

ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертаційну роботу Сокова Валерія Миколайовича
«Міцність токостінної балки зі зломом кромок із врахуванням пружно-
пластичних деформацій»
представлену на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.23.17 – Будівельна механіка
(131 – Прикладна механіка; 192 – Будівництво та цивільна інженерія)

Балки із тонкостінним профілем поперечного перерізу отримали широке розповсюдження в якості несучих елементів авіаційних і суднобудівних конструкцій, в будівництві та інших галузях техніки. Цьому сприяють широкі можливості варіювання конфігурації поперечних перерізів таких балок, яка може визначатись індивідуально для кожної конструкції, технологічність виготовлення та висока несівна спроможність. На сьогоднішній день основою для проведення інженерних розрахунків балок тонкостінного профіля є добре відома і обґрунтована теорія В.З.Власова, яка дозволяє проводити визначення напруженого стану тонкостінних профілів складної форми, але її застосування є обмеженим. Це стосується зокрема, випадків опису напруженого стану стержнів із змінними вздовж вісі стержня розмірами поперечного перерізу. Особливою проблемою при визначенні несівної здатності тонкостінних стержнів є урахування концентрації напружень в місцях сполучення складових частин профіля, нелінійного деформування та обчислення показників витривалості при дії циклічних навантажень при пружно-пластичній роботі матеріалу. Такі задачі найбільш ефективно досліджувати чисельними методами із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій.

Актуальність роботи. В дисертаційній роботі Валерія Миколайовича Сокова розглядається задача побудови методики проектувального та перевірконого розрахунку балки тонкостінного профілю зі зломом кромок без вільного фланця та залежностей для визначення ефективної ширини вільного фланця цієї балки в умовах пружного та пружно-пластичного деформування. Варто відзначити, що наразі у нормативних документах (будівельних стандартах, Правилах побудови суден тощо) відсутнє систематичне викладення методик або залежностей для проведення таких розрахунків. Як вже було зазначено, ефективним шляхом вирішення проблеми є застосування числових методів, зокрема методу скінченних елементів, але нині досвід таких розрахунків зводиться до застосування програмних комплексів, де напружено-деформований стан таких балок досліджується із використанням оболонкових або об'ємних

скінченних елементів, що збільшує трудомісткість проектування конструкції але іноді не забезпечує належну точність результатів.

Таким чином розробка методик проектувального та перевірного розрахунку балки тонкостінного профілю зі зломом кромки без вільного фланця та створення програмного забезпечення для моделювання напружено-деформованого стану об'єктів такого класу із використанням МСЕ, що реалізує просторову постановку задачі пружно-пластичного деформування є актуальною задачею.

Обґрунтованість наукових положень і достовірність отриманих результатів забезпечується наступними факторами:

- використанням відомих та апробованих співвідношень механіки суцільного середовища для опису пружного і пружно-пластичного просторового напружено-деформованого стану;

- результатами дослідження збіжності розрахованих значень складових напружено-деформованого стану в залежності від розмірів скінченних елементів і кроку навантаження (для пластичної задачі), які були виконані перед проведенням серійних розрахунків;

- збігом параметрів пружно-пластичного деформування в концентраторі напружень балки-стілки, отриманих за допомогою вищезазначеного авторського програмного забезпечення із результатами аналітичних розв'язків та експериментальних даних;

- кореляцією результатів оцінки втомної довговічності концентратора напружень з результатами експериментально-теоретичного методу Л.І.Коростильова;

- зростанням статичної несучої спроможності досліджуваної балки при зростаючому навантаженні і фіксованих геометричних параметрах, а також прямуванням значення ефективної ширини при пружно-пластичному деформуванні до дійсного значення (відповідно редуційного коефіцієнту ширини до одиниці), що відповідає наведеним в літературі результатам.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає створенні автором нових методик визначення напружено-деформованого стану та оптимального проектування балки тонкостінного профілю зі зломом кромки при пружно-пластичному деформуванні при статичному і циклічному навантаженні, а саме:

- вперше реалізовано методики оптимального проектування балки-стілки при статичному пружному та циклічному пружно-пластичному деформуванні і також розроблено вирази для визначення теоретичних коефіцієнтів концентрації напружень при розтягу-стиску та згині для широкого діапазону геометричних параметрів балки-стілки;

- удосконалено формулу Сулова В. П. для пружної ефективної ширини балки зі зломом кромки в небезпечному перерізі;

- вперше запропоновано залежності для визначення пружної та пружно-пластичної ефективної ширини вільного фланця в небезпечному перерізі і пружної ефективної ширини вздовж похилої ділянки балки із змінною висотою стінки;

- отримала подальший розвиток методика оцінки втомної довговічності балки-стінки при пружно-пластичному деформуванні, створена на основі відомих деформаційних критеріїв та розроблених залежностей інтенсивності циклічних пружно-пластичних деформацій від геометричних параметрів та величини номінального навантаження балки-стінки.

