

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ, СВОБОДНО ОПИРАЮЩЕЙСЯ НА СИСТЕМУ СТАЛЬНЫХ БАЛОК

### FEATURES OF CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE SLAB FREELY LEANING ON THE STEEL BEAM SYSTEM

*Д.т.н., проф. Голоднов А.И. (ООО «Укринсталкон им. В.Н.Шимановского»), к.т.н., доц. Псюк В.В., инженер Кондратюк Е.В. (Донбасский государственный технический университет)*

*Dr. Professor **Golodnov A.I.** (LTD V. Shimanovsky Ukrsteelconstruction, Kyiv), candidate of engineering sciences, associate professor **Psuk V.V.**, eng. **Kondratyuk E.V.** (Donbass State Technical University)*

**АННОТАЦИЯ:** В действующих нормативных документах рассматриваются варианты совместной работы балок стального каркаса здания с железобетонной плитой. Это обеспечивается за счет анкеров и упоров. Возможность работы железобетонных плит, свободно опирающихся на стальные ригели, не рассматривается. Предложен метод расчета таких конструкций.

**Ключевые слова:** железобетонная плита, стальные балки, совместная работа, усиление.

**АННОТАЦІЯ:** У чинних нормативних документах розглядаються варіанти спільної роботи балок сталевго каркасу будівлі із залізобетонною плитою. Це забезпечується за рахунок анкерів і упорів. Можливість роботи залізобетонних плит, що вільно спираються на сталеві ригелі, не розглядається. Запропоновано метод розрахунку таких конструкцій.

**Ключові слова:** залізобетонна плита, сталеві балки, спільна робота, підсилення.

**ABSTRACT:** Current regulatory documents are only considering options of the joint operation of steel building framework with reinforced concrete slabs. This is assured by the usage of anchors and buttresses. Applicability of the reinforced concrete slab freely leaning on the steel beam system has not been considered yet. Methods of the calculation of such constructions are proposed.

Keywords: reinforced concrete slab, steel beams, joint operation, strengthening.

**Введение. Постановка проблемы.** В практике индустриального строительства перекрытия, как правило, выполняют из железобетона. Со второй половины XX века для перекрытий широко применялись сборные железобетонные панели массового изготовления. Такие конструкции с трудом включались в работу каркаса и учитывались в качестве жестких дисков при расчетах на горизонтальные воздействия и для обеспечения общей устойчивости. Усиление таких конструкций, при необходимости, может быть выполнено путем подведения стальных балок. Постановка анкеров и других элементов [1], обеспечивающих совместную работу конструкций, невозможна.

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 железобетонных перекрытий в работу каркаса позволит существенно экономить материал.

Обеспечение совместной работы железобетонных плит со стальными балками осуществляется путем постановки соответствующих 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 [1–5], а также предложения [6, 7 и др.].

**Цель работы** – разработка метода расчета сталежелезобетонного перекрытия со свободным опиранием железобетонных плит на стальные балки.

**Основная часть.** Расчет таких конструкций 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 [2] с умножением на коэффициент 0,85, что позволит в первом приближении учесть нелинейную работу бетона.

Для определения прогибов конструкций перекрытия необходимо разработать модель 2 плиты с использованием объемных КЭ с нелинейной зависимостью деформирования бетона. Нелинейный характер деформирования можно учесть с помощью экспериментально полученных зависимостей « $\sigma_b$ – $\epsilon_b$ » [6] для бетона соответствующего класса по прочности. Арматуру необходимо моделировать стержневыми КЭ приведенной площади для принятого шага дискретизации КЭ.

В обеих моделях стальные балки рекомендуется моделировать плоскими КЭ, что позволит определить напряженно-деформированное состояние (НДС) этих элементов и, при необходимости, на стадии расчетного обоснования изменить параметры стальных балок.

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 требованиями ДБН В.1.2-2:2006 [2]. В результате расчета получаются параметры армирования (при использовании, например, ВК ЛИРА).

Модель 2 используется при расчетах на характеристические значения величин нагрузок. В результате расчета получаются 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]).

В качестве примера можно рассмотреть некоторые результаты расчета сталежелезобетонного перекрытия здания торгового комплекса «Домосфера» в г. Киеве [8]. Здание комплекса представляет собой трехэтажное, прямоугольное в плане многопролетное в обоих

направлениях каркасное сооружение. Шаг колонн в продольном и поперечном направлениях составляет 9 м, высота этажа – 5,25 м.

Каркас представляет собой пространственную рамную систему, состоящую из жестко сопряженных между собой стальных колонн и ригелей. Ригели располагаются в двух направлениях. Колонны жестко сопрягаются с монолитными железобетонными фундаментами.

