

КОНЦЕНТРАЦІЯ НАПРУЖЕНЬ В ВУЗЛАХ ФЕРМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ДВОТАВРІВ І ГНУТОЗВАРНИХ ЗАМКНЕНИХ ПРОФІЛІВ, ЩО ВИКЛИКАНА КОНСТРУКТИВНОЮ ФОРМОЮ

І.А. Височин, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

У статті розглядаються теоретичні й експериментальні дослідження НДС і концентрації напружень у зварних вузлах плоских решітчастих конструкціях з використанням у поясах широкополіх двотаврів, а в елементах решітки – гнutoзварних замкнених профілів.

На основі МКЕ проведено дослідження НДС і концентрації напружень у К-, Т-, V-, ТК – подібних зварних вузлах з поясом із ШПД і решіткою з ГСП з деталями посилення і без них. Виведені параметричні залежності теоретичного коефіцієнта концентрації напружень від геометричних параметрів профілів, що становлять вузли. Виведені параметричні залежності поправочних коефіцієнтів концентрації напружень від впливу: кутів нахилу решітки до поясу, вузлових ексцентриситетів з площини вузлів. Проведено експериментальні дослідження НДС і концентрації напружень К-, Т – подібних натурних вузлів. Визначені експериментальні й поправочні коефіцієнти концентрації напружень. Розроблена методика визначення коефіцієнтів концентрації напружень і НДС для К-, Т-, V-, ТК – подібних зварних вузлів з поясом із ШПД і решіткою з ГСП.

Постановка проблеми у загальному вигляді.

Дослідження напружено-деформованого стану (НДС) вузлів конструкцій завжди було актуальною задачею. Для статично навантажених конструкцій, що сприймають великі за значенням навантаження, можлива рання поява пластичних деформацій, що може призвести до втрати несучої здатності. Особливо важливо знати місця концентрації напружень для конструкцій, які піддаються динамічним діям і, отже, є небезпечними з позиції зародження втомної тріщини.

До таких конструкцій належать: важкі ферми прогонових будов мостів, підкраново-підкровоквняні ферми, опори і прогонові будови естакад технологічного устаткування, ферми транспортних галерей і т. ін. Тут доцільно застосовувати двотаври з паралельними гранями полиць (широкополі двотаври - ШПД) як поясні елементи, і гнutoзварні замкнені профілі (ГСП) як елементи решітки. Найпоширенішими з'єднаннями даних видів прокату є зварні Т-, V-, К- і ТК – подібні вузли.

Разом з перевагами використання даних профілів в таких з'єднаннях наявний істотний недолік – складний НДС і висока концентрація напружень у зоні з'єднання елементів решітки з поясами, які до цього часу не досліджені, а це, в свою чергу, стримує застосування таких конструкцій. Таким чином, вивчення НДС у зонах з максимальною концентрацією напружень у вузлах з поясом з ШПД і решіткою з ГСП є актуальними, а одержані результати становлять теоретичний і практичний інтерес.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідженню НДС і концентрації напружень у зварних вузлах з використанням ШПД і ГСП присвячені роботи Б.С. Цетліна, І.В. Левітанського, Ф.Ф. Кукліна, І.В. Зінкевича, А.В. Мухіна, Ю.В. Соболева, Е.Ф. Гарфа, Є.В. Горохова, С.В. Колесніченка.

Дослідженнями втомної міцності зварних вузлів решітчастих конструкцій займалися Е.Ф. Гарф, В.М. Горпінченко, А.Є. Литвиненко, Е.Я. Філатов.

Серед зарубіжних дослідників цими питаннями займалися: Я. Варденієр (J. Wardenier), Д. Дутта (D. Dutta), А. Хоббахер (A. Hobbacher), А.М. Вінгерде (A.M. Wingerde), Ю. Куробане (Y. Kurobane), Б. Ванг (B. Wang).

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

Метою дослідницької роботи є розробка методики визначення коефіцієнтів концентрації пружних напружень для вузлів плоских решітчастих конструкцій з поясами із ШПД і решіткою з ГСП.

