

ЛИТЕРАТУРА

1. Али Абдель Захир Эль-Сайед Халил. Анкеровка продольной ненапрягаемой арматуры серповидного профиля на свободных опорах балок: Дис... канд. техн. наук: 05.23.01. – Москва. 1992 г. – 175 с.
2. Оатул А. А. Основы теории сцепления арматуры с бетоном // . Сборник трудов №46. «Исследования по бетону и железобетону». - Челябинск, 1967. - С. 6-26.
3. Рекомендации РИЛЕМ/ЕКБ/ФИП РС 6. Испытание на сцепление арматурной стали. Часть 2. Испытания на вытягивание.
4. Стандарт Американский ASTM A-706.
5. Стандарт Британский BS 4449: 1988. Прутки из углеродистой стали для армирования бетона. Технические требования.
6. Холмянский М. М. Контакт арматуры с бетоном. – Москва: Стройиздат, 1981. - 184 с.
7. Rehm G. Uber die Grundlagen des Verbundes zwischen stahl und beton. –Deutscher Ausschuss fur Stahlbeton. H138. 1961.- 169 p.

УДК 691.328-462.001.24

Шепелевич Н.И.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО-НАПРЯЖЕННЫХ ТРУБАХ

Железобетонные предварительно-напряженные трубы применяются для строительства напорных трубопроводов, к которым предъявляются требования 1 категории по трещиностойкости. Методика расчета и проектирования железобетонных предварительно-напряженных труб разработана только для напорного режима эксплуатации [1]. Однако, в ряде случаев, экономически оправдано применение труб данного типа для строительства безнапорных трубопроводов, к которым, в общем случае, предъявляются требования III категории по трещиностойкости [2].

Применение методики [1] для расчета и проектирования безнапорных труб не оправдано, так как приводит к повышенной металлоемкости изделий. Очевидно, что в условиях безнапорного режима эксплуатации трещиностойкость предварительно-напряженных труб можно снизить, как минимум, до II категории, т.е. допустить образование трещин и их раскрытие.

1. Напряженно-деформированное состояние труб

В применяемых в настоящее время методиках расчета безнапорных труб, внешняя нагрузка представляется в виде вертикального p_v и горизонтального p_n давлений, вызывающих деформации изгиба стенки трубы. При этом, максимальные изгибающие моменты возникают в продольных сечениях стенки трубы, расположенных на уровне вертикального (M_1 и M_3) и горизонтального M_2 диаметров, значения которых определяются по формулам

$$M_{1,2,3} = \delta \cdot p_v \cdot r_m^2 \cdot b; \quad (1)$$

где: δ – коэффициент, учитывающий положение сечения и условия опирания трубы;

r_m и b – соответственно, средний радиус трубы и расчетная ширина сечения.

Значения коэффициента δ определяются расчетным путем и как показано в [2] они существенно зависят от условий укладки труб и бокового давления p_n . Расчетная

схема трубы и эпюра изгибающих моментов в продольных сечениях стенки трубы представлены на рис. 1.

