

Здесь L — длина нити, вычисляемая при заданном ее распоре; ΔL — удлинение, уточняемое на каждой итерации.

После определения исходных значений распора H^0 и векторов \bar{y}^0 , $\bar{\cos}\alpha^0$ ($\bar{M}^0 = 0$) решение уточняется путем расчета непосредственно жесткой нити.

ЛИТЕРАТУРА

1. Де Сильва В.Х., Сидорович Е.М. Расчет неполюгих изгибно-жестких нитей переменного сечения с учетом полного выражения кривизны // Изв. вузов. Сер. Стр-во и архитектура. — 1985. — № 9. — С. 122—125.

УДК 627.844

В.И.ИГНАТЮК, И.И.СЕВОСТЬЯНОВА

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ

В гидротехнических сооружениях, сооружениях ГЭС и ГАЭС широко используются сталежелезобетонные напорные трубопроводы большого диаметра [1]. Ниже анализируется конструктивное решение сталежелезобетонного трубопровода и предлагаются рекомендации по его рациональному проектированию.

Рассматривается сталежелезобетонный трубопровод с внутренним радиусом $r = 3,75$ м и толщиной оболочки $h = 0,4$ м, состоящей из внутренней стальной обшивки толщиной $\delta = 10$ мм, двух слоев спирально навиваемой арматуры класса А-III и бетонного заполнения (М300). Внутренняя спираль арматуры навивается непосредственно на стальную обшивку и крепится к ней прерывистым сварным швом. Наружная спираль навивается на специальные продольные армофермы, приваренные к стальной обшивке. Расчетной схемой такой оболочки при определении в ней усилий от внутреннего давления является толстое ($r_{\text{сп}}/h \approx 10$) трехслойное кольцо единичной длины, внутренний слой которого состоит из стальной обшивки и внутренней спирали арматуры, средний слой — бетонный, наружный — также стальной (наружная спираль арматуры).

Задача определения усилий в рассматриваемом кольце является осесимметричной, относится к случаю плоской деформации и решается с использованием решения задачи Ламе [2]. При этом записываются решения Ламе для каждого из слоев кольца, в которых неизвестными являются усилия взаимодействия между слоями. Эти усилия находятся из условия совместной работы слоев [1]. Выражения для окружных σ_{θ} и радиальных σ_r напряжений в трехслойном кольце при действии на него внутреннего давления q можно записать в виде:

для 1-го (внутреннего) слоя

$$\sigma_{\theta 1} = \frac{1}{1 - K_1^2} \left[qK_1^2 \left(1 + \frac{1}{\rho_1^2} \right) - q_{12} \left(1 + \frac{K_1^2}{\rho_1^2} \right) \right]; \quad (1)$$

$$\sigma_{r1} = \frac{1}{1 - K_1^2} \left[q K_1^2 \left(1 - \frac{1}{\bar{\rho}_1^2} \right) - q_{12} \left(1 - \frac{K_1^2}{\bar{\rho}_1^2} \right) \right]; \quad (2)$$

для 2-го (среднего) слоя

$$\sigma_{\theta 2} = \frac{1}{1 - K_2^2} \left[q_{12} K_2^2 \left(1 + \frac{1}{\bar{\rho}_2^2} \right) - q_{23} \left(1 + \frac{K_2^2}{\bar{\rho}_2^2} \right) \right]; \quad (3)$$

$$\sigma_{r2} = \frac{1}{1 - K_2^2} \left[q_{12} K_2^2 \left(1 - \frac{1}{\bar{\rho}_2^2} \right) - q_{23} \left(1 - \frac{K_2^2}{\bar{\rho}_2^2} \right) \right]; \quad (4)$$

для 3-го (наружного) слоя

$$\sigma_{\theta 3} = \frac{1}{1 - K_3^2} q_{23} K_3^2 \left(1 + \frac{1}{\bar{\rho}_3^2} \right); \quad (5)$$

$$\sigma_{r3} = \frac{1}{1 - K_3^2} q_{23} K_3^2 \left(1 - \frac{1}{\bar{\rho}_3^2} \right), \quad (6)$$

