УДК 624.012:536.4 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.144.2014.80436

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТАЛЕБЕТОННЫХ БАЛОК С ПОДБОРОМ ЭФФЕКТИВНОЙ ОГНЕЗАЩИТЫ

Кандидаты техн. наук Г.Л. Ватуля, Е.Ф. Орел, ассист. А.В. Игнатенко

ВИЗНАЧЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК З ВИБОРОМ ЕФЕКТИВНОГО ВОГНЕЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ

Кандидати техн. наук Г.Л. Ватуля, Е.Ф. Орел, асист. А.В. Ігнатенко

DEFINITION OF STEEL-CONCRETE BEAM`S FIRE-RESISTANCE WITH EFFECTIVE FLAME-RETARDANT COAT SELECTION

PhD, Associated Professor G.L. Vatulia, PhD, Associated Professor E.F. Orel, A.V. Ignatenko

Наведено результати розрахунку вогнестійкості балок із зовнішнім листовим армуванням, при стандартному температурному режимі розвитку пожежі, без та з урахуванням вогнезахисного покриття, у програмному комплексі ANSYS.

Ключові слова: *сталебетонна балка, вогнестійкість конструкцій, межа вогнестійкості конструкцій, стандартний температурний режим пожежі, граничний стан, математична модель, метод кінцевих елементів.*

Приведены результаты расчета огнестойкости балок с внешним листовым армированием, при стандартном температурном режиме пожара, без и с учетом огнезащиты, в программном комплексе ANSYS.

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

The authors presented the results of beam`s with external sheet reinforcement fire resistance definition at standard temperature range of fire and justified specifications for flame-retardant coat using ANSYS software package. In order to provide the required fire resistance rating for steel-concrete beams it was examined several types of fire protection: mineral wool coat Rockwool series Conlit SL150, fire retardant intumescent coating Piro-Safe FlamoPlast SP-A2 and fire-retardant coating Natresk. It's assumed that for proposed steel-concrete beams minimal fire resistance rating will be chosen from several values R15, R30, R45 and R60. Cause and fire scenario are not considered.

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

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

Введение. Применение расчетного метода анализа и оценки огнестойкости балок с внешним листовым армированием позволяет определить предел огнестойкости конструкций с учетом воздействия возможного пожара с боков и снизу балки (трехсторонний обогрев). Расчетные исследования проводились с последующим анализом предельных состояний балки по выбранным критериям наступления предела огнестойкости.

Разработаны трехмерные компьютерные модели, которые учитывают основные условия нагружения и опирания балок, а также нелинейные зависимости «напряжения-деформации» для бетона и внешнего армирования.

Предложенная методика расчета соответствует существующей методической и нормативной базе для определения пределов огнестойкости железобетонных и сталебетонных конструкций [1, 2].

Целью исследований является оценка огнестойкости балок с внешним листовым армированием при стандартном температурном режиме пожара в помещении и обоснование технических характеристик огнезащиты для обеспечения требований норм пожарной безопасности к ним.

Основной материал исследований. Объектом исследования являются сталебетонные балки с внешним листовым армированием, толщина которого варьируется от 2 до 4 мм. Конструктивная схема рассматриваемых балок представлена на рис. 1.

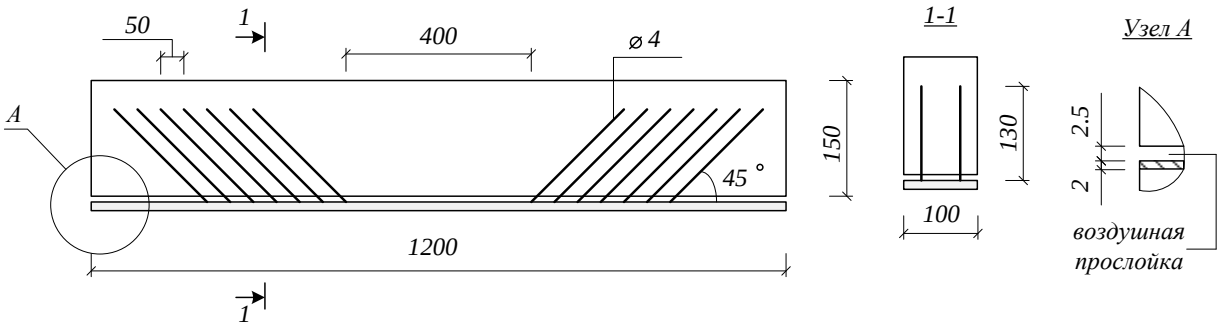

Рис. 1. Конструкция рассматриваемой сталебетонной балки

Балки выполнены из бетона класса С20/25 плотностью 2300 кг/м^3 с нормальной влажностью 3 %, соответствующей твердению бетона в течение 28 сут. Несущий элемент (лист) – из конструкционной стали марки Ст.3, крепежные анкера – из арматурной стали класса А240 диаметром 4 мм.

