

*к.т.н. Бондарчук В.В.,
Пантелеев А.Е.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОНА НА ПРИОПОРНЫХ УЧАСТКАХ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ДВУХПРОЛЁТНЫХ ПЛИТ С НЕСЪЁМНОЙ ОПАЛУБКой ИЗ ПРОФИЛИРОВАННОГО НАСТИЛА, ОРИЕНТИРОВАННОГО УЗКИМИ ПОЛКАМИ ВНИЗ

Пропонується методика дослідження напруженого стану бетону на приопорних ділянках сталезалізобетонної плити. Побудовано кінцево-елементну модель комбінованої двопрогінної плити з профільованим настилом, орієнтованим вузькими полицями донизу та зроблено аналіз напруженого стану бетону з використанням обчислювального комплексу "Ліра". Наведено результати розрахунків.

Ключові слова: методика, дослідження, бетон, сталезалізобетонна двопрогінна плита, комбінована двопрогінна плита, профільований настил, вузькі полиці.

Предлагается методика исследования напряженного состояния бетона на приопорных участках сталезалезобетонной двухпролётной плиты. Построена конечно-элементная модель комбинированной двухпролётной плиты с профилированным настилом, ориентированным узкими полками вниз и выполнен анализ напряженного состояния бетона с использованием вычислительного комплекса "Ли́ра". Приведены результаты расчётов.

Ключевые слова: методика, исследование, бетон, сталезалезобетонная двухпролётная плита, комбинированная двухпролётная плита, профилированный настил, узкие полки.

Согласно нормативной документации стальной профилированный настил (СПН), применяемый в качестве несъёмной опалубки для сталезалезобетонных плит, должен соответствовать определённым конструктивным требованиям. Одними из основных требований являются ограничения минимальных размеров СПН и правила их укладки:

- ширина гофра для приварки анкеров должна быть не менее 50 мм;
- профилированный настил рекомендуется ориентировать широкими гофрами вниз, а при отсутствии гибкой арматуры допускается ориентация СПН и узкими полками вниз [1, 2];
- область применения ограничивается настилами с узким шагом стенок [3].

Минимальную ширину гофра 50мм принимают в связи с технологическими возможностями приварки анкеров. Если в качестве анкеров применять болты, то теоретически ширину гофра СПН возможно уменьшить. Как поведёт себя бетон на

приопорных участках при уменьшении толщины ребра можно прогнозировать, выполнив расчёт методом конечных элементов (МКЭ) в физически нелинейной постановке на модели, максимально приближенной к реальному объекту.

Целью данной работы является анализ напряженного состояния (НС) бетона на приопорных участках комбинированной двухпролётной плиты с профилированным настилом, ориентированным узкими полками вниз.

Для решения поставленной задачи была построена двухпролётная конечно-элементная модель (КЭМ) плиты с несъёмной опалубкой из СПН малого размера С44 [4], ориентированного вниз узкой шириной гофра. Рассматриваемая плита, шириной 1 м, состоящая из двух пролётов по 3 м, содержит 5 волн. С целью уменьшения порядка решаемой системы уравнений рассматривается средняя волна. Сечение волны и разбивка на конечные элементы (КЭ) в сечении показаны на рисунке 1.

Узлы боковых граней закреплены от перемещений, перпендикулярных поверхностям этих граней. Так как профилированный настил С44 выполнен с гладкими гранями и не имеет рифов и отверстий для сцепления с бетоном в данном варианте для совместной работы бетона и профилированного настила на узкой полке смоделированы анкера.

Бетон плиты смоделирован объёмными элементами, СПН - оболочечными пластинчатыми элементами, арматура и анкеры - стержневыми элементами.

Нормативные нагрузки и характеристики материалов плиты назначены в соответствии с ДБН [5, 6], ДСТУ [4, 7].

Плита рассчитана на нагрузку от собственного веса с коэффициентом надёжности по нагрузке $\gamma_f=1,1$ и полезную нагрузку, равную 1,5 кПа с коэффициентом надёжности $\gamma_f=1,3$. Согласно требованиям к качеству материалов проектный класс бетона по прочности на сжатие должен соответствовать В15 - В25 (С12/15 - С20/25) [8].

Проведём исследование напряженного состояния для тяжелого бетона класса С12/15 естественного твердения. Характеристики материалов, принятые в расчете, приведены на рисунке 2.

