

УДК 624.015.5

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПРИ СВОБОДНОМ ОПИРАНИИ НА СИСТЕМУ СТАЛЬНЫХ БАЛОК

НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ПРИ ВІЛЬНОМУ ОБПИРАННІ НА СИСТЕМУ СТАЛЕВИХ БАЛОК

BEARING STRENGTH OF REINFORCE-CONCRETE FLAGS AT FREE LEANING AGAINST SYSTEM OF STEEL BEAMS

Голоднов А.И., д.т.н., проф., Псюк В.В., к.т.н., доцент, Кондратюк Е.В.,
(Донбасский государственный технический университет)

Голоднов О.І., д.т.н., проф., Псюк В.В., к.т.н., доцент, Кондратюк О.В.
(Донбаський державний технічний університет)

Golodnov A.I., doctor of technical sciences, professor, Psuk V.V., candidate of engineering sciences, associate professor, **Kondratyuk E.V.** (Donbass State Technical University)

Изложены методические подходы к определению несущей способности железобетонных плит при свободном опирании на систему стальных балок. Приведены результаты расчетов реальных конструкций.

Викладено методичні підходи щодо визначення несучої здатності залізобетонних плит при вільному обпиранні на систему сталевих балок. Наведено результати розрахунків реальних конструкцій.

The methodical going is expounded near determination of bearing strength of reinforce-concrete flags at the free leaning against the system of steel beams. Results over of calculations of the real constructions are brought

Ключевые слова

железобетонная плита, стальные балки, свободное опирание, несущая способность.

залізобетонна плита, сталеві балки, вільне обпирання, несуча здатність.

reinforce-concrete flag, steel beams, free leaning, bearing strength

Состояние вопроса и задачи исследования. Как элементы нового строительства, так и при реконструкции существующих зданий различного назначения применяются сталежелезобетонные конструкции перекрытий, что позволяет эффективно использовать материал (стальные профили) как в

период строительства, так и при эксплуатации. Основным преимуществом является сочетание положительных свойств железобетона и проката для достижения высоких технико-экономических показателей.

В последние годы находят широкое применение здания с монолитным железобетонным каркасом или со стальным каркасом и монолитными железобетонными перекрытиями. Такие перекрытия имеют ряд преимуществ перед сборными, например, возможность включения дисков перекрытий в работу совместно с конструкциями каркаса. Особенно это актуально для высотных зданий, возводимых с несущими стальными каркасами. Включение перекрытий в работу каркаса позволяет добиться существенной экономии стали.

Обеспечение совместной работы железобетонных плит со стальными балками осуществляется путем постановки анкеров или упоров. Возможность работы железобетонной плиты, свободно опирающейся на стальные балки, мало освещена в научной и технической литературе. Решение такой задачи полностью зависит от квалификации проектировщиков и принятых предпосылок. При выполнении расчетов должны учитываться требования нормативных документов [1, 2, 3, 4, 5].

Цель работы – расчетно-теоретическое обоснование (с помощью проведенных вариантных расчетов компьютерных моделей) возможности применения сталежелезобетонного перекрытия при свободном опирании железобетонной плиты на систему стальных балок.

Для реализации указанной цели решались следующие задачи:

- проанализировать высказанные сомнения и замечания заинтересованных сторон, отдельных специалистов, которые содержатся в ранее выданных экспертных выводах относительно возможности строительства здания «Комплекс по предоставлению услуг населению на пересечении Столичного шоссе и пр. Академика Заболотного в Голосеевском районе г. Киеве» по разработанному ООО «Современные технологии строительства» проекту;

- опираясь на результаты проведенных ранее исследований, замечания заинтересованных сторон и отдельных специалистов, разработать адекватную существующей конструкции здания математическую модель метода конечных элементов (МКЭ) и провести расчеты с целью определения армирования, прогибов, перемещений, усилий в стальных балках и т.п.;

- по результатам проведенных расчетов подготовить вывод относительно возможности строительства по разработанному проекту.

