

УДК 624.012:536.4

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СТАЛЕБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ ТРЕХСТОРОННЕМ НАГРЕВЕ

Канд. техн. наук Г.Л. Ватуля, ассист. А.В. Игнатенко

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК В УМОВАХ ТРИСТОРОННЬОГО НАГРІВУ

Канд. техн. наук Г.Л. Ватуля, асист. А.В. Ігнатенко

NUMERICAL SIMULATION OF STEEL-CONCRETE BEAM'S WORK IN CONDITIONS OF THREE-SIDED HEATING

Cand. of techn. sciences G.L. Vatulia, assistant A.V. Ignatenko

В работе приведены результаты численного моделирования балок с внешним листовым армированием, работающих в условиях трехстороннего нагрева. Предложены трехмерные модели для оценки огнестойкости исследуемых конструкций.

Ключевые слова: *сталебетонная балка, огнестойкость конструкции, предел огнестойкости, стандартный температурный режим пожара, предельное состояние, математическая модель, метод конечных элементов.*

У статті наведено результати чисельного моделювання балок із зовнішнім листовим армуванням, що працюють в умовах трьохстороннього нагріву. Запропоновано тримірні моделі для оцінки вогнестійкості конструкцій, що досліджуються.

Ключові слова: *сталебетонна балка, вогнестійкість конструкції, границя вогнестійкості, стандартний температурний режим пожегу, граничний стан, математична модель, метод кінцевих елементів.*

The authors presented the numerical simulation results of beams with external steel sheet reinforcement working in conditions of three-sided heating. The three-dimensional models for fire resistance definition of examined beams were proposed using ANSYS software package. It's assumed standard temperature range of fire. The authors have examined beams with and without flame-retardant coats. The Conlit SL150 Rockwool mineral wool coat, SP-A2 Piro-Safe FlamoPlast intumescent coating and Natresk coating are assumed as fire protection. All investigations were done in order to provide the demanded range of fire resistance rating. Cause and fire scenario are not considered.

Verification of proposed finite element models and calculation was performed in comparison of obtained results with experimental data of steel-concrete beams destruction under the mechanical load.

Keywords: *Steel-concrete beam, structure fire resistance, fire-resistance rating, fire standard temperature conditions, limiting state, mathematical model, finite-element method.*

Введение. Использование современных расчетных комплексов в практике проектирования несущих и ограждающих конструкций является общепринятым при оценке их напряженно-деформированного и предельного состояния. В предложенной работе с помощью программного комплекса ANSYS, проведено численное моделирование работы сталебетонной балки с внешним листовым армированием, работающей в условиях трехстороннего нагрева.

Задача определения огнестойкости рассматриваемых конструкций решается с использованием математических моделей трещинообразования согласно рабочей теории прочности, модели пластической деформации и пластического упрочнения сжатой зоны бетона и растяжения стальных элементов, размера и расположения конечных элементов (КЭ), а также граничных условий с учетом симметрии.

Для определения вносимой погрешности, при использовании рабочих математических

моделей, их адекватность проверяется путем сравнения результатов расчета с экспериментальными данными по разрушению подобных конструкций при действии только механической нагрузки. Методика расчета разработана в соответствии с существующей методической и нормативной базой для определения пределов огнестойкости железобетонных и сталебетонных конструкций [1-3].

Целью исследований является создание трехмерных компьютерных моделей, которые учитывают основные условия нагружения и опирания, а также нелинейные зависимости “напряжения-деформации” для бетона и внешнего армирования, для оценки огнестойкости рассматриваемых конструкций сталебетонных балок.

Основной материал исследований. Первоначально рассмотрим условия работы балок только при механическом воздействии. В

качестве разрешающих уравнений НДС сталебетона используем метод конечных элементов (МКЭ). Вид матриц разрешающих уравнений МКЭ определяется формой и свойствами КЭ [4,5].

Для моделирования бетона используется восьми узловой гексаэдрический КЭ SOLID65, а для арматуры - двух узловой стержневой КЭ лагранжевого типа LINK8 (рис. 1). В соответствии с системой констант для КЭ SOLID65 можно задать в нем наличие арматуры в виде ортотропии упругопластических и прочностных свойств, при модификации материальных матриц. Среди параметров задаются углы ϕ и θ ориентации арматуры в глобальной системе координат, номер материала арматурной стали, а также объемное соотношение арматурных включений и бетона.