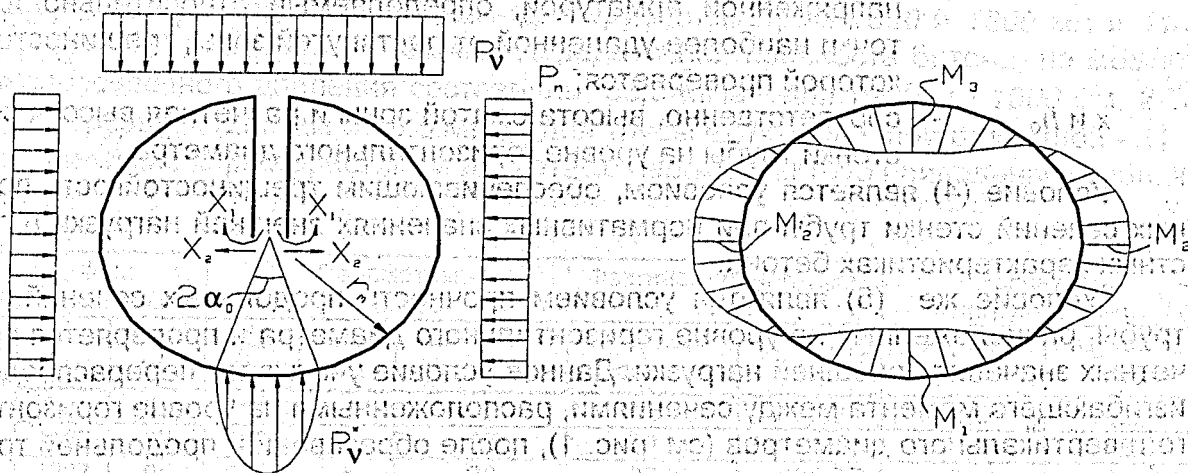


Рис.1. Расчетная схема и эпюра изгибающих моментов в стенке безнапорной трубы

Особенностью конструктивного решения предварительно-напряженных труб является то, что арматурный каркас находится у наружной ее поверхности, вследствие чего сопротивление изгибу сечений расположенных на уровне вертикального диаметра (в лотке и шельге) осуществляется в основном за счет усилия предварительного обжатия. Т.е. после образования трещин в указанных сечениях и дальнейшем росте внешней нагрузки усилие обжатия продолжает действовать. Однако, вследствие образования и раскрытия трещины, изменяются геометрические параметры сечения. В результате происходит перераспределение изгибающих моментов между сечениями, расположенными на уровне вертикального и горизонтального диаметров, что и обеспечивает прочность трубы при дальнейшем росте внешней нагрузки.

В [3] показано, что перераспределение изгибающего момента между указанными сечениями можно описать следующими зависимостями

$$M_{1,pl} = M_1 \cdot \left(1 - \frac{\kappa(M_1 - M_{ser})}{M_1 + M_{ser}} \right); \quad (2)$$

$$M_{2,pl} = M_2 + (M_1 - M_{1,pl}); \quad (3)$$

где: $M_{1,pl}$ и $M_{2,pl}$ — соответственно изгибающие моменты в стенке трубы на уровне вертикального и горизонтального диаметров после перераспределения усилий,

M_1 и M_2 — то же, но без учета перераспределения усилий,

M_{ser} — момент трещиностойкости продольного сечения стенки трубы;

κ — коэффициент перераспределения, ≈ 3 (уточняется экспериментальным путем).

Для железобетонных предварительно-напряженных труб категории П требования по трещиностойкости удовлетворяются при соблюдении следующих условий:

$$M_{1,2,3} \leq M_{ser} = R_{bt,ser} W_{pl} + M_{об}^p; \quad (4)$$

$$M_{2,pl} \leq R_b \times (h_0 - 0,5x); \quad (5)$$

- где: $R_{bt,ser}$ и R_b — соответственно, нормативное и расчетное сопротивление бетона на растяжение и сжатие;
- $M_{об}^A$ — момент от усилия обжатия сечения стенки трубы предварительно-напряженной арматурой, определяемый относительно ядровой точки наиболее удаленной от растянутой зоны, трещиностойкость которой проверяется;
- x и h_0 — соответственно, высота сжатой зоны и расчетная высота сечения стенки трубы на уровне горизонтального диаметра.

Условие (4) является условием, обеспечивающим трещиностойкость продольных сечений стенки трубы при нормативных значениях внешней нагрузки и прочностных характеристиках бетона.

Условие же (5) является условием прочности продольных сечений стенки трубы, расположенных на уровне горизонтального диаметра и проверяется при расчетных значениях внешней нагрузки. Данное условие учитывает перераспределение изгибающего момента между сечениями, расположенными на уровне горизонтального и вертикального диаметров (см. рис. 1), после образования продольной трещины в шельге и лотке трубы.

Таким образом, выполнение условия (4) и (5) вполне достаточно для обеспечения эксплуатационных характеристик железобетонных предварительно-напряженных труб, работающих в безнапорном режиме. Следует указать, что условие (4) аналогично условию, трещиностойкости, применяемому для расчета напорных труб. Однако, в нашем случае, условие (4) должно выполняться при нормативных (а не расчетных, как у напорных) значениях нагрузок и прочностных характеристик материалов. Т.е. предлагаемый метод расчета и проектирования железобетонных безнапорных предварительно-напряженных труб позволит уменьшить их металлоемкость на 25-35 %, в сравнении с расчетом по действующей методике.

