

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.012

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ЗОНЫ ПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЙ В СТАДИИ ОБЖАТИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

д-р техн. наук, проф. В.В. ТУР
(Брестский государственный технический университет);
Н.Д. РЯБЕНКО
(Полоцкий государственный университет)

В настоящее время отсутствуют обоснованные теоретические модели, позволяющие определить длину зоны передачи напряжений расчетом в замкнутом виде. В силу этого нормативные документы используют эмпирические или полумэмпирические зависимости, в которых главным образом коэффициенты определяют экспериментально. Методики исследования длины анкеровки традиционно базируются на вытягивании арматуры из тела бетона. При этом условия испытания не воспроизводят условий, имеющих место при передаче усилия обжатия с напрягающих элементов на бетон за счет сил сцепления. В рамках fib была предложена стандартизированная методика испытаний ECADA. Методика базируется на измерении и дальнейшем анализе опорных усилий в напрягаемой арматуре на стадиях напряжения и передачи усилия обжатия. Разработана принципиальная схема установки и методика исследования длины зоны передачи напряжений, которая позволяет с достаточной точностью установить значения коэффициентов расчетных моделей, принятых в действующих и вновь вводимых нормах проектирования предварительно напряженных конструкций.

В соответствии с терминологией, принятой в ModelCode 2010, а вслед за ним в ТКП EN 1992-1-1, длина участка, на котором напряжения в напрягающем элементе (канате, проволоке, стержне) изменяются от нуля до установившихся эффективных значений, обозначается как длина зоны передачи напряжений (англ. Transmissionlength). Как было показано ранее [1], в настоящее время отсутствуют обоснованные теоретические модели, позволяющие определить длину зоны передачи напряжений расчетом в замкнутом виде. В силу этого нормативные документы используют эмпирические или полумэмпирические зависимости, в которых главным образом коэффициенты определяют экспериментально.

Большинство экспериментальных методик базируется на анализе проскальзывания напрягающего арматурного элемента, заглубленного в тело бетона по величине вытягивания на концевом участке изделия после передачи усилия обжатия [1]. Кроме того, методики исследования длины анкеровки традиционно базируются на вытягивании (pull-out) арматуры из тела бетона. При этом условия испытания не воспроизводят условий, имеющих место при передаче усилия обжатия с напрягающих элементов на бетон за счет сил сцепления. Появление новых материалов (как новых видов бетонов, так и напрягающей арматуры) требует постоянно пополнять эмпирические данные, относящиеся к сцеплению и определению длины зоны передачи напряжения в предварительно напряженных конструкциях. В связи с этим в рамках fib была предложена стандартизированная методика испытаний, получившая сокращенное название ECADA (Ensayo para Caracterizar la Adherencia mediante Destesado Arrancamiento).

Методика проведения испытаний. Методика базируется на измерении и дальнейшем анализе опорных усилий в напрягаемой арматуре на стадиях напряжения и передачи усилия обжатия. Опытный образец помещается в силовую раму, на одном конце которой установлен силовой динамометр. До бетонирования производят натяжение на силовую раму напрягающего элемента и выполняют его анкеровку на свободных концах. При этом на напрягаемую арматуру до бетонирования надевают пластиковую оболочку, регулируемую длину участка напрягаемого элемента, имеющего сцепление с бетоном. После набора бетоном заданной прочности производят передачу усилия обжатия с напрягаемой арматуры на бетонный образец. По динамометру, установленному на силовой раме, производят контроль усилия после передачи обжатия на бетон. По разнице усилий, которые были переданы с напрягающего каната и восприняты динамометром для соответствующей длины активного сцепления, устанавливают длину зоны передачи напряжений.

Принципиальная схема установки показана на рисунке 1. Испытательная установка включает следующие элементы:

- *концевую раму*, в которую упирается испытываемый элемент. На концевом участке опытного образца сцепление между арматурой и бетоном исключается за счет постановки пластиковой оболочки.

