

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора
Конопльова Анатолія Васильовича
на дисертаційну роботу

Сокова Валерія Миколайовича

«Міцність тонкостінної балки зі зломом кромки із врахуванням пружно-пластичних деформацій»

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – Будівельна механіка (131 – Прикладна механіка; 192 – Будівництво та цивільна інженерія)

Ступінь актуальності обраної теми дисертаційної роботи

В рамках дисертаційної роботи досліджено тонкостінну сталеву балку зі зломом кромки, змінної висоти стінки з вільним фланцем і без нього. Стінку балки змінної висоти зі зломом верхньої кромки без вільного фланця йменуватимемо «балкою-стінкою».

Досліджувана балка входить до складу суднокорпусних, цивільних і промислових будівельних конструкцій. Під час експлуатації цієї балки в її концентраторі напружень можуть виникати пружно-пластичні деформації при статичному і циклічному деформуванні, що спричинює появу і ріст втомних тріщин і вихід з ладу конструктивних вузлів, які містять досліджувану балку. Наразі не існує систематичних методик або залежностей для розрахунку міцності загалом та окремих елементів досліджуваної балки в офіційних будівельних стандартах, Правилах побудови суден тощо, за винятком окремих випадків, які носять вузьку спрямованість.

Дослідження напружено-деформованого стану (НДС) балки зі зломом кромки є необхідним з метою створення по можливості простих інженерних методик її перевірконого та проектувального розрахунків при відносно широкому варіюванні геометричних параметрів в умовах пружного та пружно-пластичного деформування при статичних та циклічних навантаженнях.

Тому актуальність теми «Міцність тонкостінної балки зі зломом кромки із врахуванням пружно-пластичних деформацій» не викликає сумнівів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Доволі широкий та всебічний огляд літературних джерел (140 публікацій, з яких (близько) 80 – англійською мовою, не включаючи авторських, 18 – авторські) підкреслює достовірність, сучасність та об'єктивність висновків роботи.

Структура дисертації послідовно впорядкована згідно поставлених задач для досягнення поставленої мети. В межах кожного розділу дослідницької частини дисертації викладено послідовність дослідження та чіткі стислі висновки наприкінці, які відповідають тексту дослідження. Не викликають зауважень постановка мети, задач, об'єкта і предмета дослідження. Далі по розділам показана обґрунтованість окремих наукових положень, висновків і рекомендацій.

Перший розділ дисертації присвячений огляду літератури стосовно методів розрахунку тонкостінних балок та обґрунтуванню методів дослідження. Представлено аналіз моделей і методів розрахунку тонкостінних конструкцій в ключі можливості їх застосування до досліджуваної балки. Показано, що тонкостінні теорії типу Власова і оболонкові в різній мірі спотворюють результати НДС вільного фланця досліджуваної балки на похилій частині та в місцях зламу, у порівнянні з об'ємною моделлю. Як наслідок обґрунтовано застосування об'ємної моделі механіки твердого деформівного тіла для серійних розрахунків НДС досліджуваної балки.

В **другому розділі** надано опис математичних моделей методу скінченних елементів (МСЕ) основного типу скінченного елемента (СЕ) форми тетраедру, що використовувався для серійних досліджень для вирішення задач лінійної теорії пружності, деформаційної теорії пластичності і теорії пластичної плинності. Розрахунки НДС досліджуваної балки проводилося за допомогою програмного забезпечення, розробленого автором на мові програмування C++, що реалізує вищезазначені математичні моделі в рамках МСЕ. В цьому ж розділі обґрунтовано необхідність розробки власного програмного забезпечення для проведення досліджень.

У **третьому розділі** представлено розроблені вирази для теоретичних коефіцієнтів концентрації в залежності від геометричних параметрів при розтягу-стиску і згині балки-стілки, а також розроблені методики оптимального проектування балки-стілки при пружному статичному деформуванні, в тому числі з врахуванням технологічних факторів. Завдяки реалізації оптимального проектування балки-стілки саме через теоретичний коефіцієнт концентрації, вдалося в подальшому пов'язати параметри пружного та пружно-пластичного деформування через класичну формулу Нейбера, забезпечуючи надійну оцінку втомної міцності і довговічності.