Для исследуемых балок требуемое минимальное значение предела огнестойкости выбирается из ряда значений R15, R30, R45, R60. Причина развития пожара не рассматривается [2, 3].

В качестве разрешающих уравнений напряженно-деформированного состояния сталебетона используем метод конечных элементов. Задача определения огнестойкости решается на основе моделирования 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, а также граничных условий с учетом симметрии.

Верификация предложенных конечно-элементных моделей и выполненных на их основе расчетов выполняется путем сравнения полученных результатов с экспериментальными данными по разрушению сталебетонных балок при действии только механической нагрузки [4].

На созданную конечно-элементную модель наложены конвекционные и радиационные граничные условия. Радиационные условия накладываются посредством образования сетки конечных элементов с поверхностным эффектом радиационного теплообмена.

Температурные зависимости материалов, используемые для расчета, приняты согласно [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 [5].

В результате расчета построены графики температурно-временных зависимостей в различных точках сечения в условиях «стандартного» пожара (рис. 2). Их анализ позволяет нам сделать предварительный вывод о наступлении предела огнестойкости при использовании условного критерия «критическая температура». Считается, что при достижении сталью температуры 500°С стальная пластина достигает предела текучести и теряет способность к сопротивлению силовым нагрузкам. На основе данной

гипотезы можно сделать вывод, что вероятно наступление предела огнестойкости происходит на 400-й секунде (7-й минуте) воздействия стандартного пожара.

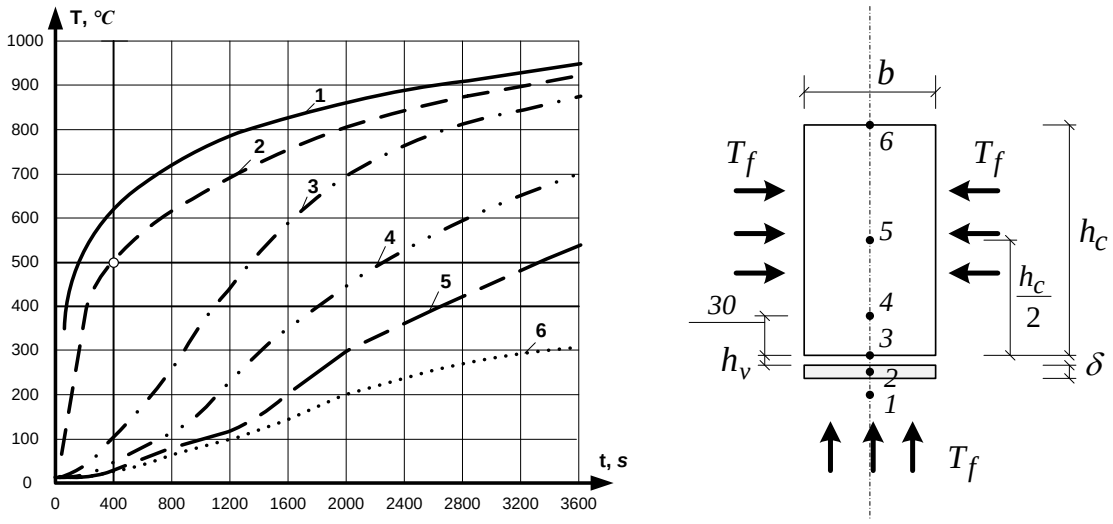

Рис. 2. Графики температурно-временных зависимостей в различных точках сечения в условиях «стандартного» пожара: 1 – стандартный температурный режим пожара; 2 – температура в стальной пластине; 3 – температура на нижней поверхности бетонного слоя; 4 – температура на расстоянии 30 мм от нижней грани бетонного слоя; 5 – температура посредине высоты бетонного слоя; 6 – температура на необогреваемой поверхности

Конец расчета наступает на 20-й минуте при потере геометрической неизменяемости балки. Для более точной оценки времени наступления предельного состояния построим график максимального прогиба балки в зависимости от времени воздействия пожара (рис. 3).