Следует указать, что согласно СНиП 2.03.01-85 в железобетонных конструкциях, удовлетворяющих требованиям П категории по трещиностойкости допускается образование и кратковременное раскрытие трещин, тогда как по условию (4) образование трещин не допускаются. Принятие условия (4) обусловлено тем, что пока еще не разработана методика расчета ширины раскрытия трещин для данных конструкций. Использование же традиционных методик расчета невозможно, так как они разработаны для конструкций у которых трещина пересекает рабочую арматуру.

Очевидно, что условие (4) ужесточает традиционные требования П категории по трещиностойкости (СНиП 2.03.01-85), в тоже время при проектировании конструкций, предназначенных для эксплуатации в условиях действия агрессивной среды, данный подход к их расчету вполне оправдан.

2. Экспериментальные исследования прочности и трещиностойкости железобетонных предварительно-напряженных труб

Экспериментальные исследования выполнены на опытных образцах труб диаметром 1000, 1200 и 1400 мм, предназначенных для укладки в насыпи автомобильных дорог высотой до 10м (до верха трубы), разработанных БелНИИС. Расчет и проектирование данных труб выполнен исходя из удовлетворения ими условий (4) и (5).

Опытные образцы труб изготовлены методом виброгидропрессования на заводе РУП "Спецжелезобетон" (пос. Микашевичи). Проектный класс бетона - В 35. В качестве спиральной (рабочей) арматуры использована высокопрочная арматурная проволока класса В-П диаметром 4 мм - труба 1000 мм и 5 мм - трубы 1200 и 1400 мм. Предварительное напряжение в спиральной арматуре ($\sigma_0 = 0,9 \cdot R_{s,ser}$) создавалось действием прессующего давления под резиновым чехлом сердечника трубы и

контролировалось с помощью манометра и по величине раздвижки разъемов формы.

Прочность бетона на сжатие, определенная по контрольным кубам, на момент испытания труб составила: 57,3 МПа - для труб диаметром 1000 и 1200 мм и 41,5 МПа - для трубы диаметром 1400 мм. Передаточная прочность бетона, на момент снятия опрессовочного давления составляла 33,5 МПа - для трубы \varnothing 1000 мм, 27,5 МПа - для трубы \varnothing 1200 мм и 30,5 МПа - для трубы \varnothing 1400 мм, при расчетной - 31,5 МПа. Технические характеристики и расчетные параметры труб приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Внутр. диам. D_i , мм	Факт. размеры		Параметры каркаса			Фактическая нагрузка, кН/м		Расчетная нагрузка, кН/м	
	D_h , мм	h , мм	d_s , мм	\varnothing , мм	шаг спирали, мм	по трещи- нотойк.	по проч- ности	по трещи- нотойк.	по проч- ности
1000	999	75	1116	4	18	118,0	235,0	79,0	142,9
1200	1197	87	1335	5	22	70,0	214,0	94,1	168,3
1400	1397	95	1552	5	20	97,0	225,5	109,1	193,1

Испытания труб опытных образцов труб выполнены линейной нагрузкой P в соответствии с действующей методикой (ГОСТ 6482-88). Нагрузку прикладывали ступенями по 0,1 от контрольной по прочности и после выдержки в течение 10 мин на каждой ступени производили осмотр трубы с целью обнаружения трещин и фиксировали изменения вертикального диаметра (δ) и ширину раскрытия трещин (Δ). Значения (δ) измеряли с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм, а значения (Δ) - с помощью оптического микроскопа МПБ-3 с ценой деления 0,02 мм. Деформирование труб под нагрузкой представлено графическими зависимостями ($P-\delta$) и ($P-\Delta$) рис. 2.

