

ВАЖНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОНОЛИТНЫХ ПОСТНАПРЯЖЕННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

В СТАТЬЕ РАССМОТРЕНЫ ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОНОЛИТНЫХ ПОСТНАПРЯЖЕННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ. ПРОАНАЛИЗИРОВАН ЭТАП НАЗНАЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕКРЫТИЯ, ВЕЛИЧИНЫ ПРЕДНАПРЯЖЕНИЯ, КЛАССА БЕТОНА, ТРАССИРОВКИ НАПРЯГАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И Т.Д. ПРИВЕДЕНЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ МОНОЛИТНЫХ ПОСТНАПРЯЖЕННЫХ (П/Н) ПЕРЕКРЫТИЙ.



ВИКТОР ТУР,
д.т.н., завкафедрой «Технологии бетона и строительных материалов» УО «БрГТУ»

В последнее время в мировой практике строительства при возведении высотных зданий широко применяют предварительно напряженные монолитные плиты перекрытий. При этом предпочтение отдается плитам, работающим в двух направлениях, предварительное напряжение которых выполняют при помощи напрягаемых элементов (канатов, проволок), не имеющих сцепления с бетоном. Следует отметить,

что наибольшее распространение конструктивные решения перекрытий, покрытий, фундаментных плит такого типа получили в США.

К настоящему времени только в США возведено более 70 млн м² плит с предварительным напряжением, создаваемым при натяжении арматуры на бетон в построечных условиях. Создание и совершенствование систем предварительного напряжения привело к широкому распространению таких конструктивных систем во Франции, Германии, Голландии, Швейцарии, Австралии. Практически во всех известных случаях предварительное напряжение создается напрягаемой арматурой, не имеющей сцепления с бетоном (т.е. без последующего инъектирования каналов для создания вторичного сцепления).

НАЗНАЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЛОСКИХ П/Н ПЛИТ

Постнапряженные монолитные плиты с напрягаемой арматурой, не имеющей сцепления с бетоном, обладают рядом преимуществ, которые особенно важно принимать во внимание при разработке проектов высотных зданий и к которым следует отнести:

- улучшенные технико-экономические показатели, включая снижение расхода материалов по сравнению с традиционными железобетонными стальными конструкциями;
- возможность создания больших пролетов при обеспеченных требованиях жесткости перекрытия, при этом увеличение размеров пролетов позволяет осуществлять более гибкую планировку площадей перекрытия;

Таблица 1. Основные технико-экономические показатели для перекрытий различных конструктивных решений¹⁾

Тип плиты	Пролет плиты, мм	Толщина плиты, мм	Высота балки, мм	Отношение пролет/толщина	Расход арматуры	
					напрягаемой на 1 м.п., шт. ²⁾	ненапрягаемой ³⁾ , кг/м ²
Сплошные плоские плиты	6,0	200	—	30	1,4 ⁴⁾	8,5
	8,0	250	—	32	2,3	12,0
Сплошные плиты, работающие в одном направлении и имеющие обвязочные балки	6,0	150	300	40/20 ⁵⁾	3,2	6,5
	8,0	200	375	40/21	3,0	7,5
	12,0	300	550	40/22	3,0	9,4
	8,0	—	300	27/1	2,5	10,0
Балочные перекрытия	12,0	—	450	25/1	2,5	10,
	15,0	—	575	25/1	3,8	17,5

Примечания:

1) данные в таблице представлены для полезной нагрузки, равной 5 кПа (без учета собственного веса конструкций перекрытия).

2) расход напрягаемой арматуры приведен для канатов диаметром 15,7 мм, с предельным усилием 265 кН.

