

УДК 624.014

к.т.н., доцент Адаменко В.М.,
vchsvet@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7469-9585,

Мавдюк А.М.,

andriymavdyuk8@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9328-4580,

Київський національний університет будівництва і архітектури

DOI: 10.32347/2076-815x.2020.72.176-186

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕФЕКТІВ ДРУГОГО ПОРЯДКУ НА ПРИКЛАДІ СТАЛЕВОГО КАРКАСУ АЕРОПОРТУ

За допомогою сучасних ліцензійних BIM-інформаційних систем ПК Dlubal RSTAB та ПК Dlubal RFEM, виконано моделювання напружено-деформованого стану та підбір перерізів складних просторових сталевих конструкцій аеропорту, який розташований в м.Франкфурт-на-Майні (Німеччина), на основі теорій I-го та II-го порядку норм DIN EN 1993-1-1-2010.

Збір вітрових навантажень що діють на будівлю, виконано з використанням віртуальної аеродинамічної труби і акселеограм, за допомогою CFD-аналізу ПК Dlubal RWIND Simulation.

За результатами порівняння коефіцієнтів площі перерізів, 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, згідно якого урахування впливів 2-го порядку є обов'язковим до розгляду.

Ключові слова: просторові сталеві конструкції аеропорту, теорія I-го порядку, теорія 2-го порядку, ефекти другого порядку, CFD-аналіз.

Постановка проблеми. Розрахунок сталевих конструкцій відповідно до норм Єврокод [2...7] в Україні стає все більш поширеним. Особливо це відноситься до проектування складних об'єктів із застосуванням сучасних класів сталі, сортаментів та технологій зведення конструкцій. У цьому випадку, результати розрахунків, зокрема складних просторових сталевих каркасів, за методиками які ґрунтуються на європейському досвіді проектування, стають корисним доповненням, і в ряді випадків альтернативою, до результатів розрахунків за нормами ДБН В.2.6-198:2014 [1].

Застосування сучасних засобів автоматизації проектування і розрахунків сталевих конструкцій, зокрема європейських 3D BIM-інформаційних систем, дають можливість у повній мірі врахувати особливості норм Єврокод [6], а

також тонкощі застосування їх окремих положень, зокрема при розрахунках на основі теорій I-го та II-го порядку вказаних норм. Відповідно до норм Єврокод [6], теорія I-го порядку реалізує звичайний розрахунок конструкцій із початковою геометрією, теорія II-го порядку дозволяє врахувати переміщення від діючих навантажень.

Актуальність теми. Дослідження напружено-деформованого стану складних просторових конструкцій за нормами Єврокод 3 [6], на основі теорій I-го та II-го порядку, на прикладі сталевих конструкцій терміналу аеропорту, за допомогою сучасних інформаційних BIM систем є актуальною задачею.

Цілі статті. Дослідити напружено-деформований стан складних просторових конструкцій аеропорту за допомогою інформаційної BIM моделі, розробленій у академічній ліцензійній версії ПК Dlubal RSTAB, на основі теорій I-го та II-го порядку норм DIN-EN 1993-1-1-2010 [6], та виявити відповідні ефекти, які виникають при застосуванні теорії другого порядку, а також практичне використання CFD-аналізу при оцінці впливів на споруду.

Виклад основного матеріалу. У якості об'єкта дослідження прийнято просторові сталеві конструкції аеропорту, який розміщено в м. Франкфурт-на-Майні (нім. Frankfurt am Main), Німеччина. Як прототип прийнято аеропорт Ченнаї (Індія), архітектурна концепція якого розроблена американською компанією Frederic Schwartz Architects (рис. 1). Конструктивно аеропорт виконаний у вигляді просторових сталевих ферм складної геометричної форми. При вигляді зверху дана поверхня нагадує форму черепахи. Такий ефект досягається за допомогою використання різнотипних ферм, які видозмінюються по висоті та довжині будівлі.

