

Т.К. КСЕНОФОНТОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАСТРУБНЫХ ТРУБ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ВНЕШНЮЮ НАГРУЗКУ

Железобетонные трубы водохозяйственного назначения широко распространены в гидротехническом и гидроэнергетическом строительстве. Ввиду этого вопросы их проектирования имеют важное значение. В настоящее время железобетонные трубопроводы как монолитные, так и сборные рассчитываются, как правило, путем рассмотрения кольца трубы единичной ширины в условиях плоско-деформированного состояния под действием внешней нагрузки от грунта, гидростатического и напорного давления воды, а также собственного веса. При этом для трубопроводов, состоящих из звеньев сборных труб, при расчете не учитываются особенности геометрических характеристик раструбов. Ввиду этого расчетные модели таких труб требуют рассмотрения в пространственной постановке с использованием программных комплексов. Наличие раструба с переменными геометрическими характеристиками значительно усложняет расчетную модель. Поэтому предварительно перед расчетом желательна ее верификация. Целью исследований было создание расчетной модели низконапорных и безнапорных железобетонных труб с раструбом, а также разработка моделирования натуральных испытаний этих труб на внешнюю нагрузку в соответствии с ГОСТ 6482-2011. Методом исследований являлось моделирование натуральных испытаний железобетонных раструбных труб на ПК «ЛИРА-САПР 2019» с учетом физической нелинейности работы материалов. В результате было получено хорошее совпадение расчета модели раструбных труб на ПК «ЛИРА-САПР 2019» с результатами натуральных экспериментальных исследований.

Железобетонные трубы водохозяйственного назначения, натурные испытания, расчетная модель трубы, трещиностойкость, прочность сечений.

Введение. Железобетонные трубопроводы находят широкое использование в водохозяйственном строительстве. Их используют в системах водоснабжения и водоотведения [1], в качестве подводящих и отводящих трубопроводов насосных станций и ГЭС [2], дюкеров в случаях пересечения трассы трубопроводов с какими-либо естественными препятствиями или искусственными сооружениями [3]. Ввиду распространенности этих конструкций постоянно повышаются требования к их проектированию.

При расчете железобетонных труб независимо от их конструкции, как правило, исходят из предпосылки, что они работают как плоско-деформированные системы, т.е. считается, что деформации вдоль труб очень малы, поэтому для расчета рассматривается кольцо трубы единичной ширины преимущественно с шириной, равной 1 м [4-6]. Возможно, при определенных обстоятельствах это справедливо для монолитных

трубопроводов или сборных при фальцевых стыках между звеньями, но для раструбных труб, имеющих на одном конце жесткий раструб, это требует экспериментальной и расчетной проверки.

В настоящее время преимущественно все инженерные сооружения проектируются с использованием программных комплексов, основанных на методе конечных элементов (МКЭ). Для этого перед выполнением расчетов создают модель исследуемого сооружения [7]. От правильности разработки расчетной модели конструкции в значительной степени зависят результаты расчетов. В частности, сборные железобетонные трубы, как правило, на одном конце имеют раструб, геометрические характеристики которого отличаются от геометрических характеристик цилиндрической части трубы [8-9]. Поэтому при проектировании трубопроводов из сборных железобетонных труб с раструбами желательна предварительно перед расчетом выполнить тестирование

расчетной модели звена трубы по результатам испытаний труб.

Материалы и методы исследований. Для примера были рассмотрены низконапорные железобетонные трубы диаметром 2000 мм с раструбом, разработанные В/О «Союзводпроект», изготовленные методом центробежного проката. Проектная прочность бетона на сжатие соответствовала классу бетона В45, а на растяжение В_т3,2. Армирование было выполнено двумя арматурными каркасами со спиральной арматурой класса А400 диаметром 8 мм и шагом 60 мм, навитой на продольные стержни из арматурной стали класса А240 диаметром 6 мм [10].

Натурные испытания производились в соответствии с [11] при участии автора статьи на Гниваньском ОЗЖБК в 1979 г. на стенде, разработанном институтом «Индустройпроект» (рис. 1).



