

УДК 624.012

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО
НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНО
НАПРЯЖЕННОЙ АРМАТУРОЙ В ПОСТРОЕЧНЫХ
УСЛОВИЯХ ПО ЕВРОКОД 2

ИЛЬЕНКОВ О.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Расчет потерь предварительного напряжения при натяжении
напрягаемой арматуры на бетон

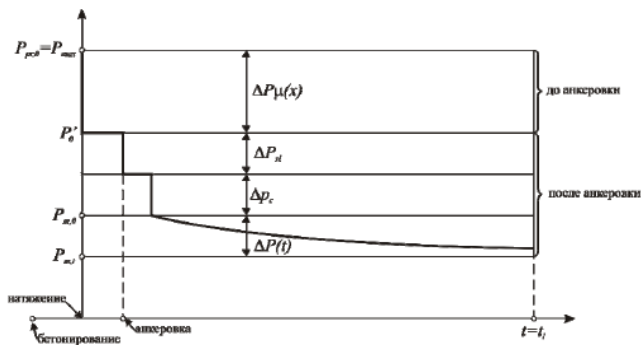


Рисунок 1. Потери предварительного напряжения при натяжении арматуры на бетон

При расчете конструкций из тяжелого бетона с напрягаемой арматурой с натяжением на бетон следует учитывать следующие потери:

1. Технологические потери (первые потери в момент времени $t = t_0$):

а) потери, вызванные трением арматуры о стенки каналов или о поверхность бетона, $\Delta P_{\mu(x)}$;

б) потери, вызванные проскальзыванием напрягаемой арматуры в анкерных устройствах, ΔP_{sl} ;

в) потери, вызванные упругой деформацией бетона, ΔP_c (только для случая последовательного отпуска стержней);

2. Эксплуатационные (вторые потери в момент времени $t > t_0$):

а) потери напряжений от усадки, ползучести бетона и релаксации напряжений в арматуре, $\Delta P_{t(t)}$.

Расчет потерь предварительного напряжения при натяжении напрягаемой арматуры на упоры

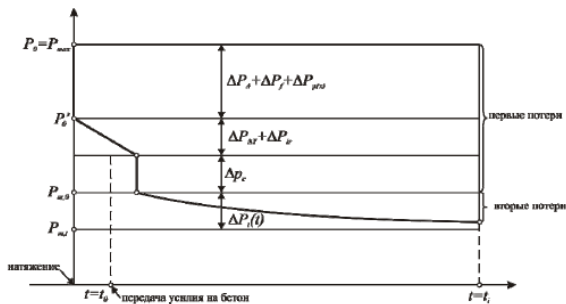


Рисунок 2. Потери предварительного напряжения при натяжении арматуры на упоры

При расчете предварительно напряженных конструкций (с натяжением напрягаемой арматуры на упоры) следует учитывать следующие потери:

3. Технологические потери (первые потери в момент времени $t = t_0$):

а) потери от деформации анкеров, расположенных в зоне натяжных устройств, ΔP_A ;

б) потери, вызванные деформациями стальной формы при закреплении на ее упорах напрягаемой арматуры, ΔP_f ;

в) потери, вызванные трением напрягаемой арматуры об огибающие приспособления, $\Delta P_{\mu(x),0}$;

г) потери от релаксации напряжений, ΔP_{ir} ;

д) потери от температурного перепада, $\Delta P_{\Delta T}$;

е) потери, вызванные упругой деформацией бетона ΔP_c ;

4. Эксплуатационные (вторые потери в момент времени $t > t_0$):

а) потери от усадки, ползучести бетона и релаксации напряжений в арматуре, $\Delta P_{(t)}$;

б) потери от смятия бетона под витками спиральной арматуры, ΔP_{sp} ;

в) потери от деформаций обжатия стыков между отдельными блоками конструкций, ΔP_{ob} .