При цьому вирішені наступні задачі:

- виконані чисельні дослідження НДС і концентрації напружень різних типів вузлів з ГСП і ШПД;
- визначені теоретичні залежності коефіцієнтів концентрації напружень від: геометричних параметрів профілів, що становлять вузли, кутів нахилу елементів решітки до поясу, вузлових ексцентриситетів з площини вузлів;
- встановлено вплив підкріплюючих вузлових деталей у вигляді похилих планок на НДС і концентрацію напружень у вузлах;
- експериментально досліджені НДС і концентрація напружень К-, Т – подібних вузлів кроквяної ферми при різних схемах навантаження;
- на підставі проведених експериментальних досліджень уточнені теоретичні коефіцієнти концентрації напружень;
- розроблена методика визначення коефіцієнтів концентрації напружень і геометричних напружень вузлів з поясами із ШПД і решіткою з ГСП.
- у розробці методики розрахунку коефіцієнтів концентрації пружних напружень для зварних

вузлів плоских ферм з поясом із ШПД і решіткою з ГСП;

- у розробці і розрахунку моделей К-, Т-, V-, ТК – подібних зварних вузлів за МКЕ;
- у постановці задач, розробці методики й аналізі результатів експериментальних досліджень НДС і концентрації напружень натурних зварних вузлів з поясом із ШПД і решіткою з ГСП;
- в обробці, систематизації і науковому аналізі результатів досліджень.

Формування цілей статті.

Розробити нову інженерну методику розрахунку коефіцієнтів концентрації напружень для визначення НДС К-, Т-, V-, ТК – подібних вузлів ферм із застосуванням ШПД і ГСП.

Результати досліджень рекомендується використовувати для:

- розрахунку НДС і визначення зон з максимальною концентрацією напружень зварних вузлів із застосуванням ШПД і ГСП;
- розробки заходів щодо зниження концентрації напружень у вузлах із застосуванням ШПД і ГСП.

Виклад основного матеріалу дослідження.

На основі МКЕ виконано дослідження НДС і концентрації напружень у К-, Т-, V-, ТК – подібних зварних вузлах з поясом із ШПД і решіткою з ГСП, з деталями посилення та без них. Вузли, що розглядалися, виконані за типовим альбомом 1.460.3-15 у складі ферми прольотом 24 м.

Моделювання і розрахунок вузлів проводилися з використанням програми SCAD, реалізованою в середовищі Windows, при пружній роботі матеріалу. Дослідження проводилися для об'ємного НДС у зоні термічного впливу, уздовж примикання решітки до поясів. Основні елементи вузлів (пояс і решітка) були змодельовані з об'ємних кінцевих елементів (прямокутний паралелепіпед, трикутна призма). До складу всіх типів вузлів входили ідеалізовані зварні шви, з катетами 5 і 6 мм, які моделювалися трикутною призмою з основами, рівними катетам швів. Елементи посилення вузлів (вертикальні ребра жорсткості, похилі планки) моделювалися з набору 3-х і 4-х вузлових оболонок - трикутної і прямокутної конфігурації. Полиці поясних двотаврів і стінки решітки ГСП всіх типів вузлів розбивалися на два шари рівної товщини, з метою відслідкувати зміну напружень за товщиною елементів.

При дослідженні НДС і концентрації напружень у вузлах розглядалися чотири розрахункові зони (рис. 1 – а, б): область «носків» (тупий кут примикання розкосів до пояса), область «щок» (стінки ГСП, паралельні стінці поясного ШПД), область «п'ят» (гострий кут примикання розкосів до пояса), область округлень ГСП. Дослідження проводилися за наступними розрахунковими контурами: А, В, С, Д (рис. 1 - в), що характеризуються точками переходу від зварних швів до основного металу, серединними і внутрішніми шарами стінок решітки.