Рис. 1. Труба, установленная на стенде, перед испытанием

Испытываемую трубу в пределах цилиндрической части длиной 4200 мм устанавливали на стальную тележку, на которой располагались два деревянных бруса сечением 100×100 мм. Длина трубы вместе с раструбом составляла 5160 мм. Сверху на трубу вдоль образующей цилиндрической части устанавливали такой же брус, как и под трубой. С целью равномерности передачи давления на трубу по брусам размещались полосы листовой резины. Давление на трубу создавалось домкратами гидравлического действия ДГ-100-2 (Г-103), которые поднимали тележку с трубой к верхней неподвижной траверсе стенда. Для синхронизации работы домкраты объединялись патрубком, на котором был установлен манометр.

При подаче давления в систему домкратов и поднятии тележки с трубой к верхней

траверсе за счет массивного раструба тележку относительно горизонтальной плоскости несколько перекашивало. Поэтому вначале давление от верхней траверсы передавалось на втулочный конец цилиндрической части. Как было определено в [10], втулочный конец трубы упирался в верхнюю траверсу при давлении, примерно равном 3,3 МПа, а полностью цилиндрическая часть соприкасалась с верхней траверсой при давлении 8,8 МПа. В ходе испытаний на каждой ступени нагрузки с помощью тензорезисторов с базой 50 мм, установленных на внутренней и наружной поверхности труб, измерялись окружные относительные деформации, а с помощью прогибомеров Н.Н. Максимова измерялись изменения вертикального и горизонтального диаметров. Ширина раскрытия трещин измерялась микроскопом МПБ-2 с ценой деления 0,05 мм.

Нагрузка при испытаниях подавалась ступенями: 0,05 от теоретической разрушающей до теоретической, соответствующей моменту раскрытия трещин на ширину 0,2 мм, и 0,1 от теоретической разрушающей при дальнейшем проведении испытаний. Теоретические значения нагрузок, соответствующие ширине раскрытия трещин 0,2 мм и разрушению труб, определялись на основе расчета кольца шириной 1 м.

Моделирование испытаний производилось с использованием программного комплекса «ЛИРА-САПР 2019» с учетом физической нелинейности работы бетона и арматуры. Вначале создавалась конечно-элементная модель труб с размерами конечных элементов примерно 100×100 мм. Жесткости для конечных элементов оболочки задавались как осредненные величины на основе толщин стенки, полученных замерами, как разность соответствующих наружных и внутренних диаметров. При задании жесткости для раструбной части вначале была попытка отразить резкое изменение толщины в стыковой зоне (рис. 1). Однако при использовании конечных элементов с физической нелинейностью это не удалось сделать, так как произошел сброс геометрических характеристик во всей трубе. Поэтому для трех предпоследних рядов конечных элементов раструбной части, расположенных ближе к торцу раструба, было принято линейное изменение жесткости, а последний ряд имел проектную толщину. На рисунке 2 показана конечно-элементная модель испытанных труб.

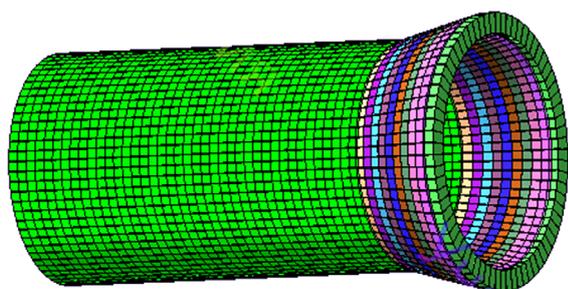


Рис. 2. Конечно-элементная модель опытных труб

При задании жесткости сечений принимались нелинейные законы изменения $\sigma - \varepsilon$ для бетона и арматуры, показанные

на рисунке 3, а также задавалось армирование в соответствии с проектом.

Моделирование опоры трубы на тележку производилось с помощью невесомых стержней большой жесткости, расположенных вертикально в два ряда в узлах конечных элементов оболочки в пределах цилиндрической части в соответствии с расположением деревянных брусков. Сверху в узлах этих стержней устанавливалась связь по оси X , где ось X направлена вдоль испытываемой трубы, и угловая связь относительно вертикальной оси – UZ . Снизу эти стержни имели полные связи: X, Y, Z, UX, UY, UZ .

