

В частности, имеющаяся зависимость несущей способности приваренного поперечного стержня по ТКП EN1992-1-1-2009 применима только к стыкам со схожими диаметрами поперечной и продольной арматуры. В методике СНБ 5.03.01 приведен эмпирический коэффициент α_3 , учитывающий только наличие поперечных стрежней (не менее трех на длине анкеровки) и не рассматривающий ни соотношение диаметров стрежней, ни класс прочности на срез сварного стыка.

Вывод общей зависимости влияния приваренного поперечного стержня на анкеровку продольного (за пределами диапазонов диаметров, приведенных в ТКП EN1992-1-1-2009) позволит ввести поправочный коэффициент при вычислении расчетной длины анкеровки, тем самым уменьшив ее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байков, В.Н. Железобетонные конструкции: Общий курс / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – М.: Стройиздат, 1985.
2. Fu X. Improving the bond strength between steel rebar and concrete by ozone treatment of rebar and polymer addition to concrete» / Xuli Fu, D.D.L. Chung // Cement and Concrete Research. – Vol. 27, № 5. – P. 643–648.
3. Plizzari, G.A. Transverse reinforcement effects on anchored deformed bars / G.A. Plizzari, M.A. Deldossi, S. Massimo // Magazine of Concrete. – Vol. 50(2). – P. 161–177.
4. Руководство по конструированию бетонных и железобетонных конструкций их тяжелого бетона (без предварительного напряжения). – М: Стройиздат, 1978.
5. Изделия арматурные сварные для железобетонных конструкций. Технические условия: СТБ 2174-2011. – Минск: Госстандарт, 2011.
6. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1992-1-1-2009. – Минск: Минстройархитектуры, 2010.
7. Хотько, А.А. Сцепление с бетоном и анкеровка ненапрягаемой арматуры различных видов периодического профиля: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / А.А. Хотько; Учреждение образования «Полоцкий государственный университет», 2006.

УДК 624-2/9

АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА АНКЕРОВКИ ПРОДОЛЬНОЙ НЕПРЕДНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ

В.И. ЛЫМОРЕВА

(Представлено: канд. техн. наук, доц. А.И. КОЛТУНОВ)

Рассматриваются методики расчета длины анкеровки продольной арматуры по СНиП 2.03.01-84, СНБ 5.03.01 и ТКП EN 1992-1-1-2009. Приводятся результаты вычисления расчетной длины анкеровки по представленным методикам.*

Большое количество различных факторов, влияющих на прочность анкеровки, привело к определенным трудностям при разработке расчетных зависимостей. Стоит отметить, что до сих пор не существует общих и достаточно обоснованных методик расчета анкеровки, которые учитывали бы все влияющие параметры. Проанализируем эволюцию развития требований к величине анкеровки арматуры на основании сравнения ранее действовавших и введенных норм.

Методика расчета согласно СНиП 2.03.01-84*

Продольные стержни растянутой и сжатой арматуры должны быть заведены за нормальное к продольной оси элемента сечение, в котором они учитываются с полным расчетным сопротивлением, на длину не менее l_{an} , определяемую по эмпирической формуле:

$$l_{an} = \left(\omega_{an} \frac{R_s}{R_b} + \Delta\lambda_{an} \right) d,$$

где ω_{an} , $\Delta\lambda_{an}$ – эмпирические коэффициенты; R_s – расчетное сопротивление арматуры растяжению для предельного состояния первой группы; R_b – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию для предельного состояния первой группы; d – диаметр арматуры.

Как видно из формулы, на расчетную длину анкеровки прямо влияют только три фактора – прочность бетона, вид арматуры (гладкая/профилированная) и ее диаметр. Коэффициент ω_{an} учитывает условия работы арматуры в железобетонных конструкциях, а $\Delta\lambda_{an}$ выполняет роль коэффициента безопасности.

