

АНАЛІЗ РОЗРАХУНКУ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРОМІЖНОГО ВУЗЛА СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ РАМ

© Семко О.В., Гасенко А.В., 2010

Досліджено вплив розміру скінченно-елементної сітки на моделювання напружено-деформованого стану проміжного вузла трубобетонної колони та сталезалізобетонного ригеля. Виявлено характер розвитку та місця із максимальними напруженнями і деформаціями.

Ключові слова: напружено-деформований стан, сталезалізобетонні конструкції, метод скінченних елементів.

Explored influence of size of certainly element net on the design of the tensely deformed state of intermediate knot of concrete filled steel tubes column and steel-concrete beams. Found out character of development and place with maximal tensions and deformations.

Keywords: the strain-deformation condition, steel-concrete composite structures, method of eventual elements.

Постановка проблеми. Розвиток впровадження комплексних збірно-монолітних сталезалізобетонних конструкцій із застосуванням трубобетонних колон, ригелів з листового металу та збірних ребристих залізобетонних панелей певною мірою гальмується через відсутність в Україні нормативних документів з розрахунку статично невизначених рамних систем, які утворюються після зварювання вузлів та замоноличування стиків. Розрахунки й проектування каркасів із сталезалізобетону ведуться переважно згідно з чинними СНиП II-23-81* [5], СНиП 2.03.01-84* [6], СНиП 2.05.03-84 [7] та посібниками і рекомендаціями до них. У західноєвропейських країнах при проектуванні сталезалізобетонних конструкцій керуються Eurocode 4 [8]. Використання потужнішої обчислювальної техніки за допомогою прикладних програм дає можливість реально моделювати роботу складних сталезалізобетонних конструкцій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблема влаштування стиків актуальна для несучих конструкцій із будь-яких будівельних матеріалів, зокрема із трубобетону. Робота вузлів сталевих колон з балками вивчена досить глибоко [2, 5]. Проте актуальною проблемою при проектуванні багатоповерхових будівель залишається зменшення товщини перекриття, а отже, і вузла колони з елементами перекриття [4]. Сучасне проектування вимагає підвищення надійності, економічності та технологічності будівельних конструкцій загалом та їх вузлів. Використання трубобетонних колон у каркасах громадських будівель задовольняє вказані вище вимоги [1]. Тому виникає необхідність конструювання та дослідження нових типів вузлів поєднання трубобетонних колон з балками перекриття [4].

Конструктивне рішення стиків трубобетонних конструкцій повинно забезпечити їх міцність, жорсткість, довговічність та надійне передавання зусиль [1, 4]. Сполучення трубобетонних елементів виконується за допомогою прямого або фігурного вирізу, який обварюється електрозваркою по контуру без будь-яких додаткових фасонних деталей. Обробка торців труб у цьому випадку обов'язкова та виконується на універсальних установках для фігурного різання труб. Для виготовлення стиків також з успіхом можна використовувати болтове з'єднання елементів за допомогою фланців. При цьому треба ретельно загладжувати бетон у торцях з'єднувальних деталей. Такий стик застосовується для збірно-розбірних конструкцій.

Метою статті є аналіз результатів розрахунку методом скінченних елементів напружено-деформованого стану вузлів з'єднання сталезалізобетонних ригелів з трубобетонною колоною каркасів промислових чи цивільних будівель та виявлення впливу різних розмірів скінченно-елементної сітки на точність розрахунку.

Виклад основного матеріалу. Дослідження виконувалося для проектування адміністративного будинку із торгово-офісними приміщеннями. Отриманий результат довів ефективність та доцільність впровадження запропонованого вузла. Отже, об'єктом досліджень у цій роботі був реальний вузол сталезалізобетонного каркасу. На рис. 1 показаний досліджуваний вузол під час виконання зварювальних робіт сталевого каркаса ригеля до трубобетонної колони на будівельному майданчику. На рис. 2 наведено креслення вузла.