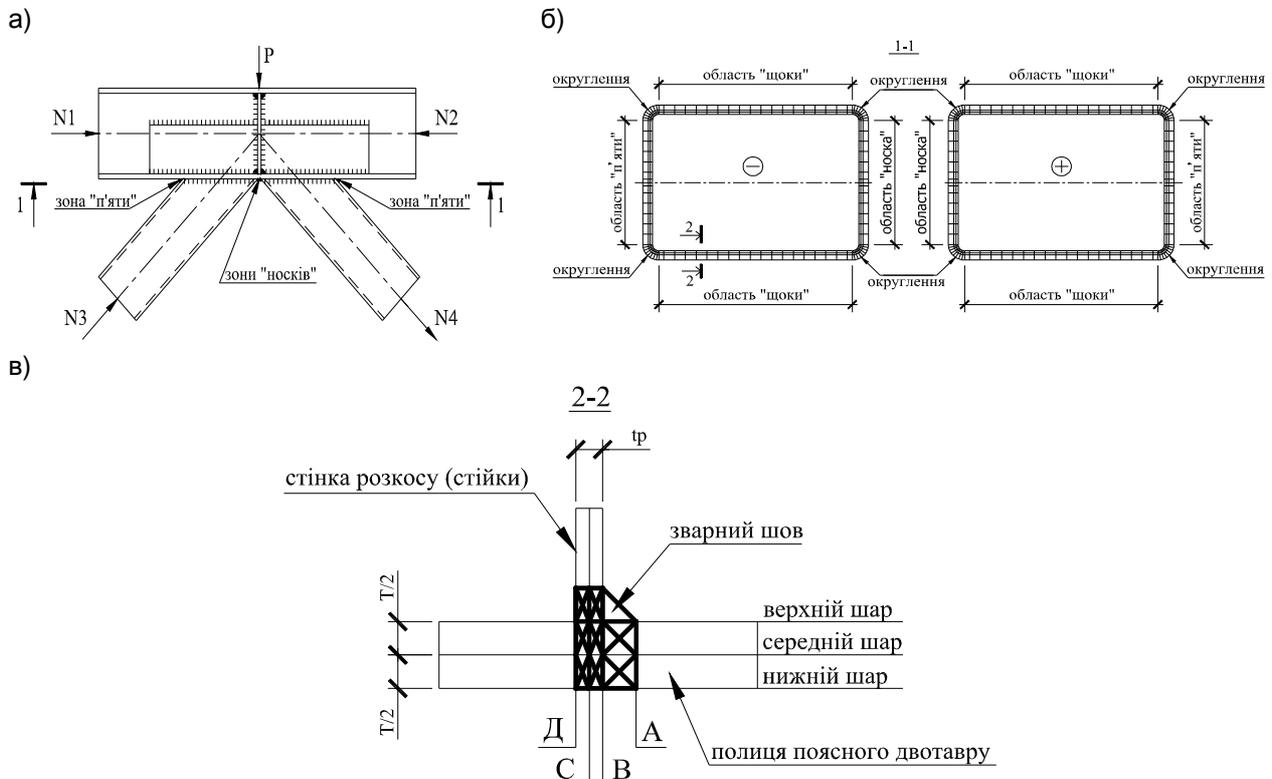


Рис.1. Схеми розрахункових зон вузлів (на прикладі К – подібного вузла)

Сітка кінцевих елементів була накладена так, щоб помилка отриманих результатів не перевищувала 5%, а згущування відбувалося в місцях з'єднання решітки з поясами у зоні термічного впливу. З метою дослідження впливу геометричних розмірів пояса й елементів решітки на НДС і концентрацію напружень у вузлах, до кожного типу вузлів входило 7 розрахункових моделей з профілями, що змінюються в поясах: I20K1, I20K2, I23K1, I23K2, I26K1, I26K2, I26K3.

Величина зовнішнього навантаження визначалася, виходячи з реально діючих навантажень на решітчасті конструкції і складала $P = 98,2$ кН у вузол. Розрахунок навантажень, які прикладалися до торців вузлів, проводився за елементарними формулами опору матеріалів як для стиснутих або розтягнуто-згинальних елементів.

Подовжні зусилля N і згинаючі моменти M визначалися на основі статичного розрахунку ферми з точковими жорсткими вузлами з урахуванням значної згинальної жорсткості елементів ферми.

Аналіз результатів розрахунку проводився в місцях найбільшої концентрації напружень - по розрахункових контурах А, В, С, Д, з розглядом головних напружень $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ й еквівалентних напружень за 4-ю енергетичною теорією міцності (Губера – Хенки – Мізеса) - $\sigma_{екв}^{IV}$.

Коефіцієнти концентрації напружень у небезпечних зонах визначалися за формулою:

$$\alpha_{\sigma} = \sigma_{екв}^{IV} / \sigma_{ном} \quad (1)$$

де $\sigma_{екв}^{IV}$ і $\sigma_{ном}$ – відповідно еквівалентні і номінальні напруження у небезпечній зоні.