Кроме того, установка пластиковой оболочки исключает влияние местных (контактных) сжимающих напряжений в местах опирания бетонного образца на пластину концевой рамы;

- *анкерную пластину*, опирающуюся на поддерживающие пластины. На анкерных пластинах осуществляется закрепление анкеров после натяжения напрягаемой арматуры. Между анкером и анкерной пластиной помещается силовой динамометр, применяемый для непрерывного измерения усилия натяжения. Фактические размеры элементов установки рассчитываются с учетом жесткости опытного образца.

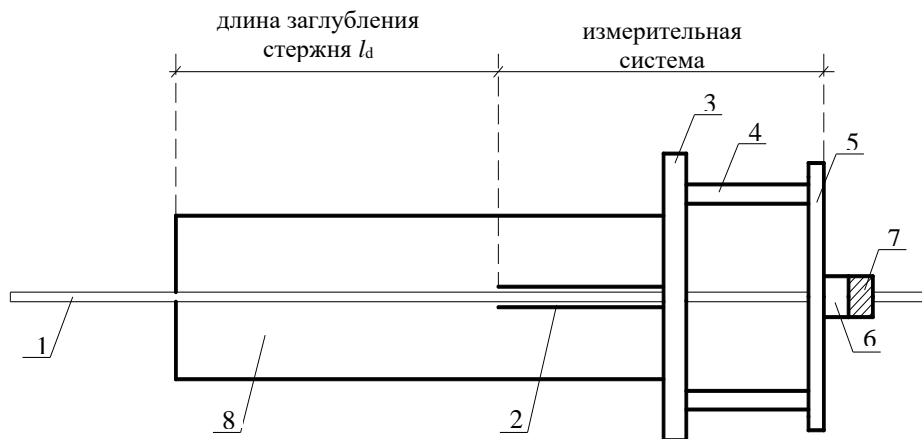


Рис. 1. Схема конструкции испытательной установки для определения длины анкеровки по методике ECADA [2]:

- 1 – напрягаемый стержень; 2 – изолирующая оболочка установленной длины; 3 – пластина концевой рамы; 4 – опоры концевой рамы; 5 – анкерная пластина; 6 – силовой динамометр; 7 – анкер; 8 – бетонный образец

Определение длины зоны передачи напряжений. Для получения длины зоны передачи напряжений производят испытания серий образцов, имеющих различную длину заглублиения в бетоне. После передачи усилия обжатия для каждого образца должны быть представлены следующие результаты:

1) если длина заглублиения напрягаемой арматуры в опытном образце меньше, чем длина зоны передачи напряжений (случай А, рис. 2), напряжения в арматуре, установленные по усилию на динамометре, не достигают эффективных напряжений (не полная передача обжатия);

2) если длина заглублиения напрягаемой арматуры в опытном образце равна длине зоны передачи напряжений или больше её (случай В и С, рис. 2), напряжения в арматуре, установленные по измеренным усилиям на динамометре, достигают эффективных напряжений.

Во всех этих случаях усилия, передаваемые на динамометр, будут равняться зарегистрированным при натяжении арматуры и оставаться без изменения. В этом случае наблюдается полная передача усилия предварительного напряжения. Длина зоны передачи напряжений будет наименьшей длиной заглублиения арматуры в бетон, при которой наблюдается полная передача усилия обжатия (случай В, рис. 2).

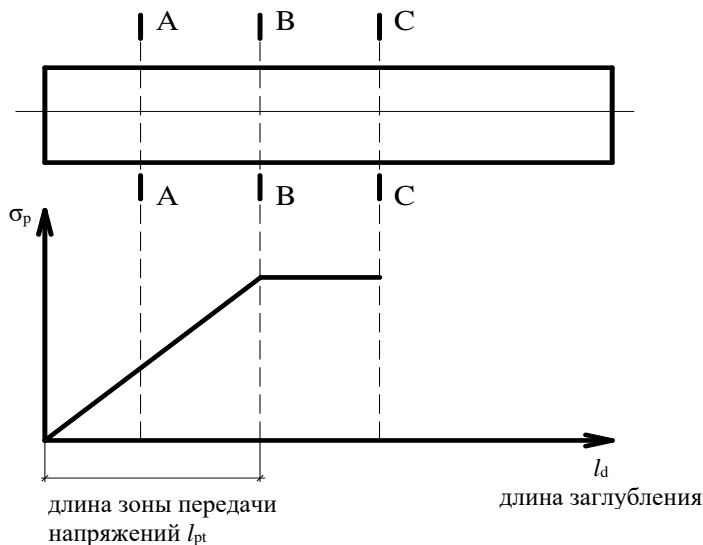


Рис. 2. К определению длины зоны передачи напряжений по результатам измерений по методике ECADA

