

АНОТАЦІЯ

Дауров М.К. Робота сталевих каркасів багатоповерхових будівель при пожежі із посиленням живучості. – 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, 2023 р.

Основний зміст дисертаційної роботи

Дисертаційна робота спрямована на збільшення конструктивної безпеки багатоповерхових будівель шляхом посилення живучості їхніх несучих конструкцій в час стрімкого розвитку будівель як систем та воєнних дій на території України.

За результатами виконаних оглядів, аналізів, скінченно-елементних досліджень:

- у вітчизняних та закордонних нормативних документах встановлено, що рекомендації чи методики розрахунку сталевих каркасів багатоповерхових будівель (СКББ) на живучість при пожежі відсутні, а розглянуті заходи до цього часу в наукових дослідженнях потребують більш детальних досліджень та вдосконалення;
- визначене найбільш несприятливе розташування джерела пожежі в СКББ;
- визначені найбільш розтягнуті у часі механізми руйнування СКББ при пожежі;
- встановлені різні заходи посилення живучості СКББ при пожежі;
- в розвиток положень нормативних документів та стандартів з надійності та живучості сталевих конструкцій розроблена методика посилення живучості при пожежі СКББ.

З погляду філософії науки в сучасному світі відбувається науково-технічний прогрес все більшими темпами. Людство створює складні системи для задоволення власних потреб, таких як створення середовища для

комфортного проживання та різних видів життєдіяльності. Але по мірі зростання складності цих систем зростає їхня чутливість до непередбачуваних загроз різної природи. Наукові дослідження в галузі проектування будівель мають бути спрямовані на збільшення безпеки людської життєдіяльності, конструктивної безпеки екологічності, енергоефективності.

В першому розділі проаналізовано випадки прогресуючого руйнування багатоповерхових будівель, зокрема і внаслідок пожежі. Встановлено, що багатоповерхові будівлі зі сталевим каркасом можуть як повністю руйнуватися при пожежі, так і може не відбуватися жодного руйнування. У вітчизняних нормативних документах є вимога будівлі класу наслідків ССЗ розраховувати на живучість при пожежі, але в жодному закордонному чи вітчизняному документів не наведено ані відповідних методик, ані рекомендацій. Раніше досліджені рішення з посилення живучості при пожежі СКББ потребують більш детального вивчення і вдосконалення.

У другому розділі розглянуті різні стратегії забезпечення живучості СКББ шляхом недопущення локального руйнування внаслідок пожежі. Сценарії пожежі прийняті на різних поверхах та з різним розташуванням в плані окремо. Дія пожежі змодельована з урахуванням вогнезахисту сталевих конструкцій, вогнестійкості сталевих конструкцій, планування приміщень. Стратегії порівняно з точки зору вартості металоємності і вартості.

В третьому розділі досліджено роботу різних елементів каркасу до першого настання граничного стану за різного розташування джерела пожежі. Встановлено, що час настання першого граничного стану за сценарію пожежі в середньому прольоті більший, ніж у крайньому. За пожежі на вищому поверсі граничний стан відбувається пізніше, ніж на нижчому. Розташування джерела пожежі в крайньому прольоті на нижньому поверсі найменш сприятливе з точки зору потенційного механізму руйнування. Визначено, що в каркасах з шарнірними вузлами примикання балок до колон перший граничний стан настає пізніше, ніж в каркасах із жорсткими вузлами. Для збільшення вогнестійкості та живучості при пожежі переріз елементів

сталевих каркасів необхідно проектувати таким, в якому може утворюватися повний шарнір пластичності без втрати місцевої стійкості.

В четвертому розділі визначені заходи посилення живучості при пожежі СКББ. Критерієм живучості при пожежі прийнято час живучості: час від першого руйнування до втрати живучості каркасу. Проведено порівняння різних механізмів руйнування та доведено, що у випадку, якщо першого руйнування балки руйнування буде більш розтягнутим у часі. Доведено вплив різниці коефіцієнтів використання несучої здатності (КВНЗ) в балці та колоні на живучість СКББ при пожежі. Встановлена залежність необхідної різниці в КВНЗ балки та колони для найбільш розтягнутого у часі механізму руйнування від геометричних розмірів СКББ. Виявлено, що на живучість СКББ при пожежі впливає форма перерізу. Визначені умови для використання аутригерних систем в СКББ як заходу посилення живучості при пожежі. Сформована методика посилення живучості СКББ при пожежі. Проведено порівняння живучості при пожежі СКББ з шарнірними та жорсткими вузлами примиканнями балок до колон. Виявлено, що в СКББ з жорсткими вузлами при пожежі може відбутися руйнування ненагрітих елементів. Встановлено, що сформована методика загалом посилює живучість при пожежі і в СКББ з жорсткими вузлами, але потребує більш глибоких досліджень в цьому випадку.

В п'ятому розділі проведено апробацію сформованої методики посилення живучості при пожежі СКББ на конкретному об'єкті. Встановлено, що використання заходів, рекомендованих в сформованій методиці збільшує живучість при пожежі сталевих каркасу розлянутої будівлі за критерієм часу від першого руйнування до втрати живучості в 48 разів при збільшенні вартості каркасу в ділі на 24%. Було виявлено, що в просторовій моделі більша живучість, ніж в аналогічних плоских моделях. Вертикальні в'язі є елементами, через які зусилля переходять з нагрітих в ненагріті та руйнуються першими. Так само, як і в аналогічних плоских моделях, в просторовій моделі в каркасі з жорсткими вузлами примикання балок та колон можуть відбуватися

руйнування в ненагрітих елементах. Встановлено, що розроблена в даній роботі методика, що досліджувалася на плоских моделях СКББ, дійсна і для просторових.