За результатами чисельних досліджень встановлено:

- для всіх типів вузлів властивий вкрай нерівномірний розподіл напружень за периметром примикання елементів решітки до поясу. Наприклад, для К – подібного вузла без підкріплення напруження дорівнюють: в поясі $\sigma = 0,33 - 1,83R_y$; розкосах $\sigma = 0,31 - 1,69R_{wf}$ (де $R_y =$

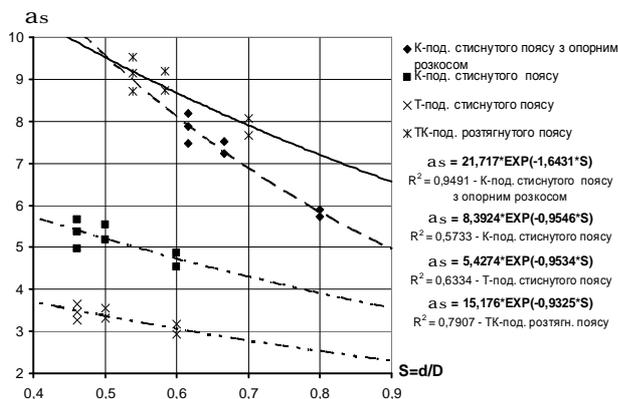


Рис. 2. Залежності коефіцієнтів концентрації напружень α_{σ} в полицях поясних двотаврів вузлів від відносної ширини решітки S . Вузли не підкріплено похилими планками

240 МПа, $R_{wf} = 215$ МПа – розрахункові опори відповідно до основного металу й металу зварного шва);

- найбільші напруження у всіх досліджених вузлах виникають у верхньому шарі полиці поясного двотавра в областях «носків» і «п'ят» решітки – в зоні примикання стінки до полиці поясу. Наприклад, для К – подібного вузла без підкріплення, напруження в області «п'яти» дорівнюють $\sigma = 1,83R_y$ і $\sigma = 1,69R_y$ відповідно для поясу і стиснутого розкосу;

- коефіцієнт концентрації напружень α_{σ} в поясних елементах залежить від відносної ширини розкосів $S = d/D$ (де d – ширина розкосу, D – ширина полиці поясу) за експоненціальним законом (рис. 2);

- для всіх типів вузлів коефіцієнт концентрації напружень α_{σ} в решітці залежить від відносної товщини полиці поясного двотавра $S = T/t$ (де T – товщина полиці, t – товщина стінки ГСП решітки) за степеним законом (рис. 3);

- серед всіх досліджених вузлів ферми найбільш напруженими виявилися елементи вузлів без похилих планок;

- похилі планки значно (в 1,16 – 2,32 рази) знижують рівень напружень в поясі й елементах решітки вузлів;

- значний вплив на концентрацію напружень в К – подібних вузлах надають кути нахилу розкосів до поясу - β . Із збільшенням кутів нахилу в межах $45 - 75^\circ$ відбувається зростання α_{σ} в 1,0 – 1,55 рази в поясі та в 1,0 – 1,20 рази в розкосах.

За підсумками досліджень виведені параметричні залежності теоретичного коефіцієнта концентрації напружень від геометричних параметрів профілів, що становлять вузли (рис. 2, 3; табл. 1). Для К- і Т – подібних вузлів виведені параметричні залежності поправочних коефіцієнтів концентрації напружень від впливу: кутів нахилу решітки до поясу (табл. 3), вузлових ексцентриситетів з площини вузлів (табл. 4).

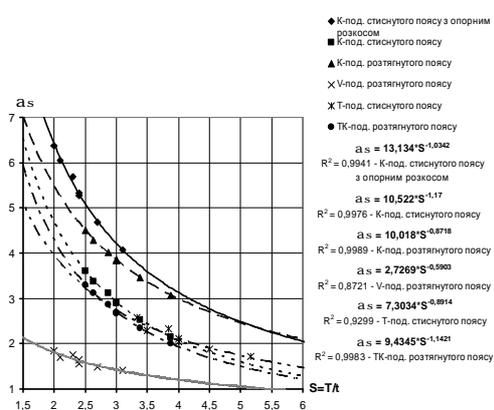


Рис. 3. Залежності коефіцієнтів концентрації напружень α_{σ} в решітці вузлів від відносної товщини полиці поясу S . Вузли не підкріплено похилими планками

Наводяться результати експериментальних досліджень НДС і концентрації напружень К- і Т – подібних вузлів. В якості об'єкта експериментальних досліджень прийняті натурні зразки вузлів типової металевої кроквяної ферми з паралель-

ними поясами із ШПД і решіткою з ГСП прольотом 24 м, виконаної за типовим альбомом 1.460.3-15 (рис. 4). Натурні зразки вузлів ферми були ідентичні розрахунковим моделям вузлів з масштабом 1:1.