Потери, вызванные проскальзыванием напрягаемой арматуры в анкерных устройствах, происходящие на длине зоны проскальзывания x_0 , при натяжении арматуры на бетон следует определять по формуле:

$$\Delta P_{sl} = 2a_p \frac{x_0^{-x}}{x_0^2} E_s A_p,$$

где a_p – величина проскальзывания, определяемая опытным путем для соответствующего типа анкерного устройства;

x – длина участка от натяжного устройства до расчетного сечения.

Длину участка x_0 следует определять по формулам:

Для криволинейных стержней

$$x_0 = \frac{r}{\mu} \ln \frac{1}{1 - \sqrt{\frac{a_p \mu E_s A_p}{r P_{o,sl}}}},$$

где μ – коэффициент трения напрягаемой арматуры о стенки канала,

k – угол отклонения оси трассы напрягаемого стержня на единице длины,

$P_{o,sl}$ – усилие предварительного напряжения с учетом потерь к моменту анкеровки.

Потери, вызванные трением арматуры о стенки каналов или о поверхность бетона конструкции, при натяжении на бетон следует определять по формуле

$$\Delta P_{\mu(x)} = P_0(1 - \exp(-\mu(\theta + kx))),$$

где μ – коэффициент трения,

x – длина участка от натяжного устройства до расчетного сечения,

θ – суммарный угол поворота трассы напрягаемой арматуры,

P_0 – усилие обжатия без учета потерь, передаваемой натяжным устройством.

Потери, вызванные упругой деформацией бетона, следует определять для преднапряженных элементов с натяжением напрягаемой арматуры на упоры. В элементах с натяжением арматуры на бетон этот вид потерь следует учитывать только в случае последовательного отпуска напрягаемых стержней. Значение потерь следует определять по формуле

$$\Delta P_C = \frac{n-1}{2n} \alpha \rho_p (1 + z_{cp}^2 \frac{A_C}{I_C}) P_{0,c},$$

где $\rho_p = \frac{A_p}{A_c}$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

n – количество напрягаемых стержней ,

$P_{0,c}$ – усилие предварительного напряжения с учетом потерь, реализованных к моменту обжатия бетона.

Рассмотрим данные положения на примере монолитной безбалочной плиты перекрытия размером 7×7 м толщиной 200 мм. Примем армирование напрягаемой арматурой: 8 канатов K7Ø15 класса S1400 ($A_p = 1132.8$ мм²). Так как мы будем рассматривать плиту перекрытия толщиной 200 мм, то наиболее рациональной схемой преднапряжения будет без сцепления напрягаемой арматуры с бетоном из-за габаритов данной схемы и низких потерь напряжения на трение, что важно для таких пролетов.

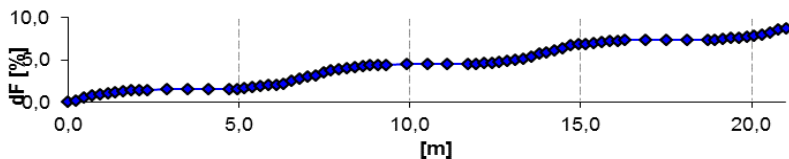
Расчет первых потерь выполнен с учетом требований EN по программе ESOP (SpreadSheet Calculator 2013).

**Потери от трения канатов о стенки каналобразователей
или пластиковой оболочки**

$\Sigma\theta=$ 1.418 [рад] сумма углов на всю длину троса
 $L_0=$ 21.02 [m] длина канала троса

X	Θ_{Σ}	P_x	ΔP_x	ΔP_x
[m]	[рад]	[кН]	[кН]	[%]
0.0	0.000	1189.4	0.0	0.0
0.9	0.156	1178.0	11.4	1.0
1.8	0.223	1173.0	16.5	1.4
3.5	0.236	1171.5	18.0	1.5
5.2	0.249	1170.0	19.5	1.6
6.1	0.316	1165.0	24.5	2.1
7.0	0.473	1153.8	35.7	3.0
7.9	0.629	1142.7	46.8	3.9
8.8	0.696	1137.8	51.7	4.3
10.5	0.709	1136.3	53.1	4.5
12.2	0.722	1134.9	54.6	4.6
13.1	0.789	1130.0	59.4	5.0
14.0	0.945	1119.1	70.3	5.9
14.9	1.102	1108.4	81.1	6.8
15.8	1.169	1103.6	85.8	7.2
17.5	1.181	1102.2	87.2	7.3
19.2	1.194	1100.8	88.6	7.4
20.1	1.261	1096.1	93.3	7.8
21.0	1.418	1085.6	103.9	8.7