В каждой ячейке посередине пролета установлена вспомогательная балка такого же сечения, что и ригели. Вспомогательные балки шарнирно соединяются с ригелями и располагаются по площади перекрытия ортогонально одна к другой в сопредельных ячейках.

Фрагмент перекрытия рассчитан с учетом совместной работы стальных ригелей, вспомогательных балок и неразрезной железобетонной плиты толщиной 160 мм. При этом учтено, что плита опирается на систему ригелей сверху без анкеров и других элементов, обеспечивающих совместную работу.

Пространственная жесткость каркаса обеспечивается совместной работой жестко соединенных между собой элементов (колонн и ригелей) и горизонтальных дисков перекрытий и покрытия.

Для определения НДС, армирования плиты и напряжений в стальных балках были разработаны модель 1 и модель 2. Результаты расчета модели 1 позволили определить армирование плиты. В результате расчета модели 2 получены изополя вертикальных перемещений ригелей и балок (рис. 1). Максимальное вертикальное перемещение для балки составило 15,23 мм, что значительно меньше предельной величины 36 мм. Изополя вертикальных перемещений плиты приведены на рис. 2. Максимальное вертикальное перемещение плиты составило 15,26 мм, а в соответствии с 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.

Деформированная схема плиты со стальной балкой изображена на рис. 3. Из этого рис. видно, что вследствие разной деформативности конструкций железобетонная плита при рассмотренных нагрузках фактически опирается по торцам балки и в середине пролета.

## **Выводы**

Все вышеизложенное позволило сделать следующие выводы.

1. Расчет железобетонной плиты, свободно опирающейся на систему стальных балок, представляет собой довольно сложную задачу, точное решение которой в настоящее время отсутствует.

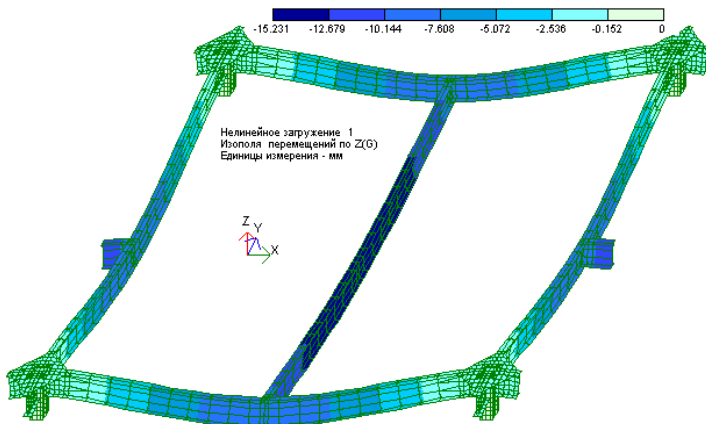


Рис. 1. Деформации ригелей вдоль оси OZ

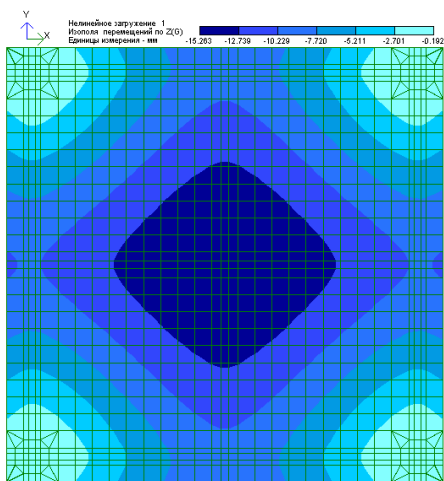


Рис. 2. Деформации железобетонной плиты вдоль оси OZ

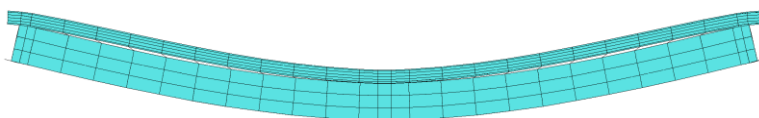


Рис. 3. Деформированная схема железобетонной плиты и балки

2. Предложена методика расчета железобетонных плит, свободно опирающихся на систему стальных балок, основанная на применении МКЭ. Для расчета по предельным состояниям первой группы разрабатывается упрощенная модель 1. Для расчета по предельным состояниям второй группы разрабатывается адекватная конструкции модель 2, учитывающая специфику деформирования бетона.
3. Методика использована при расчетах конструкций реального здания. Применение методики позволило обоснованно подойти к выбору параметров стальных балок и армирования плиты.

#### *Список литературы*

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 (із скасуванням в Україні розділу 10 СНиП 2.01.07-85); 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. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона / НИИСК Госстроя СССР. – К., 1987. – 24 с.
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. 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.