

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

Яременко А.Ф., Школа Ю.А., Неведомская И.А. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

В статье выполнен анализ возможных потерь предварительного напряжения пролетных строений мостов, транспортных эстакад и путепроводов и даны практические рекомендации по прогнозированию величин потерь при различных исходных параметрах.

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. Кроме того, применяется температурное натяжение арматурой классов АIV и AV.

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.

Для бездиафрагмовых пролетных строений по серии 3.503-12 (вып. 384) в качестве предварительно напряженной арматуры применялись пучки $24d5$ из стали класса В-II с натяжением на упоры при проектных марках бетона М-350, М-400, М-450, М-500.

Для диафрагмовых пролетных строений, которые имеют наибольшее распространение на Украине в настоящий момент, предварительно напряженная арматура принята:

- в проектах ВТП-15, ВТП-16 - струны из высокопрочной проволоки $d=3...5$ мм с натяжением на упоры при проектной марке бетона М-400;
- в проектах 149-62 и 149-61 - пучки $24d5$ (прямые и отогнутые) с натяжением на упоры при проектной марке бетона М-500;
- в проектах 122-62 и 122-63 - пучки $24d5$ (прямые и отогнутые) с натяжением на упоры при проектной марке бетона М-400;
- в проектах 123 - пучки $24d5$ (прямые и отогнутые) с натяжением на бетон при проектной марке бетона М-400. Количество блоков от 3 до 8 для пролетов от 15 до 42 м., средние блоки имеют длину 6 м, крайние – 3 или 4,5 м;
- для коробчатых пролетных строений – пучки $24d5$ с натяжением на бетон при проектной марке бетона М450.

В плитных пролетных строениях в качестве предварительно напряженной арматуры использована высокопрочная проволока $d=3...5$ мм, пряди из 7 проволок $d=3$ мм при проектной марке бетона М-400 с натяжением на бетон (ВТП-17), а также арматура класса АIV и AV $d=18$ мм с термическим натяжением при проектной марке бетона М-400 (вып. 384/43).

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 упоры, как правило, применяется для балок с пролетами менее 30 м. При этом возникают первые потери - от релаксации напряжений в арматуре σ_1 , от температурного перепада σ_2 , от деформации анкеров σ_3 , от трения арматуры σ_4 , от деформации стальной формы σ_5 , от быстроснатекающей ползучести бетона σ_6 , и вторые потери - от усадки бетона σ_7 и от ползучести бетона σ_8 .

Значения предварительного напряжения в напрягаемой арматуре могут находиться в пределах $0,35R_{s,ser} \dots 0,95R_{s,ser}$, при наличии перегибов проволочной арматуры не должны превышать $0,85R_{s,ser}$.

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

При механическом способе натяжения потери от релаксации напряжений σ_1 в высокопрочной проволочной арматуре и канатах К-7, К-19 зависят от уровня предварительного напряжения и составляет от 0 до $0,1R_{s,ser}$ при изменении отношения $\sigma_p/R_{s,ser} = 0,35 \dots 0,95$. При этом для $\sigma_p/R_{s,ser} < 0,5$ $\sigma_1 = 0$. Потери от релаксации в стержневой арматуре составляют: для арматуры классов АVI – $0,015 \dots 0,075R_{s,ser}$, АVII – $0,018 \dots 0,078R_{s,ser}$, для арматуры классов АIV и AV при электротермическом способе натяжения $\sigma_1 = 0,011 \dots 0,029R_{s,ser}$.

Потери от температурного перепада σ_2 при отсутствии точных данных принимают согласно [1] постоянными для бетонов классов до В40 $\sigma_2 = 1,25 \Delta t = 1,25 \cdot 65 = 81$ МПа, что составляет $0,01 \dots 0,03R_{s,ser}$ для высокопрочной проволочной арматуры. Для стержневой арматуры потери от температурного перепада составят: для арматуры классов АIV – $0,137R_{s,ser}$, AV – $0,10R_{s,ser}$, АVI – $0,083R_{s,ser}$, АVII – $0,069R_{s,ser}$. Для канатов К-7, К-19 $\sigma_2 = 0,054R_{s,ser}$.

Потери от деформации анкеров σ_3 зависят от длины натягиваемого стержня, конструкции упоров и класса арматуры. Для балок пролетом 15...30 м, при натяжении с двух сторон для высокопрочной проволочной арматуры $\sigma_3 = 22 \dots 48$ МПа, что составляет $0,015 \dots 0,048R_{s,ser}$, при $d = 5$ мм $\sigma_3 = 0,016 \dots 0,034R_{s,ser}$. Для стержневой арматуры потери от деформации анкеров для арматуры классов АVI – $0,024 \dots 0,052R_{s,ser}$, АVII – $0,020 \dots 0,043R_{s,ser}$, для канатов К-7, К-19 $\sigma_3 = 0,015 \dots 0,032R_{s,ser}$. Изменение линейно и зависит от длины натягиваемого стержня. При электротермическом способе натяжения для арматуры классов АIV, AV $\sigma_3 = 0$.