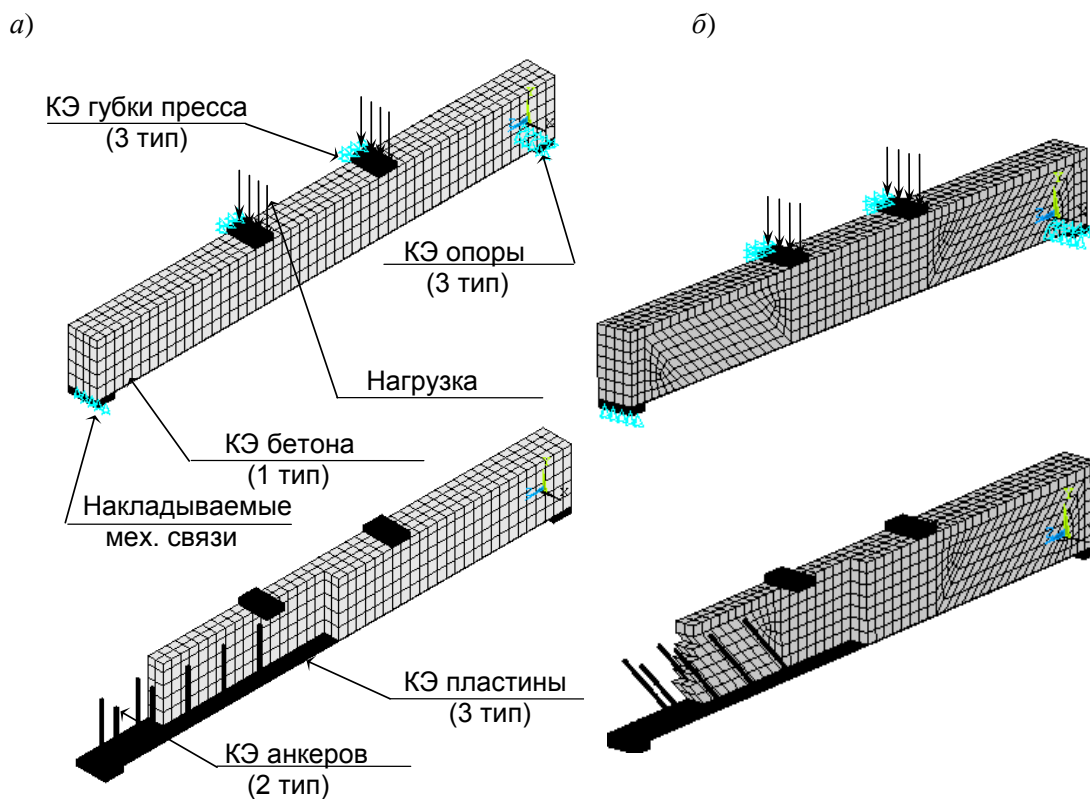


Рис. 1. Конечно-элементные схемы балки №1 с анкерами под углом 90° (а) и балки №2 с анкерами под углом 45° (б)

Стержневой КЭ LINK8 используется для моделирования анкеров стального листа. Данный тип КЭ является очень удобным,

поскольку может быть сгенерирован между узлами, причем единственным геометрическим его параметром является площадь поперечного

сечения. Данный элемент воспринимает любой тип нагрузок и допускает пластические деформации.

При моделировании внешнего армирования был использован 3 тип КЭ SOLID45. Он является универсальным КЭ для любого материала, обладающего упругопластическими свойствами. При моделировании стального листа был использован объемный КЭ, в силу того, что он является менее требовательным в плане задания геометрических и деформационных констант, и, кроме этого, обеспечивает лучшую сходимость вычислительного процесса.

Для исключения преждевременного растрескивания и разрушения КЭ бетона, наложение механических связей и сосредоточенных сил, осуществлялось к дополнительным

элементам (губкам пресси и опорным поверхностям), которые имеют определенную плоскость распределения нагрузки. Для исключения появления перемещений в поперечном направлении опорных поверхностей и губок пресси накладывались дополнительные связи в поперечном направлении. Механические свойства материалов принимались в соответствии с [6].

Для проверки адекватности предложенных моделей выполнялся анализ результатов расчета и экспериментальных данных с использованием критерия Фишера. На рис. 2 показаны графики максимального прогиба сталебетонных балок №1 и №2.

В табл. 1. представлены разрушающие нагрузки, полученные расчетным путем и экспериментально.

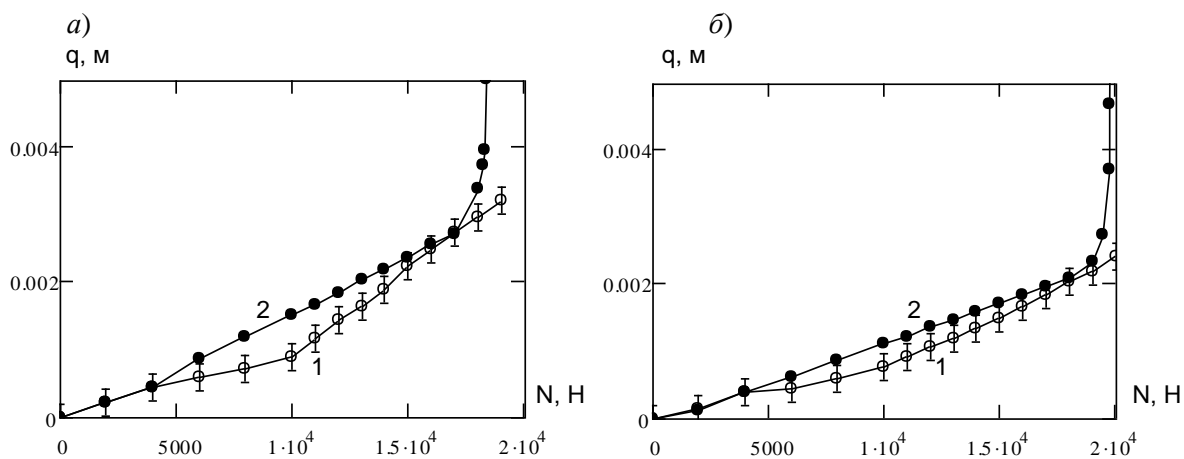


Рис. 2. Графики максимального прогиба балок, полученные экспериментально (1) и расчетным путем (2): а – балка № 1; б – балка №2