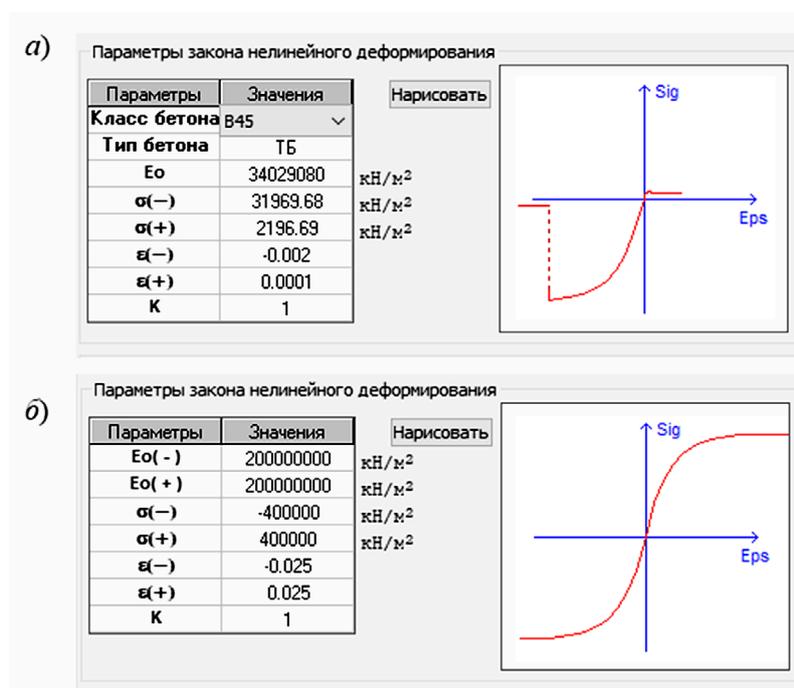


Рис. 3. Законы нелинейного деформирования для бетона (а) и арматуры (б)

Моделирование давления на трубу верхней траверсы производилось также невесомыми стержнями большой жесткости, которые сверху имели связи по всем направлениям – X, Y, Z, UX, UY, UZ , а снизу, где стержни сопрягались с узлами конечных элементов оболочки трубы, имели связи по X, Y, Z и UZ , которые характеризуют шарнирное взаимодействие трубы и верхней траверсы в процессе испытаний. Расчетная схема трубы показана на рисунке 4.

При моделировании работы труб под нагрузкой использовалась система «МОНТАЖ», реализованная в ПК «ЛИРА-САПР 2019». Вначале рассматривалась стадия, когда труба была установлена на тележку, и под действием ее собственного веса формировалось

исходное напряженно-деформированное состояние. В этой стадии верхние вспомогательные стержни, описанные выше, были выключены из расчетной схемы.

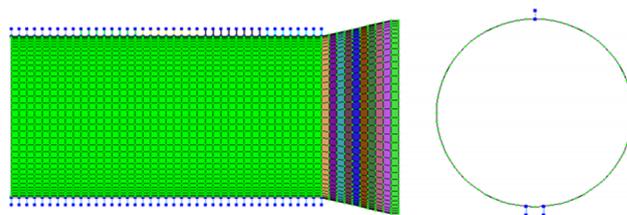


Рис. 4. Расчетная модель испытанных труб

За начальный момент работы трубы принималась нагрузка при давлении домкратов 3,3 МПа, полученная в [10],

при которой происходил отрыв колес тележки со стороны втулки и оказывался нагруженным только втулочный конец. Нагрузка прикладывалась к трубе снизу вдоль цилиндрической части в соответствии с расположением деревянных брусков на тележке. В этой стадии часть верхних вспомогательных стержней включалась в работу, а нижние вспомогательные стержни, исключая три пары у раструба, были выключены из расчетной схемы. Оставленные три пары вспомогательных стержней моделировали то обстоятельство, что колеса тележки у раструба за счет ее перекося еще не оторвались от пола. С увеличением нагрузки постепенно включались верхние вспомогательные стержни. После нагрузки, соответствующей давлению 8,8 МПа, когда происходил отрыв колес тележки у раструба и возникал полный контакт цилиндрической части

и верхней траверсы стенда, все верхние вспомогательные стержни включались в работу, а оставшиеся снизу три пары вспомогательных стержней выключались из расчетной схемы. Далее так труба работала при дальнейшем увеличении нагрузки.

