УДК 624.014.2:624.97

О.Ю. ЄРЬОМЕНКО, канд. техн. наук, доц., С.М. СТОРОЖЕНКО, студент
Криворізький національний університет

ПРОБЛЕМАТИКА РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛОВИХ З'ЄДНАНЬ МЕТАЛЕВИХ БАШТОВИХ СПОРУД

Баштові споруди (вітрогенераторні установки, телекомунікаційні щогли, опори ліній електропередач та витяжні труби) відіграють ключову роль у розвитку сучасної промислової інфраструктури. Використання трубчастих профілів для їх зведення є найбільш раціональним рішенням завдяки аеродинамічній формі, стійкості до атмосферної корозії та оптимальній роботі за схемою стиснуто-зігнутих елементів.

Однак визначальним фактором надійності таких висотних систем є небезпека руйнування у місцях стикування елементів. Як свідчить інженерна практика, несуча здатність усієї баштової конструкції здебільшого лімітується міцністю її вузлових з'єднань, зокрема монтажних фланцевих стиків на високоміцних болтах [1]. Існуючі нормативні методики розрахунку часто базуються на спрощених аналітичних моделях, які не повною мірою враховують дійсний напружено-деформований стан (НДС) просторових вузлів при складному та циклічному навантаженні.

Аналіз останніх теоретичних та експериментальних досліджень показує, що при проектуванні фланцевих з'єднань виникає низка критичних факторів, які вимагають глибокого вивчення [1], [2]. До них відносяться: локальні концентрації напружень поблизу крайових ефектів, зміна зусиль у болтах внаслідок розкриття стику під дією зовнішнього навантаження (виникнення важільних зусиль) та загальний вплив податливості з'єднання на деформативність башти. Зокрема, встановлено, що нераціональне конструювання ребер жорсткості не лише не підвищує загальну міцність вузла, але й часто стає причиною появи недопустимих місцевих напружень у стінках тонкостінних труб. Затухання цих напружень зазвичай фіксується лише на відстані, що дорівнює радіусу самої труби.

Особливої уваги під час проектування заслуговує питання конструювання стиків без застосування традиційних ребер жорсткості (так званих «глухих» фланців). Сучасні дослідження підтверджують, що за умови забезпечення достатньої товщини фланцевого листа та раціонального розміщення кріпильних елементів (зокрема, із кроком болтів, що не перевищує п'яти товщин фланця), можна досягти більш рівномірного розподілу напружень у зварних швах [2]. Крім того, комплексний підхід до розрахунку має обов'язково охоплювати перевірку стінок труб на місцеву стійкість у зонах трансформації перерізу, де використовуються спеціальні конічні вставки. Застосування сучасних методів скінченноелементного моделювання доводить, що точне врахування початкового натягу високоміцних болтів (на рівні 0,7 від розривного зусилля) є критичним фактором для запобігання передчасному розкриттю стику при інтенсивних знакозмінних вітрових навантаженнях [2].

Аналіз проблематики розрахунку вузлів металевих баштових споруд вказує на те, що впровадження нових, уточнених методик:

знижує загальну матеріалоємність конструкцій за рахунок оптимізації товщини фланців та обґрунтованої відмови від надлишкових ребер жорсткості;

підвищує експлуатаційну надійність та довговічність споруд при динамічних вітрових впливах;

зменшує трудовитрати на етапах заводського виготовлення та монтажу завдяки раціоналізації конструктивних рішень;

забезпечує створення конкурентоспроможних інфраструктурних об'єктів з високими техніко-економічними показниками;

створює фундаментальне наукове підґрунтя для подальшого оновлення чинних національних стандартів щодо проектування та зведення висотних трубчастих споруд.

Список літератури

1. **TWI Ltd. (The Welding Institute)**. Review of the Standard Method for Assessing the Fatigue Life of Bolts in Wind Turbine Tower Flanges 1172/2023. Core Research Programme. 2023

2. **Salameh A., Renno J., Ali K., Kandil H., Mohamed A.** Investigating fatigue life in bolted flange connection in wind turbine towers. Discover Civil Engineering. 2025. Vol. 2, iss. 1. P. 1–19.