

АНАЛИЗ ВЕЛИЧИНЫ СУММАРНЫХ ПОТЕРЬ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ПРИ НАТЯЖЕНИИ АРМАТУРЫ НА БЕТОН

Неведомская И.А. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

У статті виконаний аналіз можливих втрат попереднього напруження прогонових будові мостів, транспортних естакад та шляхопроводів при натягненні арматури на бетон та дані практичні рекомендації щодо прогнозування величин втрат за різних вихідних параметрів.

В случае полностью заданных исходных параметров конструкций пролетных строений: длины пролета, геометрических размеров сечения, количества, размещения, класса, диаметра арматуры, класса и условий твердения бетона, технологии предварительного напряжения, конструкций натяжных устройств и т.д. существующие формулы по расчету потерь предварительного напряжения [1] позволяют без особых трудностей рассчитать все потери и определить усилие предварительного напряжения σ_{sp} , которое фигурирует в расчете предварительно напряженных конструкций.

Однако, при проектировании новых конструкций, подборе сечений балок и их систем, как правило, неизвестны все параметры, необходимые для нормативного расчета потерь предварительного напряжения, и актуальной становится задача первоначального прогнозирования возможных потерь предварительного напряжения.

В качестве предварительно напряженной арматуры пролетных строений может быть использована высокопрочная проволока гладкого В-II и периодического профиля Вр-II, канаты К-7 и К-19, высокопрочная арматура АVI, АVII.

Эксплуатируемые и строящиеся в настоящее время в Украине пролетные строения по конструктивному исполнению делятся на бездиафрагмовые, диафрагмовые и плитные. При этом малые и средние мосты (длина пролета до 40 м) составляют 94%. В 85% из них применялись типовые конструкции.

Принимая во внимание опыт проектирования пролетных строений, а также нормативные требования к ним [1, 2] можно проанализировать возможные потери предварительного напряжения при различных вариантах его реализации.

Натяжение арматуры на бетон, как правило, применяется при длине конструкции более 30м, однако такой способ натяжения применяют и для длин пролетов от 15 м и более. При этом возникают первые потери - от деформации анкеров σ_3 , от трения арматуры о стенки каналов σ_4 , и вторые потери - от релаксации напряжений в арматуре σ_7 , от усадки бетона σ_8 , ползучести бетона σ_9 , смятия бетона под витками спиральной арматуры σ_{10} и от деформации стыков между блоками σ_{11} .

Значения предварительного напряжения в напрягаемой арматуре при натяжении на бетон могут находиться в пределах $0,35R_{s,ser} \dots 0,85R_{s,ser}$.

Потери предварительного напряжения определяются в соответствии с прил. 11 [1].

Потери от деформации анкеров σ_3 зависят от длины натягиваемого стержня, конструкции упоров и класса арматуры. Для балок пролетом 15...63 м для высокопрочной проволочной арматуры $\sigma_3 = 23 \dots 96$ МПа, что составляет $0,015 \dots 0,094$. Для стержневой арматуры потери от деформации анкеров для арматуры классов АV – $0,029 \dots 0,122R_{s,ser}$, АVI – $0,023 \dots 0,098R_{s,ser}$, АVII – $0,020 \dots 0,082R_{s,ser}$, для канатов К-7, К-19 $\sigma_3 = 0,017 \dots 0,091R_{s,ser}$. Изменение линейно и зависит от длины натягиваемого стержня.

Потери от трения арматуры о стенки каналов или о поверхность бетона конструкции σ_4 зависят от значения предварительного напряжения без потерь σ_{sp} , суммарного угла поворота оси арматуры θ , типа поверхности каналов и вида арматуры. Для прямолинейных стержней (при $\theta = 0$) $\sigma_4 = 0$. При суммарных углах поворота оси арматуры до 10° (0,174 рад) потери σ_4 для проволочной арматуры и канатов составляют $0,037 \dots 0,117R_{s,ser}$; для стержневой арматуры – $0,042 \dots 0,130R_{s,ser}$.