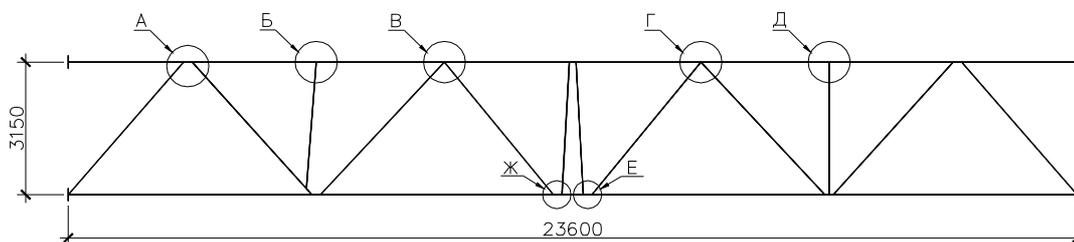


Рис. 4. Схема кроквяної ферми з описом досліджуваних типів вузлів

Для завантаження ферми використано метод спеціального навантаження. Навантаження на ферму прикладалося ступенями в середньому по 10,31 кН у вузол до максимального вузлового навантаження $P = 133,1$ кН. У процесі випробувань проводилося декілька завантажень.

Для вимірювання деформацій при випробуваннях використовувалися дротяні петлеві тензодатчики опору з базою 5 мм.

Зняття показань з тензодатчиків проводилося із застосуванням системи СИТ – 2 на 1000 каналів вимірювання. При цьому для кожного типу вузла визначені й порівняні з теоретичними дослідженнями:

- дійсне НДС в зоні з'єднання решітки з поясом;
- зони з максимальними пружними напруженнями і концентрацією напружень в місцях примикання елементів решітки до поясу;
- коефіцієнти концентрації напружень.

Експериментальні напруження порівнювалися з теоретичними, які визначалися за формулою для плоского НДС:

$$\sigma_{\alpha} = \sigma_x \cdot \cos^2 \alpha + \sigma_y \cdot \sin^2 \alpha - \tau_{xy} \cdot \sin 2\alpha \quad (2)$$

де σ_x, σ_y , – нормальні напруження в двох взаємно перпендикулярних напрямках; τ_{xy} – дотичні напруження; α – кут між напрямом наклейки тензодатчика і напрямом нормальних напружень σ_x, σ_y .

Нормальні (σ_x, σ_y) і дотичні (τ_{xy}) напруження визначалися в розділі 2 за підсумками розрахунку вузлів в програмі SCAD.

Визначення експериментальних коефіцієнтів концентрації напружень проводилося на підставі показань тензодатчиків, які були встановлені в найбільш напружених зонах вузлів, за формулою:

$$\alpha_{\sigma} = \sigma_x / \sigma_{ном} \quad (3)$$

де σ_x – місцеві осьові напруження, визначені за показаннями датчиків; $\sigma_{ном}$ – номінальні напруження (визначені як для стиснутих, так і для розтягнуто – згинальних елементів) в місцях наклейки датчиків.

На основі проведеного порівняння теоретичних й експериментальних коефіцієнтів концентрації напружень були одержані поправочні коефіцієнти γ_{α} (табл. 2), що уточнюють теоретичний коефіцієнт концентрації напружень.

Для всіх експериментально досліджених вузлів встановлено принциповий збіг НДС з теоретичними дослідженнями. Розходження, які виникли при порівнянні експериментальних і теоретичних досліджень, коливаються в межах 1,1 – 33,0 %.

Встановлено, що найбільші напруження в поясних елементах всіх досліджених вузлів виникають в областях «п'ят» і «носків» решітки – в зоні примикання стінки до полиці поясного двотавра у зварних швів, а також біля початку округлень цих областей.

Найбільші напруження в решітці виникають біля зварних швів, в областях «п'ят» і «носків» – в місцях примикання стінки до полиці поясного двотавра.

На підставі експериментальних досліджень уточнені теоретичні коефіцієнти концентрації напружень в К- і Т – подібних вузлах. Визначені поправки на розрахунок коефіцієнтів концентрації напружень у вигляді поправочного коефіцієнта γ_{α} .

Розроблено методику розрахунку коефіцієнтів концентрації пружних напружень і дійсних геометричних напружень в зоні з'єднання елементів решітки з поясом.