Условия работы ненапрягаемой арматуры	Коэффициенты для определения анкеровки ненапрягаемой арматуры			
	периодического профиля			гладкой
	ω_{an}	$\Delta\lambda_{an}$	ω_{an}	$\Delta\lambda_{an}$
1. Заделка арматуры:				
а) растянутой в растянутом бетоне	0,70	11	1,20	11
б) сжатой или растянутой в сжатом бетоне	0,50	8	0,80	8
2. Стыки арматуры внахлестку:				
а) в растянутом бетоне	0,90	11	1,55	11
б) в сжатом бетоне	0,65	8	1,00	8

Также следует отметить наличие поправочного коэффициента, учитывающего наличие косвенного армирования на длине зоны анкеровки. Он вводился путем деления коэффициента ω_{an} на величину, зависящую от площади стержней косвенного армирования и их шага.

Анализ методики расчета анкеровки продольной ненапрягаемой арматуры по СНБ 5.03.01

Расчет анкеровки растянутой арматуры производится с использованием такого параметра, как «базовая длина анкеровки» l_b , вычисляемого по формуле:

$$l_b = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}},$$

где f_{bd} – предельное напряжение сцепления по контакту арматуры с бетоном, определяемое по формуле

$$f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd},$$

f_{ctd} – расчетное сопротивление бетона растяжению; η_1 – коэффициент, учитывающий влияние условий сцепления и положение стержней при бетонировании; η_2 – коэффициент, учитывающий влияние диаметра стержня; η_3 – коэффициент, учитывающий профиль арматурного стержня (для гладких стержней – 1,50; для стержней периодического профиля – 2,25).

Расчетную длину анкеровки ненапрягаемых стержней l_{bd} следует рассчитывать по формуле

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}},$$

где $A_{s,req}$ – площадь продольной арматуры, требуемая по расчету; $A_{s,prov}$ – принятая площадь продольной арматуры; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – коэффициенты, определяемые по таблице 1 (при этом для стержней периодического профиля произведение $\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_4$ должно удовлетворять условию $\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_4 \geq 0,7$); l_b – базовая длина анкеровки.

Таблица 1

Значения коэффициентов $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ для определения расчетной длины анкеровки по СНБ 5.03.01

Коэффициент	Факторы	Условия анкеровки	Значения коэффициентов для арматурных стержней	
			растянутых	сжатых
α_1	Защитный слой бетона c_d , мм	Линейные стержни	$\alpha_1 = 1 - 0,15(c_d - \varnothing)/\varnothing$, где $0,7 \leq \alpha_1 \leq 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
		Отличные от линейных	$\alpha_1 = 1 - 0,15(c_d - 3\varnothing)/\varnothing$, где $0,7 \leq \alpha_1 \leq 1,0$	
α_2	Вязаная поперечная арматура	Независимо от условий	$\alpha_2 = 1 - k \cdot \lambda$	$\alpha_2 = 1,0$
α_3	Приваренная поперечная арматура		$\alpha_3 = 0,7$	$\alpha_3 = 0,7$
α_4	Поперечное давление p , МПа		$\alpha_4 = 1 - 0,04p$, где $0,7 \leq \alpha_4 \leq 1,0$	$\alpha_4 = 1,0$

Примечания: 1) значения коэффициента α_3 в общем случае принимают для стержней периодического профиля, имеющих не менее трех поперечных стержней на длине анкеровки. В противном случае $\alpha_3 = 1,0$; 2) $\lambda = \frac{\sum A_{st} - \sum A_{st,min}}{A_s}$, где $\sum A_{st}$ – суммарная площадь сечения поперечных стержней на расчетной длине анкеровки l_{bd} ;

$\sum A_{st,min}$ – минимальная суммарная площадь сечения поперечных стержней; A_s – площадь одного анкерного стержня большего диаметра; 3) p – давление, приложенное перпендикулярно к линии скольжения анкерного стержня и действующее на расчетной длине анкеровки (МПа).