По результатам измерения серии образцов с различной длиной заделки напрягаемой арматуры строят зависимость (напряжения в арматуре от длины заделки арматуры в бетон), из которой определяют конечное значение длины зоны передачи напряжений.

Проектирование элементов установки. При проектировании установки важным элементом является подбор соответствующих жесткостных характеристик силовой рамы. Жесткость установки в общем случае зависит от вида бетона, возраста образца к моменту испытаний, поперечного сечения образца. Безусловно, нет необходимости проектировать отдельную испытательную установку для конкретных образцов. Поэтому принимается, что жесткость системы должна быть несколько больше, чем осевая жесткость в сечении испытываемого образца. Поэтому при испытаниях достаточно данных образцов, усилие в арматуре, измеренное при установке, будет несколько больше, чем усилие, соответствующее эффективным напряжениям в предварительно напряженном элементе (рис. 3).

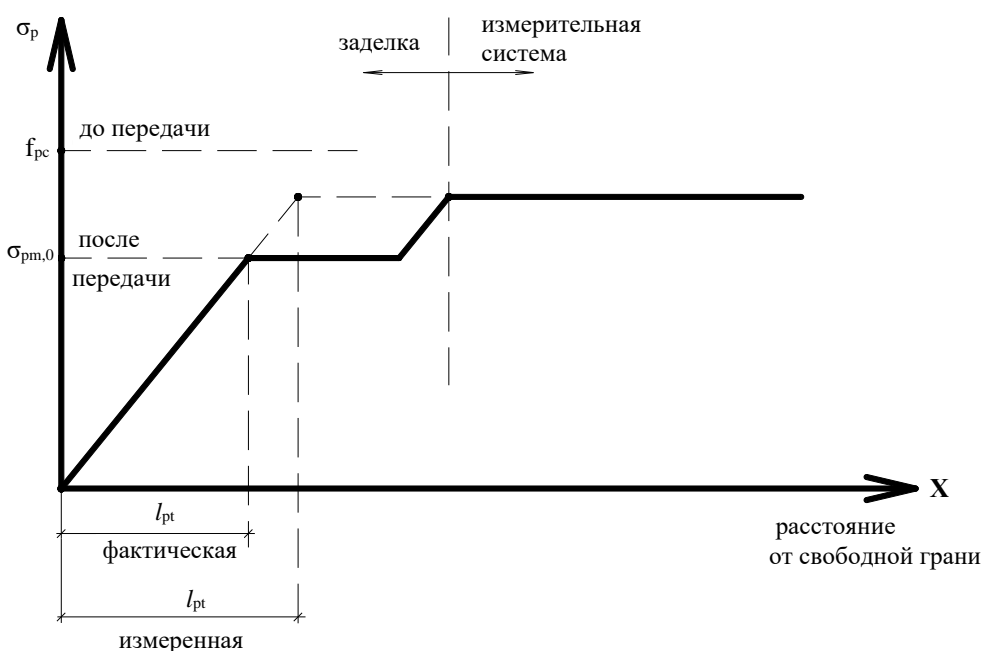


Рис. 3. К определению измеренной и фактической длины зоны передачи напряжений по методике ECADA [2]

Изменения усилия в напрягаемой арматуре, фиксируемые на динамометре, ΔP_{test} , могут быть определены с использованием геометрических характеристик системы и характеристик свойств материалов.