где интенсивности реактивных усилий между 1-м и 2-м ($q_{12} = q_{21}$), 2-м и 3-м ($q_{23} = q_{32}$) слоями определяются зависимостями

$$q_{12} = q_{21} = \frac{AB_2}{A_1 B_2 - A_2 B_1} q; \quad q_{23} = q_{32} = \frac{AB_1}{A_1 B_2 - A_2 B_1} q.$$

Здесь через A, A_1, A_2, B_1 и B_2 обозначены соотношения

$$A = \frac{\chi_1}{E_1} K_1^2 (\alpha_1 + \beta_1); \quad A_1 = \frac{\chi_1}{E_1} (\alpha_1 + K_1^2 \beta_1) + \frac{\chi_2}{E_2} (\alpha_2 K_2^2 + \beta_2); \quad (7)$$

$$A_2 = \frac{\chi_2}{E_2} (\alpha_2 + \beta_2); \quad B_1 = K_2^2 A_2; \quad B_2 = \frac{\chi_2}{E_2} (\alpha_2 + K_2^2 \beta_2) + \frac{\chi_3}{E_3} (\alpha_3 K_3^2 + \beta_3).$$

В выражениях (1) – (7) использованы следующие обозначения:

$$\chi_i = \frac{1}{1 - K_i^2}; \quad K_i = \frac{r_i}{R_i}; \quad \bar{\rho}_i = \frac{\rho_i}{R_i};$$

$$\alpha_i = 1 - \nu_i - 2\nu_i^2; \quad \beta_i = 1 + \nu_i,$$

где r_i, R_i и ρ_i – соответственно внутренний и наружный радиусы и радиус

произвольной точки i -го слоя оболочки; ν_i — коэффициент Пуассона i -го слоя оболочки; E_i — модуль упругости i -го рода материала i -го слоя оболочки.

Согласно полученным зависимостям составлена программа для ЕС ЭВМ на языке ФОРТРАН-IV [1]. Выполнено исследование распределения окружных напряжений и усилий в слоях трехслойной оболочки, геометрические и физические параметры которой соответствуют оболочке сталежелезобетонного напорного трубопровода с $r = 3,75$ м, $h = 0,4$ м. Модуль упругости ее крайних слоев равен модулю упругости арматуры — $E_1 = E_2 = E_a = 2 \cdot 10^5$ МПа; коэффициент Пуассона $\nu_1 = \nu_3 = 0,3$. Модуль упругости среднего слоя равен модулю упругости бетона — $E_2 = E_b = 2,6 \cdot 10^4$ МПа; коэффициент Пуассона $\nu_2 = 0,15$. Напряжения и усилия в слоях оболочки определены при действии единичного внутреннего давления ($q = 1$ МПа) и различных толщине внутреннего (t_1) и наружного (t_3) слоев и модулях упругости среднего слоя (его изменение может быть вызвано развитием трещин в бетоне). Одна из полученных зависимостей представлена на рис. 1 (результаты получены при постоянных параметрах $t_1 = 0,014$ м, $h = 0,4$ м, $E_1 = E_3 = 2 \cdot 10^5$ МПа, $\nu_1 = \nu_3 = 0,3$, $\nu_2 = 0,15$).