Расчет анкеровки по СНБ 5.03.01 производится с использованием такого параметра как предельное напряжение сцепления, f_{bd} . Такой расчет охватывает большее количество факторов, влияющих на анкеровку.

Анализ методики расчета анкеровки продольной ненапрягаемой арматуры по Техническому кодексу ТКП EN 1992-1-1-2009

В целом расчет длины анкеровки по ТКП EN 1992-1-1-2009 незначительно отличается от представленной выше методики расчета по СНБ 5.03.01. Здесь также фигурирует понятие «требуемая базовая длина анкеровки», рассчитываемая по формуле:

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}},$$

где σ_{sd} – расчетное напряжение стержня в месте, от которого измеряется анкеровка; $u f_{bd}$ – расчетное значение предельного напряжения сцепления, рассчитывается по формуле:

$$f_{bd} = 2,25\eta_1\eta_2f_{ctd},$$

где f_{ctd} – расчетное значение предела прочности бетона при растяжении; η_1 – коэффициент, учитывающий качество условий сцепления и положение стержней во время бетонирования ($\eta_1 = 1,0$ – если достигаются хорошие условия сцепления, и $\eta_1 = 0,7$ – для всех других случаев); η_2 – коэффициент, учитывающий диаметр стержня ($\eta_2 = 1,0$ – для $\varnothing \leq 32$ мм; $\eta_2 = (132 - \varnothing)/100$ – для $\varnothing > 32$ мм).

Расчетная длина анкеровки l_{bd} равна:

$$l_{bd} = \alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4\alpha_5l_{b,rqd} \geq l_{b,min},$$

где α_1 – для учета влияния формы стержней при достаточном защитном слое; α_2 – для учета влияния минимальной толщины защитного слоя бетона; α_3 – для учета влияния усиления поперечной арматурой; α_4 – для учета влияния одного или нескольких приваренных поперечных стержней ($\varnothing_1 > 0,6\varnothing$) вдоль расчетной длины анкеровки l_{bd} ; α_5 – для учета влияния поперечного давления плоскости раскалывания вдоль расчетной длины анкеровки. Произведение $\alpha_2\alpha_3\alpha_5 \geq 0,7$.

Таблица 2

Значения коэффициентов $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ для определения расчетной длины анкеровки по ТКП EN 1992-1-1-2009

Фактор влияния	Вид анкеровки	Арматурный стержень	
		растянутый	сжатый
Форма стержней	Прямая	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	Отличная от прямой	$\alpha_1 = 0,7$ если $c_d > 3\varnothing$, либо $\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
Защитный слой бетона	Прямая	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - \varnothing)/\varnothing$ $0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	Отличная от прямой	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - 3\varnothing)/\varnothing$ $0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
Усиление поперечной арматурой, не приваренной к главной арматуре	Все виды	$\alpha_3 = 1 - K\lambda$ $0,7 \leq \alpha_3 \leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Усиление приваренной поперечной арматурой		$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Усиление поперечным давлением	Все виды	$\alpha_5 = 1 - 0,04p$ $0,7 \leq \alpha_5 \leq 1,0$	–
<p>При этом $\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min})/A_s$; ΣA_{st} – площадь сечения поперечной арматуры вдоль расчетной длины анкеровки l_{bd}; $\Sigma A_{st,min}$ – площадь сечения минимальной поперечной арматуры, равная $0,25A_s$ – для балок и 0 – для плит; A_s – площадь отдельного заанкеренного стержня максимального диаметра; p – поперечное давление, МПа, в предельном состоянии по несущей способности вдоль l_{bd}.</p> <p>На непосредственных опорах l_{bd} может быть принято меньше, чем $l_{bd,min}$, если как минимум одна поперечная проволока приварена в пределах опоры. Она должна быть на расстоянии не менее 15 мм от грани опоры.</p>			

Определение расчетной длины анкеровки

Проведем сравнительный расчет длины анкеровки арматурного стержня по представленным выше методикам. Ввиду отсутствия одинаковых классов арматуры в СНиП 2.03.01-84* и ТКП EN 1992-1-1-2009 разделим эти нормы на группы. Исходные данные и результаты расчета – таблицы 3 и 4.