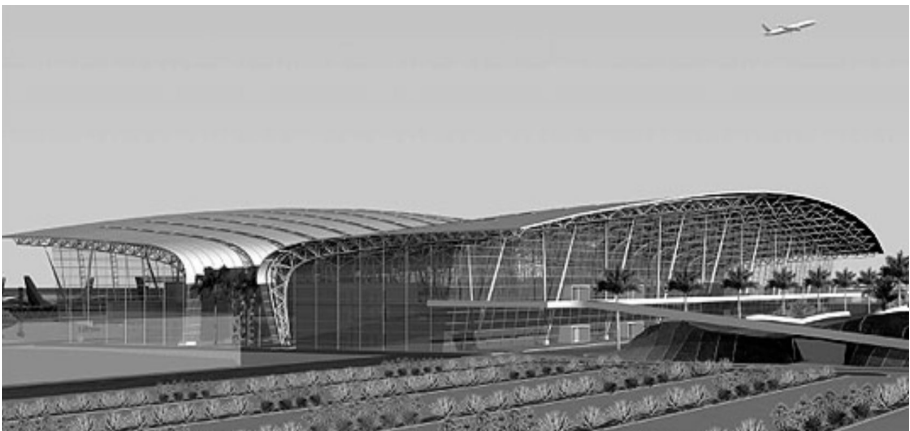


Рис. 1. Архітектурна концепція аеропорту у місті Ченнаї (Індія).

Основні несучі конструкції прийняті у вигляді просторових сталевих ферм складної форми. Для встановлення розмірів перерізів та кроку просторових ферм, попередньо були виконані пробні розрахунки. Остаточний крок просторових ферм склав 9 м.

Висота перерізу просторової ферми в основі 3.5 м, в частині покриття 3 м, на ділянці консольного звису 0.9 м. Кут між розкосами прийнятий в межах від 30 до 60 градусів. Довжина консольної частини становить 23.5 м.

Параметри фахверкових ферм прийняті по аналогії із рішенням запропонованим при будівництві аеропорту в м. Пекін. Розмір ферми по її висоті становить 18 м, максимальна висота перерізу ферми складає 0.9 м.

Збір постійних та тимчасових навантажень виконуємо відповідно до DIN EN 1991-1-1 [3]. Навантаження від власної ваги сталевих конструкцій враховані автоматично виходячи з призначених параметрів жорсткостей та матеріалів.

Характеристичне навантаження на покрівлю від ваги теплоізоляційних та опоряджувальних конструкцій, розподілене на 1 м^2 та на 1 м.п. прогонів становить відповідно 0.65 кН/м^2 та 1.95 кН/м.п. Характеристичне навантаження на перекриття від власної ваги конструкцій, розподілене на 1 м^2 та на 1 м.п. балок настилу складає відповідно 2.92 кН/м^2 та 5.84 кН/м.п.

Характеристичне лінійно-розподілене навантаження на колони від власної ваги стінового огородження (склопакети) вздовж основної частини будівлі та в поперечному напрямку становить 1.94 та 2.58 кН/м.п. відповідно, при його розподіленому значенні 0.43 кН/м^2 .

Значення розподіленого технологічного навантаження від обладнання (системи вентиляції, кондиціонування, освітлення) прийнято на рівні 0.3 кН/м^2 .

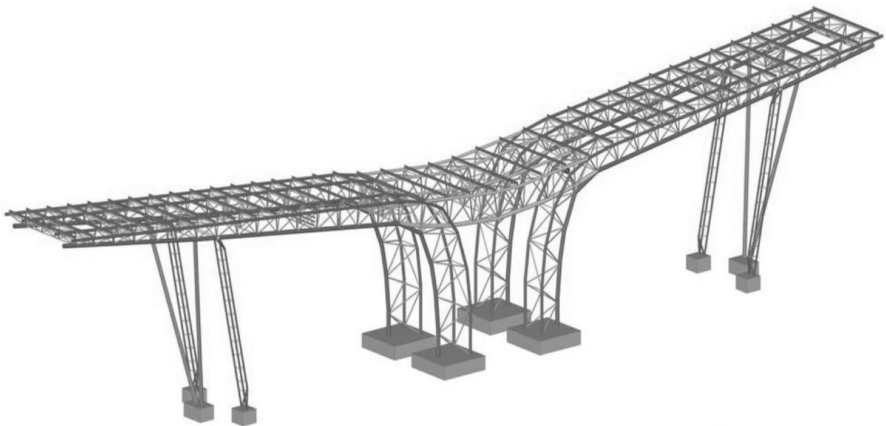


Рис.2. ПК Tekla Structures. Вихідна модель.

