

Тур В.В., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь

Пецольд Т.М., доктор технических наук, профессор, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

О НОРМИРОВАНИИ ВЕЛИЧИНЫ ВТЯГИВАНИЯ КАНАТОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПЛИТ ПУСТОТНОГО НАСТИЛА ПО ТЕХНОЛОГИИ БЕЗОПАЛУБОЧНОГО ФОРМОВАНИЯ

В статье рассмотрены вопросы, связанные с оцениванием величины втягивания канатов при производстве плит безопалубочного формования во взаимосвязи с длиной зоны передачи напряжений и длиной анкеровки. Обобщен международный и национальный опыт, внесены предложения по назначению контрольных критериев, обеспечивающих условия безопасности плит пустотного настила при эксплуатации.

ВВЕДЕНИЕ

Пустотные плиты безопалубочного формования являются в настоящее время наиболее широко применяемыми конструктивными элементами при устройстве перекрытий. Так, например, по данным [19] ежегодное производство таких изделий в Европе составляет около 20 млн. м², или от 40 % до 60 % от общего объема сборного железобетона, применяемого при возведении перекрытий зданий.

В 2008 г. в Республике Беларусь начата реализация программы внедрения плит пустотного настила, изготавливаемых по технологии безопалубочного формования. Следует отметить, что опыт изготовления и применения таких изделий (по технологии "MaxRoth") накапливался в национальной строительной отрасли достаточно давно [1].

Вместе с тем, остается определенный круг проблем, связанных как с изготовлением, так и с применением пустотных плит безопалубочного формования.

Так, при изготовлении плит пустотного настила по технологии безопалубочного формования наблюдается втягивание

напрягающих канатов при передаче усилия обжатия на бетон в процессе резки отформованной дорожки на отдельные конструктивные элементы заданной длины.

Естественно, что в подобной ситуации как у самих производителей, так и у контролеров, возникает закономерный вопрос: должно ли происходить втягивание канатов и, если да, то какова допустимая величина втягивания и как далее наблюдаемый эффект повлияет на поведение конструктивного элемента под нагрузкой?

В соответствии с п. 4.8.12 СТБ 1383 [21] для плит безопалубочного формования "*...не допускается средняя величина продольного смещения торцов напрягаемой арматуры относительно бетона более 2 мм*". В представленном виде запись не только не конкретна (например, что понимать под "*средней величиной продольного смещения*"?), но и само значение параметра требует обоснования применительно к плитам безопалубочного формования, армированным семипроволочными канатами.

Следует отметить, что обеспечение совместной работы напрягающей арматуры и окружающего бетона в изделиях, изготовленных в экструдерах и слипформерах, является довольно сложной и, несмотря на широкое применение плит безопалубочного формования в мировой практике строительства, не изученной до конца проблемой. Качество изделий безопалубочного формования определяющим образом зависит от изменения параметров технологии безопалубочного формования, в частности требуемое сцепление напрягаемой арматуры с окружающим бетоном достигается, главным образом, качественной укладкой и уплотнением бетона на первой стадии формования (например, при использовании двухстадийной технологии формования в слипформерах).

1. ВЕЛИЧИНА ВТЯГИВАНИЯ КАНАТОВ И ДЛИНА ЗОНЫ ПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЙ

В предварительно напряженных конструкциях усилие обжатия передается с напрягаемой арматуры на бетон посредством сил сцепления, формирующихся по контакту напрягающего элемента с бетоном в процессе твердения вяжущего.

В плитах безопалубочного формирования после освобождения канатов (при включении станции расслабления и при дальнейшей разрезке отформованной дорожки на отдельные изделия) напряжения в арматуре постепенно возрастают от нуля в сечении, проходящем по торцу плиты, до максимальных значений в некотором сечении, отстоящем от торца плиты на расстоянии, которое принято называть длиной зоны передачи напряжений ($l_{пр}$, рис. 1). Другими словами длина зоны передачи напряжений представляет собой расстояние от торца плиты до сечения, в котором устанавливаются постоянные напряжения в арматуре, т.е. за этим сечением на стадии обжатия напрягающая арматура и окружающий бетон работают совместно без взаимных смещений.

