

УДК 624.078.4

**ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ МНОГОПУСТОТНЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ
БЕЗОПАЛУБОЧНОГО ФОРМОВАНИЯ С ПЛАТФОРМЕННЫМИ СТЫКАМИ****А.Д. ЛАЗОВСКИЙ***(Полоцкий государственный университет)*

Приведены результаты экспериментальных исследований прочности междуэтажных перекрытий из многопустотных предварительно-напряженных плит с платформенными стыками, продольным армированием из высокопрочной проволоки Ø5 мм, изготовленных методом непрерывного безопалубочного формования, что накладывает особенности на их армирование в виде отсутствия поперечной арматуры вблизи стыков и опасности их разрушения от среза на опорах. Экспериментально установлена схема разрушения платформенных стыков в зависимости от величины усилия прижатия стенами от вышерасположенных этажей. Экспериментально подтверждено, что работа под нагрузкой междуэтажных перекрытий из многопустотных предварительно напряженных плит с платформенными стыками характеризуется наличием в местах их опирания и защемления в стенах отрицательного изгибающего момента. Результаты данного исследования свидетельствуют о влиянии вертикального прижатия стенами от вышерасположенных этажей на значение отрицательного изгибающего момента, при этом с ростом вертикального прижатия уменьшается податливость узла сопряжения плит перекрытия со стенами.

Введение. В настоящее время в Республике Беларусь налажено производство предварительно напряженных многопустотных плит безопалубочного формования. Данные плиты имеют продольную рабочую арматуру из высокопрочной проволоки или канатов из стали класса S1400. Технология производства таких плит, в отличие от агрегатно-поточной, полностью исключает установку в них поперечной арматуры, горизонтальных сеток в полках, закладных деталей и строповочных петель, что накладывает определенные требования по применению предварительно напряженных многопустотных плит безопалубочного формования при проектировании и строительстве дисков перекрытия.

Особенность проектирования дисков перекрытия при использовании платформенных стыков плит перекрытия со стенами здания заключается в возникновении опорных изгибающих моментов [1, п. 6.4; 2]. В многопустотных плитах, изготавливаемых по агрегатно-поточной или конвейерной технологии, возникновение опорных изгибающих моментов после образования трещин воспринимается продольными стержнями верхней приопорной сетки и вертикальными приопорными каркасами. В плитах безопалубочного формования опорный изгибающий момент воспринимается в основном бетонным сечением, поскольку минимальный размер опирания составляет 80 – 120 мм [2], а расчетная длина зоны передачи напряжений для арматурных канатов и высокопрочной проволоки равна соответственно 500 и 330 мм. Характер трещинообразования аналогичных многопустотных плит безопалубочного формования фирмы «MAXROTH» [1] в зоне опирания свидетельствует об опасности разрушения от среза у опоры в месте образования нормальной трещины в плитах.

При этом в [2] возникающие опорные моменты рекомендуется не учитывать при опирании плит на кладку из мелкоштучных материалов всех типов, в том числе при опирании на монолитные пояса, выполненные в этих видах кладки. В то же время типовая серия [3, п. 2.5] при опирании плит на кирпичные и блочные стены требует учитывать возникающие опорные изгибающие моменты.

Величины отрицательного опорного изгибающего момента при использовании платформенных стыков плит перекрытия безопалубочного формования со стенами здания в разных источниках различаются. Опорный момент для многопустотных плит безопалубочного формования фирмы «MAXROTH», армированных высокопрочной проволокой класса ВР-II Ø5 мм, в [1] определяется с использованием коэффициента степени защемления (K) к значению опорного момента, определяемому из условия жесткой заделки плиты в стену. При этом коэффициент ($K = 0,51 \dots 0,79$) принимается в зависимости от глубины заделки и напряжения прижатия стен. В типовой серии для многопустотных плит безопалубочного формования фирмы «Weiler», армированных семипроволочными канатами диаметром 6, 9, 12 и 15 мм [3], опорный изгибающий момент принимается равным $M_{on} = ql^2 / 17$, где q – полезная равномерно распределенная расчетная нагрузка. А в типовой серии для многопустотных плит безопалубочного формования фирмы «Вибропресс» [4], армированных высокопрочной проволокой класса S1400 Ø5 мм, опорный изгибающий момент не должен превышать 11,9 – 14,9 кН·м в зависимости от класса бетона, в противном случае требуется усиление опорной зоны плит надопорной арматурой. В рекомендациях [2]

расчетное значение опорного изгибающего момента принимается равным $M_{on} = M_1 + M_2$, где M_1 – изгибающий момент от вертикальной опорной реакции, M_2 – изгибающий момент от реакции сил трения.

Экспериментальные исследования

Целью экспериментальных исследований является изучение напряженно-деформированного состояния платформенного стыка плит безопалубочного формования со стенами здания.

Задачи исследования:

- установление картины трещинообразования и возможных схем разрушения в зоне платформенного стыка многопустотных плит безопалубочного формования;
- получение экспериментальных данных о величине опорных изгибающих моментов в плитах в эксплуатационной стадии и в предельном состоянии по прочности;
- установление влияния вертикального напряжения прижатия от вышерасположенных этажей на величину опорного изгибающего момента.

Исследования включали в себя испытания двух двухпролетных фрагментов перекрытий с платформенными стыками, в состав которых входили два фрагмента многопустотных плит безопалубочного формования по технологии «Вибропресс» размерами 500×220×5980 мм из бетона класса C25/30, армированных высокопрочной проволокой класса S1400 Ø5 мм и изготовленных на ОАО «Новополоцкжелезобетон», опирающихся на фрагменты стеновых панелей толщиной 200 мм. Вертикальное прижатие от вышележащих этажей передавалось через фрагменты стеновых панелей толщиной 200 мм. Выравнивающий цементно-песчаный раствор в платформенном стыке соответствовал марке М100. Конструкция и геометрические размеры опытных образцов платформенных стыков, а также геометрические размеры и армирование многопустотных плит представлены на рисунке 1.

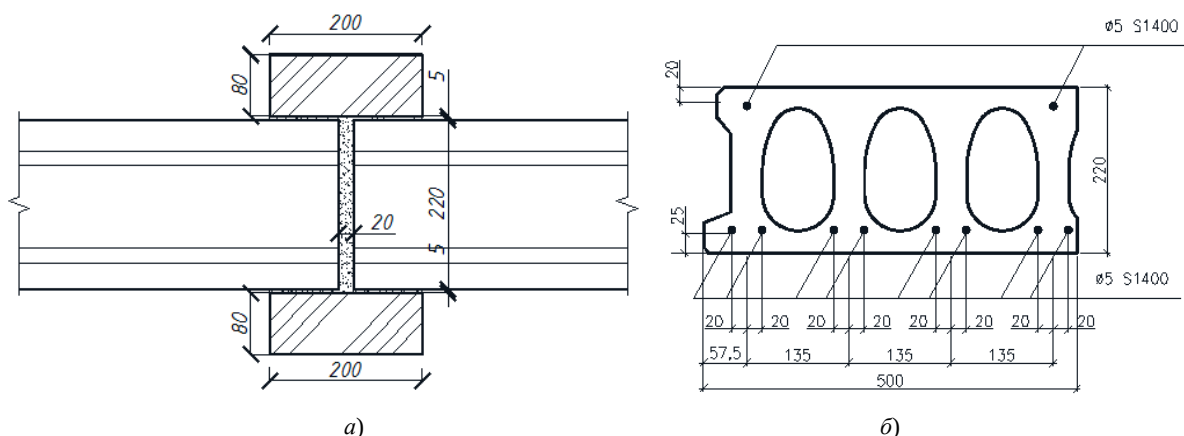


Рис. 1. Геометрические размеры опытных образцов платформенных стыков (а) и схема армирования многопустотных плит (б)

Варьируемым фактором являлась величина вертикального прижатия стыка. При испытании платформенного стыка ПС-1 было принято прижатие величиной 3 т, которое моделировало плиты перекрытия (покрытия) верхних этажей многоэтажного здания; при испытании стыка ПС-2 – 20 т, что соответствует работе стыков плит перекрытия нижних этажей. Прижатие создавалось гидравлическим домкратом с автоматической насосной станцией и распределялось по длине платформенного стыка через фрагменты бетонных стеновых панелей.

Вертикальная нагрузка в пролетах плит создавалась синхронно при помощи двух гидравлических домкратов от одной насосной станции. Пролетная нагрузка распределялась по длине пролета на четыре сосредоточенные силы при помощи двух ярусов стальных распределительных траверс, что моделирует равномерно распределенную нагрузку. Для раскрытия статической неопределимости свободные концы многопустотных плит были оперты на образцовые динамометры ДОСМ 3-5, измеряющие опорные реакции на каждом этапе нагружения. Для измерения ширины раскрытия трещин использовался микроскоп МПБ-2 с ценой деления 0,05 мм. Прогобы плит и осадка опор измерялись при помощи прогибомеров 6ПАО с ценой деления 0,01 мм. Для измерения продольных деформаций многопустотных плит вблизи платформенного стыка использовались индикаторы часового типа ИЧ-10М с ценой делений 0,01 мм. Нулевые отсчеты приборов принимались с учетом собственного веса многопустотных плит.

Нагружение начиналось с приложения усилия прижатия платформенного стыка, затем происходил монтаж траверс и поэтапное приложение нагрузки в пролетах плит с выдержкой на каждом этапе. Величина этапа нагружения составляла 10 % нагрузки, соответствующей расчетной прочности многопустотных плит на изгиб. При этом перед образованием трещин, а также перед разрушением величина этапа нагружения уменьшалась вдвое.

В процессе нагружения производились измерения отклонения от первоначального вертикального положения вертикальной планки, прикрепленной со стороны боковых граней обеих плит в зоне платформенного стыка. По результатам измерений вычислялся угол поворота опорного сечения.

Схема испытательной установки и размещения приборов представлена на рисунке 2. Общий вид испытательной установки представлен на рисунке 3.

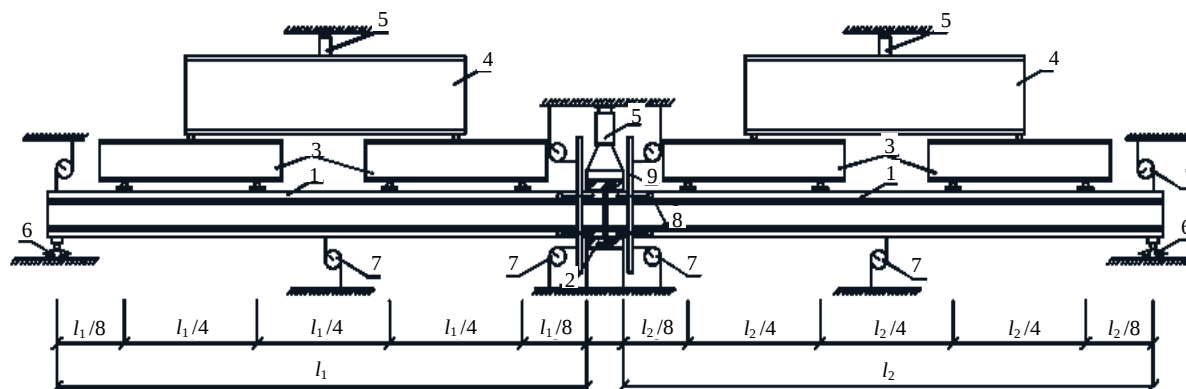


Рис. 2. Схема испытательной установки:

- 1 – панель перекрытия; 2 – фрагмент стены; 3 – траверсы 1-го яруса; 4 – траверсы 2-го яруса;
5 – гидравлические домкраты; 6 – образцовые динамометры; 7 – прогибомеры;
8 – индикаторы часового типа; 9 – металлические планки