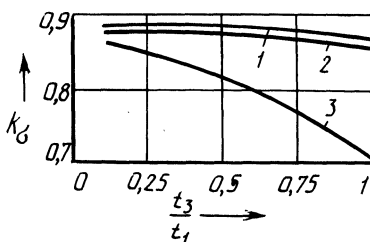


Рис. 1. Зависимость отношения напряжений в крайних слоях трехслойной оболочки от отношения толщин этих слоев

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

Окружные растягивающие напряжения во внутреннем стальном слое выше соответствующих напряжений во внешнем стальном слое оболочки. Соотношение между этими напряжениями $k_\sigma = \sigma_n/\sigma_b$ при модуле упругости среднего бетонного слоя $E_2 = 26\ 000$ МПа (при отсутствии повреждений слоя — трещин) и при снижении его до $E_2 = 2600$ МПа практически не зависит от соотношения толщин наружного и внутреннего слоев оболочки (кривые 1, 2) и составляет приблизительно 0,89. Это свидетельствует о том, что эффективность работы материала наружного стального слоя оболочки на 10...12 % ниже, чем внутреннего.

При достаточно сильном снижении модуля упругости среднего слоя при растяжении (в процессе развития трещин) k_σ также снижается и с уменьшением E_2 до 260 МПа при $t_3/t_1 = 1$ составляет 0,72 (кривая 3).

Окружные усилия, воспринимаемые внутренним и наружным слоями оболочки, прямо пропорциональны толщине этих слоев.

Таким образом, для эффективной работы трехслойной оболочки, основную нагрузку на которую воспринимают крайние слои, при нагружении ее внутренним давлением площадь поперечного сечения внутреннего стального слоя следует принимать больше площади поперечного сечения наружного стального слоя оболочки.

Согласно полученным результатам, окружные растягивающие напряжения

в среднем бетонном слое оболочки существенно выше расчетного сопротивления бетона на растяжение. Следовательно, в процессе эксплуатации в бетонном слое появятся трещины и существенно снизится жесткость бетонного слоя. Вследствие развития трещин бетонный слой оболочки на внутреннее давление работать не будет и окружающие растягивающие усилия полностью воспринимаются крайними стальными слоями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Усовершенствовать конструкции сталежелезобетонного напорного трубопровода Кайшядорской ГАЭС с учетом резервов работы материалов: Отчет о НИР (заключит.) / БИСИ. — № ГР 0031525; Инв. № 0287.0027115. — Брест, 1986. — 85 с. 2. Прочность, устойчивость, колебания / Под общ. ред. Н.А.Биргера и Я.Г.Пановко: В 3 т. — М., 1968. — Т. 2. — 463 с.

УДК 624.072:681.3

С.П.ПИСАРИК, В.М.ОВСЯНКО

УЧЕТ ПРОИЗВОЛЬНОЙ МОДЕЛИ УПРУГОГО ОСНОВАНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

При расчете балок и рам со стержнями, имеющими контакт с упругим основанием по всей длине, непрерывные связи между изгибаемым стержнем и основанием часто заменяют дискретными. В данной работе рассмотрен нестандартный подход к расчету стержневых систем на упругом основании при произвольных толщине слоя и модели основания по дискретной схеме.

Наиболее полно отражают действительные характеристики основания модели упругого основания в виде упругого полупространства, упругой полуплоскости или дискретной модели. Независимо от типа рассмотренных моделей основания характер его деформации (рис. 1, а) не соответствует гипотезе Винклера. Сосредоточенная сила распределяется на участке l в виде равномерно распределенной нагрузки. Для решения задачи в первую очередь устанавливается зависимость между осадками точек поверхности основания y_x и нагрузкой $P = 1$. В зависимости от типа модели основания и толщины его слоя (конечной или бесконечной) значения ординат y_x для одних и тех же точек будут разными. Осадку y_x от единичной силы будем трактовать как коэффициент податливости упругого основания, обратный коэффициенту жесткости ($y_x = c_x^{-1}$). Коэффициенты податливости c_x определяются по известным формулам в зависимости от модели основания и его толщины.

Разработанный метод ориентирован как на применение электронных моделей, так и ЭЦВМ. Его идею рассмотрим на примере расчета балки по схеме Б.Н.Жемочкина (число участков и их длины могут быть различными). На рис. 1, б показаны эпюры осадок от единичных реакций упругого основания. Сумма ординат осадок под каждой опорой дает осадку соответствующей дискретной опоры: