

Щербач Александр Валерьевич, канд. техн. наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией, РУП «Институт БелНИИС», г. Минск (Беларусь)

Сас Сергей Александрович, магистр технических наук, начальник Технического Департамента, ООО «Ректор Польша», г. Варшава (Польша)

Alexander Shcherbach, PhD in Engineering Science, head of the research and scientific laboratory, «Institute BelNIIS», RUE, Minsk (Belarus)

Sergei Sas, Master of Engineering, head of the technical department, «Rector Poland», Limited Liability Company, Warsaw (Poland)

ЧАСТОРЕБРИСТЫЕ СБОРНО-МОНОЛИТНЫЕ ПЕРЕКРЫТИЯ. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ

COMPOSITE MULTI-RIBBED SLABS. DESIGN PECULIARITIES

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены основные особенности проектирования нового для Республики Беларусь типа железобетонных междуэтажных перекрытий – сборно-монолитных часторестристых перекрытий. Вышеупомянутый тип междуэтажного перекрытия активно применяется в европейских странах при возведении малоэтажных общественных и жилых зданий благодаря своей простоте, высоким темпам возведения, возможности перекрывать пролеты до 10 м и создавать консольные вылеты, низкой потребности в применении мощных подъемно-транспортных машин и механизмов, а также отсутствия необходимости в высококвалифицированных кадрах на строительной площадке. В статье приведена информация об основных типах существующих конструктивных решений часторестристых сборно-монолитных перекрытий со сборными железобетонными балками, а также различные варианты конструктивных решений перекрытий с консольными вылетами. Статья содержит графические иллюстрации вышеупомянутых конструктивных решений. Приведены общие указания по расчету плит перекрытий, и сделан акцент, по мнению авторов, на наиболее важные этапы расчета, а именно, на расчет сопротивления действию поперечной силы, как для стадии возведения, так и для стадии работы завершеного перекрытия. Приведены конструктивные требования, предъявляемые к ребрам жесткости перекрытий. Особое внимание уделено расчету сопротивления контакта бетона сборных балок и монолитного бетона

набетонки — приведены подробные указания по определению расчетной длины контакта при использовании различных типов пустотелых блоков. Освещен вопрос учета статической неопределимости многопролетного сборно-монолитного перекрытия, заключающийся в определении максимальных значений изгибающего момента в долях от максимального значения изгибающего момента в так называемом сопоставимом пролете однопролетной статически определимой балки.

ABSTRACT

This article shows the main features of design process of a new (for the Republic of Belarus) type of reinforced concrete inserted floors — composite multi-ribbed slabs. The above-mentioned type of a composite slab is frequently applied in European countries while constructing low-story municipal and residential buildings owing to its simplicity, high speed of erecting, ability to cover up to 10 m span, possibility to create a cantilever, low need for application of powerful hoisting cranes and mechanisms, and also low need for highly qualified personnel on a building site. The information about the basic types of existing composite multi-ribbed slabs with precast reinforced concrete beams, and also various versions of structural solutions of slabs with cantilevers is provided in this article. The article also contains the graphic illustrations of above-mentioned structural solutions. General instructions for the design of composite multi-ribbed slabs and, according to authors' opinion, the most important stages of a design process are provided — the design of resistance to shear, both for the construction stage and for the functional stage of a finished structure. The requirements imposed to the stiffening ribs of slabs are also provided. Special attention is paid to the design of precast beam and monolithic concrete interface — detailed instructions of determination of an interface design length while applying various types of hollow blocks are provided. Besides, the issue of the design of continuous composite slab, consisting of the determination of maximum values of the bending moment as a fraction of a maximum value of the bending moment at the so-called comparable flight of a single-span beam is taken up.

Ключевые слова: часторебристые сборно-монолитные перекрытия, пустотелые блоки, ребро жесткости, контакт

Keywords: multi-ribbed composite slabs, hollow blocks, stiffening rib, interface

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении последних нескольких лет на территории Республики Беларусь стали появляться предложения о поставке изделий и возведении нового для нашего рынка строительных изделий и услуг типа железобетонного перекрытия — часторебристого сборно-монолитного перекрытия.