процентальная величина потерь

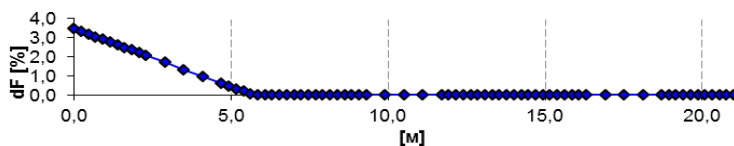


Потери предварительного напряжения за счет проскальзывания канатов в анкере

$x_0 = 5.7$ [м] изменение силы от скольжения

x	P_{0x}	P_x	ΔP_x	ΔP_x
[м]	[кН]	[кН]	[кН]	[%]
0.0	1085.5	1047.8	37.7	3.5
0.9	1075.1	1043.5	31.6	2.9
1.8	1070.5	1044.9	25.5	2.4
3.5	1069.1	1054.5	14.6	1.3
5.2	1067.8	1064.2	3.6	0.3
6.1	1063.2	1063.2	0.0	0.0
7.0	1053.0	1053.0	0.0	0.0
7.9	1042.9	1042.9	0.0	0.0
8.8	1038.4	1038.4	0.0	0.0
10.5	1037.1	1037.1	0.0	0.0
12.2	1035.7	1035.7	0.0	0.0
20.1	1000.4	1000.4	0.0	0.0
21.0	990.8	990.8	0.0	0.0

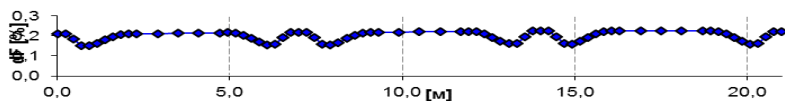
процентальная величина потерь



Потери предварительного напряжения за счет упругого обжатия бетона

x	$\Delta\sigma_c$	P_{0x}	P_x	ΔP_x	ΔP_x
[м]	[МПа]	[кН]	[кН]	[кН]	[%]
0.0	6.0	911.7	909.5	2.2	0.2
0.9	4.3	909.6	908.0	1.6	0.2
1.8	5.9	913.0	910.9	2.2	0.2
3.5	6.1	926.0	923.8	2.2	0.2
5.2	6.1	939.0	936.8	2.2	0.2
6.1	4.4	942.5	940.9	1.6	0.2
7.0	6.2	940.5	938.3	2.3	0.2
7.9	4.4	938.7	937.1	1.6	0.2
8.8	6.1	942.3	940.1	2.2	0.2
10.5	6.3	955.3	953.0	2.3	0.2
12.2	6.3	968.3	966.0	2.3	0.2
13.1	4.6	972.0	970.3	1.7	0.2
14.0	6.4	970.3	968.0	2.3	0.2
19.2	6.3	969.8	967.5	2.3	0.2
20.1	4.6	965.6	964.0	1.7	0.2
21.0	6.3	956.3	954.0	2.3	0.2

процентальная величина потери трения



ЛИТЕРАТУРА

1. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1–1. Общие правила и правила для зданий. Мн.: Стройтехнорм, – 206 с.
2. СТБ ЕН 1990–2007. Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций. Мн.: Стройтехнорм, – 63 с.
3. СТБ ЕН 1991–1–1–2007. Еврокод. Воздействия на несущие конструкции. Часть 1–1. Удельный вес, постоянные и временные нагрузки на здания. Мн.: Стройтехнорм, – 33 с.
4. ТКП ЕН 1991–1–3–2009. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1–3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки Мн.: Стройтехнорм, – 48 с.