Характеристичне корисне навантаження на перекриття складає 4 кН/м^2 (розподілене значення) та 8 кН (на 1 м.п. балки настилу, при їх кроці 2м).

Відповідно до інтерактивної карти DIN EN 1991-1-3 [4], характеристичне значення снігового навантаження на поверхню земляного покриву становить 0.65 кН/м^2 . Характеристичне рівномірно-розподілене навантаження на 1м.п. прогонів складає 2.04 та 2.38 кН/м.п. (при кроці прогонів 3 та 3.5 м).

Визначення вітрових навантажень виконуємо відповідно до DIN EN 1991-1-4 [5], на основі CFD-аналізу, який являє собою дослідження направленного потоку (в даному випадку повітря) за допомогою CE моделі та акселерограм.

Побудова розрахункової схеми терміналу аеропорту виконана за допомогою сучасних методів 3D BIM інформаційного моделювання. Спочатку, модель каркасу підготовлена в ПК Tekla Structures (рис. 2). Дана модель являє собою частину схеми, яка в подальшому була доопрацьована в ПК Dlubal RSTAB. Обмін даними між ПК відбувається на основі прямої передачі даних, без втрати геометричних та фізичних характеристик стержнів.

Для виконання CFD-аналізу, розрахункову модель ПК Dlubal RSTAB, експортуємо в ПК Dlubal RFEM, що дасть можливість при моделюванні вітрових потоків врахувати наявність зовнішнього огородження, елементів перекриття і покриття, що моделюємо за допомогою нульових пластин.

Після призначення основних розрахункових параметрів генеруємо модель та виконуємо її експорт в ПК Dlubal RWIND Simulation.

Базове значення вітрового навантаження прийнято згідно з розташуванням об'єкту будівництва та його кліматичною зоною.

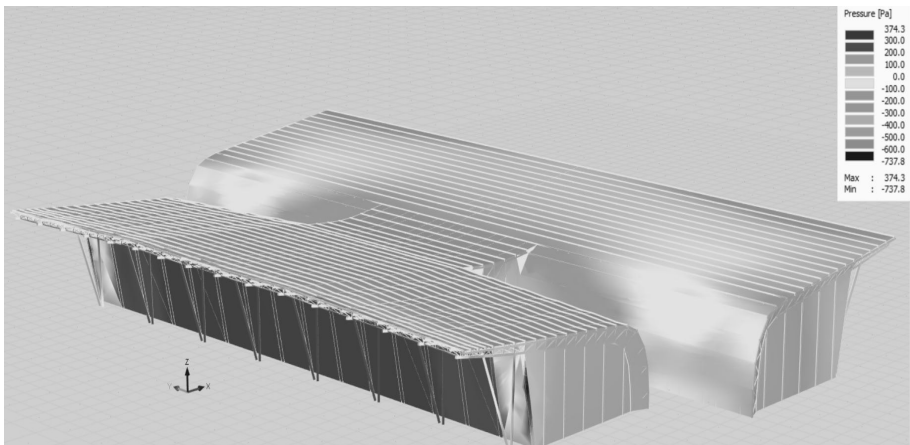


Рис.3. ПК Dlubal RWIND Simulation. Поверхня тиску при дії вітрового потоку перпендикулярно до основної частини будівлі.

Відповідно до додатку А, DIN EN 1991-1-4 [5], визначено категорію території, для м.Франкфурт-на-Майні, категорія території IV.

Моделювання вітрових потоків в ПК Dlubal RWIND Simulation, виконуємо для 8 напрямків вітру, з яких 4 найбільш несприятливих передаємо в ПК Dlubal RSTAB у якості окремих завантажень.

Одним з найбільш несприятливих напрямів виявився напрям вітру, який діє перпендикулярно до основної частини будівлі. Передаємо його в ПК Dlubal RSTAB та визначаємо як завантаження №8. Поверхня тиску, яка утворилася внаслідок дії даного вітрового потоку приведена на рис. 3.