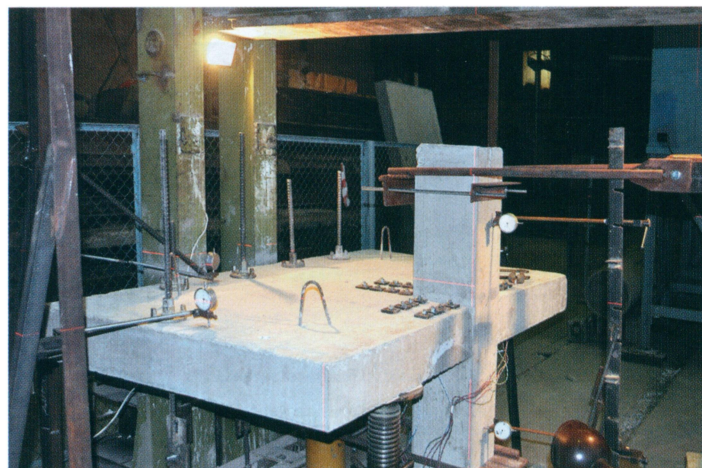
3) расход ненапрягаемой арматуры класса S500;

4) в каждом направлении;

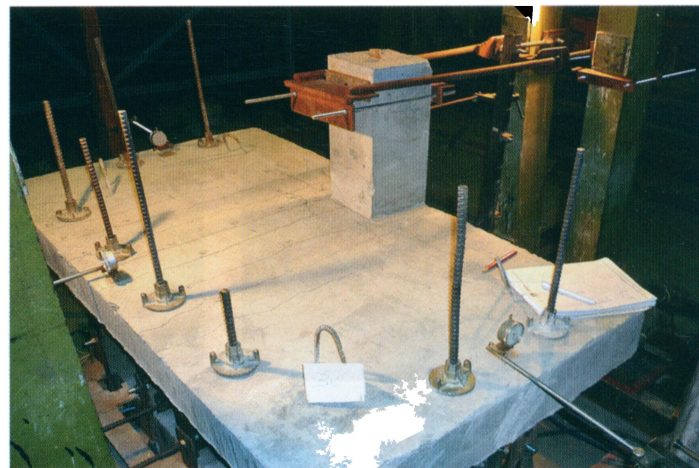
5) перед чертой – для плит, после черты – для балок



АЛЕКСАНДР ЩЕРБАЧ,
к.т.н., заведующий НИП «Металлические конструкции и арматурные изделия в конструктивных системах зданий и сооружений» РУП «Институт БелНИИС»



Экспериментальные исследования прочности плит на продавливание, усиленных поперечной арматурой под нагрузкой



Усиление в виде сквозных предварительно напряженных шпилек

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ОБЖАТИЕМ БЕТОНА В ТЕХ МЕСТАХ, ГДЕ НАГРУЗКА ВЫЗЫВАЕТ РАСТЯГИВАЮЩИЕ УСИЛИЯ, НАЗЫВАЮТСЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫМИ

- возможность повышения архитектурной выразительности проектируемых зданий: свободная трассировка напрягаемых элементов по траекториям силовых потоков (линиям опор) позволяет использовать конструктивные системы с нерегулярным размещением опор (стен, колонн), отверстиями и консольными фрагментами плит;
- снижение нагрузок от собственного веса перекрытий, что создает благоприятный эффект для наиболее нагруженных колонн нижних этажей и фундаментов;
- резервирование прочности при постановке дополнительных внутренних горизонтальных связей, повышающих надежность конструктивной системы и обеспечивающих устойчивость против прогрессирующего обрушения;
- обеспечение высокой прочности на местный срез (продавливание) при соответствующем размещении напрягаемых арматурных элементов;

- сокращение сроков строительства.

На основании доступных источников информации в таблице 1 приведены основные технико-экономические показатели для перекрытий различных конструктивных решений, запроектированных под нагрузку 5 кПа (без учета собственного веса плиты).

Важнейшим элементом проектирования плоских перекрытий является выбор геометрии сетки колонн. Оптимальные размеры пролетов для плоских перекрытий с квадратной сеткой колонн, запроектированных под нагрузку 5 кПа, приведены на рис. 1.

Коротко остановимся на подходах к компоновке плоских перекрытий, акцентируя внимание на критерии ограничения прогибов. Еще до начала статического расчета конструктор должен назначить необходимую толщину плиты. Так, для железобетонных плит критерии назначения соотношения (l/h) разработаны достаточно хорошо и внесены в нормы ряда стран.