Виконані дослідження дозволили створити нову методику посилення живучості СКББ при пожежі. Розроблена методика дозволить будівельним інженерам-конструкторам розраховувати СКББ на живучість при пожежі без трудомісткого моделювання пожежі і виконувати відповідні вимоги чинних нормативних документів. Дана методика та термінологія для внесення в нормативні документи, де для сталевих конструкцій відсутні вказівки щодо посилення живучості.

Ключові слова: живучість, пожежа, вогнестійкість, сталеві конструкції, багатоповерхові будівлі, прогресуюче руйнування, метод скінченних елементів, чисельне моделювання, фізична нелінійність, геометрична нелінійність, нелінійна деформаційна модель.

ABSTRACT

Daurov M. Multi-story buildings steel frames operation in the fire with vitality increasing – 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, 2023.

The main content of the thesis.

The dissertation is aimed at increasing the structural safety of multi-story buildings by increasing the vitality of their bearing structures during the rapid development of buildings as systems and warfare hazards on the Ukraine territory.

According to the results of the performed reviews, analyses, and finite element research:

- in domestic and foreign normative documents, it is established that there are no recommendations or techniques for calculating the multi-story buildings' steel frames (MBSF) for vitality in the fire, and the measures considered so far in scientific research need more detailed research and improvement;
- determined the most unfavorable fire source location in the MBSF;
- the collapse mechanisms of MBSF during a fire, which are most extended in time, are determined;
- various measures of MBSF vitality in the fire increase have been established;
- in the development of the provisions of normative documents and standards on the steel structures' reliability and vitality, the MBSF vitality in the fire-increasing technique was developed.

From the philosophy of science view point in the modern world, scientific and technical progress is taking place at an increasingly rapid pace. Humanity creates complex systems to meet its own needs, such as creating an environment for comfortable living and various types of life activities. But as the complexity of these systems increases, so does their sensitivity to unpredictable threats of various nature. Scientific research in the field of building design should be aimed at increasing the

safety of human activities, structural safety, environmental friendliness, and energy efficiency.

In the *section 1*, a multi-story buildings progressive collapse cases are analyzed, in particular due to fire. It has been established that multi-story buildings with a steel frame can either completely collapse in a fire or not at all. In the domestic normative documents, there is a requirement for a building of the CC3 consequences class to count on vitality in the event of a fire, but no relevant techniques or recommendations are given in any foreign or domestic documents. Previously researched measures to increase MBSF vitality in case of fire need more detailed study and improvement.

The *section 2* deals with the various strategies for ensuring the MBSF vitality by preventing local destruction as a result of a fire. Fire scenarios are accepted on different floors and with different locations in the plan separately. The fire is modeled on the steel structures fire protection, fire resistance of steel structures and planning of premises. Strategies compared to the point of view of the cost of metal capacity and value.

In the *section 3*, the steel frame various elements operation before the first limit state onset under different fire source locations is investigated. It was established that the first limit state onset time under the fire scenario is longer in the internal span than in the external one. In case of fire on the upper floor, the limit state occurs later than on the lower one. The fire source location in the external span on the lower floor is the least favorable from the point of view of the potential collapse mechanism. It has been determined that in frames with hinged joints connecting beams to columns, the first limit state occurs later than in frames with rigid joints. To increase fire resistance and vitality in case of fire, the steel frame elements cross-section must be designed in such a way that a full hinge plastic can be formed without buckling.

In the *section 4*, measures to increase vitality in the fire of MBSF are defined. The criterion of vitality in the fire is the vitality time: the time from the first destruction to the vitality loss. A comparison of various collapse mechanisms was

carried out and it was proved that during the beam first destruction, the collapse will be more extended in time. The effect of the difference in the load capacity ratio (LCR) in the beam and the column on the MBSF vitality in the fire is proven. The dependence of the required difference in the LCR of beams and columns for the most time-stretched collapse mechanism on the MBSF geometric dimensions is established. It was found that the element's cross-sectional shape affects the MBSF vitality in the fire. The conditions for the use of outrigger systems in the MBSF as a measure to increase vitality in the fire are defined. A technique of MBSF vitality in the fire increasing has been developed. A comparison of vitality in the fire of MBSF with hinged and rigid nodes abutting beams to columns was carried out. It was found that in the MBSF with rigid nodes, the destruction of unheated elements may occur during a fire. It has been established that the developed technique generally increases MBSF with rigid nodes vitality in the fire too, but requires more in-depth research in this case.

In the *section 5*, the approbation of the developed technique for MBSF vitality in the fire increasing at a specific object was carried out. It was established that the use of the measures recommended in the developed methodology increases the vitality steel frame in the fire of a spilled building by the criterion of time from the first destruction to the vitality loss by 48 times while increasing the frame cost in practice by 24%. It was found that the 3d model has greater vitality in the fire than similar 2d models. Vertical ties are elements through which forces pass from heated to unheated and are destroyed first. Just as in similar 2d models, in a 3d model in a frame with rigid nodes connecting beams and columns, destruction can occur in unheated elements. It has been established that the technique developed in this dissertation, which was studied on 2d models of MBSF, is also valid for 3d models.

The conducted research made it possible to create a new technique of increasing the MBSF vitality in the fire. The developed technique will allow civil engineers to calculate MBSF vitality in the fire without time-consuming fire modeling and to fulfill the relevant requirements of current normative documents.

This technique and terminology is for inclusion in normative documents, where there are no instructions for steel structures vitality increasing.

Key words: vitality, fire, fire resistance, steel structures, multi-story buildings, progressive collapse, finite element method, numerical modeling, physical nonlinearity, geometric nonlinearity, nonlinear deformation model.