Рис. 1. Вузол примикання сталезалізобетонного ригеля до трубобетонної колони під час монтажу

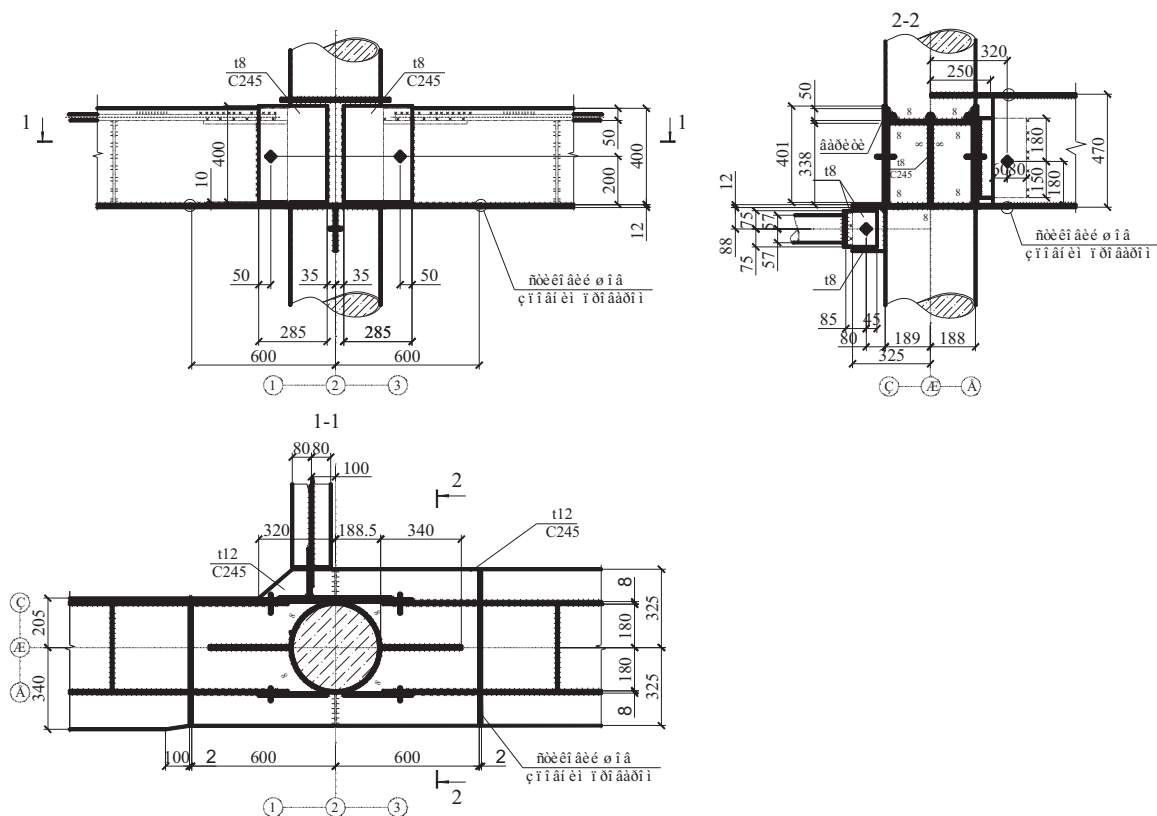


Рис. 2. Вузол рамної конструкції

Моделювання напружено-деформованого стану (НДС) моделей зразків було виконано за допомогою програмного комплексу скінченно-елементного аналізу NASTRAN. Геометрична модель досліджуваного вузла створювалася у програмі для креслень AutoCAD. Сталева та бетонні частини створювалися окремо. Потім виконувався імпорт об'ємної геометричної моделі вузла (див. рис. 3) безпосередню у програму числового розрахунку НДС. Виконувався контроль геометричних характеристик створеного плоского комбінованого перерізу: площі, положення центра ваги, моментів інерції, моментів опору і радіуса інерції відносно головних осей.

