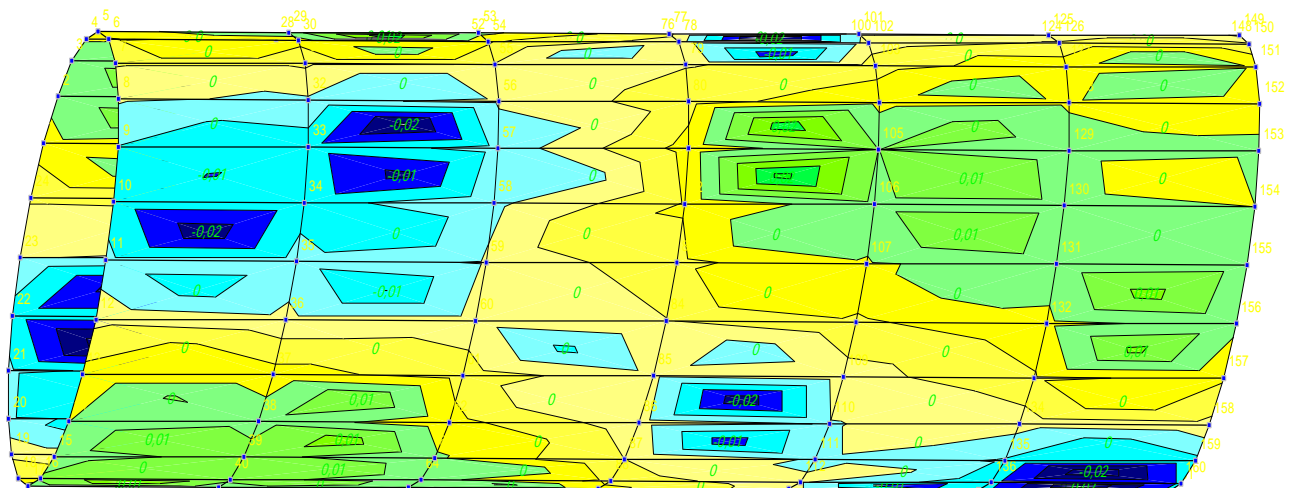


Рисунок 9 - Эпюра избыточных эквивалентных напряжений по von Mises в местах образования дефектов

В результате проведенных численных экспериментов были выделены зоны дюкера, которые могут содержать однотипные виды характерных повреждений, что позволяет упорядочить процесс прокладывания профилей георадарного зондирования и определения точек, в которых необходимо производить измерения толщины металла при проведении натурных обследований.

Получены эмпирические зависимости:

Группа 1 без дефектов $G_{V\sigma} = 0,000141a^2 + 0,0131a + 3,385; R^2 = 0,97; \quad (1)$

Группа 2 первый пролёт с уменьшением толщины $G_{V\sigma} = -0,3074a^2 + 38,125a - 218,7; R^2 = 0,98; \quad (2)$

Группа 2 второй пролёт с уменьшением толщины $G_{V\sigma} = -0,657a^2 + 41,565a - 559,8; R^2 = 0,95; \quad (3)$

Группа 2 третий пролёт с уменьшением толщины

$$G_{VЭ} = -0,085a^2 + 16,351a - 238,1; R^2 = 0,94; \quad (4)$$

Литература:

1. Бандурин М.А. Обследование состояния оросительных лотковых каналов Азовской оросительной системы неразрушающими методами / Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета. 2006. № 24. С. 72-76.
2. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Особенности применения моделирования аварийных мостовых переездов через водопроводящие каналы при проведении эксплуатационного мониторинга / Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2012. № 5. С. 82-86.
3. Бандурин М.А. Особенности технической диагностики длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений / Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. - 2005.-прилож. № 1 С. 141-147.
4. Бандурин М.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния оросительного лотка-оболочки / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2006. № 24. С. 76-81.
5. Бузало Н.А., Гайджуров П.П., Кожихов А.Г. Исследования сжатых перфорированных стоек и совершенствование их конструктивной формы / Инженерный вестник Дона 2009 № 2. С. 10-11.
6. Бандурин М.А. Особенности технической диагностики длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений / Инженерный вестник Дона 2012 № 2.
7. Волосухин Я.В., Бандурин М.А. Проведение эксплуатационного мониторинга с применением неразрушающих методов контроля и автоматизация моделирования технического состояния гидротехнических сооружений / Мониторинг. Наука и безопасность. 2011. № 3. С. 88-93.
8. Волосухин Я.В., Бандурин М.А. Вопросы моделирования технического состояния водопроводящих каналов при проведении эксплуатационного мониторинга / Мониторинг. Наука и безопасность. 2012. № 1. С. 70-74.
9. Волосухин Я.В., Бандурин М.А. Применение неразрушающих методов при проведении эксплуатационного мониторинга технического состояния каналов Обводнительно- оросительных систем / Мониторинг. Наука и безопасность. 2012. № 2. С. 102-106.
10. Тымчук Д.А., Свечкарев В.П. Программный комплекс информационно-аналитической поддержки проектного управления / Инженерный вестник Дона 2008 Т. 6 № 4. С. 29-31.