Таким образом, суммарные первые потери предварительного напряжения арматуры составят: для прямолинейных пучков высокопрочной проволоки $0,015 \dots 0,094R_{s,ser}$, для отогнутых стержней при θ до 10° $\sigma_{s,1} = 0,064 \dots 0,183R_{s,ser}$. Для стержневой арматуры класса АV первые потери составят $0,083 \dots 0,225R_{s,ser}$, АVI – $0,077 \dots 0,200R_{s,ser}$, АVII – $0,073 \dots 0,184R_{s,ser}$. Для канатов К-7, К-19 $\sigma_{s,1} = 0,065 \dots 0,180R_{s,ser}$.

Потери от релаксации напряжений σ_7 в высокопрочной проволочной арматуре и канатах К-7, К-19 зависят от уровня предварительного напряжения и составляют от 0 до $0,074R_{s,ser}$ при изменении отношения $\sigma_p/R_{s,ser} = 0,35 \dots 0,85$. При этом для $\sigma_p/R_{s,ser} < 0,5$ $\sigma_7 = 0$. Потери от релаксации в

стержневой арматуре составляют: для арматуры классов AV – $0,01 \dots 0,060R_{s,ser}$, AVI – $0,015 \dots 0,065R_{s,ser}$, AVII – $0,018 \dots 0,068R_{s,ser}$.

Потери от усадки бетона $\sigma_{\text{в}}$ зависят от класса бетона. Для бетона классов B35 и ниже значение потерь принимается равным 30МПа, что составляет для пучков высокопрочной проволоки $0,020 \dots 0,029R_{s,ser}$, для канатов $0,022 \dots 0,028R_{s,ser}$. Для бетона класса B40 потери от усадки бетона равны 35МПа, что для проволочной арматуры составляет $0,024 \dots 0,034R_{s,ser}$, для канатов $0,026 \dots 0,033R_{s,ser}$. Для классов B45 и выше максимальное значение потерь принимают равным 40 МПа. При этом для пучков высокопрочной проволоки $\sigma_{\text{в}} = 0,027 \dots 0,036R_{s,ser}$, для канатов К-7, К-19 $0,029 \dots 0,038R_{s,ser}$. Для стержневой арматуры класса AV потери $\sigma_{\text{в}} = 0,038R_{s,ser}$, $0,045R_{s,ser}$ и $0,051R_{s,ser}$; AVI - $0,031R_{s,ser}$, $0,036R_{s,ser}$, $0,041R_{s,ser}$; AVII - $0,026R_{s,ser}$, $0,030R_{s,ser}$, $0,034R_{s,ser}$ для бетонов классов B35, B40, B45 соответственно.