Пролет (м)*	6	8	10	12	14	16	18	20
Перекрытия с плоскими плитами								
Балочные перекрытия								
Перекрытия с обвязочными балками в одном направлении								

■ — железобетонные конструкции

■ — предварительно напряженные конструкции

* Размеры пролетов для зданий с полезной нагрузкой на перекрытие 5 кПа (без учета собственного веса плиты)

Рис. 1. Оптимальные размеры пролетов для различных конструктивных решений перекрытий (требования жесткости обеспечены)

Таблица 2. Рекомендуемые отношения (l/h) для п/н плит

Источник	l/h	
	Перекрытие	Покрытие
ACI – ASCE [25]	от 40 до 45 или 48*	от 45 до 48 или 52*
Flp Recommendations [15]	42 или 48*	48 или 52*
Concrete Society Techn.Rep№25 [26]	от 34 до 42 или (от 28 до 36)**	от 40 до 48
ACI 318 – 89 [21]	от 42 до 48*	от 48 до 52*

Примечания:

* значения с учетом требований гибкости;

** для тяжело нагруженных перекрытий

Таблица 3. Рекомендуемые ограничения отношения l/h в плоских перекрытиях, предварительно напряженных в двух направлениях

Отношение полной нагрузки к постоянной ($q + g$) / g	Пролет, м			
	7,5	10,0	15,0	20,0
1,0	45	42	33	27
2,0	41	34	26	20
3,0	35	29	22	16

При проектировании п/н плит проблема назначения критериев для предварительного проектирования становится более сложной. В таких конструкциях помимо показателя гибкости (l/h) на деформативность плит существенное влияние оказывают и другие важные параметры, в частности предварительного напряжения и уровень переменной нагрузки. Разнообразие в широком диапазоне этих важных параметров затрудняет выработку некоторых упрощенных правил ограничения прогибов п/н плит без предварительных расчетов.

В таблице 2 представлены некоторые рекомендуемые значения гибкости (l/h) для предварительно напряженных плит, приведенные на основании требований американских и европейских норм проектирования. Следует под-

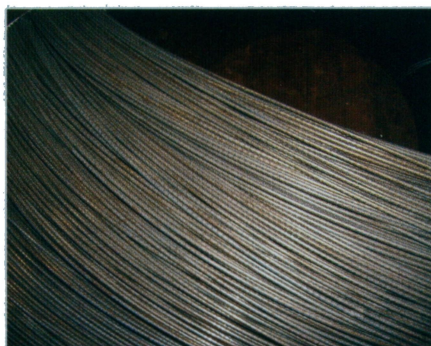
черкнуть, что нормативные документы акцентируют внимание на том, что содержащиеся в них значения являются только ориентировочными и требуют подтверждения расчетами для назначенного уровня преднапряжения и усилий от нагрузок.

Плоские плиты с напрягаемой арматурой, не имеющей сцепления с бетоном, находят применение главным образом в конструктивных системах с повышенными требованиями по ограничению прогибов.

Как известно, допустимые значения прогибов плит назначают исходя из следующих требований: технологических, эстетико-психологических, физиологических, конструктивных. В последнем случае чрезмерные прогибы плит не должны приводить к повреждениям конструктивных и некон-



Для крупных инженерных сооружений используются предварительно напряженные железобетонные плиты



Проволока из углеродистой стали для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций



Железобетонные перемычки ненесущие и несущие

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ ХАРАКТЕРИЗУЮТСЯ ВЫСОКОЙ ПРОЧНОСТЬЮ ПРИ СЖАТИИ И МАЛЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ РАСТЯЖЕНИЮ. ПОЭТОМУ В БЕТОНЕ РАСТЯНУТОЙ ЗОНЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОНСТРУКЦИИ, НЕСМОТЯ НА НАЛИЧИЕ АРМИРОВАНИЯ, ПОЯВЛЯЮТСЯ СЛЕДЫ РАЗРУШЕНИЯ ОТ НОРМАЛЬНЫХ РАСТЯГИВАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ВИДЕ ВОЛОСНЫХ ТРЕЩИН. РАСКРЫТИЕ ТРЕЩИН В КОНСТРУКЦИЯХ НА ОТКРЫТОМ ВОЗДУХЕ НА ВЕЛИЧИНУ БОЛЕЕ 0,2 ММ СОЗДАЕТ ОПАСНОСТЬ КОРРОЗИИ АРМАТУРЫ. С ЦЕЛЬЮ УСТРАНЕНИЯ ЭТОГО НЕДОСТАТКА И ИСКЛЮЧЕНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ НОРМАЛЬНЫХ СИЛ РАСТЯЖЕНИЯ В БЕТОНЕ РАЗРАБОТАН МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ В БЕТОНЕ ИСКУССТВЕННЫХ СЖИМАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ, ПРОТИВОСТОЯЩИХ РАСТЯЖЕНИЯМ, ВЫЗЫВАЕМЫМ НАГРУЗКОЙ

