

УДК 624.016.28(022.2)

Удосконалення методів проектування вогнестійких конструкцій будівель

Першаков В. М., д-р техн. наук, **Белягинський А. О.**, д-р техн. наук,
Бакулін Є. А., канд. техн. наук, **Болотов Г. І.**, **Маргиненко І. О.**

Національний авіаційний університет, Україна

Анотація. Наведено опис скінченно-елементної моделі з коротким описом застосованих скінченних елементів на ПК LIRA 9.6, їх фізико-механічних характеристик, а також опис постійних та тимчасових навантажень. Розраховано переміщення вузлів скінченно-елементної моделі та напруження в несучих елементах залізобетонних колон від різноманітних можливих комбінацій навантажень. Враховано умови експлуатації будівлі при розрахунку міцності і жорсткості конструкцій на вогнестійкість. Виконано аналіз напружено-деформованого стану конструкційних елементів цеху склотари після аварії під дією різноманітних навантажень та термічного впливу розжареної скломаси внаслідок аварійного витoku.

Ключові слова: вогнестійкість, скінченно-елементна модель, комбінації навантажень, несучий елемент, залізобетонна колона, напружено-деформований стан.

Актуальність теми. Забезпечення пожежної безпеки є невід'ємною частиною державної політики будь-якої країни щодо охорони життя та здоров'я людей, національного багатства та навколишнього природного середовища. Кожна пожежа має негативні наслідки як безпосередньо для людини, що постраждала, так і для суспільства в цілому. Пожежі безпосередньо спричиняють знищення матеріальних цінностей, створюють загрози життю та здоров'ю людей, але головне – наносять значну, а іноді й невиправну шкоду навколишньому природному середовищу.

У світовій практиці в даний час оцінка пожежної небезпеки будівельних матеріалів досліджується більш ніж по 200 методиках. Заслужують на увагу методи оцінювання горючості матеріалів у розвинутих країнах: Великобританії, Німеччині, Франції, США і країнах СНД. На жаль, при загальній тенденції щодо розроблення єдиних оцінювальних показників пожежонебезпеки матеріалів існують істотні розходження і протиріччя в їхньому визначенні. Тому оцінювання матеріалів щодо пожежонебезпеки виконується в різних країнах за різноманітними методиками, що викликає серйозні протиріччя. Так, при визначенні одного з найважливіших критеріїв – горючості – внаслідок різноманітності і розходження методичних підходів, практично неможливо говорити про одержання однозначних результатів і їхньої надійності, що ускладнює і стримує міжнародне співробітництво. Неможливість прогнозування поведінки матеріалів в умовах пожежі

підтверджується і катастрофічним збільшенням росту пожеж із розширенням міжнародних зв'язків у сфері застосування нових матеріалів у будівництві.

Вогнестійкість і її межа в загальному плані характеризують накопичення і прояв небезпечних чинників пожежі. Оцінку вогнестійкості будівельних конструкцій ведуть по двох напрямках – це експериментальні методи оцінювання об'єктів, конструкцій моделей, зразків і розрахункові методи оцінювання вогнестійкості конструкцій.

Постановка проблеми. Застосування новітніх вогнезахисних будівельних конструкцій у сучасній промисловості дозволяють покращити основні характеристики для забезпечення безпеки людей.

Враховувати умови експлуатації будівлі при розрахунку міцності і жорсткості конструкцій на вогнестійкість дозволяють такі програмні комплекси як Ansys, «ЛІРА-САПР».



Рис. 1–2. Виміри міцності бетону колон

У даній статті наведено приклад технічного огляду та розрахунку конструкцій будівлі після дії високої температури розжареної скломаси.

Технічний стан несучих будівельних конструкцій визначався візуальними оглядами, інструментальними вимірюваннями фактичних параметричних значень конструкційних елементів, обмірами та проведенням аналізу шляхом співставлення фактичних параметричних значень відносно регламентованих чинних норм на проектування і будівництво. Організація робіт та послідовність їх проведення виконувалися відповідно до нормативних документів з питань обстеження, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації будівель і споруд (розробник ДП НДІБК, 2014) [1], а також положень щодо забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд [2].