Результаты исследований и их обсуждение. При анализе полученных результатов расчета проводилось сравнение опытных и расчетных величин изменения вертикального и горизонтального диаметров в ходе увеличения нагрузки на трубы. В таблице 1 приведены значения изменения вертикального и горизонтального диаметров втулки трубы и торца раструба по результатам расчета. Знак минус в таблице означает изменение диаметра, связанное с его уменьшением при соответствующей нагрузке, а знак плюс – приращение, связанное с увеличением диаметра.

Таблица 1

Изменение диаметров трубы по результатам расчетов

№ п/п	Нагрузка, кН / м	Втулка		Раструб	
		Вертикальный диаметр Δ_v , мм	Горизонтальный диаметр Δ_h , мм	Вертикальный диаметр Δ_v , мм	Горизонтальный диаметр Δ_h , мм
1	0	0	0	0	0
2	9,3	0,02	-0,02	-0,004	0,004
3	18,6	-0,02	0,02	0	0
4	27,9	-0,06	0,06	0,004	-0,005
5	37,2	-0,11	0,10	0,01	-0,01
6	46,5	-0,22	0,20	-0,04	0,04
7	55,8	-0,30	0,28	-0,05	0,06
8	65,1	-0,39	0,36	-0,07	0,07
9	74,5	-0,48	0,44	-0,09	0,09
10	83,7	-0,60	0,54	-0,10	0,11
11	93,0	-0,74	0,66	-0,06	0,12
12	102,3	-0,90	0,80	-0,14	0,14
13	111,6	-1,12	0,98	-0,17	0,17
14	130,6	-1,75	1,54	-0,24	0,24
15	149,6	-2,75	2,45	-0,37	0,32
16	168,6	-4,24	3,82	-0,57	0,51
17	187,6	-6,20	5,56	-0,79	0,70
18	206,6	-8,62	7,68	-1,01	0,89
19	225,6	-12,86	10,85	-1,21	1,07
20	244,6	-20,66	14,94	-1,2	1,10
21	263,6	-32,69	23,55	-1,14	1,05
22	282,6	-318,86	193,48	-0,83	0,73

Как видно из таблицы 1, абсолютные значения изменений вертикального и горизонтального диаметров близки между собой, но противоположны по знаку. Это наблюдается и для втулки, и для раструба.

Также следует отметить, что в основном деформация трубы происходит за счет цилиндрической части, а раструб деформируется незначительно. Поэтому для расчета раструбных труб использование гипотезы

плоско-деформированного состояния является несправедливым.

Сравнение полученных результатов расчета с опытными данными приведено на рисунке 5. Сопоставление результатов изменений диаметров производилось только для втулочного конца трубы, так как по раструб результаты расчета показывают очень сильное расхождение с результатами экспериментов. На рисунке 5 треугольниками показаны расчетные значения уменьшения вертикального диаметра втулки, а кружками – расчетные значения увеличения горизонтального диаметра. Из рисунка 5 видно, что результаты расчетов достаточно хорошо согласуются с опытными данными. Некоторое отклонение расчетных величин от экспериментальных можно объяснить также тем, что опытные трубы имели ряд начальных изъянов, таких как: начальные волосяные трещины на некоторых участках, отклонение расположения арматурных каркасов от проектного и др.