структивных элементов, раскрытию швов, разрушению стыковых соединений и т.д. При оценке по конструкционным ограничениям следует рассматривать только ту часть прогиба, которая появляется после возведения потенциально повреждаемых элементов. В соответствии с представленными причинами американские и европейские нормы вводят следующие ограничения прогибов для плит:

- максимальный прогиб при действии практически постоянного сочетания нагрузок не должен превышать $l/250$;
- максимальный прогиб, появляющийся после установления

перегородок, для частого сочетания нагрузок не должен превышать $\min\{l/500; 15\text{мм}\}$.

Ориентировочные толщины предварительно напряженных плит в двух направлениях плит представлены в работе немецких исследователей в виде отношения l/h при различной интенсивности переменных воздействий q в отношении к постоянным воздействиям g и различным пролетам и показаны в таблице 3. Следует отметить, что эта таблица, позаимствованная из практических рекомендаций к DIN 1045, не оговаривает, каким образом осуществляется преднапряжение

(имеют ли напрягаемые стержни сцепление с бетоном или нет).

Большинство норм не содержат ограничений по толщине плит предварительно напряженных перекрытий с натяжением напрягаемой арматуры на бетон. Исключением, очевидно, являются только немецкие нормы DIN 4227, которые содержат по отношению к предварительно напряженным плитам без сцепления напрягаемой арматуры с бетоном общее требование выполнения условия $l/h \leq 40$. Эта рекомендация относится только к перекрытиям с равномерным распределением напрягаемых канатов в проле-

те. Что касается перекрытий с канатами, сконцентрированными в межколонных полосах, то этот случай не рассматривается.

Несколько более широко представлены требования и рекомендации, относящиеся к назначению толщины предварительно напряженных плит перекрытий в немецких нормах DIN 1045-1. Рекомендовано, чтобы минимальная толщина предварительно напряженной плиты была не менее 200 мм. Представлены также общие рекомендации, касающиеся гибкости плит. При ограничении прогиба как $(a_f \leq l_{eff}/250)$ определена минимальная рабочая высота сечения плиты ($\min$) $d = l_{eff}/35$, что соответствует в типовых ситуациях значениям $l_{eff}/h = 35 \div 40$.

Используя требования немецких норм, авторы ранее упомянутых рекомендаций представили толщины плит плоских перекрытий, выполняемых с предварительным напряжением и без него. Сокращенно эти рекомендации приведены в таблице 4.

Ограничения прогибов рассматриваются для крайних пролетов. Если крайние пролеты являются меньшими, чем средние, то критерии следует проверять также и для средних пролетов. При предварительном подборе толщины плит плоских перекрытий могут быть полезными и рекомендации *fib* (табл. 5).

Как известно, при разработке конструктивного решения высотного здания в основном применяются концепции, в соответствии с которой основные полезные (эксплуатируемые) площади перекрытий группируют вокруг жесткого центрального ядра. Пролет пли-

Таблица 4. Рекомендации для определения толщины плиты плоских перекрытий с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном

Допускаемый прогиб	Пролет, l , м	Толщина плиты, h , мм
Обычное ограничение $a/l_{eff} \leq 1/250$	6	200*
	8	220
	10	270
	12	310
Повышенное ограничение $a/l_{eff} \leq 1/500$	6	200*
	8	240
	10	350
	12	480