Благодаря своей простоте, высоким темпам возведения и низкой стоимости этот тип плит перекрытий приобрел особую популярность при возведении малоэтажных жилых и общественных зданий в странах Западной Европы (рис. 1).

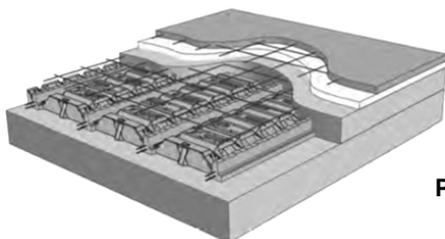


Рисунок 1. Фрагмент сборно-монолитного часторебристого перекрытия

Часторебристые сборно-монолитные плиты перекрытий обладают рядом преимуществ по сравнению с другими типами перекрытий.

К этим важнейшим преимуществам следует отнести:

- улучшенные технико-экономические показатели, включая снижение расхода материалов по сравнению с традиционными железобетонными монолитными конструкциями;
- возможность создания больших пролетов при обеспеченных требованиях жесткости перекрытия (до 10 м). При этом увеличение размеров пролетов позволяет осуществлять более гибкую планировку площадей перекрытия;
- высокий темп возведения;
- в большинстве случаев отсутствие необходимости применения подъемно-транспортных механизмов.

РУП «Институт БелНИИС» были разработаны Рекомендации [4] по расчету и проектированию часторебристых сборно-монолитных перекрытий, детально описывающие все этапы расчета и конструирования часторебристых сборно-монолитных перекрытий с предварительно напряженными сборными балками, начиная с общих указаний по проектированию различных типов сборно-монолитных ребристых перекрытий и завершая особыми требованиями по расчету и конструированию. Кроме этого, [4] содержат указания по:

- правилам расчета опорных зон перекрытия;
- расчету сопротивления действию сосредоточенных нагрузок;
- обеспечению сейсмостойкости;
- учету диафрагменного эффекта;

Далее остановимся более подробно на наиболее важных, на наш взгляд, этапах проектирования часторебристых сборно-монолитных перекрытий.

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ЧАСТОРЕБРИСТЫХ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ

В соответствии с зарубежным опытом проектирования часторебристых сборно-монолитных перекрытий [1–3] их применение рационально при пролетах до 10 м и следующих дополнительных ограничениях:

- шаг сборных балок (ребер) не превышает 750 мм;
- плиты перекрытий воспринимают главным образом статические нагрузки, что исключает возможность возникновения повторяющихся или значительных динамических воздействий, а также нагрузок, которые могут вызвать усталостное разрушение материала;
- плиты перекрытий защищены от неблагоприятных атмосферных воздействий и не подвергаются воздействию агрессивных сред;
- плиты перекрытий воспринимают нагрузки от движущихся тел (легкие транспортные средства, подъемно-транспортные устройства, нагрузка которых на ось не превышает 30 кН).

Следует отметить, что применение часторебристых перекрытий допускается и в сейсмических зонах.

Во множестве различных конструктивных решений часторебристых сборно-монолитных перекрытий можно выделить следующие основные типы:

- со сплошной монолитной набетонкой, возводимые путем укладки бетона на высокопрочные пустотелые блоки¹ (рис. 2) или простые пустотелые блоки²;

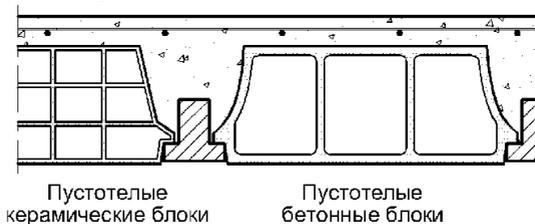


Рисунок 2. Конструктивное решение плиты перекрытия с высокопрочными пустотелыми блоками

¹ Пустотелые блоки для устройства несъемной опалубки, производимые из бетона или керамики и учитываемые в расчетах плит перекрытий по двум группам предельных состояний.