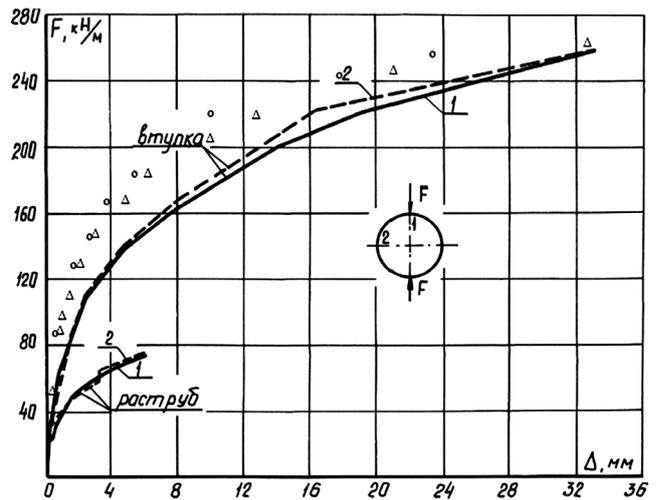


Рис. 5. Сопоставление результатов расчета модели трубы с результатами натуральных испытаний:
 Δ – расчетные значения уменьшения вертикального диаметра втулки трубы;
 o – расчетные значения увеличения горизонтального диаметра втулки трубы

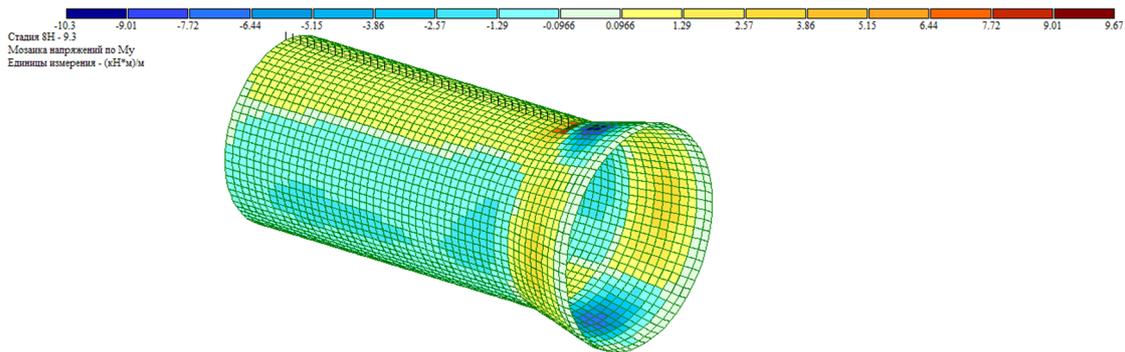


Рис. 6. Изгибающие моменты в трубе M_y , кН*м / м при нагрузке $F = 55,8$ кН/м

В ходе расчетов были получены распределения внутренних усилий в продольном направлении M_x, N_x и в окружном направлении M_y, N_y (рис. 6), зафиксировано появление трещин и их распространение по трубе с увеличением нагрузки (рис. 7), а также области разрушения, в которых арматура достигла напряжений, равных пределу текучести, и сечений, в которых образовались сквозные трещины.

Как показали расчеты, первые трещины появились на внутренней поверхности шельги трубы в области сопряжения цилиндрической части с раструбом при нагрузке $F = 55,8$ кН/м. Это хорошо согласуется с опытными данными, приведенными на графике рисунка 5, на котором видно, что нарушение линейной работы раструба, которое характеризуется изломом в перемещениях диаметров, произошло

примерно при такой же нагрузке. Сечение, в котором образовались первые трещины, обусловлено возникающими в нем большими внутренними усилиями, как это следует из рисунка 6. Трещины в цилиндрической части трубы, согласно расчету, появились вначале в ее лотке при нагрузке $F = 74,5$ кН/м. На графике изменения диаметров втулки трубы (рис. 5) примерно при такой же нагрузке имеется излом, характеризующий нарушение ее линейной работы в связи с образованием трещин. Трещины на наружной поверхности втулочного конца по расчету возникли при нагрузке $F = 102,3$ кН/м, что близко к нагрузке в опыте, при которой произошел дальнейший излом графика изменения диаметров. При увеличении нагрузки трещины возникли вдоль всей шельги и всего лотка внутри трубы, а также

снаружи (рис. 7). Картина расположения трещин на трубе хорошо согласуется с экспериментом (рис. 8).