Примечание: * минимальная толщина по требованиям DIN 1045

Таблица 5. Сравнительные рекомендации, касающиеся отношения пролета и толщины сплошных плит в плоских железобетонных и предварительно напряженных плитах покрытий

Соотношение сторон плит	Полезная эксплуатационная нагрузка (без собственного веса плиты), кПа	Толщина плиты, мм	Максимальный (рациональный) пролет ж/б плиты, м	Максимальный (рациональный) пролет преднапряженной плиты, м
1:1	2,25	200, 300	6,5, 8,6	7,5, 10,2
	4,50	200, 300	5,8, 7,8	6,8, 9,5
1:1,5	2,25	200, 300	7,2, 9,2	8,8, 12,0
	4,50	200, 300	6, 8,1	7,8, 10,8



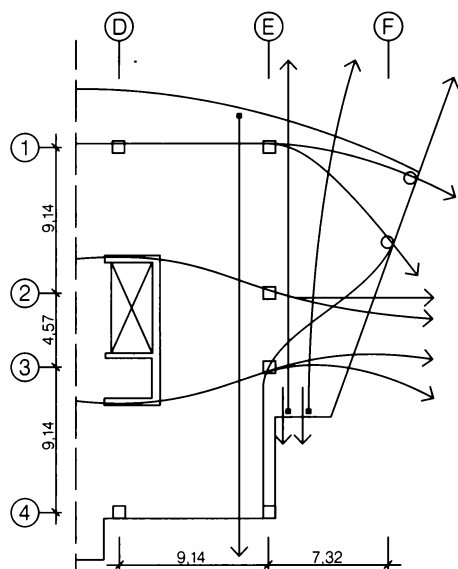


Рис. 2. Пример размещения напрягаемых элементов по направлениям силовых траекторий

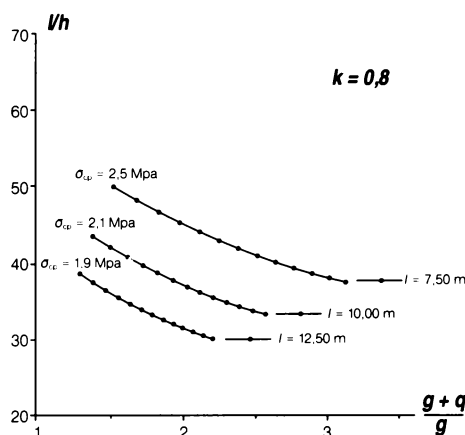


Рис. 3. Кривые для определения l/h в зависимости от степени преднапряжения $k = a_{sp}/a_e$

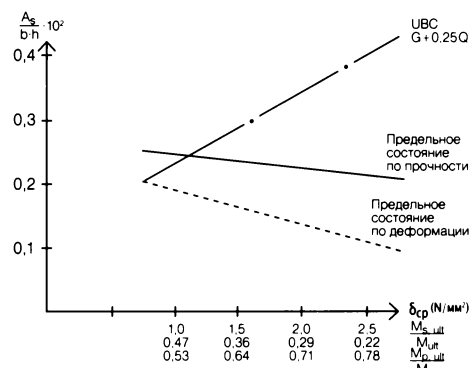


Рис. 4. К определению требуемого количества ненапрягаемой арматуры

ты в таких зданиях составляет, как правило, не менее 9 м (чаще всего 12 м). Для предварительно напряженных плит, в которых напрягаемая арматура не имеет сцепления с бетоном, обычно применяют толщину плиты 200–240 мм в зависимости от размера пролета.

Как отмечалось ранее, применение тонких плит обеспечивает уменьшение сечений колонн, особенно нижнего этажа, и нагрузок, передаваемых на фундаменты. Более того, снижение нагрузок от собственного веса плит перекрытий позволяет получать существенные преимущества при расчете высотных зданий на ветровые и сейсмические воздействия.

Для зданий с нерегулярным размещением колонн в плане (рис. 2) п/н плиты имеют особые преимущества. В данном случае напрягаемые арматурные элементы достаточно просто располагаются по направлениям силовых траекторий, позволяя создать условия для эффективного преднапряжения не только пролетных, но и консольных элементов плиты.

НАЗНАЧЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПРЕДНАПРЯЖЕНИЯ

Расчетные критерии назначения величины преднапряжения в постнапряженных плитах связаны главным образом с ограничением прогибов. Требуемое усилие предварительного напряжения устанавливается в зависимости от степени преднапряжения k , определяемой как отношение максимального перемещения (выгиба) от эффективного преднапряжения (с учетом

соответствующих потерь) a_{sp} к прогибу от действия практически постоянного сочетания нагрузок a_e ($k = a_{sp}/a_e$). В практических проектных ситуациях степень преднапряжения k изменяется в интервале от 0,6 до 1 в зависимости от технических требований норм и экономических оценок. Так, при значениях $k \approx 1$ оценки по критерию деформативности могут давать относительно небольшие толщины плит. В этом случае толщину плиты следует контролировать из условия обеспечения безопасности в предельном состоянии по прочности, ограничения гибкости, огнестойкости. Учитывая названные требования, американские нормы проектирования рекомендуют ограничивать средние сжимающие напряжения в бетоне от действия эффективного преднапряжения.

Для плоских плит рекомендовано назначать напряжения в бетоне от 1 до 3 МПа.

На рис. 3 приведены кривые для определения гибкости (l/h) в зависимости от степени преднапряжения $k = 0,8$, уровня нагрузки, построенные исходя из ограничения по прогибам.

Если средние сжимающие напряжения в бетоне плиты составляют менее 1 МПа, то такие конструкции имеют, как правило, невысокие технико-экономические показатели. С другой стороны, назначение средних напряжений в плите более 3 МПа может привести к проблемам, связанным с несвободным укорочением плиты при ограничении деформаций в процессе ее обжатия другими конструктивными элементами.

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА НАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ В П/Н КОНСТРУКЦИИ С НАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРОЙ БЕЗ СЦЕПЛЕНИЯ С БЕТОНОМ

Еще одна важная особенность п/н конструкций без сцепления напрягаемой арматуры с бетоном – это необходимость установления ненапрягаемой арматуры в сечении конструкции.

Как правило, при проектировании п/н плит без сцепления напрягаемой арматуры с бетоном американские и европейские нормы требуют постановки совместно с напрягаемыми арматурными элементами дополнительного количества ненапрягаемой арматуры. При этом необходимое соотношение количества напрягаемой и ненапрягаемой арматуры в расчетных сечениях существенным образом зависит от уровня обжатия бетона (т.е. степени предварительного напряжения).

Практически все европейские нормы, включая и СНБ 5.03.01, не содержат специальных требований, касающихся ограничения напряжений в растянутом бетоне плит, разрешая тем самым появление и ограниченное раскрытие трещин. Вместе с тем, согласно требованиям упомянутых норм, в этих случаях обязательна проверка конструкции по предельным состояниям второй группы с тем, чтобы не допускать снижения их эксплуатационной пригодности и долговечности.

Таким образом, при проектировании плитных предварительно напряженных конструкций с напрягаемыми арматурными элементами, не имеющими сцепления с бетоном, имеет место сле-

дующая ситуация. С одной стороны, необходимо создать такие сжимающие напряжения в бетоне, при которых конструкция будет отвечать требованиям трещиностойкости и жесткости при действующих нагрузках. С другой стороны, увеличение уровня обжатия бетона повышает опасность хрупкого разрушения конструкции и требует постановки большего количества ненапрягаемой арматуры. Минимальное количество ненапрягаемой арматуры должно определяться из условия недопущения хрупкого разрушения.

В соответствии с требованиями немецких норм необходимое количество ненапрягаемой арматуры рассчитывают по моменту образования трещин M_{cr} , величина которого вычисляется в зависимости от прочности бетона на растяжение. Это достаточно консервативный подход, т.к. после появления трещин восприятие растягивающего усилия предполагается только ненапрягаемой арматурой.

Канадские нормы проектирования содержат требование, в соответствии с которым в плитах, работающих в одном направлении (балочных плитах) с напрягаемой арматурой, не имеющей сцепления с бетоном, ненапрягаемая арматура должна воспринимать растягивающее усилие, создаваемое моментом от полной расчетной постоянной нагрузки и 25 % от расчетной переменной нагрузки, действующей на перекрытие (покрытие) (рис. 4).