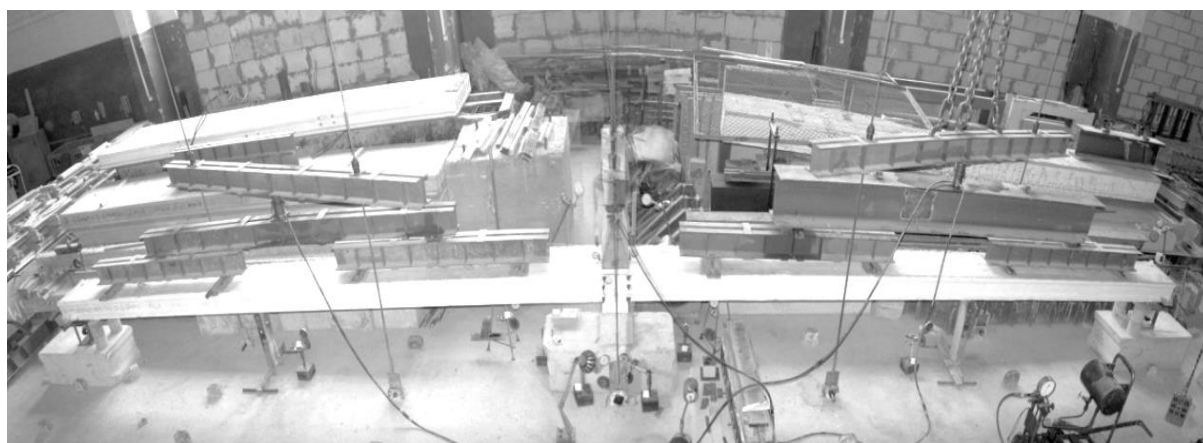


Рис. 3. Общий вид испытательной установки

Проведенные испытания показали различное поведение платформенных стыков с минимальной и максимальной величиной прижатия. При испытании фрагмента перекрытия ПС-1 усилие прижатия платформенного стыка было недостаточным для заземления обеих многопустотных плит. Поэтому при увеличении нагрузки в пролете и повороте торцов плит у опор происходило вертикальное смещение вверх верхнего фрагмента стеновой панели. При этом автоматической насосной станцией поддерживалось усилие прижатия на прежнем уровне. Разрушение платформенного стыка происходило путем скола верхнего угла одной из плит перекрытия и угла нижнего фрагмента стеновой панели с уменьшением опирания плиты. Скалывание торцевого угла плиты перекрытия и фрагмента стеновой панели произошло от действия пары сил в местах сопряжения плиты с фрагментами верхней и нижней стеновых панелей. Ввиду более высокой прочности бетона верхнего фрагмента стеновой панели ее раскалывание по оси действия вертикальных сил от торцевых углов плит не происходило, как это наблюдалось в случае кирпичных

стен [1]. При дальнейшем нагружении после скалывания углов плит и фрагмента стеновых панелей измерение опорных реакций на свободных опорах и сопоставление их с пролетной нагрузкой показывает большее значение опорных реакций от плит в зоне платформенного стыка по сравнению со свободными опорами. Это свидетельствует о наличии отрицательного изгибающего момента в плитах в зоне платформенного стыка.

При испытании фрагмента перекрытия ПС-2 поведение платформенного стыка было иным: создаваемое большее прижатие в зоне платформенного стыка исключало поворот торцов плит в местах их заделки. Это способствовало более равномерному распределению усилия прижатия от верхнего фрагмента стеновой панели и вертикальной опорной реакции от плиты по ее площадке опирания на нижний фрагмент стеновой панели.

В начале нагружения ввиду защемления концов плит в платформенном стыке при действии вертикальной пролетной нагрузки возникал опорный изгибающий момент, вызывающий растяжение верхней грани плит. Поперечные трещины первоначально появлялись в опорной зоне верхних граней многопустотных плит. Из-за недостаточной анкеровки верхней арматуры плит образовались единственные поперечные трещины у опоры каждой плиты как у изгибаемой бетонной конструкции. Затем, по мере увеличения нагрузки, образовывались нормальные трещины на нижней грани в пролетах плит. После возникновения нормальных трещин в зоне платформенного стыка при дальнейшем нагружении вплоть до разрушения в многопустотных плитах измеренные реакции на свободных опорах, так же как и у фрагмента перекрытия ПС-1, были меньше, чем при свободно опертой схеме работы плит, из-за наличия отрицательного изгибающего момента. На этапе, предшествующем разрушению плиты, ширина раскрытия поперечной трещины на опоре составила 10 – 15 мм, а ширина раскрытия трещин в пролете – 1 – 2 мм.

Графики зависимостей «опытный отрицательный изгибающий момент – угол поворота опорных поперечных сечений плит» для фрагментов платформенных стыков ПС-1 и ПС-2 представлены на рисунке 4.