Об'ємно-планувальні рішення, конструктивні схеми та архітектурно-конструктивні рішення приймалися відповідно до проектної документації.

На кожній з досліджених колон у двох рівнях від 1,0 м до 3,0 м було проведено по 20 вимірів.

Визначення міцності бетону проводилося за нормальних умов. Для визначення характеристик застосовувався прилад неруйнівного контролю «Вимірювач міцності «Beton Pro CONDTROL», дія якого базується на методі ударного імпульсу.

Виконана кількість замірів дозволяє з необхідною точністю визначити міцність бетону колон в цілому. Контроль міцності проводився на чистому бетоні, див. рис. 1–2.

Згідно з результатами замірів приладу було складено таблицю вимірів міцності бетону, див. таблицю 1.

Таблиця 1

№ з/п	№ колони згідно з дефектосхемою	Матеріал	Виріб	Напрямок удару	R, МПа	K _c	Клас бетону
1	2	3	4	5	6	7	8
1	7.1	Важкий бетон на гравії	Колона	→	20.7	1.00	C16/20
2		Важкий бетон на гравії	Колона	→	18.4	1.00	C16/20
3	7.2	Важкий бетон на гравії	Колона	→	22.9	1.00	C20/25
4		Важкий бетон на гравії	Колона	→	24.3	1.00	C20/25
5	7.3	Важкий бетон на гравії	Колона	→	15.9	1.00	C12/15
6		Важкий бетон на гравії	Колона	→	21.7	1.00	C16/20
7	7.4	Важкий бетон на гравії	Колона	→	19.3	1.00	C16/20
8		Важкий бетон на гравії	Колона	→	23.8	1.00	C20/25
9	7.5	Важкий бетон на гравії	Колона	→	24.3	1.00	C20/25
10		Важкий бетон на гравії	Колона	→	33.4	1.00	C30/35
11		Важкий бетон на гравії	Колона	→	24.4	1.00	C20/25
12	7.6	Важкий бетон на гравії	Колона	→	22.4	1.00	C16/20
13		Важкий бетон на гравії	Колона	→	27.2	1.00	C20/25
14	6.2	Важкий бетон на гравії	Колона	→	26.4	1.00	C20/25
15		Важкий бетон на гравії	Колона	→	29.0	1.00	C25/30
16	6.1	Важкий бетон на гравії	Колона	→	24.5	1.00	C20/25
17		Важкий бетон на гравії	Колона	→	30.0	1.00	C25/30
18	5.3	Важкий бетон на гравії	Колона	→	12.4	1.00	C8/10
19		Важкий бетон на гравії	Колона	→	14.1	1.00	C12/15
20	5.2	Важкий бетон на гравії	Колона	→	36.7	1.00	C30/35
21		Важкий бетон на гравії	Колона	→	32.0	1.00	C25/30
22	5.1	Важкий бетон на гравії	Колона	→	21.8	1.00	C16/20