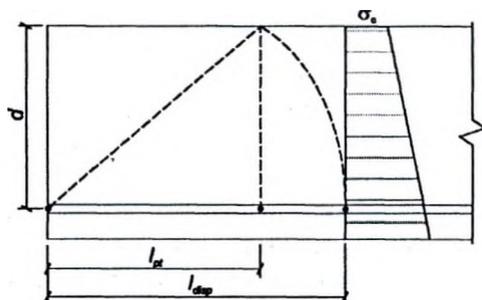


Рис. 1. К определению длины зоны передачи напряжений $l_{пр}$ [5]

Следует отметить, что зависимость изменения напряжений в канатах по длине зоны передачи напряжений в общем случае является нелинейной и ее характер зависит от целого ряда факторов, важнейшими из которых следует считать:

- диаметр напрягающего каната;
- коэффициент трения между канатом и окружающим бетоном;
- прочность и плотность бетона;
- модули упругости и коэффициенты Пуассона стали и бетона.

Несмотря на обширные исследования, выполненные в разное время [4, 14–18], до настоящего времени нет единого мнения об аналитической записи функции, описывающей изме-

нение напряжений по длине зоны передачи l_{pt} после реализации усилия обжатия. В качестве примера на рис. 2 представлен вид наиболее известной диаграммы, характеризующей распределение напряжений в арматуре по длине зоны передачи [18]. Здесь следует отметить, что представленная диаграмма получена при испытании образцов предварительно напряженных конструкций, изготовленных из тяжелого бетона с использованием традиционных технологий виброуплотнения.

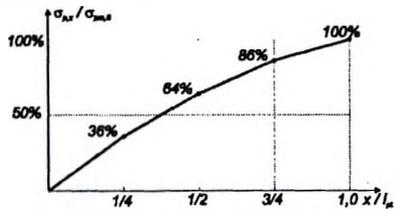


Рис. 2. Диаграмма распределения напряжений в каналах по длине зоны передачи напряжений согласно [18]

Документы *fib* [14, 15] предлагают применять т.н. пошаговую (*step by step*) процедуру для установления параметров сцепления, а далее и длины зоны передачи напряжений в конкретных конструкционно-технологических ситуациях.

В общем случае алгоритм для определения длины зоны передачи напряжений l_{pt} может быть представлен простейшей блок-схемой, показанной на рис. 3.

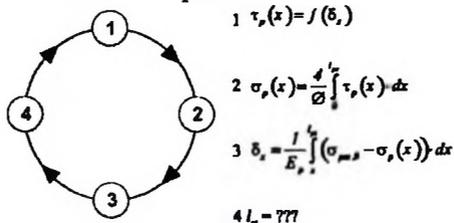


Рис. 3. Укрупненная блок-схема алгоритма для определения длины зоны передачи напряжений согласно [14]

Решение базируется на следующих положениях:

1. Касательные напряжения сцепления, действующие по контакту напрягаемой арматуры и бетона зависят от величины взаимного смещения (закон сцепления $\tau_p(x) = f(\delta_x)$).

2. Распределение напряжений по длине каната зависит от распределения касательных напряжений сцепления по длине зоны, отсчитываемой от торца элемента до рассматриваемого сечения

$$\left(\sigma_p(x) = \frac{4}{\varnothing} \int_0^{l_{pt}} \tau_p(x) \cdot dx \right).$$

3. Смещения каната относительно окружающего бетона зависят от упругого укорочения каната на участке между рассматриваемым сечением и сечением с установившимися напряжениями (конец зоны передачи напряжений)

$$\sigma_{pt,0} \left(\delta(x) = \frac{1}{E_p} \int_0^{l_{pt}} [(\sigma_{pt,0} - \sigma_p(x))] \cdot dx \right).$$

Таким образом, если предварительное напряжение реализуется при передаче усилия обжатия с арматуры на бетон за счет сил сцепления, на конечном участке элемента формируется т.н. зона передачи напряжений, в пределах которой наблюдаются несовместные деформации арматуры и бетона, а, следовательно, и их взаимные смещения, которые проявляются во втягивании напрягающей арматуры на торце элемента.