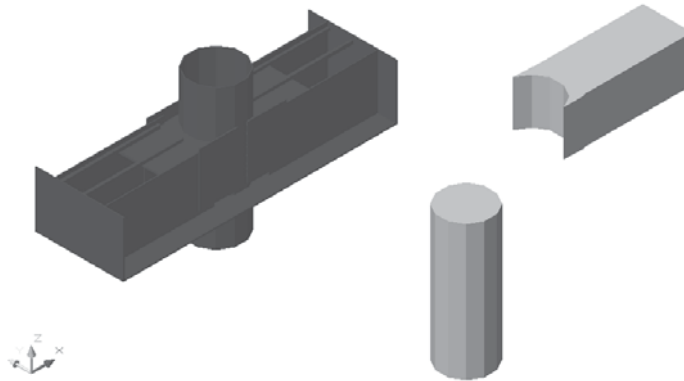


Рис. 3. Об'ємна модель вузла зі сталі та окремо бетонні елементи

Наступним кроком моделювання після створення геометричної моделі є створення якісної скінченно-елементної сітки. При розрахунку дуже велике значення має симетрична сітка, оскільки в іншому випадку розподіл напружень і пластичні деформації матимуть несиметричний вигляд. При виборі типу та розмірів скінченних елементів, на які ділилась утворена модель, враховано час створення об'ємної скінченно-елементної сітки, необхідний дисковий простір для здійснення персональним комп'ютером розрахунку, точність та збіжність отриманих результатів при розрахунку моделей, розбитих різними елементами. Після виконання серії розрахунків однієї і тієї самої моделі, розбитої різними об'ємними елементами (гексаедрами чи тетраедрами із стороною від 0,5 до 10 % від найбільшого габаритного розміру зразка), та після порівняння збіжності отриманих результатів, вирішено ділити модель на тетраедри зі стороною, яка дорівнює приблизно 1/10 висоти перерізу елемента модельованого вузла. При таких розмірах скінченно-елементної сітки відхилення від середнього значення напружень, розрахованого за результатами всіх розрахунків, становить до 1,5 %, а необхідні ресурси персонального комп'ютера для виконання розрахунку майже однакові порівняно з більшою сіткою. Після розділення об'ємних деталей модельованого вузла на скінченні елементи здійснювали об'єднання вузлів, що збігаються, на гранях сталі та бетону.

Матеріали моделі – сталь і бетон – задавали окремо як пружно-пластичні ізотропні матеріали. Для матеріалів задані такі механічні характеристики: модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона, модуль зсуву, характеристики міцності (межа текучості для сталі, межа міцності на стиск та розтяг для бетону), питома вага матеріалів. Задані властивості матеріалів присвоювалися відповідним частинам вузла.

Відповідно до розрахункової схеми прикладене навантаження до вузла було рівномірно-розподілене по довжині ригеля навантаження. При дії такого навантаження внутрішні зусилля у вузлі такі: згинаючий момент на балку – 135 кНм, поздовжня сила, що діє на колону, – 370 кН. Тому прикладеними навантаженнями до вузла були: два згинаючі моменти, прикладені до частин балок, та поздовжня сила, прикладена до верхнього торця колони. Нижній частині колони було заборонено поступальні й обертальні переміщення по всіх трьох осях.

У результаті виконання розрахунків напружено-деформованого стану досліджуваного вузла методом скінченних елементів за допомогою електронно-обчислювальних машин були отримані графіки розподілу відносно головних осей величин деформацій і напружень на поверхні моделей. Виконано детальний аналіз місць концентрації напружень у моделі вузла. Вигляд моделі вузла після деформування показано на рис. 4 (умовно для наочності рисунка масштаб деформування збільшено). На стовпчику показана величина деформацій у метрах.