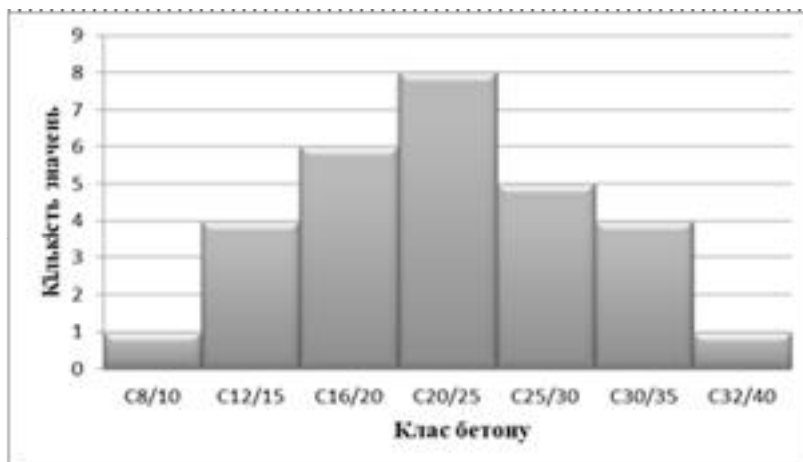


Рис. 3. Статистичний розподіл класу бетону колон на рівні 1,0 м

За результатами проведених вимірів та обчислень було встановлено, що фактичний опір бетону на стиск становить $R=23,4$ МПа і відповідає класу бетону C20/25. Виміри міцності бетону колон на рівні 3 м представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

№ з/п	№ колони Згідно з дефектосхемою	Матеріал	Виріб	Напрямок удару	R, МПа	K _c	Клас бетону
1	7.1	Важкий бетон на гравії	Колона	→	22.6	1.00	C20/25
2	7.2	Важкий бетон на гравії	Колона	→	31.3	1.00	C25/30
3	7.3	Важкий бетон на гравії	Колона	→	24.4	1.00	C20/25
4	7.4	Важкий бетон на гравії	Колона	→	16.2	1.00	C12/15
5	7.5	Важкий бетон на гравії	Колона	→	18.9	1.00	C16/20
6	7.6	Важкий бетон на гравії	Колона	→	22.7	1.00	C20/25
7	6.2	Важкий бетон на гравії	Колона	→	26.0	1.00	C20/25
8	6.1	Важкий бетон на гравії	Колона	→	25.8	1.00	C20/25
9	5.3	Важкий бетон на гравії	Колона	→	11.9	1.00	C8/10
10	5.2	Важкий бетон на гравії	Колона	→	17.2	1.00	C12/15
11		Важкий бетон на гравії	Колона	→	13.6	1.00	C12/15
12	5.1	Важкий бетон на гравії	Колона	→	31.2	1.00	C25/30

За результатами проведених вимірів та обчислень було встановлено, що фактичний опір бетону на стиск становить $R=22,4$ МПа і відповідає класу бетону C16/20.

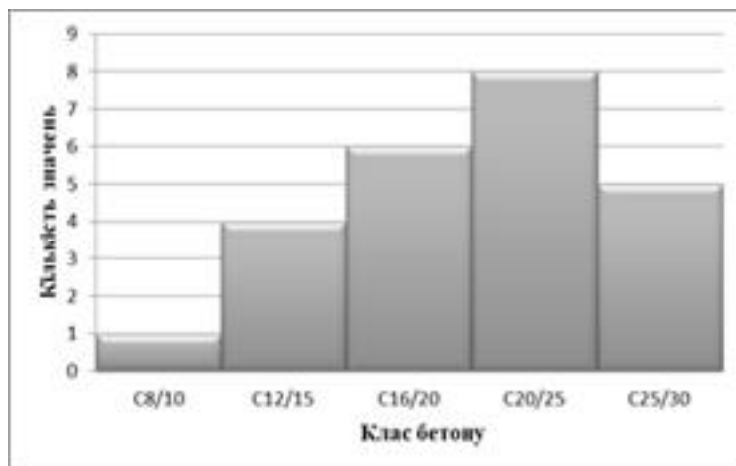


Рис. 4. Статистичний розподіл класу бетону колон на рівні 3,0 м

У зв'язку з великим об'ємом фотофіксації пошкоджень та дефектів конструкційних елементів у даній статті на прикладі колон відображені найбільш характерні. Спостерігаються сколи та руйнування захисного шару бетону, утворення мікротріщин, крени колони не виявлено, див. рис. 5–10.

За результатами чисельних та натурних вимірювань виявлено, що залізобетонні колони частково втратили проектні параметричні значення щодо міцності від 5 % до 25 %.