В общем случае длина зоны передачи напряжений линейно связана с величиной втягивания каната на торце элемента и, в соответствии с [4, 14, 18], эта взаимосвязь выражается зависимостью:

$$l_{pt} = \alpha_0 \frac{E_p}{\sigma_{pt,0}} \delta_e, \quad (22)$$

- где l_{pt} — длина зоны передачи напряжений при отпуске каната с упоров;
 α_0 — коэффициент, зависящий от характера распределения напряжений в канате на длине зоны передачи напряжений (см. табл. 1);
 E_p — модуль упругости напрягаемой арматуры;
 $\sigma_{pt,0}$ — напряжения в напрягаемой арматуре непосредственно перед передачей усилия обжатия на бетон;
 δ_e — величина втягивания каната.

Числовые значения коэффициента α_θ в ф. (1)

Источник	Напрягающий элемент	α_θ
Gyon, 1951 []	проволока гладкая	3,0
Bruggeling A. []	проволока	3,0
RILEM-FIB-CEB-RCP-14-1979 []	проволока	3,5
PCI Manual []	семипроволочный канат	2,0

Несложно заметить, что зависимость (1) представляет собой, по- существу, известную формулу И. Гийона (Gyon), использованную с некоторыми модификациями при разработке СНиП II-V.1-62*, СНиП II-21-75 и СНиП 2.03.01-84*.

Следует иметь ввиду, что длина зоны передачи напряжений зависит от способа передачи усилия обжатия. Так, при резкой (мгновенной) передаче усилия обжатия длина зоны l_{pt} может возрасти даже на 60 % по сравнению с аналогичной величиной, получаемой при плавном отпуске каната. В СНБ 5.03.01 [1] этот эффект учитывается при вычислении базовой длины l_{pt} введением повышающего коэффициента α_1 , равного 1,25.

В соответствии с требованиями СНБ 5.03.01 [1] при расчете базовой длины передачи напряжений l_{pt} учитываются основные факторы, влияющие на условия обеспечения совместной работы напрягающего элемента и бетона (прочность бетона при растяжении к моменту передачи усилия обжатия, косвенные характеристики поверхности арматуры, ее диаметр, величина напряжений в арматуре к моменту передачи усилия обжатия):

$$l_{pt} = \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \sigma_{pm,0}}{\eta_{p1} \cdot \eta_1 \cdot f_{ctd}(f)} \varnothing, \quad (23)$$

- где α_1 – коэффициент, учитывающий способ передачи усилия обжатия (при резкой передаче $\alpha_1 = 1,25$);
 α_2 – коэффициент, принимаемый для семипроволочных канатов равным 0,19;
 \varnothing – номинальный диаметр каната;
 $\sigma_{pm,0}$ – напряжения в канате сразу после передачи усилия обжатия на бетон (с учетом всех первых технологических потерь);

η_{pl} – коэффициент, учитывающий условия сцепления и принимаемый равным для канатов 3,2.

В табл. 2 представлены расчетные и средние значения базовой длины зоны передачи напряжений l_{pl} , а также значения l_{pl1} – длины зоны передачи напряжений непосредственно при отпуске натяжения и l_{pl2} – при эксплуатации.

Таблица 2

Расчетные и средние значения базовой длины зоны передачи напряжений l_{pl} согласно СНБ 5.03.01 [5]

Вариант	Передача усилия обжатия	$f_{сст. б}$ МПа	Прочность сцепления f_{br} , МПа		α_1	α_2	$\varnothing_{ст}$ мм	Длина зоны передачи напряжений, мм		
			расчетная f_{br1}	средняя f_{br2}				базовая l_{pl}	l_{pl1} – $0,8 \cdot l_{pl}$	l_{pl2} – $1,2 \cdot l_{pl}$
1	плавная	40,0	4,32	1,0	0,1	9	9,0	445,3	356,2	534,4
	мгновенная		4,32	1,25				556,6	445,3	667,92
2	плавная			9,28	1,0	9		207,3	165,8	248,8
	мгновенная			9,28				259,1	207,3	310,9
1	плавная	40,0	4,32	1,0	0,1	12,0		593,8	475,0	712,6
	мгновенная		4,32	1,25				742,0	593,6	890,4
2	плавная			9,28	1,0	9		276,4	221,1	331,7
	мгновенная			9,28				345,5	276,0	414,6
1	плавная	40,0	4,32	1,0	0,1	15,0		742,2	593,6	890,6
	мгновенная		4,32	1,25				927,73	742,2	1113,3
2	плавная			9,28	1,0	9		345,5	276,4	414,6
	мгновенная			9,28				431,8	345,5	518,2