Выражение для расчета ΔP_{test} в случае полной передачи усилия обжатия, соответствующее условию, что длина зоны передачи напряженной равна или превышает длину заделки, может быть принята из работы [2]:

$$\Delta P_{test} = A_p \cdot E_p \cdot \Delta \epsilon_{p,s} = \frac{A_p E_p}{L_{sist}} \cdot \left[\Delta L_m + (\delta_{PB,d} - \delta_{PB,t}) - \Delta P_{test} \cdot \left(\frac{L_{sep}}{A_{sep} E_s} + \frac{\delta_{PA,t}}{P_0} \right) \right], \quad (1)$$

где A_p – площадь сечения напрягаемой арматуры; E_p – модуль упругости напрягаемой арматуры; $\Delta \epsilon_{p,s}$ – изменение относительных деформаций в напрягаемой арматуре по результатам измерений; ΔL_m – изменение длины участка в оболочке; $\delta_{PB,t}$ – перемещение пластины концевой рамы при натяжении; $\delta_{PB,d}$ – перемещение пластины концевой рамы при передаче обжатия; E_s – модуль упругости анкерной пластины, поддерживаемой опорными пластинами; A_{sep} – площадь поддерживающих пластин; L_{sep} – длина поддерживающих пластин; $\delta_{PA,t}$ – перемещение анкерной пластины при натяжении арматуры; P_0 – усилие натяжения перед передачей на бетон.

С другой стороны, усилие обжатия передается на бетон (P_{ki} – передаваемое усилие) и вызывает его укорочение на участке, не имеющем сцепления (ΔL_m):

$$P_{ki} = \frac{P_0}{1 + \frac{A_p E_p}{A_c E_c}}; \quad (2)$$

$$\Delta L_m = L_m \cdot \varepsilon_c = L_m \cdot \frac{P_{ki}}{A_c E_c}, \quad (3)$$

где A_c – площадь поперечного сечения бетонного образца; E_c – модуль упругости бетона; L_m – длина изолированного участка; ε_c – относительные деформации бетона на участке, не имеющем сцепления с бетоном.

Подставляя (2) и (3) в (1) получаем:

$$\Delta P_{test} = \frac{L_m [P_0 (A_c E_c + A_p E_p)] + \delta_{PB,d} - \delta_{PB,l}}{\frac{L_s}{A_p E_p} + \frac{L_{sep}}{A_{sep} E_s} + \frac{\delta_{PA,d}}{P_0}}. \quad (4)$$

Проектирование элементов установки следует выполнять по образцам в серии, имеющим максимальную осевую жесткость.

Заключение. Представленная унифицированная методика исследования длины зоны передачи напряжений позволяет с достаточной точностью установить значения коэффициентов расчетных моделей, принятых в действующих и вновь вводимых нормах проектирования предварительно напряженных конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rabenka, N. Control of length of a transmission zone using value of drawn-in of tensile elements in method of production of prestressing constructions / N. Rabenka, V. Tur // European and national dimension in research, April 28 – 29, 2010. – P. 31 – 39.
2. Marti-Vargas J. Retal. Test method for determination of the transmission and anchorage length in prestressed reinforcement // Magazine of concrete research. – 2006. – № 58, № 1. – P. 21 – 29.

Поступила 10.11.2010

DEFINITION OF TRANSMISSION LENGTH IN THE STAGE OF REDUCTION OF PRELIMINARY INTENSE ELEMENTS

V. TUR, N. RYABENKO

Now there are any proved theoretical models, allowing to define transmission length calculating in the closed sort. Owing to it regulations use empirical or semiempirical dependences in which mainly factors define experimentally. Techniques of research of an anchorage length traditionally are based on a drawing down of armature from a beton body. Thus conditions of trial do not reproduce the conditions occuring by transfer of force of reduction from stressing elements on beton at the expense of bonding strengths. Within fib standardised testing procedure ECADA has been offered. The technique is based on measurement and the further analysis of basic force in a pretensioned reinforcement at stages of stressing and transfer of force of reduction. The basic plan of installation and technique of research of transmission length which allows with sufficient accuracy to determine value of factors of the computational models accepted in acting and again inducted size codes of structural design of preliminary intense designs is developed.