Для виконання розрахунків за першою та другою групою граничних станів була розроблена модель МСЕ (методу скінченних елементів) колон під скловарну піч та вироботочні канали.

На рис. 11 наведено загальний вигляд скінченно-елементної моделі сітки залізобетонних колон цеху склотари під піч і вироботочні канали з відображенням типів жорсткостей та номерами скінченних елементів.

У результаті обстеження конструкцій було встановлено фактичний клас бетону і характеристики поперечного перерізу колон.

Для кожного скінченного елемента по кожному завантаженню та комбінації навантажень були визначені всі параметри НДС (напружено-деформованого стану). Враховуючи складність представлення великого об'єму інформації, результати розрахунку для залізобетонних колон скловарної печі представлені у вигляді мозаїки деформацій та напружень, та проведений відбір найбільш навантажених елементів конструкції.



Рис. 5–10. Руйнування колон

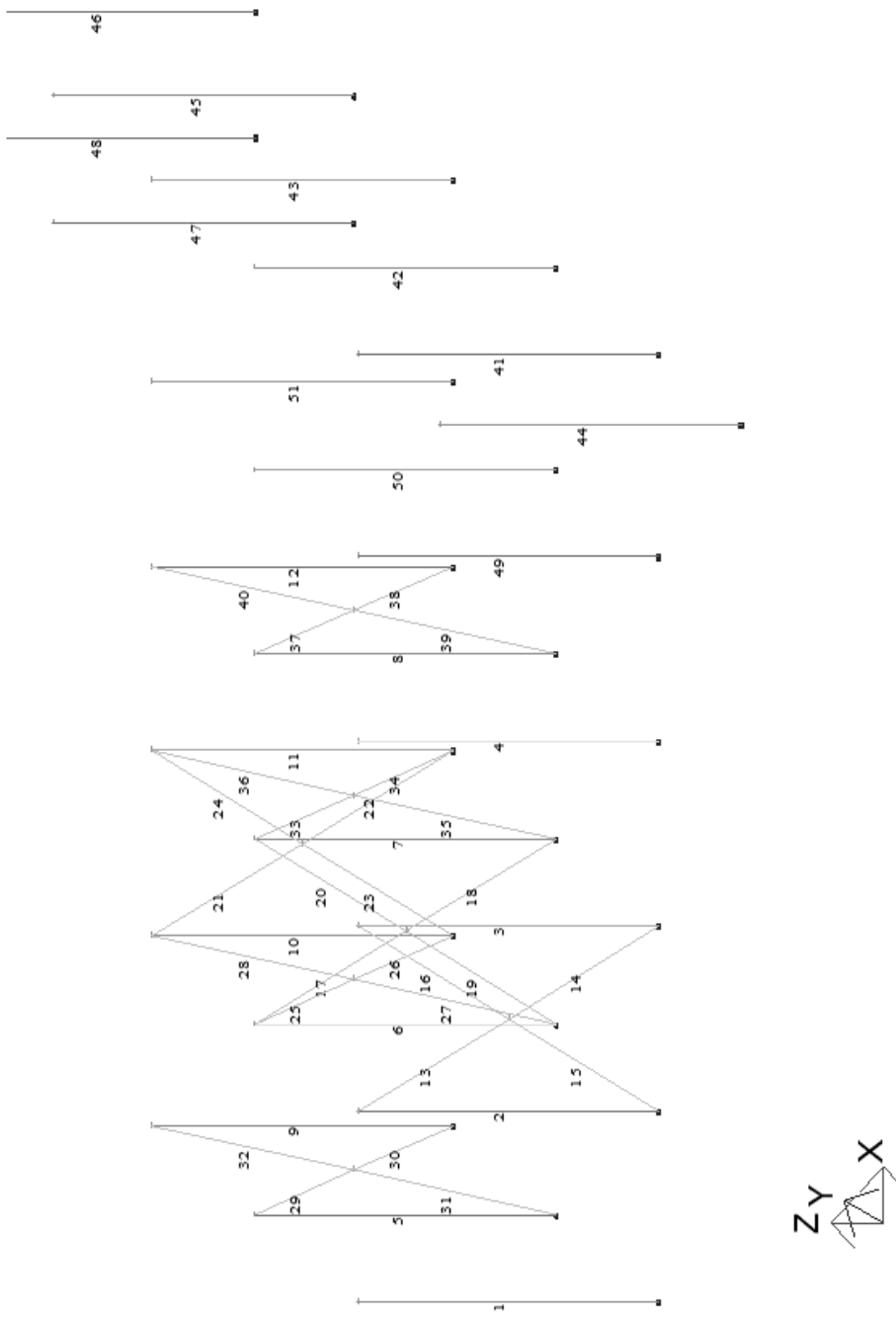


Рис. 11. Загальний вигляд скінченно-елементної моделі

Переміщення. Нижче приведені переміщення вузлів скінченно-елементної моделі, напруження в несучих елементах залізобетонних колон від різноманітних можливих комбінацій навантажень. На рисунках 12–13 представлені переміщення вузлів по осях основної системи координат від власної ваги.

Розрахункові навантаження на колони цеху склотари під піч і вироботочні канали визначались згідно з чинними нормами: ДБН В В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» [3]; технічними умовами технологічного навантаження на колони; сейсмічними умовами (ДБН В.1.1-12:2014 [1]; умовами надійності конструкцій за призначенням у залежності від рівня відповідальності (ДБН В.1.2-14-2009) [2]. При цьому розрахунок проводився на власну вагу, навантаження від технологічного обладнання, сейсмічні впливи та комбінації цих навантажень. Навантаження на розрахункову схему залізобетонних колон задавались у вигляді окремих завантажень.