² Пустотелые блоки для устройства несъемной опалубки, не учитываемые в расчетах сопротивления сечений плит перекрытия.

- с «прерывистой» набетонкой по несущим пустотелым блокам³ — монолитный бетон располагается только между пустотелыми блоками (рис. 3);

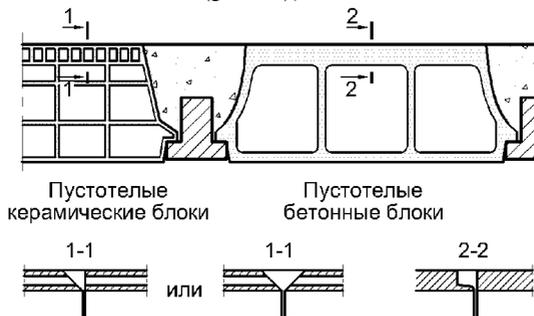


Рисунок 3. Конструктивное решение плиты перекрытия с «прерывистой» набетонкой

- со сплошной «независимой» монолитной набетонкой — монолитный бетон укладывают по всей поверхности перекрытия по слою изолирующего материала (например, по пенополистирольным плитам) (рис. 4);

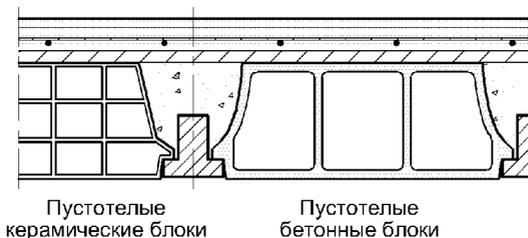


Рисунок 4. Конструктивное решение плиты перекрытия с «независимой» набетонкой

- плиты перекрытий с высокопрочными пустотелыми блоками (в случае использования в качестве покрытия либо чердачного перекрытия) с «независимой» набетонкой или без нее;
- плиты перекрытий с применением несущих балок: это плиты перекрытий, в которых сопротивление действующим

³ Пустотелые блоки из бетона или керамики, которые благодаря своей форме и механическим характеристикам перераспределяют все эксплуатационные нагрузки на балки и оказывают сопротивление воздействию местных нагрузок, исключая необходимость устройства распределительной набетонки.

- применение коротких (доборных) балок, используемых в качестве несъемной опалубки (рис. 8). Сопротивление консоли действующим нагрузкам обеспечивается набетонкой.



Рисунок 8. Конструктивное решение консольного вылета перекрытия с доборными балками, используемыми в качестве несъемной опалубки

- использование конструктивного решения, заключающегося в устройстве монолитной железобетонной консольной плиты (рис. 9).

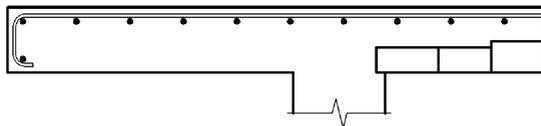


Рисунок 9. Конструктивное решение монолитного консольного вылета перекрытия

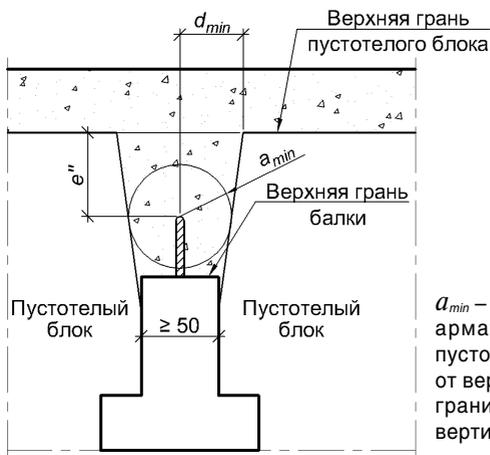
ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К РЕБРАМ ЖЕСТКОСТИ ПЕРЕКРЫТИЙ

При назначении размеров сечения ребер жесткости должны быть выполнены следующие требования [4] (рис. 10):