Согласно ранее упомянутым канадским нормам проектирования, в связи с тем, что ненапрягаемая арматура обеспечивает ре-

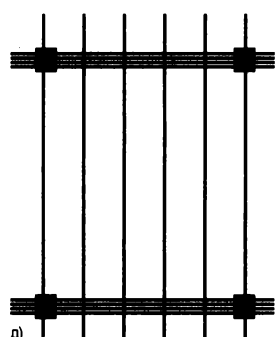
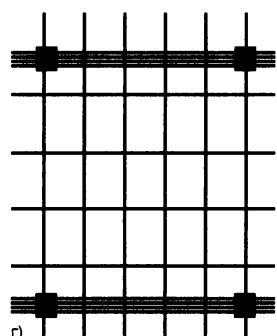
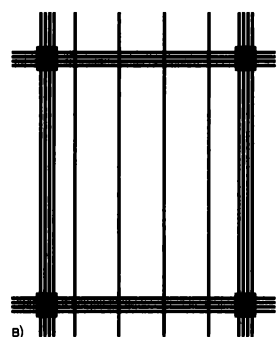
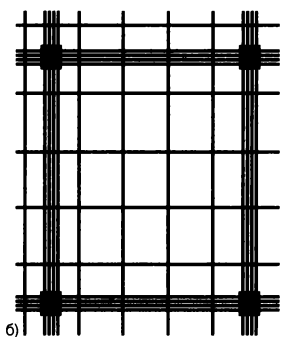
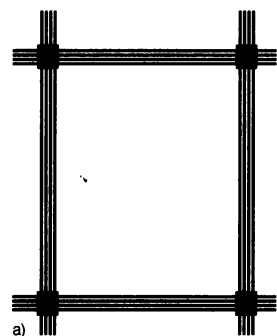


Рис. 6. Характерные случаи размещения напрягаемых элементов в плане перекрытия при регулярной сетке колонн

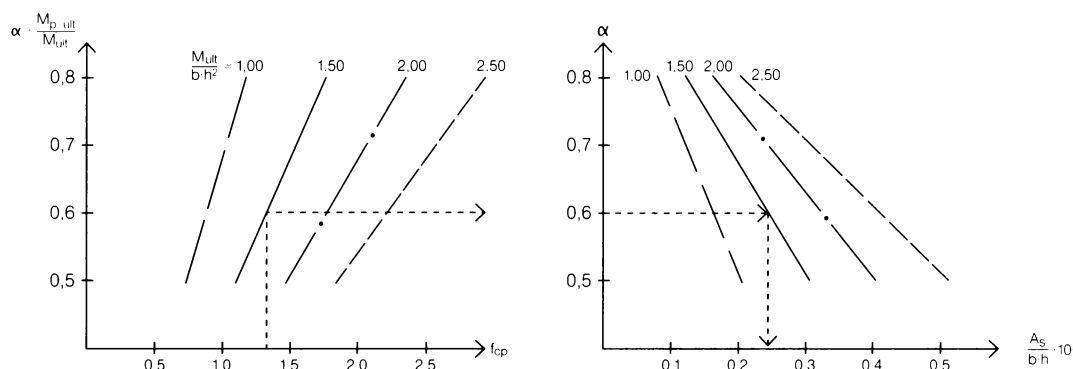


Рис. 5. Влияние величины предварительного обжатия f_{cp} на требуемое количество ненапрягаемой арматуры в соответствии с канадскими нормами проектирования

зержвы прочности, рекомендуется принимать долю предельного момента, воспринимаемого за счет напрягаемой арматуры, равной $0,5 \leq \alpha \leq 0,6$, ($\alpha = M_{p,ult}/M_{ult}$), т.е. 50–60 % предельного расчетного усилия, действующего в сечении, должно быть воспринято напрягаемой арматурой, а оставшиеся 40–50 % – ненапрягаемой арматурой, имеющей сцепление с бетоном (рис. 5). При этом полученные предварительным расчетом коэффициенты армирования для ненапрягаемой арматуры $\rho_{s,min}$ должны удовлетворять требованиям действующих норм.