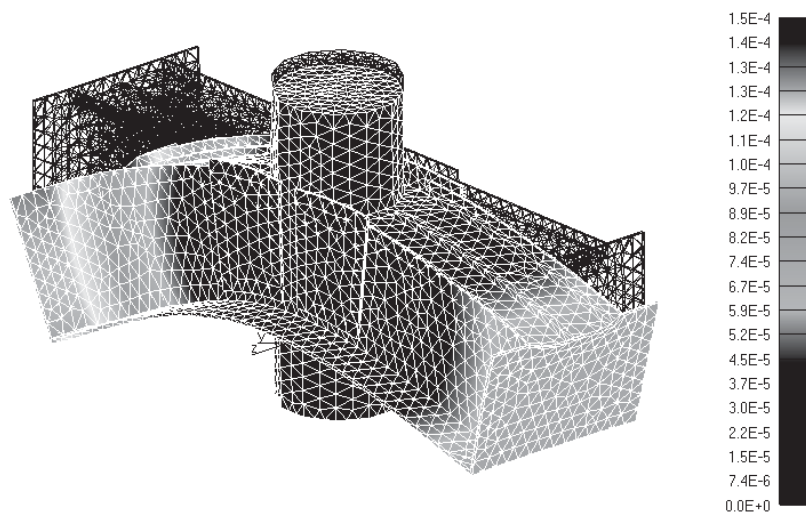


Рис. 4. Схема деформування вузла

Виконано аналіз нормальних та дотичних напружень по всіх головних осях моделі вузла. Аналізуючи нормальні напруження по осі x (поздовжня вісь балки), відзначено концентрацію розтягуючих напружень у фасонних листах, що приєднують стінки полиці ригеля до трубобетонної колони. Порівняно з напруженнями в інших частинах вузла, концентрація напружень у верхніх розтягнутих зварних швах приєднання листа балки до фасонного листа, що виготовлена на заводі разом з колоною, у декілька разів більші.

Діаграма розподілу дотичних напружень у площині xy (перпендикулярній до поздовжньої осі колони) свідчить про значну концентрацію напруження у зварних швах фасонки накладок, тому на ці шви необхідно звертати пильну увагу і контролювати якість їх виконання.

Розподіл дотичних напружень у площині xz свідчить про концентрацію напружень на межі контакту сталі з бетоном. Це можна пояснити різним коефіцієнтом деформацій двох матеріалів – сталі та бетону.

Аналізуючи нормальні напруження по осі z (поздовжній осі колони) бачимо, що напруження від стискаючої сили у колони та напруження від згинаючого моменту у балках у місцях приєднання до колони майже однакові. Це свідчить про оптимальність вибраних геометричних розмірів вузла. На рис. 5 показано розподіл головних напружень на поверхні вузла.

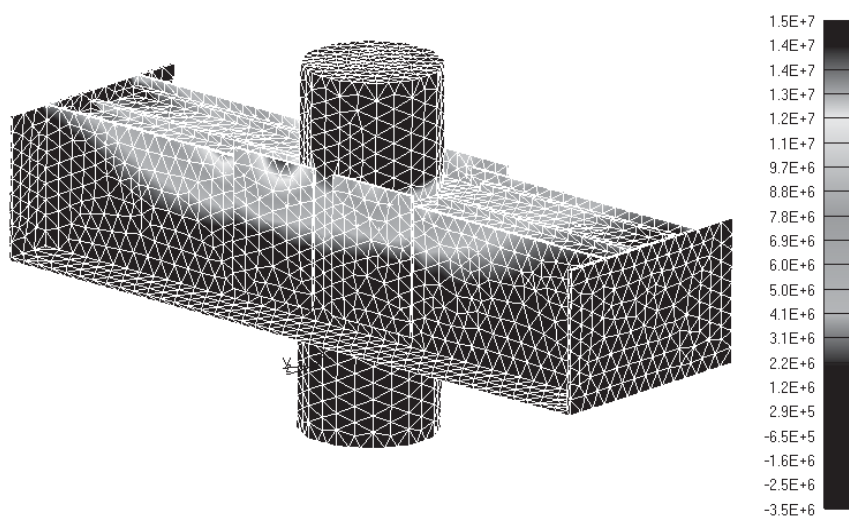


Рис. 5. Розподіл головних напружень на поверхні вузла

Під час аналізу отриманих результатів деформацій вузла особливу увагу привертають деформації вздовж вісі z , оскільки навантаження також прикладене вздовж цієї осі. Максимальне переміщення становить 1,4 мм.

Під дією згинальних моментів ригелі зміщуються вниз по осі z . У тому самому напрямку зміщуються вузли колони під дією стискаючого навантаження. Переміщення точок вузла розподіляються від колони по довжині ригелів залежно від величини прикладеного навантаження.