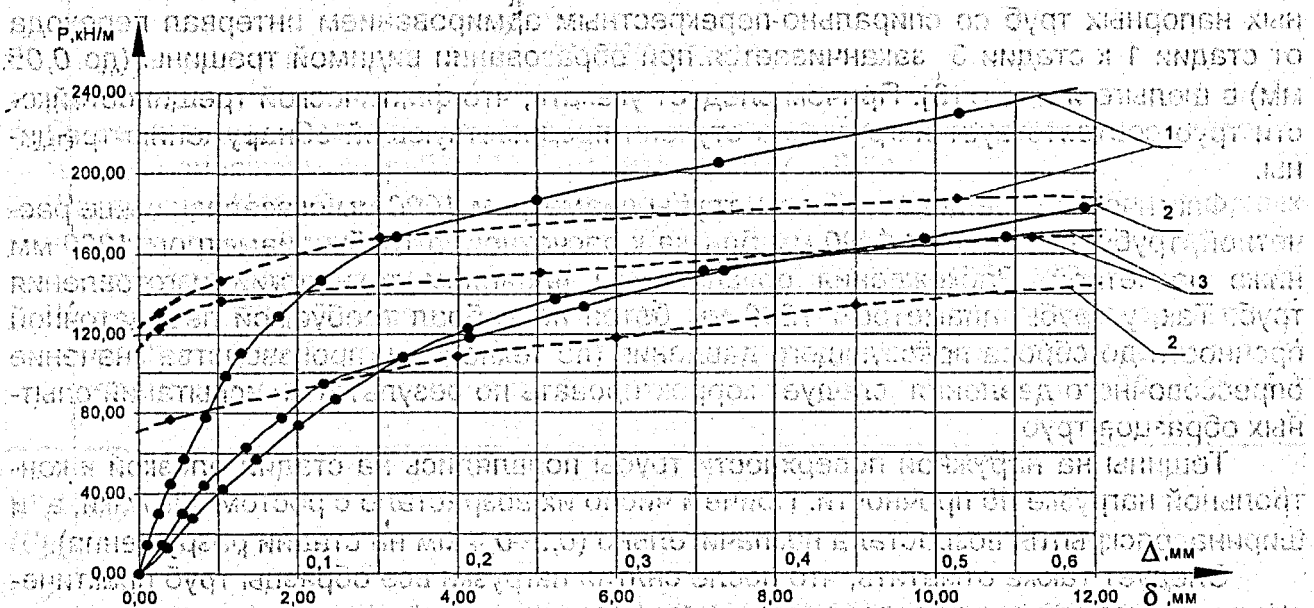


Рис. 2. Графические зависимости $P-\delta$ и $P-\Delta$ при испытании труб, нагружением: 1 - \varnothing 1000 мм; 2 - \varnothing 1200 мм; 3 - \varnothing 1400 мм.

Экспериментально подтверждено, что в шельге и лотке трубы образуется только по одной продольной трещине, направленной от втулки к раструбу. При дальней-

шем росте нагрузки ширина раскрытия трещин и их глубина увеличивались практически линейно за исключением стадий близких к разрушению (на графиках не представлены). Максимальной несущей способности труб (принятой условно за разрушение) соответствовала ступень нагружения, при которой началось быстрое увеличение ширины раскрытия трещины (св. 2...3 мм) и соответствующее изменение вертикального и горизонтального диаметров труб при незначительном увеличении нагрузки.

Как видно из графиков, в характере деформирования труб под нагрузкой можно выделить три стадии: 1 - до образования трещины в шельге или лотке трубы; 2 - от образования трещины до ширины ее раскрытия 0,2 мм; 3 - при ширине раскрытия трещин от 0,2 до 0,6...0,8 мм. Стадия близкая к разрушению на графиках не представлена, в связи с резким изменением характера деформирования образцов под нагрузкой.

На 1 и 3 стадиях деформирование образцов труб имеет практически линейный характер и различаются лишь скоростью изменения исследуемых параметров. Стадия 2 представляет собой плавный переход от стадии 1 к стадии 3. Причем интервал этого перехода (достаточно большой) на наш взгляд обусловлен тем, что испытывались раструбные трубы длиной 5 м, в которых имеются определенные различия в напряженно-деформированном состоянии сечений стенки трубы по длине. Продольные трещины становятся сквозными (пересекают всю трубу) когда ширине раскрытия трещины на втулочном участке составляет уже 0,1+0,2 мм, что обусловлено повышенной жесткостью раструбной части трубы и особенностями технологии изготовления труб.