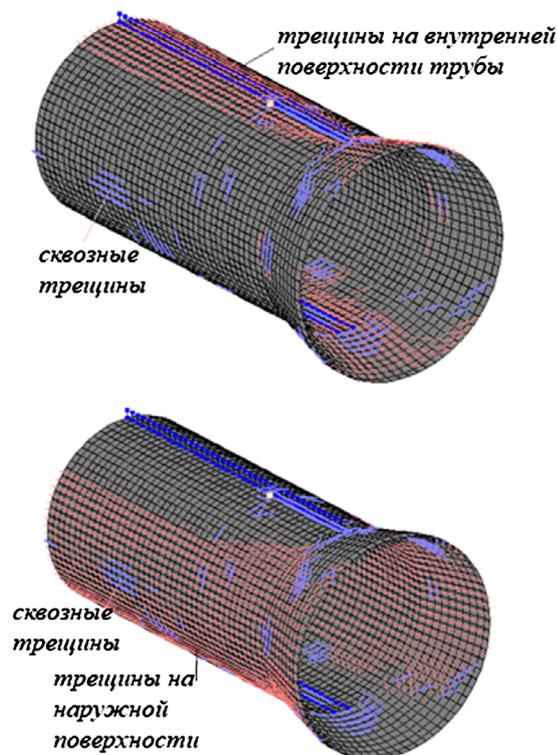


Рис. 7. Распределение трещин в трубе по расчету при нагрузке $F = 244,6$ кН/м

Разрушение сечений трубы, согласно расчету, началось с образования сквозной кольцевой трещины в шельге цилиндрической части в месте ее сопряжения с раструбом при нагрузке $F = 102,3$ кН/м. При нагрузке $F = 130,6$ кН/м кольцевые сквозные трещины возникли в лотке раструба, а также отдельные кольцевые трещины примерно по центру тяжести трубы. Аналогичная кольцевая трещина, расположенная близко к центру тяжести, была зафиксирована в опыте (рис. 8).

Разрушение сечений, связанное с достижением напряжений в арматуре предела текучести, в расчете было получено при нагрузке $F = 206,6$ кН/м в шельге и лотке раструба (рис. 9). С увеличением нагрузки при $F = 225,6$ кН/м в лотке цилиндрической части появилась зона с текучестью арматуры. Как видно из рисунка 5, график опытных деформаций диаметров втулочного конца трубы при этой нагрузке становится почти горизонтальным. В дальнейшем, в процессе нагружения интенсивно возникают сквозные трещины по боковой поверхности цилиндрической части, а также по всей трубе возникают отдельные зоны, где напряжения достигают предела текучести.



Рис. 8. Трещины на наружной поверхности трубы в опытах

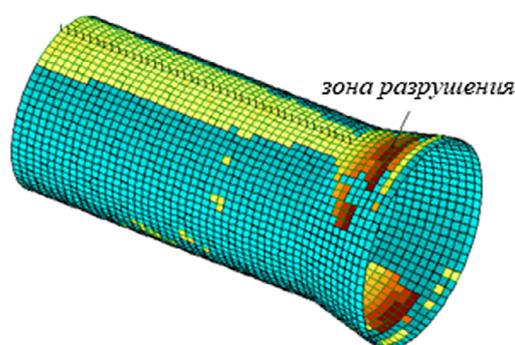


Рис. 9. Зоны разрушения в трубе вследствие достижения напряжений в арматуре предела текучести при $F = 206,6$ кН/м

Выводы

1. Разработана конечно-элементная модель железобетонной трубы с раструбом, результаты расчета которой хорошо согласуются с результатами натурных испытаний.
2. Было выяснено, что для расчета железобетонных раструбных труб некорректно использовать предпосылку об их работе в условиях плоско-деформированного состояния и производить расчет труб как кольца единичной ширины.
3. Важную роль на формирование напряженно-деформированного состояния в трубах в процессе расчета оказывает учет физической нелинейности работы материалов – бетона и арматуры.
4. Для труб водохозяйственного назначения, работающих в условиях нагружения многими разнородными нагрузками, в расчете желательно учитывать влияние монтажа трубопроводов, а также при учете физической нелинейности работы материалов – последовательность приложения этих нагрузок.