Таким образом, предварительно напряженные плиты с напрягаемой арматурой, не имеющей сцепления с бетоном, чувствительны к уровню эффективного предварительного обжатия бетона. Резервирование прочности в плитах такого типа следует выполнять путем снижения уровня эффективного обжатия и/или повышения количества ненапрягаемой арматуры, имеющей сцепление с бетоном.

НАЗНАЧЕНИЕ КЛАССА БЕТОНА

При проектировании плит предварительно напряженных плоских перекрытий важное значение имеют упругие свойства бетона, а также реологические характеристики (усадка и ползучесть). Модуль упругости бетона влияет на величину прогибов при кратковременном нагружении и снижение потерь предварительного напряжения. Усадочные деформации влияют как на потери предварительного напряжения, так и на изменение внутренних усилий во всей конструктивной системе, состоящей из плит и колонн. Коэффициент ползучести существенно влияет на длительные прогибы, а также потери преднапряжения в процессе эксплуатации. Поэтому при проектировании плоских предварительно напряженных кон-

струкций оптимальному выбору этих параметров для бетона следует уделять пристальное внимание.

Минимальный класс бетона по прочности на сжатие принимается как для предварительно напряженных конструкций и по требованиям действующих норм составляет не менее C^{25}_{40} . При этом дополнительно следует учитывать требования, сформулированные в технических рекомендациях для конкретных систем преднапряжения, в которых в зонах анкеровки может требоваться класс больший, чем минимальный.

Увеличение класса бетона по прочности связано, как правило, с большим модулем упругости (при данном виде заполнителя), что приводит к снижению прогибов и уменьшению расхода напрягаемой арматуры в таких случаях. Вместе с тем следует иметь в виду, что технология высокопрочных бетонов отличается от традиционной, а повышение прочности за счет увеличения содержания вяжущего непременно приводит к увеличению усадочных деформаций (главным образом аутогенных).

ТРАССИРОВКА НАПРЯГАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПЛАНЕ

В перекрытиях с большими пролетами, когда толщина плиты является относительно большой (около 300 мм), применяется либо равномерное распределение напрягаемых элементов в поле плит в двух направлениях, либо концентрированное размещение в межколонной полосе (рис. 6а). Теоретически наиболее благоприятным размещением следует считать размещение, показанное на рис. 6б. При меньших толщинах оказывается, что вместо схемы расположения (б) технологически более выгодным может быть распределение (в), (г) или (д).

Распределение типа (а) является особенно полезным с точки

зрения повышения несущей способности (прочности) на местный срез (продавливание) и снижения прогибов, но требует повышенного количества ненапрягаемой арматуры в пролетах – как для плиты, опертой по контуру.

В плитах перекрытий с перекрестным размещением напрягаемой арматуры следует принимать во внимание, что в двух направлениях плиты имеют различную рабочую высоту. Поэтому для предварительного напряжения рекомендуется применять канаты, имеющие небольшие диаметры. Для таких канатов рекомендуется применять так называемую «свободную трассировку» напрягаемых стержней в пролете, когда их размещают на ненапрягаемой арматуре.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Монолитные плиты перекрытий (покрытий), выполненные с натяжением напрягаемой арматуры на бетон в построечных условиях, так называемые п/н конструкции, обладают целым рядом преимуществ, благодаря чему составляют значительную долю в мировой практике проектирования зданий и сооружений. Применение п/н плит перекрытий при возведении монолитных каркасов позволяет обеспечить ощутимую экономию арматуры и бетона. Так, при пролете плиты 6 м экономия по расходу ненапрягаемой арматуры может составить 40 % и более, бетона – 30 % и более за счет уменьшения высоты сечения плиты.

Важно отметить, что проектирование монолитных п/н плит имеет некоторые нюансы, не присущие процессу расчета и проектирования традиционных предварительно напряженных конструкций. Особое внимание следует уделять назначению уровня предварительного обжатия и расчету необходимого количества ненапрягаемой арматуры. ☼