Основная часть. Здание предназначено для предоставления услуг населению и представляет собой трехэтажное, прямоугольное в плане многопролетное в обоих направлениях сооружение. Оно разделено на два блока температурным швом в осях 9-10. Шаг колонн в продольном и поперечном направлениях составляет 9 м, высота этажа – 5,25 м.

Здание с металлическим каркасом по рамной пространственной схеме,

которая обеспечивается жесткими узловыми соединениями ригелей перекрытий и покрытия с колоннами. Ригели расположены в продольном и поперечном направлениях. Колонны жестко соединены с фундаментами.

В каждой ячейке размерами 9x9 м посередине установлена вспомогательная балка такого же сечения, что и основные. Вспомогательные балки шарнирно соединяются с основными и расположены по плоскости перекрытий ортогонально одна к другой в смежных ячейках. Таким образом, каждая главная балка перекрытия нагружена одной сосредоточенной нагрузкой посередине своего пролета от вспомогательной балки.

Каркас рассчитан с учетом совместной работы металлических ригелей и вспомогательных балок и неразрезных железобетонных монолитных плит перекрытий толщиной 160 мм [6]. При этом учтено, что неразрезные монолитные плиты перекрытий опираются на металлический каркас сверху без анкеровки.

Пространственная жесткость и устойчивость каркаса обеспечивается жесткостью взаимно перпендикулярных рам каркаса с жесткими узлами соединений, а также горизонтальными дисками перекрытий и покрытия.

Колонны металлические, сварные, квадратного сечения размерами 268x268 мм, толщина стенки – 10 мм. Поверху колонны в горизонтальной плоскости приварен металлический лист толщиной 12 мм, к которому приварены ригели и на который опирается верхняя колонна и монолитная железобетонная плита.

Ригели перекрытий и покрытия, а также вспомогательные балки, запроектированные из прокатных двотавров № 45 по ГОСТ 8239-89. По верхний пояс каждой металлической балки приварены дополнительные элементы из прокатных элементов с шагом 3 м для обеспечения пространственной стойкости металлических балок и, частично, обеспечения совместимой работы железобетонной плиты и балок. Схема расположения балок приведена на рис. 1.

На систему металлических балок опирается монолитная железобетонная плита толщиной 160 мм. Защитный слой бетона для арматуры составляет 10 мм.

Армирование плиты:

- верхняя арматура – над ригелями диаметром 10А400С с шагом 100 мм. Длина одного стержня – 3,6 м. Кроме этого, установлена дополнительная арматура над всеми главными балками через одну ячейку, таким образом на 1 погонный метр установлено 15 стержней диаметром 10А400С. Над вспомогательными балками (Б1) верхней арматуры согласно чертежей нет;
- нижняя арматура диаметром 10А400С установлена с шагом 200 мм в середине пролета. Ближе к главным балкам (РР1) шаг арматуры – 400 мм за счет обрезания стержней через один на длине 2 м.