- ширина ребра жесткости на верхнем уровне балки должна быть не менее 50 мм;
 - расстояния a , d должны удовлетворять условиям: $a \geq a_{min}$, $d \geq d_{min}$,
- где

$$a_{min} = \max\left(35; 30 + \frac{e''}{8}\right), \text{ мм}, \quad (1)$$

$$d_{min} = \max(a; a_{min} + 0,2e''), \text{ мм}. \quad (2)$$



a_{min} – минимальное расстояние от вершины арматурных петель до боковой грани пустотелого блока; e'' и d_{min} – расстояния от вершины арматурных петель до верхней грани пустотелого блока, отмеренные по вертикали и горизонтали соответственно

Рисунок 10. Основные параметры монолитной части ребра жесткости

ПРАВИЛА РАСЧЕТА ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ

Расчет часторебристого сборно-монолитного перекрытия необходимо производить для двух стадий:

- для стадии возведения;
- для законченного перекрытия.

Расчет на стадии возведения может выполняться для элементов, монтируемых с применением промежуточных временных опор и без них.

При расчете перекрытия на стадии возведения по предельным состояниям несущей способности должны выполняться следующие условия:

$$M_{Ed, prov} \leq M_{Rd 7}, \quad (3)$$

где $M_{Ed, prov}$ – изгибающий момент в расчетном сечении от действия внешней нагрузки, кН·м;

$M_{Ed, prov}$ – предельное значение изгибающего момента, воспринимаемого сечением сборной балки в возрасте минимум 7 суток.

$$V_{Ed, prov} \leq V_{Rd, c}, \quad V_{Ed, prov} \leq V_{Rd, c}$$

где $V_{Ed, prov}$ – поперечная сила в расчетном сечении от действия внешней нагрузки, кН·м;

$V_{Rd, c}$ – предельное значение поперечной силы, воспринимаемой сечением сборной балки в возрасте минимум 7 суток.

При расчете на стадии возведения особенно важным является расчет сопротивления балок действию поперечной силы. Величину

поперечной силы $V_{Rd,c}$, кН, воспринимаемой бетоном балки с учетом возраста бетона балки 7 суток, определяют по формуле [6] (6.4):

$$V_{Rd,c} = \frac{I_b \cdot b_w}{S_b} \sqrt{f_{ctd}^2 + \alpha_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot f_{ctd}}, \quad (4)$$

где f_{ctd} — расчетное значение прочности бетона на растяжение, МПа, определяемое по формуле:

$$f_{ctd} = f_{ctd,7} = \frac{0,21 \cdot f_{ck,7}^{(2/3)}}{\gamma_c}, \quad (5)$$

здесь γ_c — частный коэффициент безопасности по бетону, принимаемый $\gamma_c=1,3$ [4], [6] (А.2.3);

$f_{ck,7}$ — характеристическое значение прочности бетона сборных балок на сжатие в возрасте 7 суток, МПа.

При расчете перекрытия на стадии возведения по предельным состояниям эксплуатационной пригодности контролируют прогиб и образование трещин:

$$a_{max} \leq \frac{L_{er}}{n_f}, \quad (6)$$

где L_{er} — пролет конструкции, кН·м;

n_f — коэффициент, принимаемый равным: $n_f = 200$ для плит перекрытия, возводимых без временных опор, и к которым не предъявляют эстетико-психологических требований (например, технические подвальные помещения); $n_f = 500$ в остальных случаях.

$$M_{Ed} \leq M_{cr,7}, \quad (7)$$

где M_{Ed} — изгибающий момент в расчетном сечении от действия внешней нагрузки, кН·м;

$M_{cr,7}$ — момент трещинообразования сборной балки в возрасте минимум 7 суток.