Завантаження 1 – описує постійне навантаження від власної ваги залізобетонних колон, яке моделюється у вигляді місцевих розподілених сил, які діють по напрямку осі Z загальної системи координат. Власна вага скінченних елементів розрахункової схеми вираховується автоматично. Коефіцієнт надійності за навантаженням прийнятий таким, що дорівнює 1,1 у відповідності до вимог (табл.5.1 ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи») [3].

Розглянуто переміщення вузлів по осях основної системи координат від першої основної комбінації навантажень, переміщення вузлів по осях основної системи координат від особливої комбінації навантажень, кольорове відображення мозаїки зусиль в скінченних елементах залізобетонних колон, що моделювалися стержневими СЕ від власної ваги конструкції, кольорове відображення мозаїки зусиль в скінченних елементах залізобетонних колон, що моделювалися стержневими СЕ від першої основної комбінації навантажень.

На основі даних визначено максимальні напруження в елементах залізобетонних колон від розрахункових сполучень зусиль.

За результатами статичного розрахунку залізобетонних колон скловарної печі в програмному комплексі ЛПРА 9.6 були визначені максимальні зусилля та їх комбінації. Далі виконувалася перевірка перерізів елементів залізобетонних колон за фактичним армуванням в системі ЛПР-АРМ (локальний). Система ЛПР-АРМ (локальний) призначена для визначення та перевірки пластин та армування в стрижневих елементах.