Загружение 1

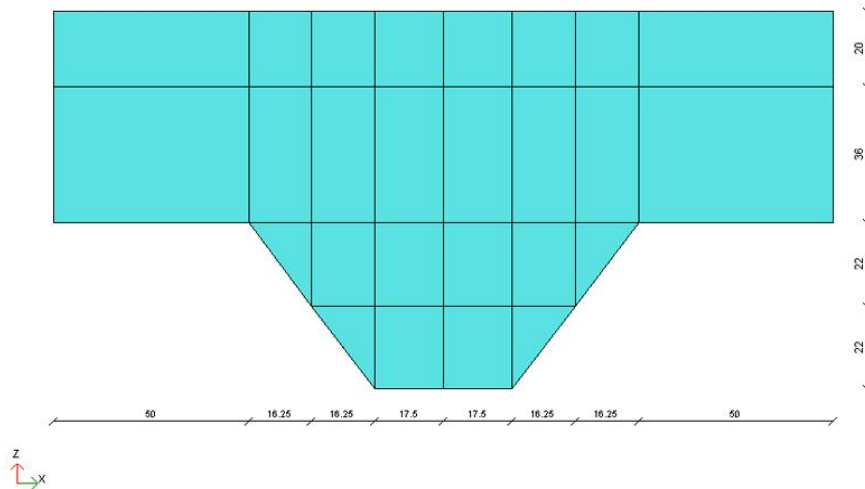


Рисунок 1 - Объёмная модель двухпролётной плиты с СПН, ориентированном узкими полками вниз

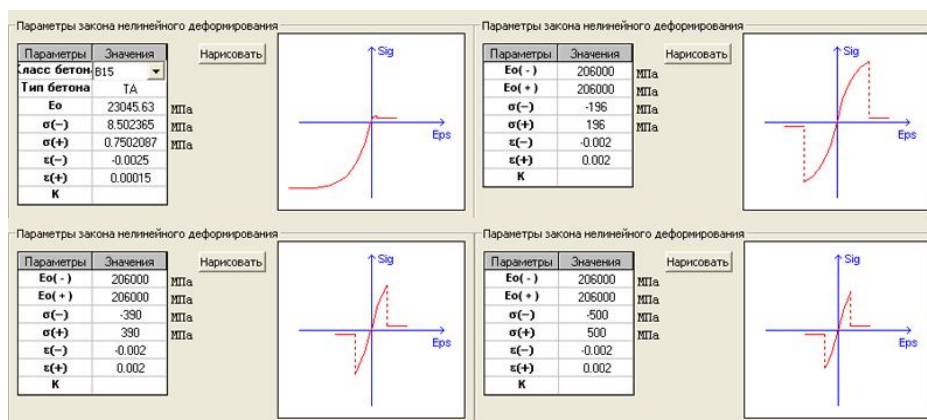


Рисунок 2 - Характеристики материалов плиты, принятые в расчётах с бетоном класса С12/15

Расчёты выполнены методом конечных элементов (МКЭ) в физически нелинейной постановке с использованием вычислительного комплекса «Лира».

В результате выполненного расчета установлены прогиб плиты в пролётах, который составил 1,002 мм и состояние материалов после деформаций. Оказалось, что трещины образовались в нижней средней части ребра пролётов плиты в зоне, где действует наибольший изгибающий момент, а также в ребре плиты на приопорных участках крайних опор и в верхней части надопорной зоны средней опоры. Помимо трещин расчёт показал разрушение бетона при растяжении в верхней части надопорной зоны средней опоры. При этом в процентном отношении трещины составили 4,9%, а разрушения - 0,5%. На рисунке 3 показана зона разрушенного при растяжении бетона в верхней части надопорной зоны средней опоры.

Согласно литературе [1, 2] расчет плиты на образование и раскрытие трещин в растянутой зоне для верхней поверхности бетона надопорных зон выполняется только в случаях установки расчетной надопорной гибкой арматуры, создающей неразрезность конструкции, как для железобетонного изгибаемого элемента с обычным армированием без учета СПН.

Многочисленные эксперименты показали, что напряжение в растянутой арматуре

зависит от относительной высоты сжатой зоны бетона. Такая относительная высота сжатой зоны бетона, при которой напряжения в арматуре достигнут предельных значений, называется граничной (предельной), ибо именно она служит критерием, по которому можно судить, по какому случаю разрушения будет работать рассматриваемая железобетонная конструкция.

Согласно источнику [9] уравнение для определения граничного значения относительной высоты сжатой зоны бетона имеет вид

$$\xi_R = \frac{\omega}{\left[1 + \frac{\sigma_{sR}}{\sigma_{sc,u}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1} \right) \right]}, \quad (1)$$

где σ_{sR} – условные напряжения в арматуре растянутой зоны;

$\sigma_{sc,u}$ – напряжения в арматуре сжатой зоны;

ω – относительная высота сжатой зоны бетона, при которой фактическая нулевая линия проходит по арматуре.

$$\omega = \alpha - 0,008 f_{cd}, \quad (2)$$

где f_{cd} – расчётное значение прочности бетона на сжатие;

α – коэффициент равный 0,75-0,85, принимаемый в зависимости от класса бетона.