Таблица 3

Расчет длины анкеровки по СНиП 2.03.01-84* и СНБ 5.03.01

Исходные данные	СНиП 2.03.01-84*	СНБ 5.03.01
Бетон	B20	C16/20
Арматура	Ø16 АШ	Ø16S400
Дополнительные условия:	1) Защитный слой $c_d = 30$ мм; 2) На длине анкеровки имеются 3 приваренных к рабочей арматуре поперечных стержня Ø8 мм	
Результаты расчета	$l_{an} = \left(0,7 \cdot \frac{355}{11,5} + 11 \right) \cdot 16 = 522$ мм	$l_{bd} = 0,87 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 728 \cdot 1 = 443$ мм $l_b = \frac{16}{4} \cdot \frac{364}{2} = 728$ мм $f_{bd} = 0,7 \cdot 1 \cdot 2,25 \cdot 1,27 = 2$ Н/мм ²
* Коэффициент α_d зависит от конкретных геометрических параметров и условий опирания конструкции. Условно принимаем значение данного коэффициента равным 1.		

Таблица 4

Расчет длины анкеровки по СНБ 5.03.01 и ТКП EN 1992-1-1-2009

Исходные данные	СНБ 5.03.01	ТКП EN 1992-1-1-2009
Бетон	C16/20	
Арматура	Ø16 S500	
Дополнительные условия:	Защитный слой $c_d = 30$ мм. На длине анкеровки имеются 3 приваренных к рабочей арматуре поперечных стержня Ø8 мм	
Результаты расчета:	$l_{bd} = 0,87 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 870 \cdot 1 = 530$ мм $l_b = \frac{16}{4} \cdot \frac{435}{2} = 870$ мм $f_{bd} = 0,7 \cdot 1 \cdot 2,25 \cdot 1,27 = 2$ Н/мм ²	$l_{bd} = 1 \cdot 0,87 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 888 = 773$ мм $l_b = \frac{16}{4} \cdot \frac{435}{1,96} = 888$ мм $f_{bd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,87 = 1,96$ Н/мм ²
* Коэффициент α_d (в СНБ 5.03.01) и α_5 (в ТКП EN 1992-1-1-2009) зависит от конкретных геометрических параметров и условий опирания конструкции. Так как расчетная формула в обоих стандартах одинаковая, условно принимаем значение данного коэффициента равным 1.		

Из полученных результатов видно, что при расчете по различным нормам длина анкеровки значительно отличается. Разница между вычисленными длинами анкеровки по методикам СНиП 2.03.01-84* и СНБ 5.03.01 обуславливается различным количеством учитываемых факторов. Методика расчета длины анкеровки по ТКП EN 1992-1-1-2009 несущественно отличается от методики СНБ 5.03.01, однако рассчитанная по ТКП величина длины превышает на 31 % значения, полученные по СНБ. Данное отклонение появляется из-за различий в учете влияния приваренных поперечных стержней – коэффициент α_d по ТКП EN 1992-1-1-2009 применим только к стыкам со схожими диаметрами поперечной и продольной арматуры, коэффициент α_3 в методике СНБ 5.03.01 учитывает наличие поперечных стержней (не менее трех на длине анкеровки). В связи с этим необходима корректировка норм в области расчета длины анкеровки в зависимости от применяемого типа сварки и соотношения диаметров продольной, поперечной и распределительной арматуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байков, В.Н. Железобетонные конструкции: Общий курс / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – М.: Стройиздат, 1985.
2. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01-84. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1986.
3. СНБ 5.03.01-02 «Бетонные и железобетонные конструкции». – Минск: Минстройархитектуры, 2003.
4. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1992-1-1-2009. – Минск: Минстройархитектуры, 2010.