Практична значимість результатів дисертаційної роботи і її зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконання дисертаційної роботи узгоджується низкою державних нормативних документів, які стосуються розвитку зокрема суднобудівної промисловості України (відповідні посилання наведені в роботі).

Отримані результати. Розроблені в роботі методики і програмне забезпечення можна використовувати при розрахунках суднокорпусних та інших конструкцій. Дисертаційні напрацювання впроваджено у виробництво та навчальний процес, що підтверджено відповідними актами впровадження. Результати доцільно використати при коригуванні галузевого стандарту проектування тонкостінних балок.

Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих роботах та апробація результатів. Основні результати за темою дисертаційних досліджень були опубліковані в семи статтях дві з яких входять до науково-метричної бази даних Scopus. Зазначені публікації в повному обсязі висвітлюють зміст дисертації. Результати дисертаційних досліджень були представлені здобувачем в доповідях на восьми міжнародних та 2 всеукраїнських наукових конференціях.

Особистий внесок здобувача. Розробка методик обчислень і аналітичних залежностей, програмного забезпечення, проведення і результати числових досліджень повністю належить здобувачеві, оскільки не мають викладених в публікаціях інших авторів аналогів або повторень. Здобувачем використана ідея наукового керівника роботи про проектування компонентів напружено-деформованого стану на площину похилої ділянки вільного фланця при визначенні його ефективної ширини.

Структура і зміст дисертації. У вступі наведена загальна характеристика роботи та відомості про публікації і особистий внесок здобувача.

У першому розділі проведено огляд наявного доробку з проблем розрахунку тонкостінних балок зі зломом кромки, представлено аналіз моделей і методів розрахунку тонкостінних конструкцій та проаналізовано можливості їх застосування до досліджуваного об'єкта. Варто зауважити, що серед питань, які мають безпосереднє відношення до проблем, розглянутих в дисертаційному

дослідженні, автор приділив увагу питанням розрахунків при динамічних навантаженнях.

У другому розділі надано опис математичних моделей МСЕ основного типу SE форми тетраедру, що використовувався для серійних досліджень для розв'язання задач лінійної теорії пружності та фізично-нелінійного деформування.

У третьому розділі представлено низку розроблених співвідношень для обчислення теоретичного коефіцієнта концентрації напружень в залежності від геометричних параметрів балки при розтягу-стиску та згині, наведено алгоритм знаходження оптимальних геометричних параметрів. Представлені результати обчислень коефіцієнта концентрації напружень в широкому діапазоні геометричних параметрів перерізу балки.

У четвертому розділі представлено розроблені методики перевірного та проектувального розрахунку балки-стілки в умовах пружно-пластичного циклічного деформування. Додатково встановлено форми і розміри пластичних зон, отримано вирази для інтенсивності статичних та циклічних пружно-пластичних деформацій в концентраторі напружень балки-стілки, проведено обговорення особливостей діаграм циклічного деформування. На основі цих результатів та найпростіших деформаційних критеріїв оцінки втомної довговічності були розроблені методики перевірного та проектувального розрахунків балки-стілки при її циклічному деформуванні.

У п'ятому і шостому розділі представлено розроблені методики визначення пружної ефективної ширини вільного фланця в небезпечному перерізі відповідно при пружному і пружнопластичному деформуванні. При цьому враховується зсувна затримка в рамках розрахунку міцності, приймаючи до уваги вплив складної депланації вільного фланця та непризматичності. Найбільш безпечна оцінка ефективної ширини отримується при пружному деформуванні, проте врахування тільки її веде до недооцінки несучої спроможності конструкції в цілому.

В додатках наведено допоміжні алгоритми розв'язання задач теорії пластичної плинності; опис та програмна реалізація 10-ти вузлового скінченного елемента SE у формі тетраедра, яка використовувалася для серійних розрахунків; авторське свідоцтво на це програмне забезпечення; акти впровадження і список праць автора за темою дисертації.