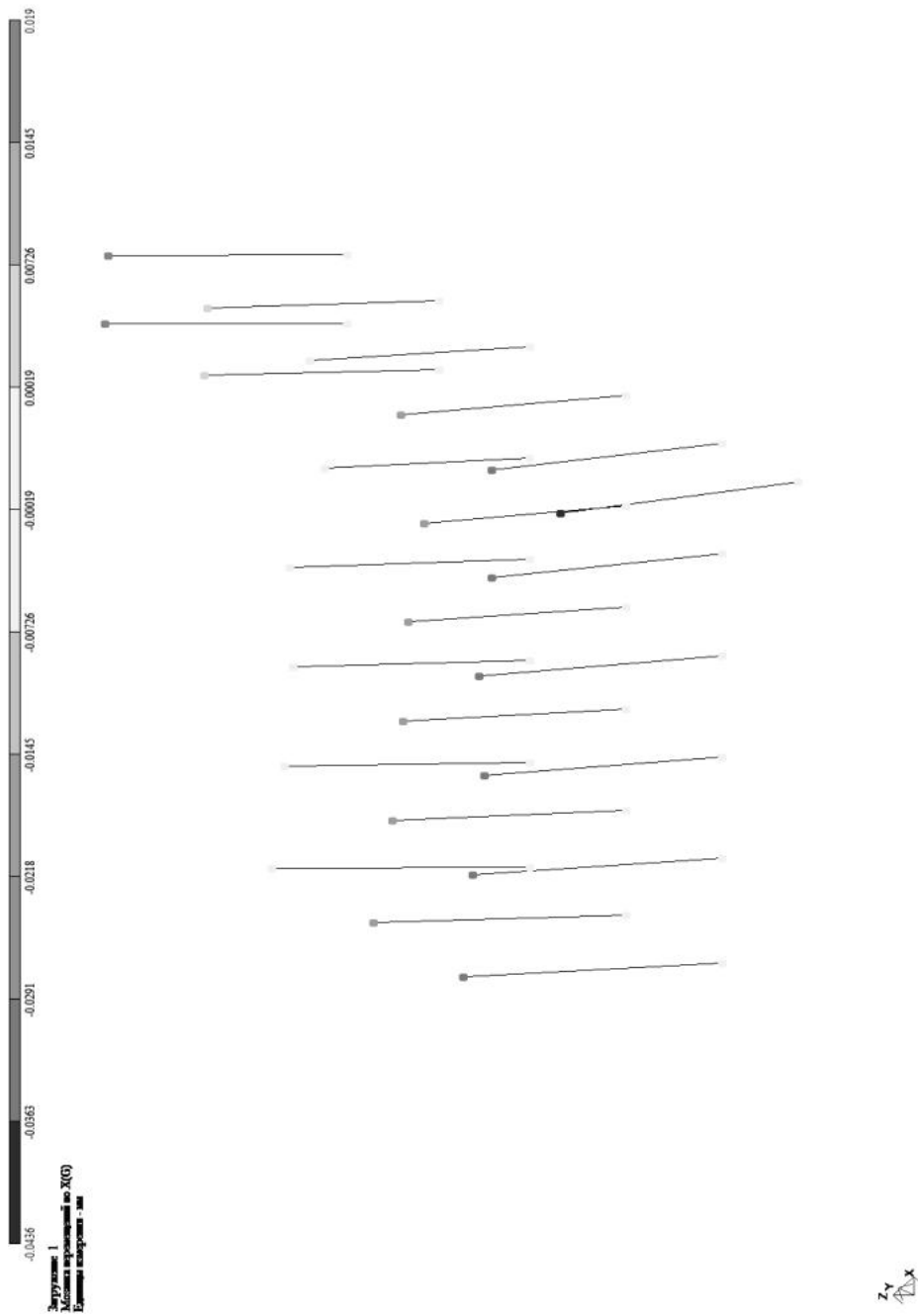


Рис. 12. Переміщення вузлів (мм) по осі X основної системи координат від власної ваги (завантаження 1)