Примечание: Базовая длина зоны передачи напряжений определена при величине $\sigma_{pm0} = 1077$ МПа, что близко соответствует условиям производства филиала "Завод ЖБК" ОАО "Строительный трест № 8" г. Бреста

Средние значения длины зоны передачи напряжений $l_{pl,m}$, определенные при средних прочностных характеристиках бетона, могут быть использованы для определения величины втягивания канатов δ_e , пригодной для оперативного производственного контроля.

В табл. 3 приведены расчетные значения длины зоны передачи напряжений, определенные по нормам различных стран.

Таблица 3

Расчетные значения длины зоны передачи напряжений l_{pt}

№ п/п	Документ	Структура расчетной зависимости	Расчетная длина зоны передачи напряжений l_{pt} [мм] при диаметре каната \varnothing_{nom} [мм]		
			9,0	12,0	15,0
1	СНБ 5.03.01 EN 1991-1-2	$l_{pt} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \varnothing \cdot \sigma_{pm,0} / f_{bpt}$ $f_{bpt} = \eta_{p1} \cdot \eta_1 \cdot f_{ctd}$ $l_{pt1} = 0,8 \cdot l_{pt}$	445,3	593,6	742,2
2	ACI-318 BS8110	$l_{pt1} = \frac{\sigma_{pm,0}}{K} \varnothing$ $K = 21 (K = 38)$	482,14 (266,45) ^{*)}	642,86 (355,63)	803,6 (445,0)
3	СП 52-102-2004	$l_{pt1} = \frac{\sigma_{pm,0}}{4 \cdot R_{bond}} \varnothing_{nom}$ но не менее 300 мм $R_{bond} = 2,2 f_{ctd}$	855,0	1140,0	1425,0
4	ISO:1332-1980	30 \varnothing	270,0	360,0	450,0

Примечание: В скобках приведены значения при опытном значении $K_0 = 38$ согласно [19], $\sigma_{pm,0} = 1077$ МПа; $f_{ctd} = 40$ МПа; $f_{bpt} = 4,32$ МПа.

Как видно из результатов, представленных в табл. 3, длина зоны передачи напряжений l_{pt1} , рассчитанная по различным нормативным документам существенно различается, что, безусловно, влияет и на расчетное значение втягивания каната δ_c . Выбор норм для сравнения не был случайным. Зависимости, включенные в СНБ 5.03.01 [5] и EN 1991-1-2 [10], выражают прочность сцепления через прочность бетона на растяжение $f_{ctd}(t)$ к моменту передачи усилия обжатия, формулы ACI318 [7] и BS8110 [9] вообще не содержат характеристик свойств бетона, а учитывают их косвенно, требуя назначения передаточной прочности не менее 30 МПа. Стандарт ISO 1343 содержит требование, выражающее длину зоны передачи напряжений в количестве номинальных диаметров ($\beta = l_{pt} / \varnothing$). Это требование, установленное нормами различных стран, приведено в табл. 4. Надо отметить, что это некоторые граничные значения, определенные для указанных уровней предварительного напряжения.