Потери от ползучести бетона $\sigma_{\text{п}}$ определяются в зависимости от уровня напряжений в бетоне с учетом первых потерь. Для прямолинейных пучков высокопрочной проволоки с учетом потерь соотношение $\sigma_{\text{вп}}/R_{\text{вп}} = 0,85 - 0,094 = 0,756$. Тогда потери $\sigma_{\text{п}}$ составят $0,083 \dots 0,112R_{s,ser}$. Для отогнутых пучков высокопрочной проволоки $\sigma_{\text{вп}}/R_{\text{вп}} = 0,85 - 0,183 = 0,667$. Потери $\sigma_{\text{п}} = 0,070 \dots 0,098R_{s,ser}$. Для стержневой арматуры класса AV с отгибом $\sigma_{\text{вп}}/R_{\text{вп}} = 0,85 - 0,225 = 0,625$ и потери = $0,120R_{s,ser}$, без отгиба $\sigma_{\text{вп}}/R_{\text{вп}} = 0,85 - 0,122 = 0,728$ и потери = $0,139R_{s,ser}$. Для арматуры класса AVI с отгибом $\sigma_{\text{вп}}/R_{\text{вп}} = 0,85 - 0,20 = 0,65$, без отгиба $\sigma_{\text{вп}}/R_{\text{вп}} = 0,85 - 0,1 = 0,75$ и потери соответственно $\sigma_{\text{п}} = 0,1R_{s,ser}$ и $0,115R_{s,ser}$. Для отогнутой арматуры AVII $\sigma_{\text{вп}}/R_{\text{вп}} = 0,85 - 0,184 = 0,666$, $\sigma_{\text{п}} = 0,085R_{s,ser}$, для прямолинейной $\sigma_{\text{вп}}/R_{\text{вп}} = 0,85 - 0,082 = 0,768$ $\sigma_{\text{п}} = 0,1R_{s,ser}$. Для канатов К-7, К-19 с учётом отгиба $\sigma_{\text{п}} = 0,075 \dots 0,095R_{s,ser}$ при соотношении $\sigma_{\text{вп}}/R_{\text{вп}} = 0,85 - 0,18 = 0,67$. Для канатов без отгиба $\sigma_{\text{вп}}/R_{\text{вп}} = 0,85 - 0,017 = 0,833$ и $\sigma_{\text{п}} = 0,088 \dots 0,1R_{s,ser}$.

Потери от смятия бетона под витками спиральной или кольцевой арматуры σ_{10} принимаются равными нулю.

Потери от деформации обжатия стыков между блоками σ_{11} зависят от числа швов конструкции по длине натягиваемой арматуры и класса арматуры. При количестве швов от 4 до 10, что соответствует изменению длины от 15 до 63 м, $\sigma_{11} = 8,6 \dots 14,4$ МПа, что составляет для проволочной арматуры $0,006 \dots 0,014R_{s,ser}$, для стержневой арматуры $0,007 \dots 0,018R_{s,ser}$, для канатов $0,006 \dots 0,014R_{s,ser}$.

Таким образом, суммарные вторые потери составят: для пучков высокопрочной проволоки $0,1 \dots 0,255R_{s,ser}$, для стержневой арматуры $0,148 \dots 0,292R_{s,ser}$, для канатов $0,105 \dots 0,249R_{s,ser}$.

Следовательно, максимальные вероятные значения суммарных потерь для предварительно напряженной арматуры пролетных строений составят:

- для пучков высокопрочной проволоки: отогнутых - $0,409R_{s,ser}$; прямолинейных - $0,333R_{s,ser}$;
- для стержневой арматуры классов AV с отгибом - $0,473R_{s,ser}$, без отгиба - $0,390R_{s,ser}$, AVI - $0,420R_{s,ser}$ и $0,334R_{s,ser}$, AVII - $0,384R_{s,ser}$ и $0,296R_{s,ser}$;
- для канатов К-7, К-19 с отгибом - $0,4R_{s,ser}$, без отгиба - $0,325R_{s,ser}$.

Вывод

Проанализированы потери предварительного напряжения арматуры железобетонных элементов пролетных строений при натяжении арматуры на бетон. Выполнена оценка возможных значений потерь для различных видов арматуры при наиболее неблагоприятных условиях, что позволит учесть потери при поверочных расчетах и подборе эффективного усиления элементов пролетных строений, в том числе с учетом пространственной работы сооружения.

Литература

1. ДБН В.2.3-14:2006 Мости та труби правила проектування.
2. СНиП 3.06.04-91 Мосты и трубы.
3. Байков В. Н., Сигалов Э. Е. Железобетонные конструкции: Общий курс: Учеб. Для вузов. – 5-3 изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.: ил.
4. Пшеничников С. Н. Железобетонные пролетные строения, собираемые навесным способом из заранее изготовленных блоков. – М.: Автогосиздат, 1956. – 52с.
5. Михайлов В. В., Предварительно напряженные железобетонные конструкции, М., 1963.