Расчет завершеного перекрытия производят в соответствии со следующими правилами:

- для железобетонных плит перекрытия сопротивление действию нагрузок определяют по предельным состояниям несущей способности на действие основных сочетаний нагрузок согласно требованиям [4].
- расчет по предельным состояниям эксплуатационной пригодности осуществляют на действие практически постоянного и частого сочетания нагрузок. Расчет по предельным состояниям эксплуатационной пригодности направлен на контроль прогибов, процесса образования и раскрытия трещин в соответствии с требованиями [6] (7.2, 7.3).

Как и при расчете конструкций перекрытий, на стадии возведения особого внимания заслуживает расчет сопротивления ребер жесткости действию поперечных сил.

Выполняют следующие типы расчетов:

- расчет сопротивления контакта бетона сборных балок и монолитного бетона ребра жесткости;
- расчет сопротивления срезу ребра жесткости;
- расчет сопротивления срезу слоя набетонки по условной грани соединения с монолитным бетоном ребра жесткости.

Расчет сопротивления контакта выполняют согласно требованиям [6] (6.2.5).

Сопротивление контакта в составном сечении следует проверять по формуле:

$$v_{Edi} \leq v_{Rdi}, \quad (8)$$

где v_{Edi} — расчетное значение напряжения сдвига по контакту, МПа, вызванное действующими нагрузками и определяемое по формуле (6.24) [6];

v_{Rdi} — сопротивление контакта сдвигу, МПа, определяемое по формуле (6.25) [6].

Особенность расчета сопротивления контакта бетона сборных балок и монолитного бетона в часторебристом сборно-монолитном перекрытии заключается в определении расчетной длины контакта, что является крайне затруднительным в случае использования только лишь известных норм проектирования железобетонных конструкций.

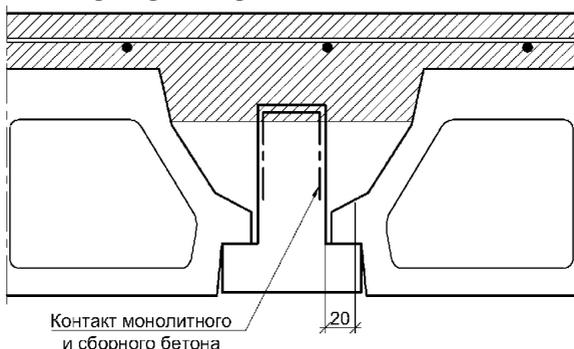


Рисунок 11. Расчетная длина контакта

Расчетная длина контакта между двумя бетонными поверхностями может быть условно рассчитана без учета уклонов боковой поверхности балок. Эту длину необходимо рассчитывать на основании следующих предпосылок:

- для высокопрочных пустотелых блоков или несущих пустотелых блоков с продольными пустотами длину контакта отсчитывают от уровня, на котором ширина между балками и пустотелыми блоками при измерении по горизонтали равна 20 мм (рис. 11);
- для простых пустотелых блоков, композитных пустотелых блоков — на основании рассмотрения положения точек А и С или В и С, в зависимости от формы блоков.

Положение точек А, В, С определяют следующим образом (рис. 12):

- 1) А — верхняя грань полки пустотелого блока, если $\text{tg } \beta \leq 1/3$;
- 2) В — уровень по высоте, для которого ширина между балкой и пустотелым блоком равна 2 см, если $\text{tg } \beta > 1/3$;
- 3) С — уровень, получаемый при пересечении боковой грани балки с наклонной плоскостью под углом 45° по касательной к внешнему контуру пустотелого блока.

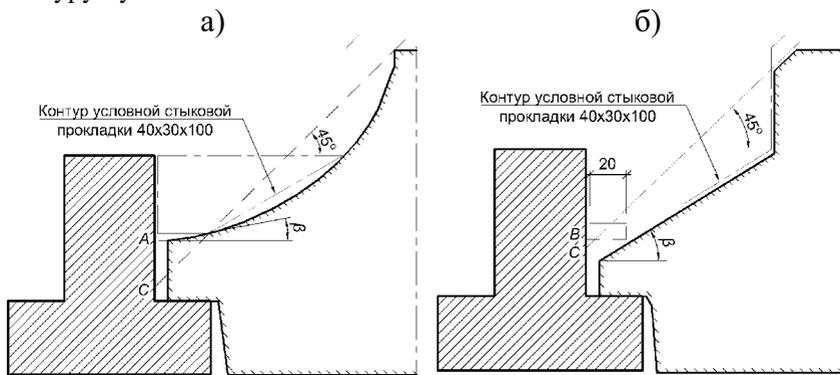


Рисунок 12. К определению расчетной длины контакта:

- а) случай криволинейной грани пустотелого блока;
- б) случай прямолинейной грани пустотелого блока

Срез монолитной набетонки по грани монолитного ребра жесткости

Расчет сопротивления срезу между частями монолитной набетонки, расположенной слева и справа от ребра жесткости, и ребром жесткости должен осуществляться в соответствии с требованиями [6] (6.2.4).

При этом расчете учитывают толщину монолитного слоя бетона, условно увеличенную на $u = 1$ см при применении стандартных пустотелых блоков из тяжелого бетона или керамических, и на $u = 0,5$ см при применении высокопрочных пустотелых блоков из бетона на легком заполнителе.

На рисунке 13 приведено вертикальное сечение $x-x$, которое необходимо проверять на сопротивление срезу.

Если все требования к несущей способности и деформативности плиты перекрытия удовлетворены и подтверждаются на основании расчетов одних только ребер жесткости, то нет необходимости проверять на срез плоскость $x-x$.

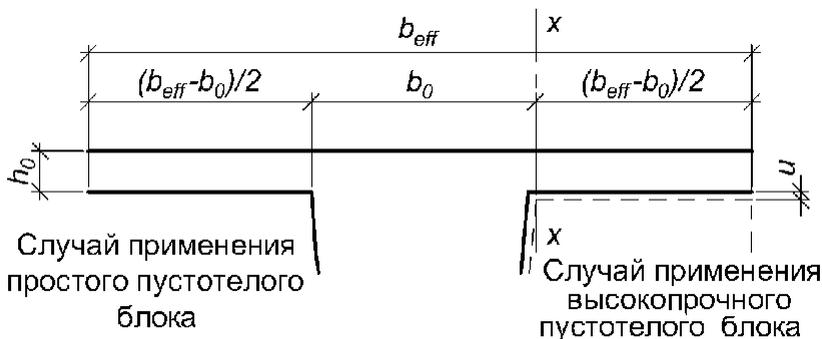


Рисунок 13. Положение плоскости среза $x-x$

УЧЕТ СТАТИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛИМОСТИ В РАСЧЕТАХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ

Учет неразрезности является стандартным способом подбора поперечного сечения часторебристого сборно-монолитного перекрытия при расчете средних пролетов. Аналогичным образом обстоит дело и с крайними пролетами, если можно рассчитать и учесть требуемую длину анкеровки рабочей арматуры.

При этом на крайней опоре должна быть предусмотрена продольная арматура, расположенная в верхней зоне сечения, способная воспринимать изгибающий момент, равный $0,15M_i$ (M_i – максимальный изгибающий момент в рассчитываемом пролете).

В соответствии с положениями [4] расчет неразрезных плит перекрытия допускается выполнять как разрезных в следующих случаях:

- если образование трещин на опорах не представляет угрозы для прочности и устойчивости поддерживаемых перекрытием конструкций;
- если можно показать, что трещины не образуются под воздействием увеличения постоянных нагрузок за счет не полных переменных нагрузок, часть которых может рассматриваться как нагрузка длительного действия.

Сущность метода расчета неразрезных плит заключается в определении максимальных значений изгибающих моментов в пролетах и на опорах в долях максимального значения изгибающего момента $M_{Ed,0}$ в так называемом «сопоставимом пролете» для статически определимой плиты перекрытия, подвергаемой таким же нагрузкам. Эти значения заранее ограничены.