Порядок визначення коефіцієнтів концентрації напружень наступний:

1. Визначаються геометричні розміри профілів вузла;
2. Окремо для поясу і розкосів за параметричними формулами визначаються коефіцієнти концентрації напружень $\alpha_{\sigma}^{геом}$. Залежності коефіцієнтів $\alpha_{\sigma}^{геом}$ від геометричних параметрів для К- і Т – подібних вузлів наведені в табл. 1.
3. Остаточні коефіцієнти концентрації напружень визначаються:

- для К – подібних вузлів за формулою:

$$\alpha_{\sigma} = \alpha_{\sigma}^{геом} \cdot K(\beta) \cdot \gamma_{\alpha} \cdot K(e); \quad (4)$$

- для Т – подібних вузлів за формулою:

$$\alpha_{\sigma} = \alpha_{\sigma}^{geom} \cdot \gamma_{\alpha} \cdot K(e), \quad (5)$$

де α_{σ}^{geom} - коефіцієнт концентрації напружень, визначений за геометрією вузла, $K(\beta)$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив кута нахилу розкоса на концентрацію напружень, визначений за табл. 3; γ_{α} – поправочний коефіцієнт

концентрації напружень, який визначається за табл. 2; $K(e)$ - поправочний коефіцієнт, який враховує вплив зміщення решітки (в мм) на концентрацію напружень, визначений за табл. 4.

Таблиця 1

Визначення коефіцієнтів концентрації напружень α_{σ}^{geom}

Тип вузла	Елемент	Залежність	
		Вузли без похилих планок	Вузли з похилими планками
К – подібний стиснутого пояса	Пояс – стиснуто з двох боків	$\alpha_{\sigma}^{geom} = 8,3924 \cdot EXP \left[-0,9546 \cdot \left(\frac{d}{D} \right) \right]$	$\alpha_{\sigma}^{geom} = 4,9653 \cdot EXP \left[-1,1539 \cdot \left(\frac{d}{D} \right) \right]$
	«-» розкос	$\alpha_{\sigma}^{geom} = 10,522 \cdot \left(\frac{T}{t} \right)^{-1,17}$	$\alpha_{\sigma}^{geom} = 2,8702 \cdot \left(\frac{T}{t} \right)^{-0,7025}$
	«+» розкос	$\alpha_{\sigma}^{geom} = 9,2973 \cdot \left(\frac{T}{t} \right)^{-0,9237}$	$\alpha_{\sigma}^{geom} = 10,313 \cdot \left(\frac{T}{t} \right)^{-0,943}$
Т – подібний стиснутого пояса	Пояс – стиснуто з двох боків	$\alpha_{\sigma}^{geom} = 5,4274 \cdot EXP \left[-0,9534 \cdot \left(\frac{d}{D} \right) \right]$	-
	Стійка	$\alpha_{\sigma}^{geom} = 7,3034 \cdot \left(\frac{T}{t} \right)^{-0,8914}$	-

Примітка: T – товщина полиці поясного двотаєру; t – товщина решітки; d – ширина решітки; D – ширина полиці поясного двотаєру.

4. Для кожного елемента вузла окремо проводиться розрахунок локальних геометричних напружень за формулою:

$$\sigma_{лок} = \sigma_{ном} \cdot \alpha_{\sigma}, \quad (6)$$

де $\sigma_{ном}$ – номінальні напруження в елементі вузла, визначені при розрахунку решітчастих конструкцій за жорсткою схемою, з використан-

ням елементарних формул опору матеріалів; α_{σ} – коефіцієнт концентрації напружень.

5. При визначенні НДС і геометричних напружень за допомогою МКЕ розміри кінцевих елементів в зонах з'єднання решітки з поясом необхідно назначати в межах 1,0 – 2,0· k_f (де k_f – катети зварних швів, що прикріплюють елементи решітки до поясу).

Таблиця 2

Значення поправочних коефіцієнтів концентрації напружень γ_{α} для різних типів вузлів

Тип вузла	Елемент	Коефіцієнт γ_{α}	
		Вузли без похилих планок	Вузли з похилими планками
К – подібний стиснутого пояса	Пояс	1,21	1,25
	Розкоси	1,0	1,0
Т – подібний стиснутого пояса	Пояс	1,20	-
	Стійка	1,12	-

Таблиця 3

Залежності поправочних коефіцієнтів концентрації напружень $K(\beta)$ в елементах К – подібного вузла від кутів нахилу β

Елемент	Місцезнаходження	Залежність
Стиснутий пояс	Під «п'ятою» «-» розкоса	$K(\beta) = 0,8439 \cdot Ln(\beta) - 2,194$
	Під «носком» «-» розкоса	$K(\beta) = 0,5576 \cdot EXP(0,0137 \cdot \beta)$
«-» розкос	«П'ята»	$K(\beta) = 0,4093 \cdot Ln(\beta) - 0,6029$
	«Носок»	$K(\beta) = 3,8344 \cdot \beta^{-0,3304}$
«+» розкос	«Носок»	$K(\beta) = -0,00008 \cdot \beta^2 + 0,009 \cdot \beta + 0,7539$
	«П'ята»	$K(\beta) = 0,4815 \cdot Ln(\beta) - 0,8731$

Примітка: кут β – в градусах; при $\beta = 45^\circ$ - $K(\beta) = 1,0$.