Вітровий потік який діє під кутом 180° , є потенційно переважаючим, передаємо його в ПК Dlubal RSTAB та визначаємо як завантаження №9.

Аналогічно, вітрові потоки, які діють під кутом 90° та 315° , передаємо в ПК Dlubal RSTAB та визначаємо як завантаження №10 та №11.

Згідно із пунктом 5.3.2 DIN EN 1993-1-1 [6], виконуємо формування недосконалоостей основних несучих вертикальних елементів у напрямку X та Y, і прикладаємо їх до розрахункової моделі ПК Dlubal RSTAB у вигляді завантажень № 12 та 13.

Розрахункова модель в ПК Dlubal RSTAB приведена на рис. 4. Розрахункові сполучення навантажень сформовані згідно DIN EN 1990.

Після виконання статичного розрахунку, виконуємо підбір перерізів на основі теорії першого порядку. Результати підбору перерізів на основі теорії I-го порядку, відповідно до DIN EN 1993-1-1 [6] приведені у табл. 1.

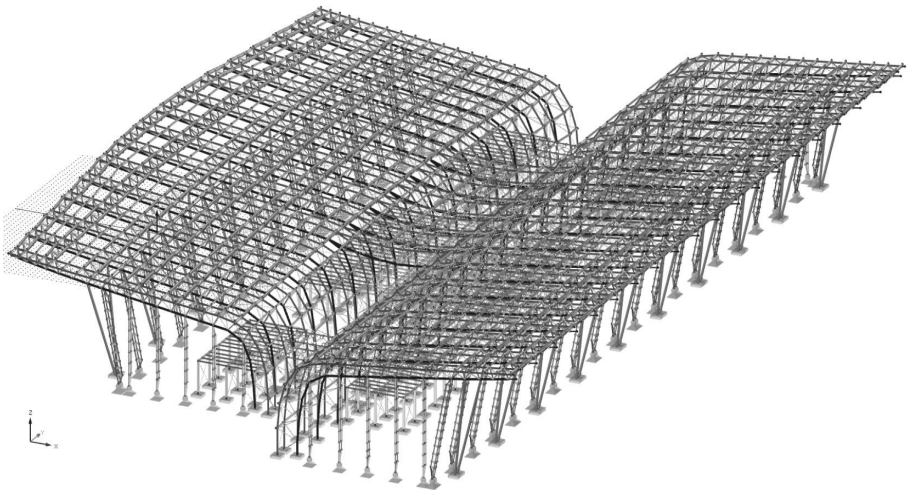


Рис.4. ПК Dlubal RSTAB. Розрахункова модель.

Таблиця 1

Результати підбору перерізів на основі теорії I-го порядку

Назва елемента	Тип перерізу	DIN EN 1993-1-1 [6]. Теорія першого порядку			
		Профіль	A, cm ²	g, kg/m	W, cm ³
ПФ-1 НП	Труба	457x10	140.43	110.2	1535.73
ПФ-1 ВП	Труба	273x6.3	52.79	41.4	344.02
ПФ-1 Розкоси	Труба	168.3x3.2	16.6	13	67.23
ПФ-1 Розкоси діаг	Труба	101.6x4	12.26	9.6	28.8
ПФ-2 ВП	Труба	108x2.6	8.61	6.8	22.15
ПФ-2 НП	Труба	88.9x3.2	8.62	6.8	17.82
Колони	Труба	508x8.8	138.01	108.3	1693.04
Прогони	Двотавр (IPE)	270	45.95	36.1	428.9
ФФ-балка	Труба	323.9x6.3	62.86	49.3	489.59
К-1	Двотавр (IPE)	400	73.1	57.4	1022

Таблиця 2

Результати підбору перерізів на основі теорії II-го порядку

Назва елемента	Тип перерізу	DIN EN 1993-1-1 [6]. Теорія другого порядку			
		Профіль	A, cm ²	g, kg/m	W, cm ³
ПФ-1 НП	Труба	355.6x16	170.7	134	1387.12
ПФ-1 ВП	Труба	323.9x5.4	54.03	42.4	423.18
ПФ-1 Розкоси	Труба	139.7x5	21.16	16.6	68.8
ПФ-1 Розкоси діаг	Труба	101.6x4	12.26	9.6	28.8
ПФ-2 ВП	Труба	101.6x4	12.26	9.6	28.8
ПФ-2 НП	Труба	101.6x4	12.26	9.6	28.8
Колони	Труба	457x12.5	174.55	137	1888.18
Прогони	Двотавр (IPE)	270	45.95	36.1	428.9
ФФ-балка	Труба	323.9x6.3	62.86	49.3	489.59
К-1	Двотавр (IPE)	400	73.1	57.4	1022