Таблица 4

Расчетные значения относительной длины зоны передачи напряжений β по нормам различных стран (для семипроволочных канатов)

Нормативный документ	Напряжения в арматуре в момент передачи усилия обжатия, МПа	Отношение длины зоны передачи напряжений l_{pr} к номинальному диаметру каната ($\beta = l_{pr} / \varnothing$) при средней передаточной прочности бетона $f_{cm, \beta}$, МПа		
		30	40	50
ASO [8] канат $\varnothing 12,5$ мм	1450	183 / 11,2	135 / 8,4	нет данных
ACI-318R [7]	1400	66 / 3,5 ^{*)}	66 / 3,5	66 / 3,5
BS 8110 [9]	$\leq 0,75 f_{pk}$	44 / 2,3	38 / 1,7	34 / 1,4
EN 1992-1 [10]	≥ 1200	70 / 3,5	60 / 2,7	нет данных
NEN 6720 [11]	1450	66 / 4,0	59 / 3,6	нет данных
PN 84/B [12]	1350	78 / 4,4	61 / 3,5	нет данных
СНиП 2.03.01 [22]	1000	63 / 3,6	53 / 2,9	-

^{*)} После черты приведены соответствующие средние значения втягивания каната $\delta_{e, m}$, мм (при $\varnothing_{ном} = 12$ мм)

Несложно заметить, что расчетные значения длины зоны передачи напряжений, определяемые по нормам различных стран, существенно отличаются. Это связано, с одной стороны, с различными методическими подходами к определению длины l_{pr} , а с другой – со значительным разбросом опытных данных.

В табл. 4 не упоминаются требования, устанавливаемые нормативными документами Германии, т.к. в DIN 45227 не приводятся нормируемые значения β . При этом, значения β упоминаются как "допускаемые" ("Zulassung"). Эти "допускаемые" значения согласно [13] составляют: 75; 65; 55 мм/мм соответственно для средней передаточной прочности бетона 35; 45; 55 Н/мм². Следует иметь ввиду, что в соответствии с DIN 4227 напряжения в канатах несколько меньше тех, что указаны в табл. 4 для большинства норм.

Данные, приведенные в американских документах [7, 8], дают очень высокие значения длины передачи напряжений и соответственно втягивания канатов. Они получены, главным образом, из опыта практического применения и лабораторных

испытаний мостовых конструкций. Как видно из данных, приведенных в табл. 4, практически все нормы (за исключением BS 8110) определяют среднюю величину втягивания каната более 2 мм.

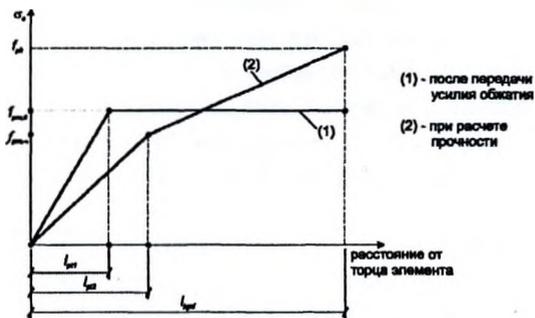


Рис. 4. К определению длины анкеровки напрягающей арматуры $l_{\text{брд}}$ согласно [5]

2. ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИНЫ ЗОНЫ ПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЛИТАХ БЕЗОПАЛУБОЧНОГО ФОРМОВАНИЯ

Как уже отмечалось ранее, расчетные зависимости, применяемые для определения длины анкеровки напрягающих элементов, включенные практически во все нормы, базируются на опытных данных, полученных при испытаниях конструкций из тяжелого бетона, изготовленных по технологиям виброуплотнения (при нормальных водоцементных отношениях). Плиты безопалубочного формования выполняют из жестких бетонных смесей (жесткостью от 17 с до 20 с), что накладывает дополнительные эффекты на совместную работу напрягающих элементов с бетоном как на стадии обжатия, так и при эксплуатационных нагружениях.

Как было показано в работах *Anderson* [19] и подтверждено исследованиями *Brooks*, *Gerstle* и *Logan* [14, 20], мерой удовлетворительного сцепления является втягивание напрягающего элемента на свободном торце плиты после разрезки отформованной дорожки. Граничное значение втягивания на свободном торце предложено рассчитывать по формуле (в системе SI):

$$\delta_{all} = \frac{\sigma_{pm,0(\infty)} \cdot \sigma_{p,max}}{41 \cdot E_p} \varnothing, \quad (24)$$

где $\sigma_{pm,0(\infty)}$ — напряжения в канатах с учетом потерь;
 $\sigma_{p,max}$ — начальные напряжения в канатах перед передачей усилия обжатия.