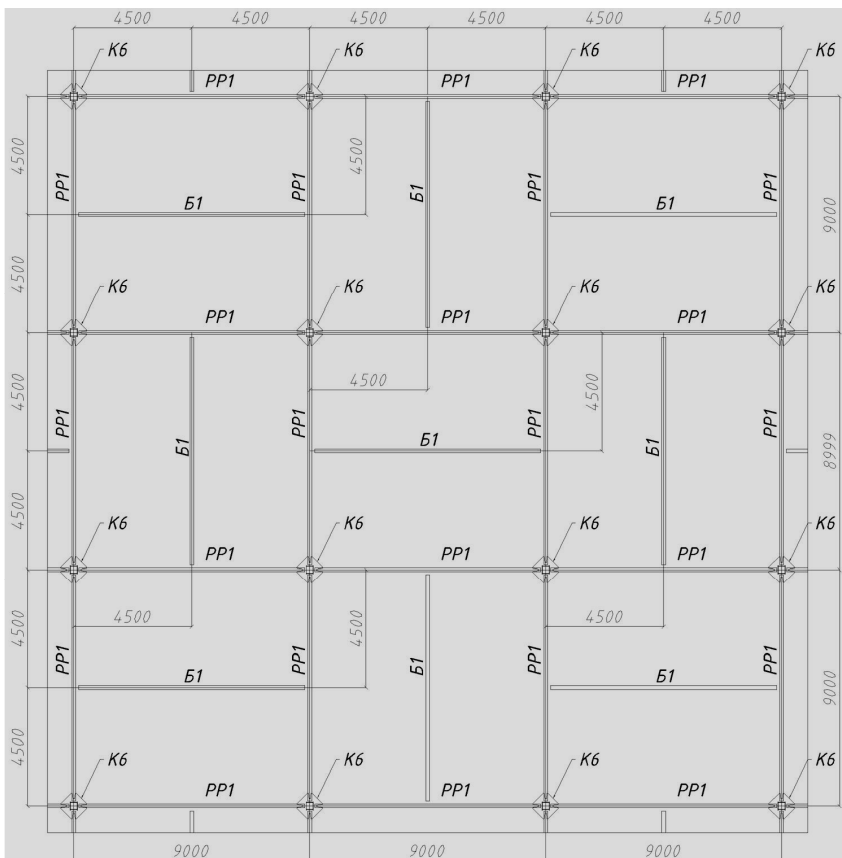


Рис. 1. Схема расположения балок

Для плиты предусмотрен класс бетона В30.

Отметка базы по верхнему обрезу фундамента для всех колонн поперечных рам принята равной $-0,200$ м.

Для несущих сварных и прокатных элементов каркаса здания принята сталь класса С245.

Для монтажных соединений приняты болты класса прочности 5.8.

Для полуавтоматической и автоматической сварки в среде углекислого газа принята сварочная проволока Св08-Г2С. Ручная сварка выполняется электродами типа Э42А.

Принятые в проекте материалы несущих элементов каркасу, конструкций и соединений отвечают требованиям ДБН В.2.6-163:2010 [5] и действующим стандартам. Примененные для изготовления плиты арматура и бетон отвечают ДБН В. 2.6-98:2009 [4] и действующим стандартам.

Толщина плиты 160 мм отвечает общим принципам конструирования таких конструкций. Согласно табл. 6.31 [7] для плит, которые работают в двух направлениях при упругом защемлении, толщина плиты не должна быть меньше, чем $h = (1/50) l_1 = (1/50) 4500 = 90$ мм, где l_1 - меньшая сторона прямоугольной плиты (табл. 6.38 [7]).

Проект выполнен на основе технического задания, предоставленного Заказчиком. Объект строительства находится в г. Киеве. В соответствии с ДБН В.1.2-2:2006 [2], территория по характеристическому значению веса снега принадлежит к 5 району (характеристическое значение снеговой нагрузки – 1550 Па), а по характеристическому значению ветрового давления – к 1 району (ветровая нагрузка – 370 Па).

При расчетах несущих конструкций каркаса здания в проекте учтены все постоянные нагрузки (собственный вес несущих конструкций), временные нагрузки, снеговая нагрузка с учетом формы накопления снега и ветровая нагрузка с учетом аэродинамических коэффициентов и коэффициентов увеличения ветрового давления по высоте сооружения.

Коэффициенты надежности по нагрузке при расчете элементов конструкций по первой группе предельных состояний определялись в зависимости от установленного срока эксплуатации здания, который принят равным 100 лет. Комбинации расчетных нагрузок и коэффициенты сочетаний приняты в соответствии с ДБН В.1.2-2:2006 [2].

Расчет конструкций, когда железобетонная плита свободно опирается на систему стальных балок, следует выполнять методом конечных элементов (МКЭ). Адекватная конструкции модель МКЭ должна учитывать все свойства конструктивных элементов, которые входят в состав сооружения, в частности, железобетона.

Поскольку при выборе (обосновании) проектных решений необходимо выполнять расчеты по двум группам предельных состояний, необходимо разрабатывать две расчетные модели:

- упрощенную – для определения армирования плиты при проектировании новых конструкций или проверки достаточности существующего армирования (модель 1);
- усложненную – практически адекватную существующей конструкции, для определения прогибов и перемещений (модель 2).