Потери от трения арматуры об огибающие приспособления σ_4 зависят от значения предварительного напряжения без потерь σ_{sp} и суммарного угла поворота оси арматуры θ , рад. Для прямолинейных стержней (при $\theta = 0$) $\sigma_4 = 0$. При суммарных углах поворота оси арматуры до 10° ($0,174$ рад) потери σ_4 находятся в интервале $0,015 \dots 0,036R_{s,ser}$.

Потери от деформации стальной формы σ_5 принимают равными 30 МПа при отсутствии данных о технологии изготовления и конструкции форм, что для высокопрочной арматуры составляет $0,020 \dots 0,027R_{s,ser}$, для $d = 5$ мм $\sigma_5 = 0,020R_{s,ser}$. Для стержневой арматуры потери от деформации стальной формы для арматуры классов АVI – $0,031R_{s,ser}$, АVII – $0,026R_{s,ser}$, для канатов К-7, К-19 $\sigma_5 = 0,020R_{s,ser}$. При электротермическом способе натяжения для арматуры классов АIV, AV – $\sigma_5 = 0$.

Потери от быстроснатекающей ползучести σ_6 зависят от уровня напряжений в бетоне. Поскольку неизвестно заранее геометрические характеристики сечения и размещение арматуры примем наиболее неблагоприятный случай при $\sigma_{bp}/R_{bp} = 0,9$. Тогда для бетона естественного твердения $\sigma_6 = 41,4$ МПа, что для высокопрочной арматуры составит $0,028 \dots 0,038R_{s,ser}$, для $d = 5$ мм $\sigma_6 = 0,030R_{s,ser}$. Для стержневой арматуры потери от деформации быстроснатекающей ползучести для АIV – $0,070R_{s,ser}$, AV – $0,053R_{s,ser}$, АVI – $0,042R_{s,ser}$, АVII – $0,035R_{s,ser}$, для канатов К-7, К-19 $\sigma_6 = 0,028R_{s,ser}$.

Таким образом, суммарные первые потери предварительного напряжения арматуры составят: для прямолинейных пучков высокопрочной проволоки $0,073 \dots 0,243R_{s,ser}$, для отогнутых стержней при θ до 10° $\sigma_{s,1} = 0,088 \dots 0,279R_{s,ser}$, для пучков $d = 5$ мм $\sigma_{s,1} = 0,092 \dots 0,251R_{s,ser}$. Для стержневой арматуры класса АIV первые потери составят $0,233 \dots 0,272R_{s,ser}$, AV – $0,179 \dots 0,218R_{s,ser}$, АVI – $0,210 \dots 0,319R_{s,ser}$, АVII – $0,210 \dots 0,319R_{s,ser}$. Для канатов К-7, К-19 $\sigma_{s,1} = 0,132 \dots 0,270R_{s,ser}$.

Вторые потери предварительного напряжения арматуры при ее натяжении на упоры включают потери от усадки бетона σ_7 и от ползучести бетона σ_8 .

Потери от усадки бетона σ_7 зависят от класса бетона. Для классов В40 и ниже максимальное значение потерь принимают равным 50 МПа, что составляет для пучков высокопрочной проволоки $0,045 \dots 0,033R_{s,ser}$, для пучков $d = 5$ мм $\sigma_7 = 0,036R_{s,ser}$. Для стержневой арматуры класса АIV потери $\sigma_7 = 0,085R_{s,ser}$, AV – $0,064R_{s,ser}$, АVI – $0,051R_{s,ser}$, АVII – $0,043R_{s,ser}$. Для канатов К-7, К-19 $\sigma_7 = 0,033R_{s,ser}$.

Потери от ползучести бетона σ_8 определяются в зависимости от уровня напряжений в бетоне с учетом первых потерь. Аналогично определению потерь от быстроснатекающей ползучести предположим, что с учетом потерь соотношение $\sigma_{bp}/R_{bp} = 0,9 - 0,2 = 0,7$. Тогда потери $\sigma_8 = 105$ МПа, что составляет для пучков высокопрочной проволоки $0,070 \dots 0,095R_{s,ser}$ (при $d = 5$ мм $0,075R_{s,ser}$) для стержневой арматуры класса АIV – $0,178R_{s,ser}$, AV – $0,134R_{s,ser}$, АVI – $0,107R_{s,ser}$, АVII – $0,089R_{s,ser}$, для канатов К-7, К-19 $\sigma_8 = 0,070R_{s,ser}$.

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

- для пучков высокопрочной проволоки - $0,407R_{s,ser}$ (при $d = 5_{мм}$ - $0,362R_{s,ser}$);
- для стержневой арматуры классов AIV - $0,535R_{s,ser}$, AV - $0,416R_{s,ser}$ при термическом способе натяжения;
- для стержневой арматуры классов AVI - $0,477R_{s,ser}$, AVII - $0,419R_{s,ser}$ при механическом способе натяжения;
- для канатов К-7, К-19 $0,373R_{s,ser}$.

Выводы

Проанализированы потери предварительного напряжения арматуры железобетонных элементов пролетных строений. 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 2.05.03-84 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.: Автотрансиздат, 1956. – 52с.
5. Михайлов В. В., Предварительно напряженные железобетонные конструкции, М., 1963.