Это выражение дает укорочение каната на длине зоны передачи напряжений. Например, для каната с номинальным диаметром $\varnothing_{nom} = 12,7$ мм, начальные напряжения в котором составляют $\sigma_{p,max} = 1300$ МПа, втягивание на свободной грани не должно превышать 2,4 мм.

Если втягивание каната превышает δ_{all} , то имеет место увеличение длины зоны передачи напряжений и длины анкеровки по сравнению с расчетными значениями.

В процессе контроля качества при производстве плит безопалубочного формования предполагается измерение величины втягивания канатов. Если в процессе такого контроля установлено, что величина втягивания превышает допустимые значения δ_{all} , необходимо выполнить перерасчет предельной нагрузки на плиту с учетом фактической длины зоны передачи напряжений и длины анкеровки. В соответствии с [19] для расчета длины зоны передачи напряжений и длины анкеровки могут быть применены расчетные формулы (для каждого из канатов):

$$l_{pt2} = \frac{2 \cdot \delta_{l(on)} \cdot E_p}{\sigma_{p,max}}, \quad (25)$$

$$l_{bpd} = l_{pt2} + \frac{\delta_{l(on)} \cdot E_p \cdot (\sigma_{pd} - \sigma_{pm,\infty})}{\sigma_{p,max} \cdot \sigma_{pm,\infty}}. \quad (26)$$

Если в ф. (4) и (5) подставить выражение граничной величины втягивания каната по ф. (3), получаем достаточно простые выражения, пригодные для контроля:

$$l_{pt} = \frac{\sigma_{pm,\infty}}{21} \varnothing, \quad (27)$$

$$l_{bpd} = l_{pt} + \frac{1}{7} (\sigma_{pd} - \sigma_{pm,\infty}) \cdot \varnothing. \quad (28)$$

В исследованиях *Walwaren* и *Mercx* [20] показано, что формулы (6) и (7) достаточно хорошо описывают длину зоны

передачи напряжений и длину анкеровки в плитах безопалубочного формования.

Параметрические исследования, выполненные *Akesson* [14] для плит безопалубочного формования высотой 215 мм; 265 мм и 380 мм, армированных семипроволочными канатами $\varnothing = 12,9$ мм, показали, что при средней передаточной прочности бетона $47,5 \text{ Н/мм}^2$ ($C^{30}/_{37}$) в знаменателе ф. (6) следует принимать не 21, а 38 (т.е. длина зоны передачи напряжений составляет около $26\varnothing$). Полученные результаты были подтверждены опытами по втягиванию канатов, выполненных *Tassi* и *Giltoft* [14].

Следует отметить, что расчетная зависимость (2), внесенная в СНБ 5.03.01 [5] и вслед за EN 1992-1-1 [10], могут быть преобразованы к подобному виду. Так, принимая для канатов $\eta_{p2} = 3,2$; $\alpha_2 = 0,19$; $\alpha_1 = 1,25$; $\eta_1 = 1,0$, зависимость (2) получает вид:

$$l_{pi} = \frac{\sigma_{psd}}{13,5 \cdot f_{ctd}(t)} \varnothing. \quad (29)$$

При средней передаточной прочности 40 Н/мм^2 знаменатель выражения (8) становится равным 39,2.

Безусловно, что выполнять подобные перерасчеты возможно лишь в тех стадиях, когда требуется оценить фактическую несущую способность изготовленного изделия.

В связи с этим, на стадии проектирования следовало бы построить для группы изделий (например, под одну полезную нагрузку) соответствующие диаграммы усилий (см. рис. 5), а из них назначить контрольные значения втягивания канатов.

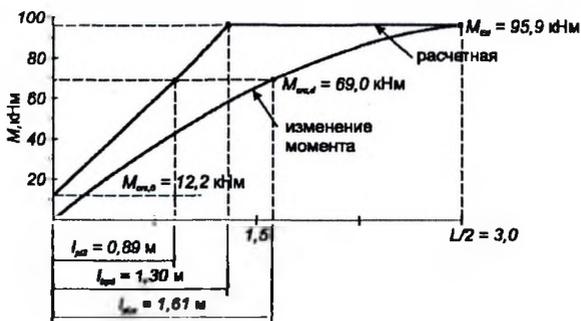


Рис. 5. Диаграмма усилий при расчете плиты безопалубочного формования по прочности

На рис. 5 в качестве примера представлена диаграмма усилий для свободно опертой плиты безопалубочного формования длиной 6 м, шириной 1,5 м, армированной 6Ø12 Y1860S7 ($f_{pk} = 1770 \text{ Н/мм}^2$; $\sigma_{pm,\infty} = 1044 \text{ Н/мм}^2$), загруженной равномерно распределенной расчетной нагрузкой $q = 14,2 \text{ кПа}$.

