

АНОТАЦІЯ

Башинський О.В. Створення та критерії роботи конструктивних моделей сталевих балок із вогнезахистом. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, галузь знань 19 – Архітектура та будівництво. – Київський національний університет будівництва і архітектури. Міністерство освіти і науки України, Київ, 2024 р.

Основний зміст дисертаційної роботи

Дисертаційна робота спрямована на розвиток чисельно-розрахункових методів оцінки межі вогнестійкості сталевих конструкцій, шляхом врахування нерівномірного температурного розподілу по висоті перерізу, нелінійної зміни теплофізичних властивостей матеріалів та вогнезахисних облицювань.

За результатами виконаних аналізів вітчизняних та закордонних наукових джерел та нормативних документів, чисельних скінченно-елементних та експериментальних досліджень:

- з'ясовано, що у вітчизняних та закордонних документах та методичних посібниках описано лише спрощені аналітичні методики оцінки межі вогнестійкості сталевих конструкцій; існують експериментальні методи оцінки межі вогнестійкості, проте вони не є універсальними та не дозволяють швидко та зручно оцінити вогнестійкість будь-якої конструкції;
- адаптовано та використано чисельний метод скінченних елементів для вирішення задачі нестационарної теплопровідності для проведення теплотехнічного розрахунку поперечного перерізу сталеві балки перекриття;
- встановлено закономірності, які призвели до нерівномірного розподілу температури по висоті поперечного перерізу сталеві балки перекриття;
- встановлено достовірність результатів, отриманих за використання чисельного методу скінченних елементів в порівнянні з експериментальним методом;

- встановлено, що теплотехнічний розрахунок сталеві балки перекриття з врахуванням нелінійної зміни теплофізичних характеристик матеріалів відкриває додаткові резерви несучої спроможності сталевих балок при дії високих температур;
- створено методологію та алгоритм розрахунку сталевих балок перекриття з вогнезахистом з реалізацією в програмному комплексі ЛІРА-САПР.

З точки зору філософії, науково-технічних розвиток людства зростає в геометричній прогресії. Новітні технології дозволяють проводити точні, безпечні, зручні та швидкі вишукування, які дозволяють враховувати чисельні фактори та критерії роботи будівельних конструкцій, які неможливо було врахувати раніше. Дане дослідження спрямоване на збільшення конструктивної безпеки, екологічності, енергоефективності, що в свою чергу впливає на безпеку людської життєдіяльності, що наразі є дуже важливим чинником.

В першому розділі проаналізовано сучасний стан пожежної безпеки в країні та методи оцінки межі вогнестійкості будівельних конструкцій. Описано способи вогнезахисту будівельних конструкцій та наведено низку найбільш поширених вогнезахисних матеріалів. Проаналізовано сучасні експериментальні, аналітичні та чисельні методи оцінки межі вогнестійкості сталевих конструкцій, а саме сталевих балок перекриття. Експериментальні методи є найбільш ефективними, проте не є універсальними, а аналітичні методи не враховують ключових критеріїв роботи теплонавантажених конструкцій, тому на базі аналітичних та чисельних методів необхідно побудувати універсальну методику оцінки межі вогнестійкості конструкцій.

В другому розділі детально описано вирішення задачі нестационарної теплопровідності за допомогою чисельного методу скінченних елементів. В програмному комплексі ЛІРА-САПР було проведено чисельний експеримент впливу пожежі на сталеву балку перекриття, на яку спирається залізобетонна плита перекриття. Було виконано два типи розрахунків: теплотехнічний, в якому було визначено розподіл температурних полів в кожній точці перерізу балки в кожену хвилину часу пожежі; та статичний, в якому було попередньо знижено міцнісні характеристики перерізу та пружно-деформаційні характеристики сталі відповідно до

середньої температури в поперечному перерізі балки у фіксований момент часу. Результати теплотехнічного розрахунку було порівняно з результатами аналогічного розрахунку, який було проведено в програмному комплексі ANSYS FLUENT та описано в нормативному документі.

В третьому розділі описано алгоритм визначення нелінійних властивостей матеріалів конструкції та вогнезахисних облицювань. Було проведено теплотехнічний розрахунок сталеві балки перекриття з врахуванням вогнезахисного матеріалу. Результати розрахунку було порівняно з результатами експериментального дослідження. Результати підтвердили достовірність методологічних підходів по визначенню температури в перерізі, розроблених в дисертації. Також було проведено теплотехнічні розрахунки моделей сталевих балок з різними варіантами вогнезахисних матеріалів. Виявлено закономірності розподілу температури по перерізу в залежності від типу та товщини вогнезахисного матеріалу. Було проведено порівняльний теплотехнічний розрахунок моделі сталеві балки перекриття з вогнезахистом з врахуванням та без врахування нелінійної зміни теплофізичних властивостей матеріалів. Встановлено, що теплотехнічний розрахунок сталеві балки перекриття з врахуванням нелінійної зміни теплофізичних характеристик матеріалів відкриває додаткові резерви несучої спроможності сталевих балок при дії високих температур, проте час розрахунку вище в десятки разів.

В четвертому розділі розроблено та представлено методологічний підхід врахування нерівномірного розподілу по висоті перерізу за допомогою удосконалення математичної моделі сталевого перерізу балки перекриття уточненням приведених жорсткісних характеристик перерізу через розділення його на ділянки. Також було запропоновано методику ітераційного зниження жорсткостей. Дана методика дозволяє в одній задачі оцінити деформації конструкції на різних часових відмітках пожежі. Порівняння чисельних результатів дослідження і даних натурного експерименту дало високе співпадіння.