У **четвертому розділі** представлено розроблені методики перевірконого та проектувального розрахунку балки-стілки в умовах пружно-пластичного циклічного розтягу-стиску. Номінальне розтягуювально-стискальне циклічне навантаження змінюється за симетричним циклом постійної амплітуди. Представлена модель враховує найбільш несприятливі умови експлуатації балки-стілки. Було отримані характеристики пластичних зон та вирази для інтенсивності статичних та циклічних пружно-пластичних деформацій в концентраторі напружень балки-стілки. З'ясовано особливості циклічних діаграм деформування від номінального навантаження в концентраторі.

У **п'ятому розділі** представлено розроблені методики визначення пружної ефективної ширини вільного фланця в небезпечному перерізі та вздовж похилої частини. Пружна і пружно-пластична ефективна ширина в 5-му і 6-му розділах визначалася з врахуванням тільки зсувної затримки в рамках розрахунку міцності, приймаючи до уваги вплив складної депланації вільного фланця та непрямокутності балки. Доведено, що спочатку необхідно визначати складові НДС вздовж досліджуваних ліній в нейтральному шарі на серединній площині вільного фланця, а потім ці складові проектувати на похилу площину вільного фланця. Розроблені методики для визначення пружної ефективної ширини вздовж похилої ділянки ліанеризовані, що забезпечує простоту розрахунків, завжди забезпечуючи надлишкову міцність.

У шостому розділі представлена розроблена методика для розрахунку пружно-пластичної ефективної ширини вільного фланця в небезпечному перерізі. Залежність пружно-пластичної ефективної ширини від прикладеного навантаження прийнята лінійною, що забезпечує простоту розрахунків, завжди забезпечуючи надлишкову міцність. Пружно-пластична і пружна ефективні ширини визначалися на основі ідентичних підходів.

Висновки дисертації відповідають поставленим задачам і зроблені по тексту викладеного дослідження. В цілому наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані в дисертації є обґрунтованими.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Розраховані значення теоретичних коефіцієнтів концентрації добре корелюють експериментальними.

Правильність (валідація) авторського програмного забезпечення була перевірено на аналітичних рішеннях та експериментальних даних для матеріалу близького до ідеального пружно-пластичного.

Отримані результати за розробленими методиками втомної довговічності балки-стілки добре корелюють з результатами отриманими згідно експериментально-теоретичного методу (ETM) Л.І. Коростильова.

Достовірність підходу для визначення пружної та пружно-пластичної ефективної ширини вільного фланця непрямої частини досліджуваної балки (коли ефективна ширина визначається на основі складових НДС спроектованих на площину вільного фланця, в його нейтральному шарі, на серединній площині), підтверджується тим, що при цьому у фланці реалізується плоский НДС, придатний для застосування класичних формул для визначення ефективної ширини. При цьому отримується найменше значення ефективної ширини у фіксованому перерізі, у порівнянні із застосуванням інших підходів, що дасть найбільш безпечну оцінку міцності. Відзначено мінімальну різницю накоплених енергій між тривимірною та стержневою моделями балки зі зломом кромки з вільним фланцем, де ефективна ширина визначалася згідно запропонованого підходу, у порівнянні з різницями, де у стержневій моделі ефективні ширини вільного фланця визначені іншим чином.

Правильність розроблених залежностей для визначення пружно-пластичної ефективної ширини підтверджується прямуванням значення ефективної ширини до дійсного значення при зростаючому навантаженні і фіксованих геометричних параметрах, що підтверджується і оглядом літератури.

Наукова новизна результатів дослідження

В результаті виконання дисертаційних досліджень було досягнуто наступне:

- вперше реалізовано методики оптимального проектування балки-стілки при статичному пружному (с. 72, 74) та циклічному пружно-пластичному деформуванні (с. 109), а також розроблено вирази для визначення теоретичних коефіцієнтів концентрації напружень у концентраторі при розтягу-стиску (с. 62, 63) та згині (с. 62, 63) для широкого діапазону геометричних параметрів балки-стілки;
- вперше запропоновано залежності для визначення пружної (с. 132) та пружно-пластичної (с. 147) ефективної ширини вільного фланця в небезпечному перерізі і пружної ефективної ширини вздовж похилої ділянки із змінною висотою стінки в балці зі зломом кромки (с. 135);
- удосконалено формулу Суслова В. П. для пружної ефективної ширини балки зі зломом кромки в небезпечному перерізі (с. 132);
- отримала подальший розвиток методика оцінки втомної довговічності балки-стілки при пружно-пластичному деформуванні, яка створена на основі відомих деформаційних критеріїв та розроблених залежностей інтенсивності циклічних пружно-пластичних деформацій (с. 96).

