

*M. Barabash, the candidate of technical science, associate professor (NAU, Ukraine);
V. Pershakov, the candidate of technical science, professor (NAU, Ukraine)*

АСПЕКТИ ВАРІАНТНОГО ПРОЕКТУВАННЯ НСК «ОЛІМПІЙСЬКИЙ» НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Проаналізовано підходи до вибору конструктивних рішень покриття над трибунами сучасних стадіонів. Розглянуто декілька варіантів покриття над трибунами. Доведено доцільність врахування геометричної нелінійності при розрахунку вантових систем та мембранного покриття.

Проектування будь-яких типових та унікальних споруд ведеться за обмеженнями на різноманітні ресурси: фінансові, матеріальні, енергетичні та інші, тому інженери-проектувальники завжди намагаються знайти найбільш бажане, доцільне, економічно вигідне проектне рішення, яке вважається оптимальним.

Задача вибору оптимального рішення при проектуванні споруд обумовлена певними критеріями, та інколи деякі з них є взаємо протилежними. Так, наприклад, прискорення монтажних робіт веде за собою збільшення економічних показників, зменшення економічних показників призводить до витрати зайвого часу або зменшення безпеки споруди в цілому, що не може бути допустимим за умовами створення таких відповідальних об'єктів.

У більшості випадків при оцінці проекту виділяють один основний критерій, тим самим зводячи багатокритеріальну задачу до однокритеріальної. Досить часто таким основним критерієм вважають вартість будівельних робіт або обсяги будівельних та експлуатаційних робіт за певний період.

Найбільш надійний спосіб знаходження оптимального варіанту – порівняльний узагальнюючий показник всіх можливих варіантів. Для цього на різних етапах проектування ведеться опрацювання варіантів як окремих конструктивних елементів споруди, так і всієї споруди в цілому.

Розглядаючи проект стадіону, можна виділити декілька основних напрямків для даного опрацювання можливих варіантів. Наприклад, можна розглянути декілька варіантів розміщення глядацьких трибун, запропонувати різні типи несучих конструкцій, системи кріплення тощо.

Традиційне ручне проектування, що переважно застосовувалося до недавніх часів, не дає можливості розглянути достатнє число варіантів, що розглядаються, тому що їх опрацювання та аналізування потребують багато часу та ресурсів. Сучасні системи автоматизованого проектування (САПР) дозволяють розглянути достатню кількість варіантів та проаналізувати кожний варіант по комплексу показників різних критеріїв. Саме тому в багатьох проектних організаціях використання САПР стало нормою для варіантного проектування як нового будівництва, так і реконструкції та ремонту існуючих об'єктів.

Можна зазначити, що аналізування та розрахунок деяких варіантів проектування має самостійне практичне значення, оскільки спеціаліст або група спеціалістів, що приймають остаточне рішення, мають змогу не тільки зробити вибір найкращого варіанту, але й оцінити можливі наслідки реалізації будь-якої з порівняльних альтернатив за всією кількістю критеріїв.

Наш час диктує суттєві вимоги до архітектурного вигляду забудованих територій кожного міста. Сучасні технології розвиваються настільки швидко, що майже всі архітектурні витвори мають шанс бути реалізованими. Але ці витвори повинні мати не тільки гарний зовнішній вигляд, але й бути надійними при будівництві та експлуатації. Тому архітектори та конструктори завжди працюють пліч-о-пліч, дбаючи про красу та надійність

наших міст. Всі ці вимоги стосуються й таких унікальних споруд як стадіони та спортивні комплекси. Світова практика будівництва таких об'єктів демонструє велику кількість цікавих конструктивних рішень покриттів над трибунами, адже, головним чином, саме вигляд покриття й відповідає за цікавий вигляд споруди в цілому.

Якщо зробити огляд відомих стадіонів та спортивних комплексів світу, що вже існують або тільки будуються, то можна виділити декілька типів конструктивних рішень покриттів, форми яких виявилися привабливими для авторів проектів. Всі вони мають як переваги, так і недоліки. Всі ці конструктивні рішення можна віднести до ферменних, рамних та структурних систем, виконаних за консольними схемами. До цієї групи можна віднести один із варіантів стадіону в Лужніках, що було запропоновано під час розроблення проекту. Це рішення покриття над трибунами (рис.1) являє собою консольне покриття з зовнішніми опорами та проміжними опорами в зоні глядацьких місць на трибунах (такі рішення можна знайти в проектах деяких європейських стадіонів). Якщо звернути увагу на основні недоліки цього типу покриття, то можна виділити наступні: через велику довжину консольної ферми покриття, треба робити розвинену базу закріплення несучої частини покриття до нижче розташованих залізобетонних конструкцій. Проміжна опора в зоні трибун дозволяє зменшити виліт консолі, проте таке рішення істотно погіршує умови огляду для глядачів і не є бажаним з архітектурно-планувальної точки зору.