В соответствии с представленной диаграммой расчетная величина втягивания каната не должна превышать $\delta_{all} = 1,88 \text{ мм}$ при действии равномерно распределенной нагрузки. В свете представленного примера ограничение, принятое в СТБ 1383 [21], является близким к допустимому. Ситуация может несколько усугубиться при появлении в приопорной зоне сосредоточенных сил, создающих градиенты на эпюре моментов, что создает опасность образования трещин нормального отрыва не только на участке длины анкеровки, но и зоны передачи напряжений.

3. ДЛИНА ЗОНЫ ПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЙ, ДЛИНА ПЛОЩАДКИ ОПИРАНИЯ И ДЛИНА АНКЕРОВКИ

В соответствии с рекомендациями, содержащимися в ISO 1343 и BS 8110, длина зоны передачи напряжений не должна располагаться в пределах чистого пролета плиты. Это условие иллюстрировано на схемах рис. 6 (а) и (б) (соответственно для свободно опертых плит и плит, заделанных в стены), позаимствованных из ISO 1343.

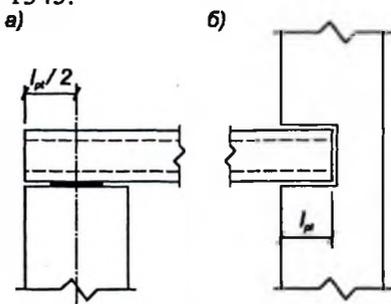
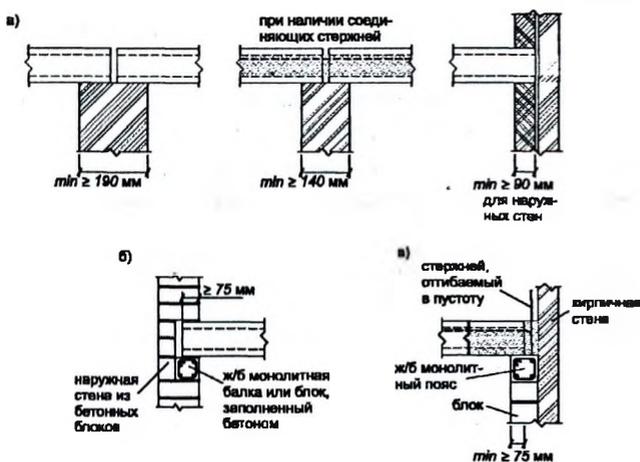


Рис. 6. Рекомендуемые длины опирания плит безопалубочного формования согласно ISO 1343 при свободном опирании (а) и заделке в стену (б)

Пользуясь представленными рекомендациями длина, площадки опирания для анализируемых плит безопалубочного формования должна составлять от 445 мм до 742 мм (при равенстве расчетной длине зоны передачи напряжений). Для сравнения: плиты, изготовленные по технологии "MaxRoth", армированные высокопрочной проволокой, имели длину зоны передачи напряжений до 570 мм [2].

Вместе с тем, практически все международные рекомендации по применению плит безопалубочного формования [19, 20] (см. табл. 5 и рис. 7), опираясь на п. 5.2.3 BS 8110 [9], устанавливают значительно более короткие площадки опирания, минимальные длины которых в общем случае составляют:

- при опирании на кирпичные стены – не менее 100 мм;
- при опирании на бетонные и стальные элементы – не менее 75 мм.



- (а) – опирание на внутренние и наружные стены;
 (б), (в) – опирание на железобетонную балку в наружной стене

Рис. 7. Схемы опирания плит безопалубочного формования согласно [19, 20]