Зауваження

1. Значна частина отриманих автором результатів ґрунтується на скінченоелементному розв'язку задачі. Разом з тим, на мій погляд, при викладенні процесу дослідження недостатньо висвітлено питання побудови скінченоелементної моделі і збіжності результатів. Зокрема, в кінці розділу 2.1 (стор.46) наведена лише одна узагальнююча фраза про виконані дослідження

збіжності в залежності від розмірів SE і кроку навантаження перед проведенням серійних розрахунків, а на рис.3.4. наведений вигляд лише однієї скінченоелементної моделі. Використані автором скінчені елементи, завдяки прийняттю в них квадратичним апроксимаціям невідомих переміщень, забезпечують високу точність отримуваних результатів, що частково знімає гостроту питання проведення досліджень збіжності. З іншого боку йдеться про новий скінчений елемент, використання якого потребує всебічного дослідження. Таким чином, здається, що процедура і результати дослідження збіжності потребують більш широкого висвітлення в роботі.

2. При проведенні розрахунку балки-стілки в умовах пружно-пластичного деформування (п. 4.2, с. 78) використана об'ємна постановка задачі. Традиційно в таких випадках до сьогодні в практичних розрахунках використовують двовимірну задачу теорії пластичності. Чи є виправданим використання просторової постановки задачі?

3. В п.4.5 було доведено (с. 93, 95), що циклічні діаграми деформування в небезпечній точці концентратора напружень балки-стілки є симетричними при заданому симетричному номінальному циклічному навантаженні. В подальшому (п. 4.7, с. 101) для несиметричних циклів діаграми деформування використовуються деформаційні критерії. Чим обумовлено їх використання?

4. При визначенні пружної ефективної ширини в формулі (5.2) на с. 119 використовувалися нормальні напруження σ_x , а при визначенні пружно-пластичної ефективної ширини (формула (6.1), с. 140) замість σ_x використовувалася інтенсивність напружень σ_i . В останньому випадку використання σ_i пояснюється необхідністю врахувати всі компоненти тензору напружень. Чому для визначення пружної ефективної ширини не використати σ_x , що б теж призвело до врахування всіх компонентів тензору напружень? Чим пояснюється відмінність у використанні σ_x і σ_i ?

5. У викладенні дослідження є певні стилістичні недоліки. Зокрема в анотації зустрічаються повтори однакових за змістом речень, які відрізняються лише 1-2 словами, що відповідають їх конкретним випадкам їх застосування. Наприклад: *«Серійні розрахунки пружно-пластичного НДС балки-стілки проводилися за допомогою скінчених елементів (SE) форми тетраедру з квадратичною апроксимацією переміщень»* і таке ж речення – для випадку балки зі зломом кромки з вільним фланцем. Також надмірно схожі речення використані для опису факторів, що визначають пружно і пружнопластичну ефективну ширину. У викладенні автор часто використовує термін «рішення задачі» або «вирішення задачі» замість, відповідно, «розв'язок» та «розв'язання» задачі

6. Значну частину доробку автора складає створення програмного забезпечення, що реалізує МСЕ. Зауважу, що при теперішньому рівні розвитку і доступності комерційних програмних комплексів самостійне створення програмного забезпечення МСЕ є майже унікальним доробком. Авторські права на цей доробок підтверджені відповідним Свідоцтовом (додаток Б.3 дисертації). Разом з тим терміни «метод скінчених елементів» і «програмне забезпечення» не включені до переліку ключових слів. Це не є недоліком роботи в класичному розумінні, але в подальшому буде знижувати цитованість роботи в публікаціях інших авторів та можливості знаходження результатів цієї роботи тими, хто зацікавлений в прикладному використанні отриманих результатів.

Наведені зауваження не знижують загальну позитивну оцінку роботи, не ставлять під сумнів її наукову і практичну цінність та достовірність отриманих результатів.

Висновок. Дисертація Сокова В.М. виконана на високому науковому рівні; вона є завершеною науково-дослідною роботою, присвяченою вирішенню актуальних питань механіки пружно- і пружнопластичного деформування проектувального та перевірного розрахунку балки тонкостінного профілю зі зломом кромки під дією сталого і циклічного навантаження. В цілому, сукупність представлених в дисертаційній роботі результатів являє собою вирішення зазначеної важливої науково-технічної проблеми.

Дисертаційна робота “ Міцність тонкостінної балки зі зломом кромки із врахуванням пружно-пластичних деформацій” відповідає чинним вимогам, встановленим МОН України щодо присвоєння вчених ступенів, а її автор Соков Валерій Миколайович **заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук** за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка.

Офіційний опонент

завідувач кафедри динаміки і міцності машин
та опору матеріалів

Національного технічного університету України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

доктор технічних наук, професор

Сергій ПИСКУНОВ

Підпис Сергія Пискунова засвідчує.

Вчений секретар

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Валерія ХОЛЯВКО