Рассчитываемая плита перекрытия имеет фактическую длину пролета L . Она подвергается воздействию совокупности постоянных нагрузок G и переменной нагрузки Q_B . Этим нагрузкам соответствует максимальный изгибающий момент $M_{ed,0}$, кН·м, в так называемом «сопоставимом пролете» определяемый по формуле:

$$M_{Ed,0} = \frac{(1.35G + 1.5Q_B) \cdot \chi \cdot L^2}{8}, \quad (10)$$

где χ — шаг балок.

Моменты на опорах $M_{Rd,w}$ и $M_{Rd,e}$ (рис. 14) рассчитывают в зависимости от момента M'_0 , который учитывает условия установки стоек. Цель выполнения расчета — определить «сопоставимый пролет» условной плиты перекрытия, способной воспринять нагрузки $G + Q_B$, и воспринять такой же по значению изгибающий момент в пролете $M_{Rd,t}$, кН·м, определяемый по формуле:

$$M_{Rd,t} = \frac{(1.35G + 1.5Q_B) \cdot \chi \cdot L_f^2}{8}. \quad (11)$$

Абсолютные значения опорных моментов, воспринимаемых на промежуточных опорах $M_{Rd,w}$ и $M_{Rd,e}$, должны быть не менее значений, приведенных в таблице 1.

Таблица 1

Минимальные значения опорных моментов, воспринимаемых на промежуточных опорах

Тип промежуточной опоры	Перекрытие с преднапряженными балками
Плита перекрытия с двумя пролетами	$0,55 \cdot M'_0$
Первая промежуточная опора в перекрытии с количеством пролетов более 2-х	$0,50 \cdot M'_0$
Вторая и последующие промежуточные опоры в перекрытии с количеством пролетов более 3-х	$0,40 \cdot M'_0$

3. Planchers nervurés à poutrelles préfabriquées associées a du béton coulé en oeuvre ou associées a d'autres constituants préfabriqués par du béton coulé en oeuvre – CSTB, 2012.
4. 5.03.148-2015 Рекомендации по расчету и проектированию железобетонных сборно-монолитных ребристых перекрытий с применением различных элементов межбалочного заполнения. – Минск : РУП «Институт БелНИИС», 2015.
5. Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций : ТКП EN 1990–2011. – Введ. 01.07.12. – Минск : Минстройархитектуры РБ, 2012. – 70 с.
6. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий : ТКП EN 1992–1–1–2009*. – Введ. 01.01.10. – Минск : Минстройархитектуры РБ, 2015. – 206 с.

REFERENCES

1. Dzięgielewski A. *Engineer in Construction*. 2014. No 5. pp. 71 – 76. (pl)
2. Drobiec L., Pajac Z. *Stropy z drobnowymiarowych elementow* – Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Slaskiej, 2010. (pl)
3. *Planchers nervurés à poutrelles préfabriquées associées a du béton coulé en oeuvre ou associées a d'autres constituants préfabriqués par du béton coulé en oeuvre* – CSTB, 2012. (fr)
4. R 5.03.148-2015 *Rekomendatsii po raschetu i proyektirovaniyu zhelezobetonnykh sborno-monolitnykh rebristykh perekrytiy s primeneniym razlichnykh elementov mezhbalochnogo zapolneniya* [Recommendations on the design of reinforced concrete composite ribbed slabs with the use of various elements for bean filling]. Minsk : RUP «Institut BelNIIS», 2015. (rus)
5. *Evrokod. Osnovy proyektirovaniya stroitelnykh konstruksiy* [Eurocode. Principles of design of building structures] : ТКП EN 1990-2011. Vved. 01.07.12. Minsk: Minstroyarkhitektury RB, 2012. 70 p. (rus)
6. *Evrokod 2. Proyektirovaniye zhelezobetonnykh konstruksiy. Chast 1-1. Obshchiye pravila i pravila dlya zdaniy* [Eurocode 2. Design of reinforced concrete structures. Part 1-1. General rules and rules for buildings] : ТКП EN 1992–1–1–2009*. Vved. 01.01.10. Minsk : Minstroyarkhitektury RB, 2015. 206 p. (rus)

Статья поступила в редколлегию 11.11.2015