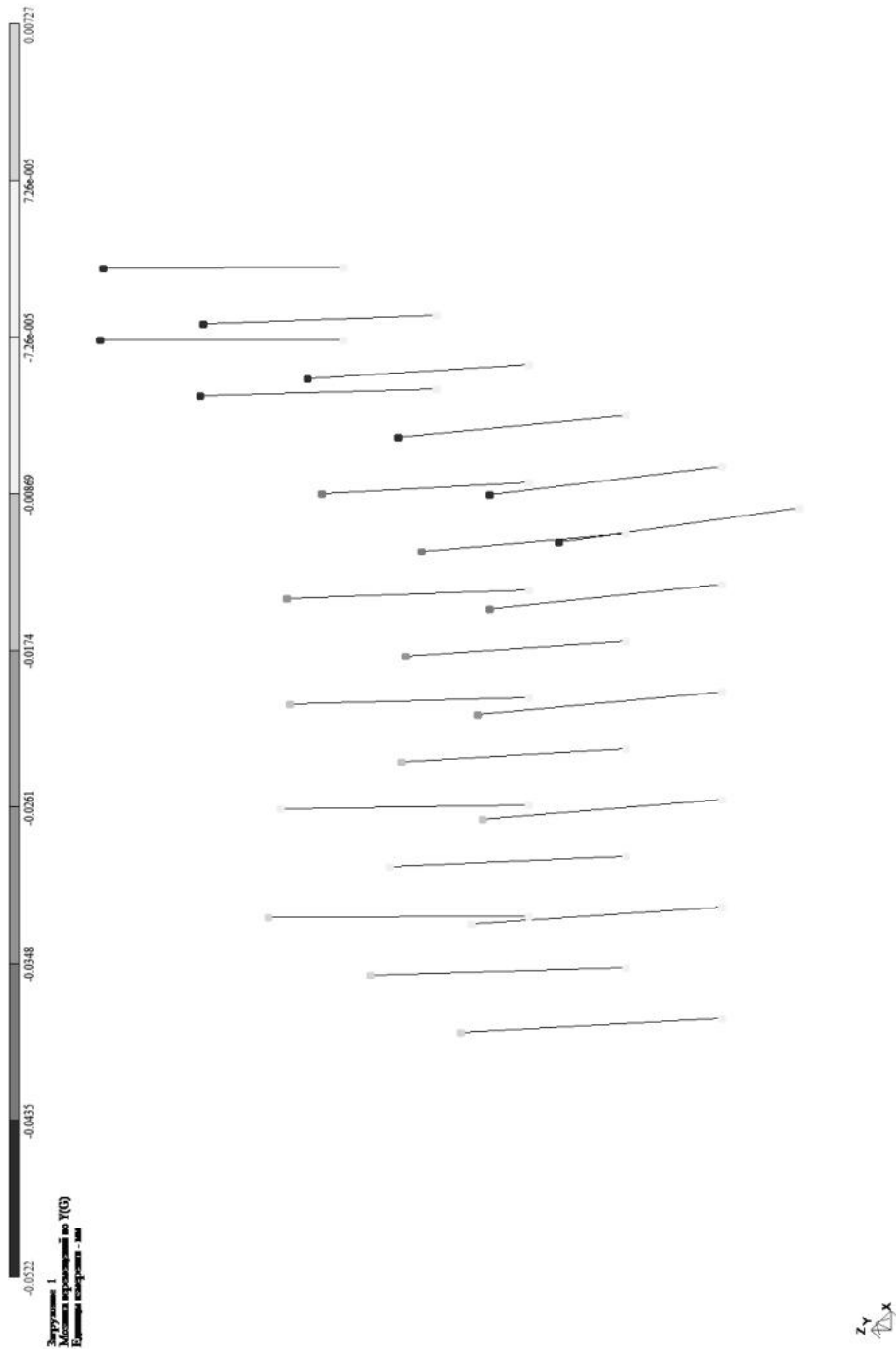


Рис. 13. Переміщення вузлів (мм) по осі Y основної системи координат від власної ваги (завантаження 1)