Повнота викладу матеріалів дисертації в опублікованих працях

Основні положення дисертації викладені в 18 публікаціях, з яких 7 фахових статей та 10 тез конференцій. Серед цих статей 5 мають категорію Б, 2 – категорію А, які входять до баз даних Scopus. Додатковою є одна фахова публікація категорії Б, яка відображає результати дисертації. Публікації в достатній мірі висвітлюють результати досліджень дисертації.

Практичне значення результатів дослідження

Отримані результати можна використовувати при розрахунках суднокорпусних, цивільних і промислових будівельних конструкцій, що дозволить

скоротити час їх попереднього проектування. В рамках дисертаційних досліджень були розроблені методики: УКФА 360232.006М, УКФА 360232.007М, які впроваджені в ТОВ «МАРІН ДИЗАЙН ІНЖИНІРІНГ МИКОЛАЇВ». Дисертаційні напрацювання впроваджені в навчальний процес.

Дискусійні положення та зауваження до дисертації

Позитивно оцінюючи здобутки дисертанта, необхідно вказати наступні дискусійні положення, які вказані лише в рамках поставлених задач.

- 1) Редукційний коефіцієнт ψ_0 в перерізі CG (с. 134) є дещо надлишковим. Можна було б обійтися лише коефіцієнтом ψ_r в перерізі FB (с. 132). Тому що перерізи CG і FB знаходяться близько один від одного, а різниця між ψ_r і ψ_0 незначна.
- 2) Пояснення стосовно c до формули (4.18) (с. 100) є звуженим. Дивлячись на те, який параметр потрібно визначити з формули (4.18), величину c потрібно в одних випадках множити, а в інших ділити на вказаний коефіцієнт, який враховує погрішності емпіричних формул.
- 3) На сторінках 30 і 150 було вказано, що депланація фланця відбувається і в призматичних частинах вільного фланця на невеликому віддаленні від місць зламу. Як в цьому випадку визначати ефективну ширину з урахуванням того, що залежності для ефективної ширини дані строго для похилої частини?
- 4) При описі математичної моделі теорій пластичності явно не вказано, що ці моделі реалізовані в геометрично лінійній постановці. Цей висновок впливає лише після аналізу формул, які наведені у розділі 2, де описана ця математична модель.
- 5) В рамках дослідження пружно-пластичного деформування балки зі зломом кромки приділено увагу тільки вільному фланцю (розділ 6). При цьому нічого не сказано про розвиток пластичної зони в місці зламу стінки меншої висоти, де вона примикає до похилої частини, при сумісному деформуванні вільного фланця і стінки в пластичній стадії.
- 6) По тексту дисертації часто використовуються словосполучення: надійна та безпечна оцінка міцності. Що під цим треба розуміти?

7) В розділі «Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій» автореферату (с. 4) і дисертації (с. 11) фразу «Параметри пружно-пластичного деформування в концентраторі напружень балки-стілки були отримані ...» на мою думку необхідно доповнити словосполученням «і вільного фланця досліджуваної балки». Тому що розроблене програмне забезпечення застосовувалося для всіх пружно-пластичних розрахунків. Цю фразу потрібно було побудувати по іншому, згадавши лише програмне забезпечення.

8. В авторефераті на с. 13, 16, 19 є незначні пунктуаційні помилки.

Висловлені зауваження не зменшують наукову цінність дисертаційної роботи.

Висновок про відповідність дисертації вимогам

Дисертація Сокова Валерія Миколайовича «Міцність тонкостінної балки зі зломом кромки із врахуванням пружно-пластичних деформацій» є самостійним, оригінальним, завершеним науковим дослідженням. Автореферат в стислому вигляді повністю відображає всі основні результати та висновки дисертації. Автореферат відповідає пред'явленим вимогам.

За актуальністю, структурою, повнотою викладу матеріалу, аргументацією основних положень, новизною отриманих результатів дослідження відповідає вимогам п.п. 9, 11, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. (зі змінами), а його автор заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри машинознавства й інженерної механіки

Одеського національного морського університету

 А.В. Конопльов

Підпис А.В. Конопльова засвідчую

Вчений секретар Одеського національного

морського університету, доцент



 Т.О. Коробко