Виконані дослідження дозволили створити удосконалену чисельно-аналітичну методику розрахунку сталевих конструкцій на вогнестійкість з урахуванням нерівномірного розподілу температур по конструкції, вогнезахисних матеріалів та

нелінійної зміни теплофізичних властивостей матеріалів. Дана методика була успішно застосована при проведенні розрахунків реальних об'єктів.

Ключові слова: вогнестійкість, нестационарна теплопровідність, чисельне моделювання, теплофізичні характеристики, теплотехнічний розрахунок, статичний розрахунок, високотемпературний вплив, вогнезахист, фізична нелінійність, метод скінченних елементів, нелінійність, сталеві конструкції, сталеві балки, напружено-деформований стан, міцність, жорсткість, деформації.

ABSTRACT

Bashynskiy O. Creation and operation criteria for structural models of steel beams with fire protection. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The thesis on conferment of a scientific degree of the Doctor of philosophy on a specialty 192 – Building and civil engineering, area of knowledge 19 – Architecture and building. – Kyiv National University of Construction and Architecture. Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2024.

The main content of the thesis.

The thesis is aimed at developing numerical methods for assessing the fire resistance limit of steel structures by taking into account the uneven temperature distribution along the height of the section, nonlinear changes in the thermophysical properties of materials and fireproof coatings.

Based on the results of the analysis of national and foreign scientific sources and regulatory documents, as well as numerous finite element and experimental studies:

- it has been found that national and foreign documents and manuals describe only simplified analytical methods for assessing the fire resistance limit of steel structures; there are experimental methods for assessing the fire resistance limit, but they are not universal and do not allow for quick and convenient assessment of the fire resistance of any structure;
- the numerical finite element method was adapted and used to solve the problem of nonstationary heat conduction for the thermotechnical analysis of the cross-section of a steel floor beam;
- patterns that led to an uneven temperature distribution along the height of the cross-section of a steel floor beam were established;
- the reliability of the results obtained by using the numerical finite element method in comparison with the experimental method was established;
- it was found that the thermotechnical analysis of a steel floor beam, taking into account the nonlinear change in the thermal and physical characteristics of materials, opens up additional reserves of the bearing capacity of steel beams at high temperatures;

– a methodology and algorithm for steel floor beams with fire protection analysis with implementation in the LIRA-FEM software was created.

From the point of view of philosophy, the scientific and technological development of mankind is growing exponentially. The latest technologies allow for accurate, safe, convenient and fast surveys that allow for the consideration of numerous factors and criteria for the operation of building structures that could not be taken into account before. This research is aimed at increasing structural safety, environmental friendliness, and energy efficiency, which in turn affects the safety of human life, which is currently a very important factor.

In the first section, the current state of fire safety in the country and methods for assessing the fire resistance limit of building structures were analyzed. The methods of fire protection of building structures were described and a number of the most common fire protection materials were presented. Modern experimental, analytical and numerical methods for assessing the fire resistance limit of steel structures, namely steel floor beams, were analyzed. Experimental methods are the most effective, but not universal, and analytical methods do not take into account the key criteria for the operation of heat-loaded structures, so it is necessary to build a universal method for assessing the fire resistance limit of structures on the basis of analytical and numerical methods.

In the second section the solution of the problem of nonstationary thermal conductivity using the numerical finite element method was described in detail. A numerical experiment of the effect of a fire on a steel floor beam on which a reinforced concrete floor slab rests was carried out in the LIRA-FEM software. Two types of analyses were performed: thermotechnical, in which the distribution of temperature fields at each point of the beam cross-section at each minute of the fire was determined; and static, in which the strength characteristics of the cross-section and the elastic-deformation characteristics of steel were preliminarily reduced according to the average temperature in the beam cross-section at a fixed time. The results of the thermotechnical analysis were compared with the results of a similar analysis performed in the ANSYS FLUENT software and described in the regulatory document.

In the third section the algorithm for determining the nonlinear properties of structural materials and fireproof coatings was described. A thermotechnical analysis of the steel floor beam was performed with consideration of the fire protection material. The analysis results were compared with the results of the experimental research. The results confirmed the reliability of the methodological approaches to determining the cross-sectional temperature developed in this thesis. Thermotechnical analyses of steel beam models with different variants of fire protection materials were also carried out. The regularities of temperature distribution across the cross-section depending on the type and thickness of the fireproofing material were revealed. A comparative thermotechnical calculation of the model of a steel floor beam with fire protection was carried out, taking into account and without taking into account the nonlinear change in the thermophysical properties of materials. It has been established that the thermotechnical analysis of a steel floor beam with consideration of nonlinear changes in the thermophysical characteristics of materials opens up additional reserves of the bearing capacity of steel beams under high temperatures, but the time of analysis is ten times higher.

In the fourth section a methodological approach is developed and presented to take into account the uneven distribution along the height of the section by improving the mathematical model of the steel section of a floor beam by refining the reduced stiffness characteristics of the section by dividing it into sections. A method of iterative stiffness reduction was also proposed. This technique makes it possible to estimate the deformations of the structure at different time points of the fire in one problem. Comparison of the numerical results of the study and the data of the full-scale experiment gave a high coincidence.

The research made it possible to create an improved numerical and analytical methodology for calculating steel structures for fire resistance, taking into account the uneven temperature distribution across the structure, fire protection materials, and nonlinear changes in the thermal and physical properties of materials. This methodology has been successfully applied to real-world calculations.

Key words: fire resistance, nonstationary thermal conductivity, numerical modeling, thermophysical characteristics, thermal design, static analysis, high-temperature exposure,

fire protection, physical nonlinearity, finite element method, nonlinearity, steel structures, steel beams, stress-strain state, strength, stiffness, deformation.