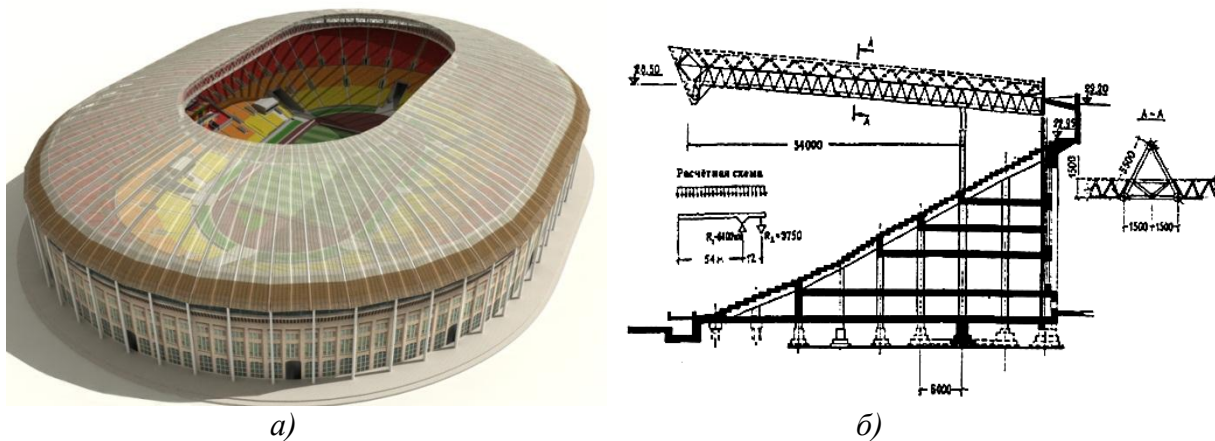


Рис.1. Вигляд стадіону в Лужніках. а) загальний вигляд; б) консольне покриття з зовнішніми опорами

Ще один тип покриття – мембранні оболонки. Під час розробки проекту в Лужніках (остаточне рішення конструкції покриття цього стадіону у вигляді ребристого купола з отвором в центральній зоні, з зовнішнім та внутрішнім контурними кільцями зображено на рис.1) було запропоновано декілька рішень конструкції покриття у вигляді сферичних, циліндричних, сталобетонних мембран. Всі варіанти мали свої особливості. Мембранні системи звичайно є провисаючими, тому недоліки цього типу пов'язані з забезпеченням відводу дощової води з покриття; забезпечення стабілізації покриття; необхідністю значного підйому внутрішнього опорного контуру для забезпечення огляду поля з верхніх рядів.

Під час перших етапів проектування покриття навісу над трибунами для НСК «Олімпійський» було також розроблено та детально розглянуто декілька проектних рішень. Але всі варіанти об'єднуються одним принциповим рішенням – вони мають вантову підтримуючу систему. Застосування вантово-підвісної схеми, за попередніми розрахунками, давало можливість на 20-25% зменшити витрати металу на покриття. Одним із найбільш відповідальних і складних елементів стадіону є навіс над глядацькими трибунами. Покриття такої площини відноситься, як правило, до поняття унікальних складних систем і виконуються в легких металевих конструкціях. Він розділений на три частини: мембранно-тканинне покриття, вантова система і каркас з 80-ти колон. [1] (рис.2). Конструкція навісу