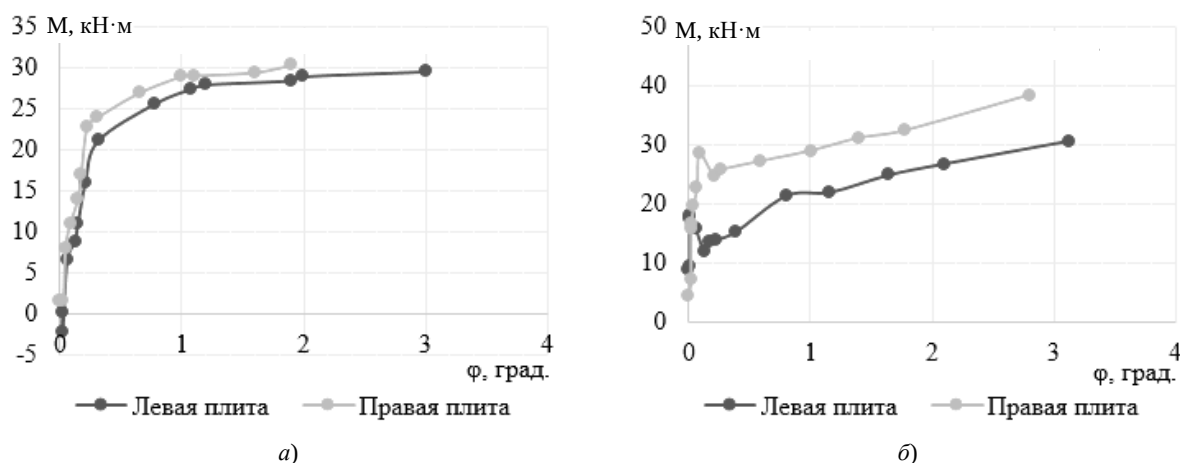


Рис. 4. Графики зависимостей «опытный отрицательный изгибающий момент – угол поворота опорных поперечных сечений плит»:

а – для стыка ПС-1; б – для стыка ПС-2

Согласно графикам (см. рис. 4) следует различать две стадии работы платформенного стыка:

- первая стадия – до скалывания углов плит и нижних стеновых панелей (ПС-1), а также образования нормальных к продольной оси трещин у опоры (ПС-2), для которой характерно отсутствие углов поворота опорных поперечных сечений или их незначительная величина от упругого деформирования опорного сечения плит;
- вторая стадия – после скалывания углов плит и стеновых панелей, образования трещин в зоне стыка, в которой наблюдается увеличение угла поворота при незначительном увеличении опорного отрицательного момента.

Разрушение обоих фрагментов платформенных стыков произошло по нормальному сечению в середине пролета одной из многопустотных плит на одном этапе нагружения, а затем – в середине пролета другой плиты на следующем этапе нагружения.

Разрушение плит сопровождалось разрывом отдельных стержней растянутой арматуры. Общий вид разрушения фрагментов платформенных стыков показано на рисунке 5.

Опытные средние значения опорных отрицательных изгибающих моментов в зоне платформенного стыка при разрушении фрагментов ПС-1 и ПС-2, а также вычисленные по источникам [1 – 3] приведены в таблице.

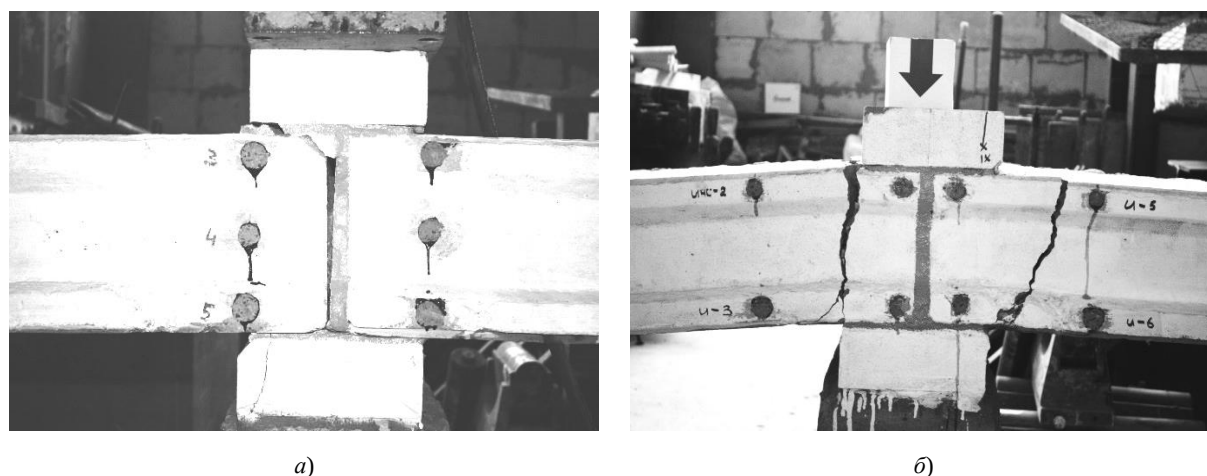


Рис. 5. Вид платформенного стыка ПС-1 (а) и платформенного стыка ПС-2 (б) после проведения испытаний