Таблица 1

Значения разрушающих нагрузок

Образец	Экспериментальное значение разрушающей нагрузки, кН	Расчетное значение разрушающей нагрузки, кН	Абсолютное отклонение, кН	Погрешность, %
Б1	19	18.5	0.5	2.8
Б2	20	19.25	0.75	3.8

Рассмотрим теплотехническую задачу. Как конечный элемент, моделирующий материал фрагмента, из номенклатуры КЭ выбран термический элемент SOLID70. Это термальный твердотельный шестигранный призматический элемент с восьмью узлами.

На созданную конечно-элементную модель наложены конвекционные и радиационные граничные условия. Радиационные условия накладываются посредством образования сетки КЭ с поверхностным эффектом радиационного теплообмена. Для этого из библиотеки КЭ выбран элемент SURF152. Теплофизические

характеристики материалов, используемые для расчета, приняты в соответствии с [1]. При этом коэффициент теплопроводности описывается степенным полиномом, а удельная теплоемкость кусочно-линейной функцией.

Граничные условия на обогреваемой и необогреваемой стороне соответствуют граничным условиям III рода и при этом учитывают конвективный и лучистый теплообмен. В воздушной прослойке осуществляется только лучистый теплообмен. Параметры теплообмена взяты в соответствии с [7].

После расчета при механическом воздействии к узлам КЭ балки прикладывались температуры, определенные при решении теплотехнической задачи. Особенностью приложения температурной нагрузки является несовпадение сеток КЭ-моделей для решения тепловой и прочностной задач. Для приложения температур в соответствующих узловых точках была использована линейная

интерполяция. При этом она является плоской в условных сечениях КЭ-схемы.

Отдельной задачей проведенных исследований был подбор возможных вариантов огнезащитных покрытий для обеспечения требуемых пределов огнестойкости конструкции [8,9].

Выводы. Результаты сопоставления расчетных и экспериментальных данных свидетельствуют об адекватности предложенных математических моделей НДС сталебетонной балки. Поля распределений напряжений, деформаций и трещин соответствуют физике процесса, происходящего при механических испытаниях балки на изгиб. В результате расчета балки без огнезащиты показано, что может быть обеспечен предел огнестойкости R15. Использование предложенных огнезащитных покрытий позволяет обеспечить предел огнестойкости R60.

Список использованной литературы

1. EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-2: General rules - Structural fire design, Brussels, 2004.
2. Милованов, А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций [Текст] / А.Ф. Милованов. – М.: Стройиздат, 1986. – 224 с.
3. Бартелеми, Б. Огнестойкость строительных конструкций [Текст] / Б. Бартелеми, Ж. Крюппа. – М.: Стройиздат, 1985. – 216 с.
4. ANSYS 9.0 Manual Set, ANSYS Inc., Southpoint, 275 Technology Drive, Canonsburg, PA 15317, USA.
5. Клованич, С.Ф. Метод конечных элементов в механике железобетона [Текст] / С.Ф. Клованич, И.Н. Мироненко. – Одесса: ОНМУ, 2007. – 110 с.
6. Ковалев, М.А. Напряженно-деформированное и граничное состояние сталебетонных балок при кратковременном статическом нагружении [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / М.А. Ковалев. – Харьков, 2008. – 184 с.
7. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека. ДБН В.1.2-7-2008 [Текст]. – К.: Видавництво ДП “Укрархбудінформ”, 2008. – 52 с.
8. Захист від пожежі. Пожежна безпека об’єктів будівництва. ДБН В.1.1-7-2002 [Текст]. – К.: Видавництво “Лібра”, 2003. – 87 с.
9. Vatulia G. Carrying capacity definition of steel-concrete beams with external reinforcement under the fire impact / Vatulia G., Orel E., Kovalov M. // Applied Mechanics and Materials – Vol. 617 (2014) – С.167-170.

Рецензент д-р техн. наук, профессор А.А. Плугин

Ватуля Гліб Леонідович, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри будівельної механіки і гідравліки УкрДАЗТ. Тел. 057 -730-1070 (10-70).

Ігнатенко Андрій Васильович, асистент кафедри мостів, конструкцій і будівельної механіки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Тел. 057 -730-1070 (10-70).

Vatulia Glib Leonidovich, PhD, Associated Professor, Head of Building Mechanics and Hydraulics Department. Tel. 057 -730-1070 (10-70).

Ignatenko Andrii Vasilevich, Assistant of Bridge, Structures and Building Mechanics Department. Kharkiv National Road University. Tel. 057 -730-1070 (10-70).