Аналогічно, за допомогою розробленої в ПК Dlubal RSTAB розрахункової моделі, виконуємо підбір перерізів на основі теорії другого порядку. Результати підбору перерізів на основі теорії II-го порядку, відповідно до DIN EN 1993-1-1 [6] приведені у табл. 2.

Порівняння результатів підбору перерізів на основі теорій I-го та II-го порядків DIN EN 1993-1-1 [6], у вигляді коефіцієнтів, які визначені як відношення значень для теорії 2-го порядку до значень для теорії 1-го порядку, відповідно для площі перерізу, ваги 1 м.п. довжини стержнів та момента опору, приведено в табл. 3.

Для основних просторових рам ПФ-1, коефіцієнт площі складає 1.26 (для їх вертикальних частин, колон), 1.22 (для нижніх поясів верхньої частини рам ПФ-1 НП), 1.27 (для розкосів ПФ-1 Розкоси). Аналогічно, коефіцієнт ваги

становить 1.27 (для їх вертикальних частин, колон), 1.22 (для нижніх поясів верхньої частини рам ПФ-1 НП), 1.28 (для розкосів ПФ-1 Розкоси), тобто дуже близький до значень коефіцієнтів площі, що залежить від кратності сортаментів. В цілому, для основних просторових рам, коефіцієнт площі знаходиться в межах від 1.22 до 1.27.

Таблиця 3

Порівняння результатів підбору перерізів на основі теорій I-го та II-го порядків

Назва елемента	Тип перерізу	Коефіцієнти (відношення теорій II-ї до I-ї)		
		A, cm ²	g, kg/m	W, cm ³
ПФ-1 НП	Труба	1.22	1.22	0.9
ПФ-1 ВП	Труба	1.02	1.02	1.23
ПФ-1 Розкоси	Труба	1.27	1.28	1.02
ПФ-1 Розкоси діаг	Труба	1.0	1.0	1.0
ПФ-2 ВП	Труба	1.42	1.41	1.3
ПФ-2 НП	Труба	1.42	1.41	1.62
Колони	Труба	1.26	1.27	1.12
Прогони	Двогавр (ІРЕ)	1.0	1.0	1.0
ФФ-балка	Труба	1.0	1.0	1.0
K-1	Двогавр (ІРЕ)	1.0	1.0	1.0

Для просторових ферм жорсткості ПФ-2, що розміщені у поздовжньому напрямку, коефіцієнт площі для верхніх ПФ-2 ВП та нижніх ПФ-2 НП поясів становить 1.42 .

Таким чином, за результатами порівняння коефіцієнтів площі перерізів, 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%.

Висновки:

1. Представлено детальний аналіз та збір вітрових навантажень що діють на будівлю складної геометричної форми з використанням віртуальної аеродинамічної труби і акселеограм, за допомогою ПК Dlubal RFEM та CFD-аналізу ПК Dlubal RWIND Simulation.

2. За допомогою академічної ліцензійної BIM-інформаційної системи ПК Dlubal RSTAB, виконано моделювання напружено-деформованого стану та підбір перерізів складних просторових сталевих конструкцій аеропорту на основі теорій I-го та II-го порядку норм DIN EN 1993-1-1 [6].

3. За результатами порівняння коефіцієнтів площі перерізів, 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 другого порядку є обов'язковим до розгляду.