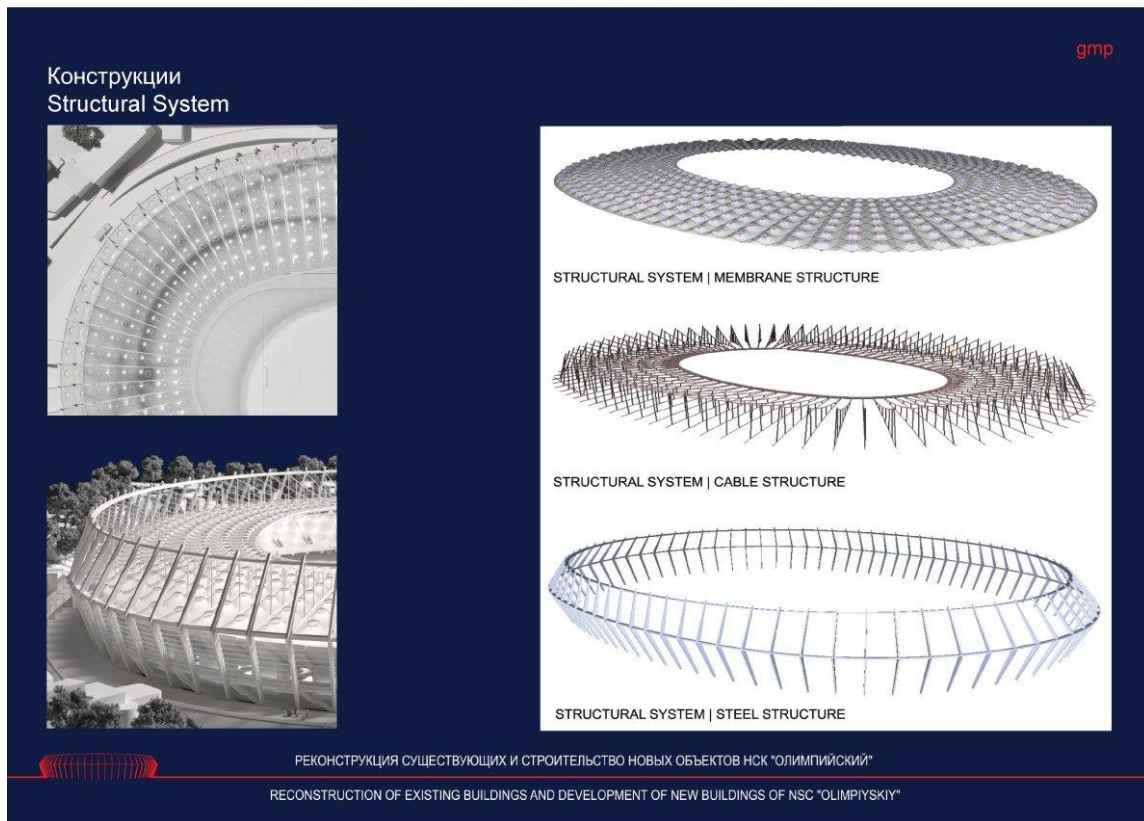


Рис.2. Конструкція покриття НСК «Олімпійський»

відповідає кільцевому принципу. Серії радіальних кабельних прольотів розташовані між одним внутрішнім напруженим кільцем до двох периферично-розташованих напружених кілець.

Розрахунок конструкцій стадіону виконувався з використанням сучасних комплексів програмного забезпечення. При розрахунку висячих вантових конструкцій доцільно враховувати геометричну нелінійність.

Жорсткі ванти, наприклад, з прокатних або зварних профілів, моделюються геометрично нелінійними стрижнями.

При нелінійному розрахунку замість розрахунку на всі завантаження з подальшим обчисленням розрахункових поєднань зусиль, виконується розрахунок на задану історію навантаження конструкції. Тому пошук найсприятливіших поєднань зусиль для окремих елементів вимагає розрахунку схеми на декілька історій навантажень.

Основні проблеми, які виникають при розрахунках вантових конструкцій за допомогою методу скінченних елементів:

- чисельна і практична реалізація попередньої напруги;
- врахування впливу жорсткості опорних контурів на напружений стан канатних елементів (опорний контур часто приймається як абсолютно жорсткий);
- використання криволінійних елементів (нитки моделюються прямолінійними елементами);
- доцільність проведення розрахунків на стійкість опорних конструкцій.

Для врахування геометричної нелінійності стержня вважається, що виконується закон Гука ($\sigma_x = E \varepsilon_x$), а вхідна в цей вираз деформація має наступний вигляд:

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{tu}{dx} \right)^2 + \left(\frac{tv}{dx} \right)^2 + \left(\frac{tw}{dx} \right)^2 \right] - z \frac{d^2w}{dx^2} - y \frac{d^2w}{dx^2}$$

На кожному кроці відбувається врахування нормальних напружень при побудові матриці жорсткості.

The structural system of the roof structure is related to the spokes wheel principle (fig.3):

A series of radial cable trusses span between one inner tension ring to two circumferential arranged compression rings, providing a shortcut of the required prestress forces.