Очевидно, что истинный интервал стадии 2 гораздо короче и находится в пределах от начала процесса микротрещинообразования в растянутой зоне бетона до образования трещины. Так, в экспериментальных исследованиях, выполненных на фрагментах длиной 1,2+1,5 м, вырезанных из цилиндрической части железобетонных напорных труб со спирально-перекрестным армированием интервал перехода от стадии 1 к стадии 3 заканчивается при образовании видимой трещины (до 0,05 мм) в шельге и лотке [3]. Причем следует указать, что фактической трещиностойкости труб соответствует нагрузка на ступени предшествующей обнаружению трещины.

Фактическая трещиностойкость трубы диаметром 1000 мм оказалась выше расчетной, трубы диаметром 1400 мм близка к расчетной, а трубы диаметром 1200 мм ниже расчетной. Расхождения обусловлены влиянием технологии изготовления труб. Так, у трубы диаметром 1200 мм бетон не набрал требуемой передаточной прочности до сброса прессующего давления (по технологии производства значение опрессовочного давления следует корректировать по результатам испытаний опытных образцов труб).

Трещины на наружной поверхности трубы появлялись на стадии близкой к контрольной нагрузке по прочности. Причем число их возрастало с ростом нагрузки, а и ширина раскрытия возрастала незначительно (0,2+0,4 мм на стадии разрушения).

Следует также отметить, что после снятия нагрузки все образцы труб практически восстановили свои первоначальные геометрические параметры, остаточная ширина раскрытия трещин в лотке и шельге составила 0,05+0,1 мм, а на наружной поверхности трещины полностью закрылись. Тогда как на последней стадии нагружения ширина раскрытия продольных трещин в лотке и шельге составляла 2+3 мм. Данное свойство указанных труб является весьма важным с эксплуатационной точки зрения.

Известно, что максимальная нагрузка на трубы уложенные в землю (исключая трубы мелкого заложения) возникает сразу же после обратной засыпки трубопровода, а затем постепенно снижается, вследствие естественного уплотнения грунта засыпки. Т.е. если даже сразу же после укладки трубопровода и образуются трещины в лотке и шельге, то к моменту ввода его в эксплуатацию можно предположить, что они либо полностью закроются, либо ширина их раскрытия останется минимальной (до 0,05 мм).

Необходимо отметить, что традиционные железобетонные безнапорные трубы (не напряженные) имеют невысокие показатели по прочности и трещиностойкости. Так для безнапорной трубы по ГОСТ 6482-88 диаметром 1000 мм 3 группы (максимальной) по несущей способности контрольные нагрузки по прочности и трещиностойкости составляют, соответственно, 92,2 МПа и 50,7 МПа, т.е. почти в два раза ниже чем у исследуемого опытного образца. При этом, при контрольной нагрузке по трещиностойкости допускается образование трещин с шириной раскрытия до 0,2 мм. Следует так же указать, что после образования в них трещин с шириной раскрытия свыше 0,5 мм данные трубы практически не восстанавливаются после снятия нагрузки. При чем трещины на наружной поверхности данных труб образуются на более ранних стадиях (по отношению к контрольной нагрузке по прочности) в сравнении с предварительно-напряженными трубами.

ВЫВОДЫ

1. При нагружении в предварительно-напряженных трубах образуется по одной продольной трещине в сечениях на уровне вертикального диаметра трубы.
2. После образования трещин труба продолжает воспринимать рост внешней нагрузки за счет перераспределения изгибающего момента между сечениями, расположенными на уровне вертикального и горизонтального диаметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по расчету и проектированию железобетонных напорных предварительно-напряженных труб. М., Стройиздат, 1977. - 39 с.
2. Шепелевич Н.И. О выборе эффективных конструктивных решений безнапорных водоводов из сборного железобетона // Эффективные строительные материалы, конструкции и технологии. - Минск, "Технопринт", 2000. - с. 475-480.
3. Шепелевич Н.И. Внутренние усилия в стенке железобетонной предварительно-напряженной трубы при линейном нагружении // П. Белорусский конгресс по теоретической и прикладной механике "Механика - 99". - Минск, 1999. - С. 138-145.

УДК 378.147

Шурин А.Б.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ СО СТЕНАМИ ИЗ ШТУЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

На современном этапе в нашей республике, да и СНГ в целом, складывается новая тенденция. Чтобы предприятие было рентабельным и приносило прибыль, оно должно играть по законам, которые устанавливает рынок. Должна вестись по-