Список використаних джерел

1. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу / Мінрегіонбуд України – К.: 2014. – 199 с.
2. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-1. Загальні дії. Питома вага, власна вага, експлуатаційні навантаження для споруд.
3. DIN-EN 1991-1-1. Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau: Deutsche Fassung EN 1991-1-1-1:2002 + AC:2009.
4. DIN-EN 1991-1-3. Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten: Deutsche Fassung EN 1991-1-3-2005 + A1 – 2010 + AC:2010.
5. DIN-EN 1991-1-4. Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten: Deutsche Fassung EN 1991-1-4-2005 + A1 – 2010 + AC:2010.
6. DIN-EN 1993-1-1. Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau: Deutsche Fassung EN 1993:2005 + AC:2009.
7. EN 1993-1-8: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2010.
8. Handbuch DUENQ. Tiefenbach: Dlubal Software, September 2018.
9. Schwarze Rüdiger CFD-Modellierung. Grundlagen und Anwendungen bei Strömungsprozessen / R. Schwarze. – Berlin: Springer Verlag, 2013. – 398 s.
10. Kindmann Rolf Stahlbau. Teil 1: Grundlagen. Mit Beispielen nach Eurocode 3 / R. Kindmann, U. Krüger – Bochum: Ernst und Sohn, März 2013. – 508s.
11. Kindmann Rolf Stahlbau. Teil 2: Stabilität. Theorie II Ordnung / R. Kindmann. – Bochum: Ernst und Sohn, 2008. – 429 s.
12. Kindmann Rolf Stahlbau. Verbindungen im Stahlbau und Verbundbau / R. Kindmann, M. Stracke – Bochum: Ernst und Sohn, März 2013. – 378 s.
13. Johannes Naumes, Isabell Strohmam, Dieter Ungermann und Gerhard Sedlacek. Die neuen Stabilitätsnachweise im Stahlbau nach Eurocode 3. Stahlbau, 77, 2008.
14. Kindmann, R.; Frickel, J.: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit. Berlin: Ernst & Sohn, 2002.

к.т.н., доцент Адаменко В.Н., Мавдюк А.Н.,

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТОВ ВТОРОГО ПОРЯДКА НА ПРИМЕРЕ СТАЛЬНОГО КАРКАСА АЭРОПОРТА

С помощью современных лицензионных BIM-информационных систем ПК Dlubal RSTAB и ПК Dlubal RFEM, выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния и подбор сечений сложных пространственных стальных конструкций аэропорта, который расположен в г. Франкфурт-на-Майне (Германия), на основе теорий I-го и II-го порядка норм DIN EN 1993-1-1-2010.

Сбор ветровых нагрузок действующих на здание, выполнено с использованием виртуальной аэродинамической трубы и акселеограм, с помощью CFD-анализа ПК RWIND Simulation. Для выполнения CFD-анализа, расчетная модель ПК Dlubal RSTAB, была экспортирована в ПК Dlubal RFEM, что позволило при моделировании ветровых потоков учесть наличие внешнего ограждения, элементов перекрытия и покрытия, смоделированных с помощью нулевых пластин. После назначения основных расчетных параметров, была сгенерирована модель и выполнен ее экспорт в ПК Dlubal RWIND Simulation.

Моделирование ветровых потоков в ПК Dlubal RWIND Simulation, выполнено для 8 направлений ветра, из которых 4 наиболее неблагоприятные переданы в ПК Dlubal RSTAB в качестве отдельных загрузений для дальнейшего расчета.

По результатам сравнения коэффициентов площади сечений, установлено, что учет эффектов второго порядка, в зависимости от типа рассматриваемой конструкции, может приводить к необходимости увеличения расчетной площади сечения в пределах от 22 до 42%.

Таким образом, для сложных пространственных стальных конструкций подтверждено положение норм Еврокод, согласно которому учет эффектов 2-го порядка является обязательным к рассмотрению.

Ключевые слова: пространственные стальные конструкции аэропорта, теория 2-го порядка, эффекты второго порядка, CFD-анализ.

Ph.D., Associate Professor Adamenko V., Mavdiuk A.,
Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture

STUDY OF THE INFLUENCE OF SECOND ORDER EFFECTS ON THE EXAMPLE OF THE STEEL FRAME OF THE AIRPORT

With the help of modern licensed BIM-information systems of PC Dlubal RSTAB and PC Dlubal RFEM, simulation of stress-strain state and cross-section selection of complex spatial steel structures of the airport, located in Frankfurt am Main (Germany), based on theories 1st and 2nd order effects according to standard DIN EN 1993-1-1:2010 were performed.