Проаналізувавши деформації окремо по осях, а також максимальні загальні деформації, можна сказати, що вони підтверджують висновки, зроблені за напруженнями, оскільки максимальні деформації виникли у фасонках накладки. При рівномірному розподіленому навантаженні на балки максимальні загальні деформації досягають 0,15 мм (див. рис. 4).

Зважаючи на те, що навантаження прикладалося покроково з певним інтервалом, у результатах аналізу вузла є проміжні результати напружень і деформацій. Отже, можна побудувати залежності між навантаженнями, напруженнями і деформаціями. Аналізуючи побудовані графіки, виявлено, що вузол працює у лінійній стадії без виникання пластичних деформацій сталі і крихкості бетону (див. рис. 6).

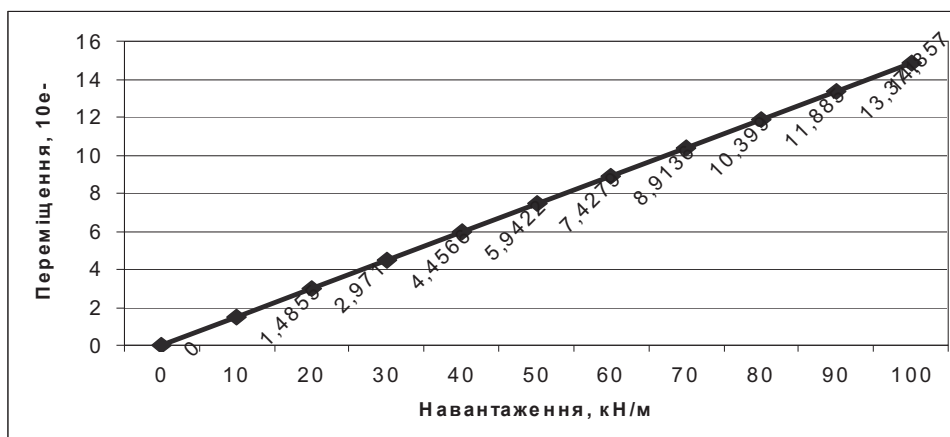


Рис. 6. Залежність максимального переміщення частин вузла від прикладеного рівномірного навантаження

Висновки. Під час порівняння збіжності отриманих результатів при розрахунку моделей вузла, розбитих об'ємними скінченими елементами із різними розмірами, вирішено розділити моделі зразків на тетраедри зі стороною приблизно 1/20 висоти перерізу елемента модельованого вузла.

Розрахунок вузла сталезалізобетонного ригеля з трубобетонною колоною реальних конструкцій каркаса громадської будівлі за допомогою програмних комплексів скінченно-елементного аналізу у тривимірній постановці встановив розподіл напружень на поверхні вузла. Місцями концентрації напружень виявилися місця приєднання фасонного накладного листа до ригеля, а також зварні шви, що з'єднують вказані елементи. Тому під час монтажу сталезалізобетонного ригеля до колони необхідно ретельно контролювати якість виконання зварних швів фасонного листа до ригеля.

1. Воскобійник С.П. Напружено-деформований стан вузлів з'єднання трубобетону з залізобетоном при позацентровому стиску та згину: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Воскобійник С.П. – Полтава, 2002. – 150 с. 2. Клыков В.М. Экспериментально-теоретические исследования рамных узлов конструкций из гнутых профилей / В.М. Клыков, Г.Я. Эстрин // Вопросы совершенствования строительства. – Донецк, 1971. – С. 31–40. 3. Семко О.В. Экспериментально-теоретичне дослідження безфасонних вузлів із швелерів / О.В. Семко, А.В. Гасенко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне : НУВГтаП, 2008. – Вип. 16. – С. 338–344. 4. Семко О.В. Особливості конструювання і розрахунку вузлів сталобетонних колон з швелерів / О.В. Семко, А.В. Гасенко // Будівельні конструкції : зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2006. – Вип. 65. – С. 183–186. 5. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с. 6. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 88 с. 7. СНиП 2.05.03-84. Мосты и трубы. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 81 с. 8. Eurocode 4. Common Unified Rules for Composite Steel and Concrete Structures European Committee for Standardization. (CEN) ENV. 1994-1-1: 1992. – 180 p.