В модели 1 железобетонную плиту необходимо моделировать плоскими КЭ, деформирующимися по линейному закону. Для бетона плиты следует задать величину модуля упругости в соответствии с ДБН В.2.6-98:2009 [4] с умножением на коэффициент 0,85, что позволит в первом приближении учесть нелинейную работу бетона.

Для определения прогибов необходимо разработать модель 2 плиты с использованием объемных КЭ с нелинейной зависимостью деформирования бетона. Нелинейный характер деформирования можно учесть с помощью зависимостей « $\sigma_b - \varepsilon_b$ » [8] для бетона соответствующего класса по прочности.

Арматуру необходимо моделировать стержневыми КЭ приведенной площади для принятого шага дискретизации КЭ.

В обеих моделях балки смоделированы плоскими КЭ.

Поскольку характер деформирования стальных балок и плиты различный, в местах контакта плиты с балками должны быть введены КЭ односторонней связи между узлами, которые работают на сжатие и позволяют железобетонной плите отрываться от стальных балок.

При расчетах модели 1 принимаются предельные значения величин нагрузок в соответствии с ДБН В.1.2-2:2006 [2]. В результате расчета получаются параметры армирования (при использовании ВК ЛИРА).

Модель 2 использована при расчетах на характеристические значения величин нагрузок. В результате расчета получены численные значения величин деформаций конструкций. Сравнение полученных результатов расчета (прогибов и других деформаций конструкций, напряжений в бетоне и арматуре при эксплуатационных нагрузках) позволит уточнить параметры плиты, стальных балок, исходя из ограничений по деформативности (ДСТУ Б В.1.2-3:2006 [3]), а также трещиностойкости плиты (ДБН В. 2.6-98:2009 [4]), общей и местной устойчивости стальных балок (ДБН В.2.6-163:2010 [5]).

Результаты расчета модели 1 позволили определить армирование плиты. В результате расчета модели 2 получены изополя вертикальных перемещений ригелей и балок (рис. 2). Максимальное вертикальное перемещение для балки составило 15,23 мм, что значительно меньше предельной величины 36 мм [3].

Максимальное вертикальное перемещение плиты составляет 15,26 мм (рис. 3), а согласно п. 2а табл. 1 ДСТУ Б В.1.2-3:2006 [3] предельный прогиб плит перекрытий и покрытий, открытых для обзора, при пролете 6 м не должен превышать $L/250 = 4500/200 = 22,5$ мм. Как видно из приведенных результатов, перемещения балок и плиты не превышают предельных величин, установленных ДСТУ Б В.1.2-3:2006 [3].

Деформированная схема железобетонной плиты со вспомогательной балкой изображена на рис. 4. Из этого рис. видно, что деформированная плита опирается по торцам балки и в середине пролета в результате разной деформативности конструкций.

Выводы.

1. Характер деформирования ригелей, балок и железобетонной плиты свидетельствует о том, что для основной части плиты в пролете, в т.ч. и над ригелями и балками, наблюдается деформирование под действием положительного изгибающего момента с появлением сжатой зоны в верхней части бетона плиты и растягивающих напряжений в нижней арматуре.

2. Главные напряжения в стальных пластинах, ригелях и вспомогательных балках после расчета на полную характеристическую равномерно-распределенную нагрузку $0,400 \text{ т/м}^2$ не превышают предела текучести стали.