Библиографический список

1. Белецкий Б.Ф. Конструкции водопроводно-канализационных сооружений. Справочное пособие. – М.: Стройиздат, 1989. – 448 с.
2. Использование водной энергии. Учеб. пособие для вузов. / Д.С. Щавелев, П.И. Васильев, Ю.С. Васильев и др. / Под ред. Д.С. Щавелева. – Л.: Энергия. Ленингр. отделение, 1976. – 655 с.
3. Каганов Г.М., Румянцев И.С. Гидротехнические сооружения: учебник для техникумов. В 2-х кн. Кн. 2. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 272 с.
4. Берген Р.И. Проектирование лотковых и трубчатых конструкций мелиоративных сооружений: учебник. – М.: Колос, 1995. – 206 с.
5. Ксенофонтова Т.К., Чумичева М.М. Инженерные конструкции. Железобетонные и каменные конструкции: учебник под общ. ред. Т.К. Ксенофонтовой. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 386 с.
6. СП 13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84, с изменением 1. – М.: ОАО «ЦНИИС», 2017. – 344 с.
7. Городецкий А.С., Барабаш М.С., Сидоров В.Н. Компьютерное моделирование в задачах строительной механики: учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 338 с.

8. Тевелев Ю.А., Дмитриев А.Н. Железобетонные конструкции в водохозяйственном строительстве. Проектирование и изготовление. Ч. 2. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2006. – 260 с.

9. Тевелев Ю.А., Дмитриев А.Н. Железобетонные трубы. Проектирование и изготовление: уч. пособие под ред. А.Н. Дмитриева. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 328 с.

10. Берген Р.И., Ксенофонтова Т.К. Влияние раструба на трещиностойкость железобетонных труб. / Сб. научных трудов «Статика и динамика сооружений». – М.: МГМИ, 1990. – С. 5-12.

11. ГОСТ 6482-2011. Трубы железобетонные безнапорные. Технические условия (с Поправкой, Изменением № 1). – М.: Стандартинформ, 2013. – 20 с.

Материал поступил в редакцию 31.01.2020 г.

Сведения об авторе

Ксенофонтова Татьяна Кирилловна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; 127550, г. Москва, Б. Академическая, 44; e-mail: tkxenofontova@rgau-msha.ru, Ksentanya@yandex.ru

T.K. KSENOFONTOVA

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

SIMULATION OF FULL-SCALE TESTS OF REINFORCED CONCRETE BELL PIPES OF WATER MANAGEMENT PURPOSES ON THE EXTERNAL LOAD

Reinforced concrete pipes for water management purposes are widely used in hydraulic engineering and hydropower construction. In view of this, their design problems are of a great importance. Currently, reinforced concrete pipelines, both monolithic and prefabricated, are calculated, as a rule, by considering the ring of a single width pipe in a flat-deformed state under the external load action of the ground, hydrostatic and pressure of water, as well as its own weight. In this case, for pipelines consisting of prefabricated pipes links the calculation does not take into account features of the bell geometric characteristics. In view of this, the rated models of such pipes require their consideration in a spatial setting using software systems. The availability of a bell with variable geometric characteristics significantly complicates the rated model. Therefore, prior to the calculation, it is desirable to verify it. The purpose of the research was to create a calculation model of low-pressure and non-pressure reinforced concrete pipes with a bell, as well as to develop simulating full-scale tests of these pipes for external loading in accordance with GOST 6482-2011. The research methods were simulation of full-scale tests of reinforced concrete bell pipes on the PC «LIRA-CAD2019» taking into account a physical nonlinearity of the materials work. As a result, there was obtained a good coincidence of the model calculating of bell pipes on the PC «LIRA-CAD2019» and the results of full-scale experimental studies.

Reinforced concrete pipes for water management purposes, full-scale tests, pipe rated model, crack resistance, cross-section strength.