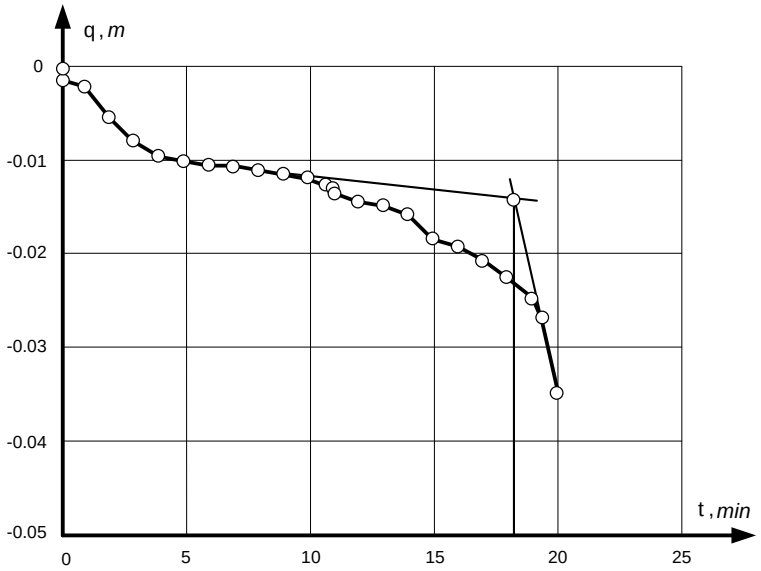

Рис. 3. График максимального прогиба балки от времени воздействия «стандартного» пожара

Вид графика на рис. 3 является нетипичным для поведения обычной балки с арматурой внутри бетонного слоя, поскольку на нем есть участок резкого нарастания прогиба со 2-й по 5-ю минуты воздействия пожара. Это объясняется тем, что в это время стальной лист резко нагревается до температуры 400°С, затем нарастание температуры начинает замедлятся. При этом лист резко расширяется, заставляя балку больше прогибаться, а в бетоне возникает интенсивное трещинообразование. Воспользовавшись методикой определения предела огнестойкости, описанной в [2], были построены касательные к участкам графика до и после загиба кривой. На их пересечении определен предел огнестойкости исследуемой балки, который составил U = 18 мин.

При этом может быть обеспечен предел огнестойкости R15, что соответствует только степеням огнестойкости IVa и IIIa согласно [6].

Для обеспечения требуемых пределов огнестойкости рассматривается несколько типов огнезащиты – минеральная вата ROCKWOOL в виде плит «Conlit 150 SL», вспучивающееся огнезащитное покрытие ПИРО-СЕЙФ ФЛАМОПЛАСТ СП-А2, огнезащитный состав «Натреск». В результате расчетов были построены графики температурно-временных зависимостей и максимального прогиба, которые представлены на рис. 4,5.

Выводы. В результате расчета было показано, что исследуемые огнезащитные материалы являются эффективными для обеспечения требований нормативов к огнестойкости сталебетонных балок данного типа.

Для огнезащитной облицовки плитами «Rockwool» серии «Conlit SL150» достаточно использовать плиты с минимальной толщиной 25 мм и клей «Conlit Glue», чтобы обеспечить огнестойкость балок более 120 мин.

При использовании огнезащитного покрытия «Натреск» толщиной 10 мм обеспечивается предел огнестойкости более 100 мин.

Огнезащитное вспучивающееся покрытие ПИРО-СЕЙФ ФЛАМОПЛАСТ СП-А2 в диапазоне рабочих толщин от 1 до 1,5 мм обеспечивает пределы огнестойкости от 47 до 69 мин. Таким образом, для обеспечения пределов R15, R30, R45 достаточно минимальной толщины покрытия (1 мм). Для обеспечения предела R60 необходимо, чтобы толщина покрытия была не менее 1,3 мм.