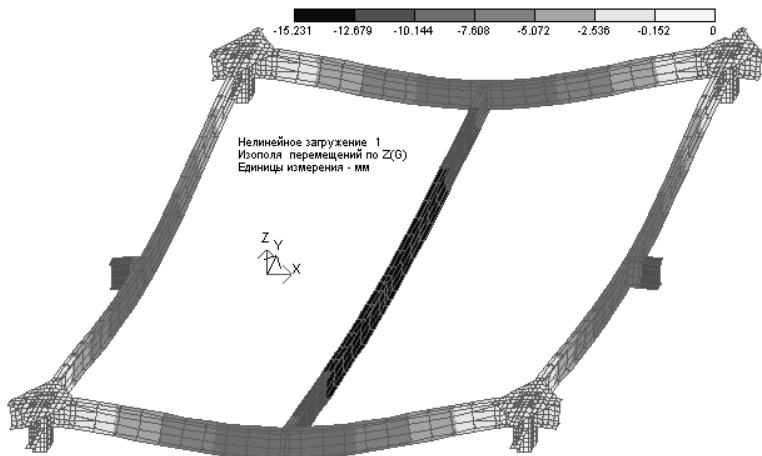


Рис. 2. Деформации ригелей и балок вдоль оси OZ

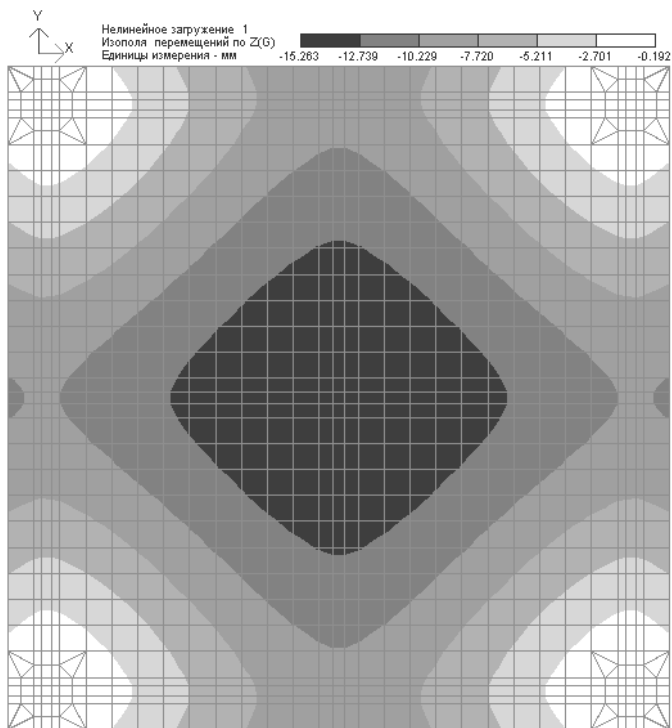


Рис. 3. Деформации железобетонной плиты вдоль оси OZ

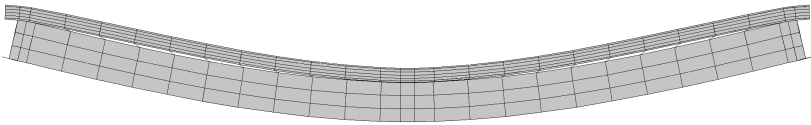


Рис. 4. Деформированная схема железобетонной плиты и стальной балки

2. Деформативность стальных ригелей, балок и плиты по результатам расчетов нелинейной модели 2 находится в допустимых пределах. Максимальное вертикальное перемещение балок составляет 15,23 мм, что гораздо меньше от предельной величины 36 мм. Максимальное вертикальное перемещение плиты составляет 15,26 мм, что гораздо меньше предельного прогиба 22,5 мм

1. ДБН В. 2.6-160:2010. Конструкції будинків і споруд. Стале-залізобетонні конструкції. Основні положення / Мінрегіонбуд України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с. 2. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування / Мінбуд України. – К.: Мінбуд України, 2006. – 60 с. 3. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. – Введено вперше; Введ. 01.01.2007. – К.: Мінбуд України, 2006. – 10 с. 4. ДБН В. 2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні і залізобетонні конструкції. Основні положення / Мінрегіонбуд України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. 5. ДБН В.2.6-163:2010. Державні будівельні норми України. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу / Мінрегіонбуд України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 202 с. 6. Голоднов А.И. О совместном деформировании стальных балок и железобетонной плиты перекрытия / А.И. Голоднов, А.Я. Червинский, И.Н. Лебедич // Збірник наукових праць Українського науково-дослідного і проектного інституту сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського. – К.: Вид-во «Сталь», 2008. – Вип. 2. – С. 18–24. 7. Проектирование железобетонных конструкций: Справочное пособие /А.Б. Гольшев, В.Я.Бачинский, В.П.Полищук, А.В.Харченко, И.В.Руденко; Под ред. А.Б.Гольшева. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Будівельник, 1990. – 544 с. 8. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона / НИИСК Госстроя СССР. – К., 1987. – 24 с.