References

1. **Beletsky B.F.** Konstruktsii vodoprovodno-kanalizatsionnykh sooruzhenij. Spravochnoe posobie. – M.: Strojizdat, 1989. – 448 s.
2. Ispolzovanie vodnoj energii. Ucheb. posobie dlya vtuzov. / D.S. Shchhavelev, P.I. Vasiljev, Yu.S. Vasiljev i dr. / Pod red. D.S. Shchhaveleva. – L.: Energiya. Leningr. otd-nie, 1976. – 655 s.
3. **Kaganov G.M., Rummyantsev I.S.** Gidrotexnicheskie sooruzheniya: uchebnik dlya tehnikumov. V 2-h kn. Kn.. 2. – M.: Energoatomizdat, 1994. – 272 s.
4. **Bergen R.I.** Proektirovanie lotkovykh i trubchatykh konstruktsij meliorativnykh sooruzhenij: uchebnik. – M.: Kolos, 1995. – 206 s.
5. **Ksenofontova T.K., Chumicheva M.M.** Inzhenernye konstruktsii. Zhelezobetonnye i kamennye konstruktsii: uchebnik pod obshch. red. T.K. Ksenofontovoj. – M.: INFRA-M, 2019. – 386 s.
6. SP 13330.2011. Mosty i truby. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 2.05.03-84, s izmeneniyem 1. – M.: OAO «TSNIIS», 2017. – 344 s.
7. **Gorodetskij A.S., Barabash M.S., Sidorov V.N.** Kompjuternoe modelirovanie v zadachah stroitelnoj mehaniki: uchebnoe posobie. – M.: Izd-vo ASV, 2016. – 338 s.
8. **Tevelev Yu.A., Dmitriev A.N.** Zhelezobetonnye konstruktsii v vodohozyajstvennom

stroitelstve. Proektirovanie i izgotovlenie. Ch. 2. – M.: FGNU «Rosinformagroteh», 2006. – 260 s.

9. **Tevelev Yu.A., Dmitriev A.N.** Zhelezobetonnye truby. Proektirovanie i izgotovlenie: uchebnoe posobie pod red. A.N. Dmitrieva. – M.: izd-vo ASV, 2004. – 328 s.

10. **Bergen R.I., Ksenofontova T.K.** Vliyaniye rastruba na treshchinostojkost zhelezobetonnykh trub. / Sb. nauchnykh trudov «Statika i dinamika sooruzheniy». – M.: MGMI, 1990. – S. 5-12.

11. GOST 6482-2011. Truby zhelezobetonnye beznapornye. Tehnicheskie usloviya (s Popravkoj, Izmeneniyem № 1). – M.: Standartinform, 2013. – 20 s.

The material was received at the editorial office
31.01.2020

Information about the author

Ksenofontova Tatuyana Kirillovna, candidate of technical sciences, associate professor, FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev, Institute of land reclamation, water management and building named after A.N. Kostyakov; 127550, Moscow, B. Akademicheskaya, 44; e-mail: tksenofontova@rgau-msha.ru, Ksentanya@yandex.ru

УДК 502/504:627.8:69.05

DOI 10.26897/1997-6011/2020-2-56-65

О.Н. ЧЕРНЫХ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ СОПРЯЖЕНИЯ БЬЕФОВ И МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ВОДОСБРОСОВ ВЫСОКОНАПОРНОГО ГИДРОУЗЛА

Статья посвящена памяти выдающегося учёного и педагога в области гидротехнических сооружений д.т.н., проф. Н.П. Розанова. Отмечается вклад Н.П. Розанова в развитие мировой гидротехники и его научной школы в нашей стране. Приводятся и обсуждаются результаты модельных исследований водопропускных сооружений Курпсайской ГЭС, выполненные под его руководством и не учтённые при проектировании, строительстве и эксплуатации гидроузла. Указано, что некорректно подобранная конструкция устройств нижнего бьефа значительно усложняет эксплуатацию гидроузла после его строительства и реновации, а также ведёт к созданию возможной аварийной ситуации как на самом гидроузле, так и на целом гидроэнергетическом каскаде, в состав которого он входит. Приведены результаты модельных гидравлических исследований концевых участков водосбросов со свободнопадающими струями высоконапорных гидроузлов. Дана сравнительная оценка применения различных конструкций устройств нижнего бьефа: безэрозионных гасителей на расширяющемся водобойном участке с разным