Spatial steel structures of the airport located in Frankfurt am Main, have been adopted as the object of study. The prototype is the Chennai Airport (India), an architectural concept developed by the American company Frederic Schwartz Architects.

The main bearing structures are adopted in the form of spatial steel trusses of complex shape. To determine the cross-sectional dimensions and spacing of the

spatial trusses, preliminary calculations were performed. Finally, the step of the spacious trusses was 9 m.

The collection of self-weight and imposed loads is carried out in accordance with DIN EN 1991-1-1.

The collection of wind loads acting on a complex geometric shape was performed using a virtual wind tunnel and accelerograms, using a CFD analysis of the Dlubal RWIND Simulation PC. To perform CFD analysis, the Dlubal RSTAB PC model was exported to the Dlubal RFEM PC, which made it possible to take into account the presence of external enclosures, overlapping elements and cover, modeled using zero plates, when modeling wind flows. After setting the basic calculation parameters, the model was generated and exported to the Dlubal RWIND Simulation PC.

Wind flow simulation in Dlubal RWIND Simulation PC, performed for eight wind directions, of which four most unfavorable were transferred to Dlubal RSTAB PC as separate downloads for further calculation.

According to the results of the comparison of the coefficients of the cross-sectional area, it is found that taking into account the effects of the second order, depending on the type of design considered, may lead to the need to increase the estimated cross-sectional area in the range from 22 to 42%.

Thus, for complex spatial steel structures, the provisions of the Eurocode standards are confirmed, according to which the consideration of 2nd order effects is obligatory for consideration.

Keywords: spatial steel structures of the airport, 1st order theory, 2nd order theory, second order effects, CFD analysis.

REFERENCES

1. DBN V.2.6-198:2014 Stalevi konstruktsii. Normy proektuvannia, vyhotovlennia i montazhu / Minrehionbud Ukrainy – K.: 2014. – 199 s [in Ukrainian].

2. DSTU-N B EN 1991-1-1:2010 Yevrokod 1. Dii na konstruktsii. Chastyna 1-1. Zahalni dii. Pytoma vaha, vlasna vaha, ekspluatatsiini navantazhennia dlia sporud [in Ukrainian].

3. DIN-EN 1991-1-1. Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau: Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009 [in German].

4. DIN-EN 1991-1-3. Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten: Deutsche Fassung EN 1991-1-3-2005 + A1 – 2010 + AC:2010 [in German].

5. DIN–EN 1991-1-4. Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten: Deutsche Fassung EN 1991-1-4-2005 + A1 – 2010 + AC:2010 [in German].
6. DIN–EN 1993-1-1. Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln fuer den Hochbau: Deutsche Fassung EN 1993:2005 + AC:2009 [in German].
7. EN 1993-1-8: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2010 [in German].
8. Handbuch DUENQ. Tiefenbach: Dlubal Software, September 2018 [in German].
9. Schwarze Ruediger CFD-Modellierung. Grundlagen und Anwendungen bei Stroemungsprozessen / R. Schwarze. – Berlin: Springer Verlag, 2013. – 398 s [in German].
10. Kindmann Rolf Stahlbau. Teil 1: Grundlagen. Mit Beispielen nach Eurocode 3 / R. Kindmann, U. Krueger – Bochum: Ernst und Sohn, Maerz 2013. – 508s [in German].
11. Kindmann Rolf Stahlbau. Teil 2: Stabilitaet. Theorie II Ordnung / R. Kindmann. – Bochum: Ernst und Sohn, 2008. – 429 s [in German].
12. Kindmann Rolf Stahlbau. Verbindungen im Stahlbau und Verbundbau / R. Kindmann, M. Stracke – Bochum: Ernst und Sohn, Maerz 2013. – 378 s [in German].
13. Johannes Naumes, Isabell Strohmman, Dieter Ungermann und Gerhard Sedlacek. Die neuen Stabilitaetsnachweise im Stahlbau nach Eurocode 3. Stahlbau, 77, 2008 [in German].
14. Kindmann, R.; Frickel, J.: Elastische und plastische Querschnittstragfaehigkeit. Berlin: Ernst & Sohn, 2002 [in German].