

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Будівельний

(факультет)

Кафедра металевих та дерев'яних конструкцій

(кафедра)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МДК,

проф., д.т.н.

Білик С.І.

« » 2020 року.

Пояснювальна записка

до атестаційної магістерської роботи

на тему:

" Дослідження складного напружено-деформованого стану стержневих просторових конструкцій терміналу аеропорту за допомогою 3D BIM-інформаційних систем"

Виконав: студент VI курсу, групи ПЦБ-64

спеціальності

192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

спеціалізації

Промислове і цивільне будівництво

(шифр і назва спеціалізації)

Мавдюк Андрій Миколайович

(прізвище та ініціали)

Науковий керівник:

Адаменко Вячеслав Миколайович

(прізвище та ініціали)

Рецензент:

Носенко Віктор Сергійович

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(підпис)

(підпис)

Київ - 2020 р.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 7 |
| РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ | |
| 1.1. Конструктивні рішення сучасних сталевих стержневих просторових будівель і споруд | 11 |
| 1.2. Вимоги норм ДБН В.2.6-198:2014 та DIN EN 1993-1-1:2010, щодо розрахунку і конструювання сталевих стержневих елементів конструкцій | 22 |
| 1.3. Сучасні методи 3D ВІМ-інформаційного моделювання напружено-деформованого стану сталевих конструкцій, та приклади їх реалізації | 32 |
| 1.4. Мета роботи та постановка задач дослідження | 61 |
| РОЗДІЛ 2. ЧИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ НДС ЗА НОРМАМИ ДБН В.2.6-198:2014 та DIN EN 1993-1-1:2010 | |
| 2.1. Загальна характеристика сталевих каркасів терміналів аеропорту для числових, наукових та практичних досліджень | 63 |
| 2.2. Чисельне моделювання НДС сталевих каркасів терміналів аеропорту за нормами ДБН В.2.6-198:2014 | |
| 2.2.1. Створення 3D ВІМ-інформаційної моделі сталевих каркасів терміналів аеропорту у ПК Autodesk Robot 2020 | 70 |
| 2.2.2. Збір навантажень відповідно до норм ДБН В.2.1.2-2:2006, їх призначення до розрахункової моделі. Формування розрахункових сполучень навантажень..... | 72 |
| 2.2.3. Розрахунок та результати підбору перерізів у ПК Autodesk Robot 2020..... | 84 |

| | |
|--|-----|
| 2.3. Чисельне моделювання НДС сталевго каркасу терміналу аеропорту за нормами DIN EN 1993-1-1:2010 | |
| 2.3.1. Загальна характеристика розрахунку | 94 |
| 2.3.2. Створення 3D BIM-інформаційної моделі сталевго каркасу терміналу аеропорту у ПК Dlubal RSTAB | 96 |
| 2.3.3. Збір навантажень відповідно до DIN EN 1991. Формування розрахункових сполучень навантажень..... | 98 |
| 2.3.4. Моделювання вітрових завантажень за допомогою ПК Dlubal RWIND-SIMULATION | 103 |
| 2.3.5. Розрахунок та результати підбору перерізів у ПК Dlubal RSTAB за теорією 1-го порядку | 110 |
| 2.3.6. Розрахунок та результати підбору перерізів у ПК Dlubal RSTAB за теорією 2-го порядку | 112 |
| 2.3.7. Порівняльний аналіз результатів розрахунків елементів конструкцій за теорією першого та другого порядків | 116 |
| 2.4. Співставлення результатів розрахунків за нормами ДБН В.2.6-198:2014 та DIN EN 1993-1-1:2010 | 122 |
| 2.5. Висновки за результатами числових досліджень | 128 |
| РОЗДІЛ 3. НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ | |
| 3.1. Моделювання роботи просторової ферми сталевго каркасу терміналу аеропорту за допомогою скінченних елементів оболонки у ПК Dlubal RFEM | 129 |
| 3.2. Моделювання роботи вузлів сталевго каркасу терміналу аеропорту за допомогою плоских скінченних елементів у ПК IDEA StatiCa | 133 |

| | |
|--|------------|
| 3.3. Дослідження впливу навколишньої забудови на аеродинамічні характеристики будівлі на основі математичного моделювання у ПК Dlubal RWIND-SIMULATION | 139 |
| 3.4. Висновки із наукових досліджень | 148 |
| РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА | |
| 4.1. Розробка конструктивних рішень сталевго каркасу терміналу аеропорту у ПК Tekla Structures 2017 | 149 |
| 4.2. Конструювання вузлів сталевго каркасу | 153 |
| 4.3. Формування креслень КМД основних просторових ферм | 158 |
| 4.4. Висновки із практичної частини | 160 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ..... | 161 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ..... | 163 |
| Додаток 1..... | 165 |
| Додаток 2..... | 170 |
| Додаток 3..... | 178 |
| Додаток 4..... | 193 |
| Додаток 5..... | 195 |
| Додаток 6..... | 200 |

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. За допомогою сучасних ліцензійних BIM-інформаційних систем ПК Autodesk Robot 2020, ПК Dlubal RSTAB та ПК Dlubal RFEM, виконано моделювання напружено-деформованого стану та підбір перерізів складних просторових сталевих конструкцій аеропорту відповідно до норм ДБН В.2.6-198:2014 та на основі теорій I-го та II-го порядку норм DIN EN 1993-1-1:2010.

Збір вітрових навантажень, при розрахунках за нормами DIN EN, виконано з використанням віртуальної аеродинамічної труби і акселеограм, за допомогою CFD-аналізу ПК Dlubal RWIND Simulation.