Опорные изгибающие моменты в предельном состоянии по прочности

Шифр фрагмента	Опорный момент (среднее опытное значение), кН·м	Опорный момент по [1]	Опорный момент по [2]	Опорный момент по [3]	Предельный опорный момент по [4]
ПС-1	–30	–32,52	–6,08	–11,9	–21,1
ПС-2	–34,56	–33,9	–40,53	–11,9	–21,1
Жесткая заделка	–45,8				
Шарнир	0				

Заключение. Сопоставление опытных значений опорного момента фрагментов платформенных стыков с расчетными значениями показывает удовлетворительную сходимость с предложениями [1], которые учитывают влияние опорного прижатия на величину опорного отрицательного момента в зоне платформенного стыка. Более осторожно оценивают значение опорного момента в [3; 4], при малом опорном прижатии – в [2]. Методика [2] при большом опорном прижатии переоценивает возникающий в области опорного стыка отрицательный изгибающий момент.

Рассмотренные методики учитывают величину опорного отрицательного момента только в предельном состоянии по прочности.

Отсутствуют методики, учитывающие фактическую работу многоспустотных плит перекрытий в зоне платформенного стыка и позволяющие определять внутренние усилия, а соответственно, и напряженно-деформированное состояние в плитах перекрытия на любом этапе их нагружения, в том числе при эксплуатационной нагрузке. Наличие отрицательного изгибающего момента в плитах перекрытия в зоне платформенного стыка снижает действующий в пролете изгибающий момент, повышая трещиностойкость и уменьшая деформативность перекрытия, а в предельной по прочности стадии нагружения увеличивает значение разрушающей нагрузки.

Анализ результатов экспериментального исследования показал, что реальная работа плит перекрытий в зоне платформенного стыка не является абсолютно жесткой или шарнирной.

Основные выводы

1. Экспериментально подтверждено, что работа под нагрузкой междуэтажных перекрытий из многоспустотных предварительно напряженных плит с платформенными стыками характеризуется наличием в местах их опирания и защемления в стенах отрицательного изгибающего момента.

2. Подтверждено влияние вертикального прижатия стенами от вышерасположенных этажей на форму разрушения плит перекрытий в зоне платформенного стыка и значение отрицательного изгибающего момента, а также уменьшение податливости узла сопряжения плит перекрытия со стеной.

3. Выявленные схемы разрушения многпустотных плит перекрытий в зоне платформенного стыка в виде нормальных к продольной оси трещин у опор подтверждают опасность их разрушения на опоре от среза, выявленную в [1].

4. Полученные результаты экспериментальных исследований могут служить предпосылкой для совершенствования методики расчета сборных железобетонных перекрытий из многпустотных плит с учетом нелинейной работы стыков конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прочность узлов сопряжения преднапряженных многпустотных панелей перекрытий со стенами / В.Г. Крамарь [и др.]. – М., 1982. – 19 с.
2. Расчет и проектирование дисков перекрытий с применением плит безопалубочного формования: Р 1.03.055.09 / Ин-т НИПТИС им. Атаева С.С. – Минск, 2009. – 25 с.
3. Плиты железобетонные многпустотные предварительно напряженные безопалубочного формования на оборудовании «Weiler» (Италия) для перекрытий и покрытий жилых, общественных и производственных зданий: Серия Б1.041.1-4.10. Вып. 3 / Ин-т НИПТИС им. Атаева С.С. – Минск
4. Плиты железобетонные многпустотные предварительно напряженные безопалубочного формования на оборудовании «Вибропресс» (Россия) для перекрытий и покрытий жилых, общественных и производственных зданий: Серия Б1.041.1-5.10 / Ин-т НИПТИС им. Атаева С.С.

Поступила 03.12.2013

WORK FEATURES OF HOLLOW SLABS OF FORMLESS MOLDING WITH PLATFORM SEAMS

A. LAZOUSKI

The paper gives the experimental results of strength intermediate floors made of the prestressed hollow core slabs with platform seams and with longitudinal reinforcement of high-strength wire with the diameter of 5 mm, produced by continuous formless molding method, which imposes peculiarities of their reinforcement in the form of transverse reinforcement near the seams and the risk of their destruction by cut of pillars. The scheme of destruction of the platform seams, depending on the amount of force pressing by the walls of the upper floors is experimentally established. It was experimentally confirmed that the work load of the intermediate floors of prestressed hollow core slabs with platform seams are characterized by the presence in the points of their bearing and jamming in the walls of the negative bending moment. The results of this study suggest the influence of the vertical pressing of the upper floors on the value of the negative bending moment, while the increasing of vertical pressing reduces compliance of node interface of floor slabs with the wall.