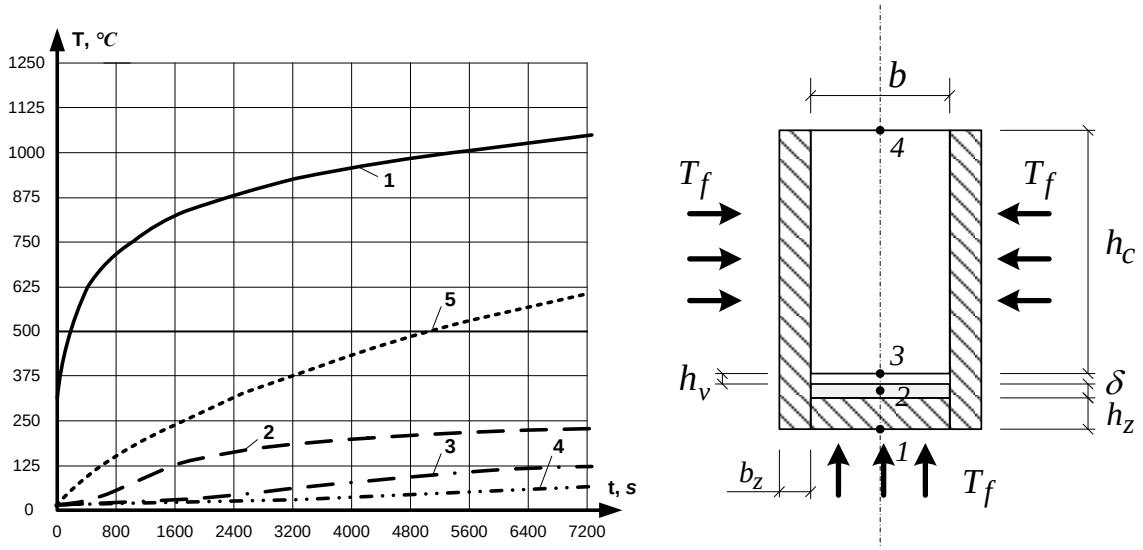

Рис. 4. Графики температурно-временных зависимостей в различных точках сечения балки с огнезащитной облицовкой из плит «Conlit SL150» толщиной 25 мм в условиях «стандартного» пожара:
1 – температура на поверхности огнезащиты; 2 – температура в стальной пластине; 3 – температура на нижней грани бетонного слоя; 4 – температура на необогреваемой поверхности; 5 – максимальная температура в бетоне з защитным покрытием «Натреск»

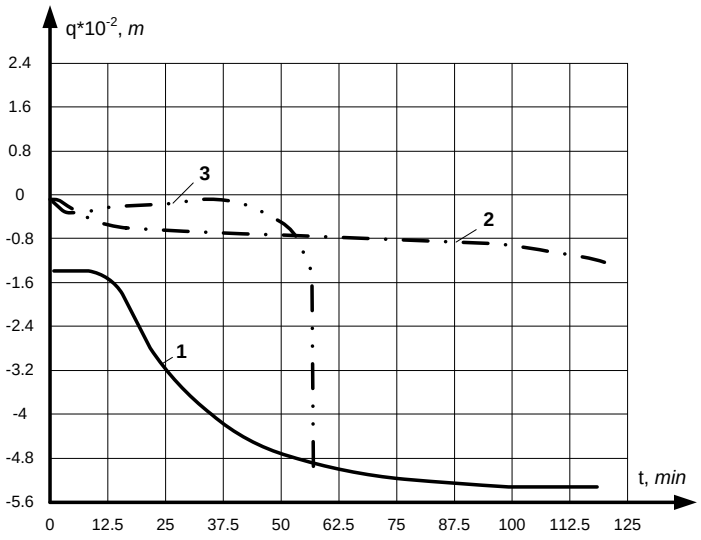

Рис. 5. График максимального прогиба балки с огнезащитной облицовкой
в условиях «стандартного» пожара:
1 – плиты «Conlit SL150»; 2 – покрытие «Натреск»;
3 – покрытие ПИРО-СЕЙФ ФЛАМОПЛАСТ СП-А2

Список использованных источников

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. 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.

5. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека [Текст]: ДБН В.1.2-7-2008. – К.: Видавництво ДП “Укрархбудінформ”, 2008. – 52 с.

6. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва [Текст]: ДБН В.1.1-7-2002. – К.: Видавництво “Лібра”, 2003. – 87 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор А.Н. Даренский

Ватуля Гліб Леонідович, канд. техн. наук, доцент, завідуючий кафедрою будівельної механіки та гідравлики Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 057 -730-1070 (10-70).
Орел Євген Федорович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 057 -730-1067 (10-67).
Игнатенко Андрій Васильйович, асистент кафедри мостів, конструкцій та 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).
Orel Yevhen Fedorovich, PhD, Associated Professor Associated Professor of Track and Track Facilities Department
Tel. 057 -730-1067 (10-67).
Ignatenko Andrii Vasilevich, Assistant of Lecturer of Bridge, Structures and Building Mechanics Department Kharkiv National Road University. Tel. 057 -730-1070 (10-70).