Таблиця 4

**Залежності поправочних коефіцієнтів концентрації напружень $K(e)$
від величини ексцентриситету (зміщення) решітки з площини вузла - e**

Тип вузла	Елемент вузла	Місцезнаходження	Залежність
К	Пояс	Під «п'ятою» «-» розкоса	$K(e) = 0,0001 \cdot e^2 + 0,00006 \cdot e + 0,9919$
		Під «носком» «-» розкоса	$K(e) = 0,001 \cdot e^2 + 0,0063 \cdot e + 0,9969$
	«-» розкос	«П'ята»	$K(e) = 0,0002 \cdot e^2 - 0,0012 \cdot e + 0,9919$
		«Носок»	$K(e) = 0,0006 \cdot e^2 + 0,0255 \cdot e + 0,998$
	«+» розкос	«Носок»	$K(e) = 0,0006 \cdot e^2 + 0,0006 \cdot e + 1,0051$
		«П'ята»	$K(e) = 0,0009 \cdot e^2 + 0,0024 \cdot e + 0,9996$
Т	Пояс	-	$K(e) = 0,0001 \cdot e^2 + 0,0036 \cdot e + 0,9967$
	Стойка	-	$K(e) = 0,0002 \cdot e^2 + 0,0024 \cdot e + 0,9965$
Примітка: величина e – в мм; при $e = 0$ мм - $K(e) = 1,0$.			

Висновки.

1. На підставі теоретичних й експериментальних досліджень для розглянутих типів вузлів розроблено інженерну методику розрахунку коефіцієнтів концентрації пружних напружень в залежності від: геометричних розмірів елементів вузлів, кутів нахилу решітки до поясів та величин ексцентриситетів решітки з площини вузлів.

2. У результаті чисельних досліджень К-, Т-, V-, ТК – подібних моделей зварних вузлів ферми з поясом із ШПД і решіткою з ГСП встановлено їх НДС. Встановлено, що підкріплюючі елементи в 1,2 – 2,3 рази знижують рівень напружень. Визначені зони з максимальною концентрацією напружень у вузлах. Найбільша концентрація напружень виникає в невідкріплених К- і ТК – подібних вузлах по зонах «п'ят» і «носків».

3. Встановлено, що коефіцієнти концентрації пружних напружень залежать:

- в поясних елементах - від відносної ширини розкосів $S = d/D$ (де d – ширина розкосу, D – ширина полиці пояса) за експоненціальним законом;
- в елементах решітки - від відносної товщини полиці поясного двотавра $S = T/t$ (де T – товщина полиці, t – товщина стінки ГСП решітки) за степеним законом.

Із зростанням параметрів S відбувається зниження коефіцієнта концентрації напружень.

Із зростанням кутів нахилу решітки до поясів і величини ексцентриситету решітки із площини вузлів відбувається зростання коефіцієнта концентрації напружень.

4. У результаті експериментальних досліджень натурних вузлів кроквяної ферми виявлено

їх дійсний НДС. Виконано порівняння експериментальних напружень з теоретичними. Визначені нові поправки (0,88 – 1,25) до теоретичних коефіцієнтів концентрації напружень для К- і Т – подібних вузлів.

5. З метою зниження концентрації напружень у зварних вузлах з поясами із ШПД і решіткою з ГСП необхідно:

- при проектуванні ферм призначати кути нахилу решітки до поясів у межах 30 - 60°;
- при виготовленні ферм необхідно запобігати появи вузлових ексцентриситетів з площини вузлів;
- виконувати якісні зварювальні роботи автоматом або напівавтоматом у захисних середовищах (під флюсами, в середовищі захисних газів) з контролем зварних швів;
- застосовувати посилення вузлів шляхом встановлення підкріплюючих пояс деталей – вертикальних ребер жорсткості та похилих планок;
- здійснювати зачищення метала зварних швів для забезпечення плавного переходу від зварних швів до основного металу елементів вузлів.

6. Розроблена методика розрахунку коефіцієнтів концентрації пружних напружень дозволяє проводити розрахунок дійсного НДС вузлів, визначати ділянки з максимальними напруженнями і застосовувати отримані результати: при проектуванні ферм з поясами із ШПД і решіткою з ГСП, для оцінки технічного стану конструкцій та розрахунку їх втомної довговічності.