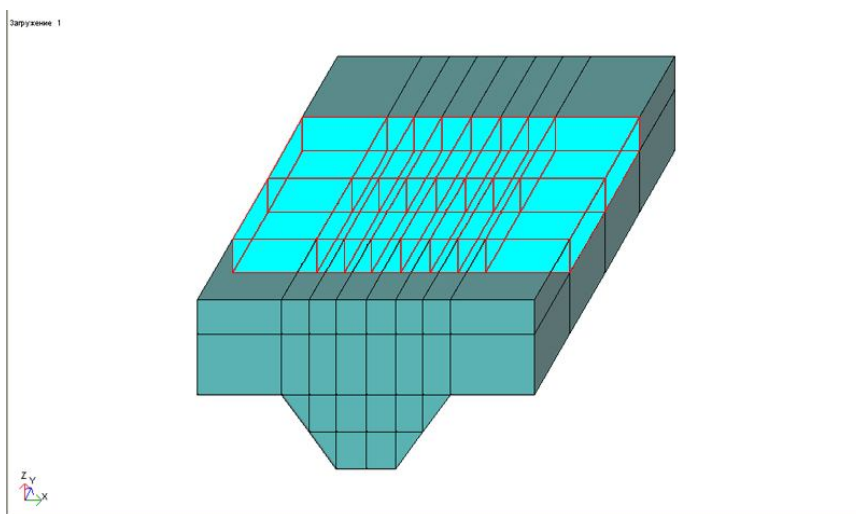


Рисунок 3 - Зона разрушенного бетона в верхней части надопорной зоны средней опоры комбинированной двухпролётной плиты с СПН, ориентированным узкими полками вниз

Исходя из вышеприведенных уравнений, можно сказать, что граничная высота сжатой зоны зависит не только от физико-механических характеристик арматуры, но и от физико-механических свойств бетона. Поэтому факт разрушения бетона в верхней части надпорной зоны средней опоры требует пересмотра конструкции армирования надпорной части или повышения класса бетона, что будет рассмотрено в статье дальше.

Проведём исследование напряженного состояния для тяжелых бетонов классов С16/20 и С20/25 естественного твердения. Характеристики бетонов приведены на рисунке 4, а характеристики для профилированного настила и арматуры приняты, как и для плиты с бетоном С12/15.

В результате выполненного расчета плиты из бетона класса С16/20 получено меньшее значение прогиба плиты в пролётах, которое составило 0,856 мм, а также изменения произошли и в состоянии материалов. Процент образования трещин увеличился с 4,9% до 5,0%, а разрушения бетона при растяжении в верхней части надпорной зоны средней опоры отсутствуют. Однако в верхней части надпорной зоны средней опоры, где было зафиксировано разрушение материала, расчёт показал наличие трещин.

Результаты, полученные после выполненного расчета плиты из бетона класса

С12/25, показали меньший прогиб плиты в пролётах, который составил 0,769 мм, а также процент образования трещин уменьшился до 4,0%.

Характер образования и ширину раскрытия трещин необходимо изучить дополнительно.

Выводы

Для анализа напряженно-деформированного состояния комбинированных двухпролётных плит с СПН, ориентированным узкими полками вниз разработана конечно-элементная модель, позволяющая определить состояние материалов при эксплуатационных нагрузках.

Выполнены расчёты НС комбинированной плиты с бетонами классов С12/15, С16/20 и С20/25 в физически нелинейной постановке.

В результате расчётов установлено, что на разрушение бетона в верхней части надпорной зоны средней опоры влияет не только конструкция армирования надпорной части, но и физико-механические свойства материалов.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для комбинированных двухпролётных плит с СПН, ориентированным узкими полками вниз в случаях применения бетона класса С12/15 надпорная зона средней опоры требует пересмотра конструкции армирования.



Рисунок 4 - Характеристики бетонов классов С16/20 и С20/25

Библиографический список

1. Рекомендации по проектированию монолитных железобетонных перекрытий со стальным профилированным настилом НИИЖБ. - ЦНИИ промзданий. – М. : Стройиздат, 1987. – 37 с.
2. Перекрытия сталежелезобетонные с монолитной плитой по стальному профилированному настилу. Расчёт и проектирование: Стандарт организации СТО 0047-2005. – М. : ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова», ЗАО «Хилти Дистрибьюшин Лтд», 2005. – 65 с.
3. Конструкції будинків і споруд. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення.: ДБН В.2.6-160:2010. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
4. Конструкції будинків і споруд. Профілі сталеві листові гнуті з трапецієвидними гофрами для будівництва. Технічні умови.: ДСТУ Б В.2.6-9-95. – К. : Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – 34 с.
5. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. 2003: . ДБН В.1.2-2:2006. – К. : Минстрой Украины, 2006. – 78 с.
6. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6-98:2009. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
7. Сталь для армування бетону. Зварювана арматурна сталь. Загальні технічні умови.: ДСТУ EN 10080:2009 – К.: Держспоживстандарт України, 2012. – 64 с.
8. Монолитные перекрытия зданий и сооружений/ [Санников И. В., Величко В. А., Сломонов С. В.и др.] – К. : Будівельник, 1991. – 153 с.
9. Проектирование железобетонных конструкций. Справочное пособие/[Гольшев А. Б., Бачинский В. Я., Полищук В. П.и др.] – К. :Будівельник, 1990. – 543 с.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Должиковым П.А.