2. За результатами порівняння коефіцієнтів площі перерізів, отриманих при розрахунках за нормами DIN EN 1993-1-1:2010, встановлено, що урахування ефектів другого порядку, залежно від типу розглядуваної конструкції, може призводити до необхідності збільшення розрахункової площі перерізу в межах від 22 до 42%.

Таким чином, для складних просторових сталевих конструкцій підтверджено положення норм Єврокод 3, згідно якого урахування впливів 2-го порядку є обов'язковим до розгляду.

3. На основі співставлення результатів розрахунків, встановлено, що розрахункова площа перерізу обчислена за нормами ДБН В.2.6-198:2014, виявилася більшою порівняно із розрахунками за нормами DIN EN 1993-1-1:2010, для основних просторових рам близько 52%, для в'язевих ферм в межах 52...64%, для прогонів близько 36%.

4. Еквівалентні напруження за 3-ю теорією міцності, отримані при розрахунку на основі скінчених елементів оболонки у ПК Dlubal RFEM, становлять 22.41 кН/см² для елементів основних просторових рам, 20.09 кН/см² для в'язевих ферм, та 21.8 кН/см² для прогонів, що не перевищує розрахункового опору сталі. Відповідно, коефіцієнт використання перерізу

складає 0.82, 0.73 та 0.79, порівняно із аналогічними значеннями, отриманими на основі загальної стержневої моделі, 0.94, 0.76 та 0.93.

5. За результатами детального моделювання роботи вузлів у ПК IDEA StatiCa та на основі скінчених елементів оболонки у ПК Dlubal RSTAB, еквівалентні напруження для елементів верхнього поясу основної просторової ферми складають 26.1 і 22.2 кН/см² відповідно, для елементів нижнього поясу, 26.4 і 22.41 кН/см². Таким чином, за результатами уточненого моделювання у ПК IDEA StatiCa, приріст еквівалентних напружень у вузлах склав близько 17.8% .
6. Досліджено вплив навколишньої забудови на аеродинамічні характеристики проектованої будівлі на основі математичного моделювання у ПК Dlubal RWIND Simulation.
Так зокрема, встановлено, що при розташуванні навколишньої забудови, для вітрового потоку, перпендикулярного до основної частини будівлі спостерігається зменшення значень вітрового тиску на поряд розташовані конструкції будівлі в 1.48...1.98 рази, та на протилежно розташовані конструкції будівлі близько 1.15...1.30 рази. Тобто, для віддалених конструкцій будівлі вплив навколишньої забудови є не значним.
7. Розроблено конструктивні рішення сталевого каркасу терміналу аеропорту, приведено конструювання основних вузлів, сформовано креслення КМД основних просторових ферм у ПК Tekla Structures 2017.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу / Мінрегіонбуд України – К.: 2014. – 199 с.
2. DIN EN 1993-1-1:2010. Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau: Deutsche Fassung EN 1993:2005 + AC:2009.
3. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-1. Загальні дії. Питома вага, власна вага, експлуатаційні навантаження для споруд.
4. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування / Мінбудархітектури України. –К.: Сталь, 2006. – 59 с.
5. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогини і переміщення. Вимоги проектування / Мінбудархітектури України. – К.: Сталь, 2006. – 10 с.
6. Березин М. А. Атлас аэродинамических характеристик строительных конструкций/ М. А. Березин, В. В. Катюшин. – Новосибирск: Олден-Полиграфия, 2003. – 140 с.
7. DIN EN 1991-1-4:2010. Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten: Deutsche Fassung EN 1991-1-4-2005 + A1 – 2010 + AC:2010.
8. DIN EN 1991-1-3:2010. Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten: Deutsche Fassung EN 1991-1-3-2005 + A1 – 2010 + AC:2010.
9. DIN EN 1991-1-1:2010. Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau: Deutsche Fassung EN 1991-1-1-1:2002 + AC:2009.

10. Schwarze Rüdiger CFD-Modellierung. Grundlagen und Anwendungen bei Strömungsprozessen / R. Schwarze. – Berlin: Springer Verlag, 2013. – 398 s.
11. Kindmann Rolf Stahlbau. Teil 1: Grundlagen. Mit Beispielen nach Eurocode 3 / R. Kindmann, U. Krüger – Bochum: Ernst und Sohn, März 2013. – 508 s.
12. Kindmann Rolf Stahlbau. Teil 2: Stabilität. Theorie II Ordnung / R. Kindmann. – Bochum: Ernst und Sohn, 2008. – 429 s.
13. Kindmann Rolf Stahlbau. Verbindungen im Stahlbau und Verbundbau / R. Kindmann, M. Stracke – Bochum: Ernst und Sohn, März 2013. – 378 s.
14. Johannes Naumes, Isabell Strohmann, Dieter Ungermann und Gerhard Sedlacek. Die neuen Stabilitätsnachweise im Stahlbau nach Eurocode 3. Stahlbau, 77, 2008.
15. Handbuch DUENQ. Tiefenbach: Dlubal Software, September 2018.
16. Kindmann, R.; Frickel, J.: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit. Berlin: Ernst & Sohn, 2002.
17. DIN EN 1993-1-8:2010. Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2010.
18. ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд».
19. Мавдюк А.М. Дослідження впливу ефектів другого порядку на прикладі сталевих каркасів аеропорту / В.М.Адаменко, А.М.Мавдюк. Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник / Головн. ред. М.М. Осетрін. – К., КНУБА, 2020. – Вип. 72. – С. 176-186.