Список використаної літератури:

1. Розрахунок вузлів плоских решітчастих конструкцій з використанням круглих труб і гнutoзварених замкнутих профілів на міцність і витривалість за сучасними нормами / Є.В. Горохов, С.В. Колесніченко, А.М. Миронов, С.С. Аноприєнко. // Металеві конструкції. – Том 3. - №1. - 2000. – С. 67-77.

2. Динамические испытания и диагностика бункерной этажерки / А.М. Югов, С.В. Колесниченко, Д.В. Левченко, А.С. Васильев, Ю.П. Некрасов, А.Н. Миронов, Е.В. Денисов, С.С. Аноприенко. // Вісник ДонДАБА. – вип. 2001 – 4(29). Том 2. - С. 47-53.

3. Колесниченко С.В., Миронов А.Н. Влияние геометрических параметров на напряженно-деформированное состояние и концентрацию напряжений Т-образных узлов с поясом из широкополочного двутавра и решеткой из гнутосварных замкнутых профилей // Металеві конструкції. – Том 4. - №1. - 2001. – С. 55-59.

4. Колесниченко С.В., Миронов А.Н. Напряженно-деформированное состояние сварных бесфасоночных узлов с использованием широкополочных двутавров и гнутосварных замкнутых профилей // Вісник ДонДАБА. – Вип. 2003 – 2(39) - Том 1. - С. 107-115.

В статье рассматриваются теоретические и экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния и концентрации напряжений в сварных узлах плоских решетчатых конструкций с применением в поясах двутавров с параллельными гранями полоч, а в решетке - гнутосварных замкнутых профилей.

На основе МКЭ проведено исследование НДС и концентрации напряжений в К-, Т-, V-, ТК – образных сварных узлах с поясом из ШПД и решеткой из ГСП с деталями усиления и без них. Выведены параметрические зависимости теоретического коэффициента концентрации напряжений от геометрических параметров профилей, составляющих узлы. Для К- и Т – образных узлов выведены параметрические зависимости поправочных коэффициентов концентрации напряжений от влияния: углов наклона решетки к поясу, узловых эксцентриситетов из плоскости узлов.

Приводятся результаты экспериментальных исследований НДС и концентрации напряжений К- и Т – образных узлов. Исследования проведены на натурных сварных узлах, входящих в состав статически определимой фермы пролетом 24 м при шести различных схемах загрузки, имитирующих подвижную нагрузку.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана методика определения коэффициентов концентрации напряжений и действительных геометрических напряжений в зоне соединения решетки с поясом К-, Т-, V-, ТК – образных сварных узлов с поясом из ШПД и решеткой из ГСП.

Theoretical and experimental investigations of stress-strain condition for welded joints of planar trusses with H-beams chords and rectangular hollow sections as trellis have been considered in the thesis.

On the basis of FEM analysis the stress-strain conditions also as stress concentration for K-, T-, V-, TK – shaped welded joints with H-beams and rectangular hollow sections with and without reinforcements were investigated. Parametrical formulae for correction factors depend of trellis incline members angles and joint eccentricity in plane and out-of-plane were found. Experimental investigations of stress-strain conditions for K- and T– shaped real joints also have been determined. Experimental and correction factors for stress concentration were defined. System for determination of stress concentration factors and stress-strain distribution for K-, T-, V-, TK – shaped welded joints with H-beams chord and rectangular hollow sections has prepared.

Key words: welded joints, finite element method, stress-strain condition, stress concentration.

Дата надходження в редакцію: 04.05.12 р.

Рецензент: д.т.н., професор Фомиця Л.М.

УДК 69.04; 624.046.4

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЖЕСТКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ СЛОЖНОМ КОМПЛЕКСНОМ ЗАГРУЖЕНИИ

В.В. Душин, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

А.П. Мартиненко, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

В статье рассмотрены расчетные схемы для определения жесткости железобетонных элементов прямоугольного сечения при загрузении комплексной нагрузкой.

Постановка проблемы в общем виде. Необходимость в методике определения жесткости элементов в рассматриваемых условиях внешнего воздействия вызвана потребностью вычисления в ряде случаев углов закручивания элемен-

тов конструкций, но главным образом для выполнения статического расчета плоских и пространственных систем, в которых действуют крутящие моменты. Как известно, специфические свойства железобетона (тем более для случаев