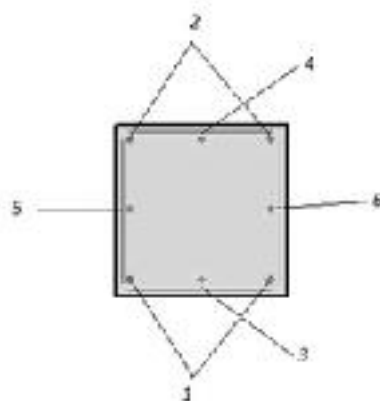


Рис.14. Схема армування колон

Поздовжня арматура: 1 – кутова нижня – $2\varnothing 22$; 2 – кутова верхня – $2\varnothing 22$; 3 – нижня: 1 ряд – $1\varnothing 22$; 4 – верхня: 1 ряд – $1\varnothing 22$; 5 – ліва бокова: 1 ряд – $1\varnothing 22$; 6 – права бокова: 1 ряд – $1\varnothing 22$; поперечна арматура $\varnothing 8$ крок 300 мм

Вихідні дані для перевірного розрахунку експортувалися з системи ЛІР-АРМ з їх подальшим корегуванням та уточненням, наведена також схема армування залізобетонних колон та характеристика арматури.

Висновки

1. Виконано аналіз напружено-деформованого стану конструкційних елементів під дією різноманітних навантажень.
2. Для виконання розрахунків за першою та другою групою граничних станів була розроблена модель МСЕ колон під скловарну піч та вироботочні канали.
3. Основні відповідальні (несучі) конструкційні елементи каркасу будівлі від температурного впливу не втратили міцності, жорсткості, стійкості, працюють в межах гранично допустимих норм, за першою та другою групою граничних станів. Вони придатні до подальшої нормальної експлуатації.

Література

- [1] Будівництво в сейсмічних районах України : ДБН В.1.1-12:2006. – Офіц. вид. – К. : Мінбуд України, 2009. – 84 с. – (Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Державні будівельні норми України).
- [2] Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ : ДБН В.1.2-14-2008. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 43 с. – (Система

забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Державні будівельні норми України).

- [3] Навантаження і впливи. Норми проектування : ДБН В.1.2-2:2006. – Офіц. вид. – К. : Мінбуд України, 2006. – 78 с. (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Державні будівельні норми України).

Совершенствование методов проектирования огнестойких конструкций зданий

Першаков В. Н., д-р техн. наук, **Белягинский А. А.**, д-р техн. наук,
Бакулин Е. А., канд. техн. наук, **Болотов И. Г.**, **Мартыненко И. А.**

Национальный авиационный университет, Украина

Аннотация. Приведено описание конечно-элементной модели с коротким описанием примененных конечных элементов на ПК LIRA 9.6, их физико-механических характеристик, а также описание постоянных и временных нагрузок. Рассчитаны перемещения узлов конечно-элементной модели и напряжения в несущих элементах железобетонных колонн от различных возможных комбинаций нагрузок. Учтены условия эксплуатации здания при расчете прочности и жесткости конструкций на огнестойкость. Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов цеха стеклотары после аварии под действием различных нагрузок и термического воздействия раскаленной стекломассы в результате аварийной утечки.

Ключевые слова: огнестойкость, конечно-элементная модель, комбинации нагрузок, несущий элемент, железобетонная колонна, напряженно-деформированное состояние

Improvement of methods for designing fire-resistant building constructions

V. Pershakov, Dr. Sc. (Eng.), **A. Belyatinsky**, Dr. Sc. (Eng.),
Ye. Bakulin., Cand. Sc. (Eng.), **G. Bolotov**, **I. Martynenko**

National Aviation University, Ukraine

Abstract. Description of the finite element model is presented with brief description of applied finite elements on PC LIRA 9.6, their physical and mechanical characteristics, as well as description of permanent and temporary loads is given. Displacement of nodes of the finite-element model and stresses in supporting elements of reinforced concrete columns due to various possible combination values of loads is calculated. The building operation conditions are taken into account when calculating strength and rigidity of structures for fire resistance. The analysis of the stress-strain state of structural elements of the glass shop after the accident is performed under influence of various loads and thermal impact of heated glass resulting from accidental leakage.

Keywords: fire resistance, finite element model, combination values of loads, load-bearing element, reinforced concrete column, stress-strain state

Надійшла до редколегії 14.12.2017 р.