The geometry is arranged in 80 system axes. Both compression rings are arranged in a constant level in height but following different curvature in plain view. The lower compression ring follows two different radii considering the geometrical boundary conditions of the existing grand stands but leading to very limited curvature along the grandstands in east and west. The upper compression ring undulates relative to the lower one showing a high offset in the curves in the north and south and a small offset in the long sides of the stadium in west and east. The shape is developed by means of an optimization process.

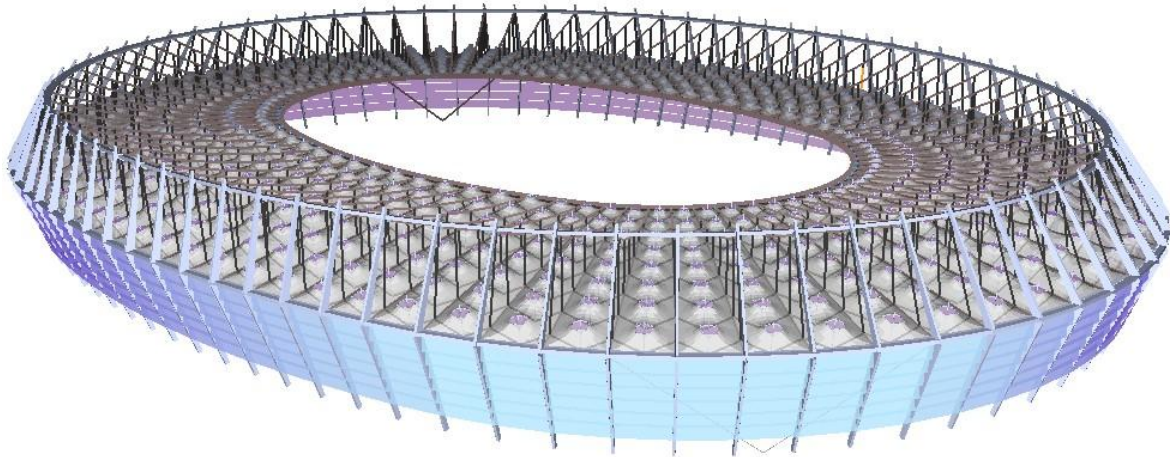


Fig.3. The general view of structural scheme

The cable structure will carry vertical downward loads (snow) by a decrease of stress in the lower radial cables LRC and an increase of stress in the upper radial cables URC and the tension ring TR. The additional tension forces of the upper radial cables URC are split in a vertical and horizontal component: The horizontal component is shortcut within the Upper Compression Ring UCR, the vertical component is carried by the Raking Columns RCol between the both Compression Rings. Due to the inclination of the columns this causes additional horizontal components being introduced into the two compression rings. Suction forces (wind) will be carried inversely.

Horizontal forces are mainly introduced through the façade and further caused by wind friction on the roof surface (due to the shape of the membrane structure showing a certain 'roughness'). A further small part results of wind acting on the exposed steel structure. About 50% of the wind action onto the façade is transferred into the lower part of the columns and further to the foundations. The remaining forces are introduced into the spokes wheel system and transferred to the foundations by means of the façade columns acting like table legs being fixed at the upper end and pin connected to the foundations.

The radial cables are aligned following the 80 system axes. The tension Ring TR is more or less on a constant height level.

The pre-stress distribution and the geometry are well optimized to prevent any ponding due to rain, hail or snow, but also to avoid too high forces within the complete structure. The drainage of the roof to the perimeter is realized by the inclination of the lower radial cables LRC.

Loads are introduced into the supporting structure at the 80 column base points.

Висновки. Створення унікального спорткомплексу НСК «Олімпійський» продемонструвало високий професіоналізм вітчизняної школи проектування, реконструкції та будівництва великопрогонних споруд і ще раз підтвердило здатність української індустріальної бази створювати такі проекти.

Список літератури.

1. <http://football.hiblogger.net/authors/stadiums/884062.html>
2. ДБН В.1.2-2:2006 СНББ. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінрегіонбуд України. 2006. – 75 с.
3. Расчет и проектирование пространственных большепролетных конструкций / Тезисы докладов коллоквиума. – К.: Издательство «Сталь», 2007. – 116с.
4. Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні / А.В.Перельмутер, В.М.Гордєєв, Є.В.Горохов та ін. За ред. д-ра техн. наук А.В.Перельмутера. – К.: «Сталь», 2002. – 166с.
5. ДБН В.2.6-163:2010.Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. – К.: Мінрегіонбуд України. 2011. – 201 с.