

УДК 624.53(045)

**Лапенко О.І.¹¹, д.т.н., проф.,
Скрєбнєва С.М. к.т.н., доцент
Скрєбнєва Д.С. асистент**

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ З ПРОФІЛЬОВАНИМ НАСТИЛОМ

Запропоновано методика чисельного моделювання напружено-деформованого стану сталезалізобетонних плит з профільованим настилом, з урахуванням особливості їх геометрії та роботи під навантаженням.

Ключові слова: напружено-деформований стан, сталезалізобетон, комбіновані плити з профільованим настилом, метод скінчених елементів.

Постановка проблеми. Актуальною проблемою сучасного будівництва є необхідність адаптуватися до потреб ринку в умовах швидких змін в економіці. Тому на зміну масивним залізобетонним конструкціям приходять більш легкі, менш матеріало- та енергоємні і швидкі у монтажу, зокрема, сталезалізобетонні конструкції. Сьогодні сталезалізобетонні комбіновані плити із профільованим настилом отримали широке використання в практиці нового будівництва та при реконструкції будівель промислового та цивільного призначення.

Сталезалізобетонні комбіновані плити з профільованим настилом являють собою неоднорідні композитні конструкції. Тому необхідно мати надійні та доведені до практичного застосування методи їх розрахунку, які б ураховували неоднорідну структуру елементів конструкцій, реальні схеми навантаження, крайові умови тощо. Від урахування цих факторів залежить коректність визначення параметрів напружено-деформованого стану (НДС) таких конструктивних елементів. При цьому параметри НДС суттєво залежать від впливу деформацій поперечного зсуву, і як наслідок –

¹¹ © Лапенко О.І., Скрєбнєва С.М., Скрєбнєва Д.С.

депланції поперечних перерізів. Тому модель деформування плит, яка базується на гіпотезі плоских перерізів, може виявитися непридатною для розрахунку плит з неоднорідною або композитною будовою поперечного перерізу. Отже, є актуальним точний розрахунок таких конструкцій, що потребує застосування уточнених або зсувних моделей, які враховують деформації поперечного зсуву та неоднорідність будови плитного елемента по перерізу.

Огляд останніх джерел і публікацій. Існує безліч програмних комплексів, що реалізують розрахунок напружено-деформованого стану методом скінчених елементів, найбільш поширеним та потужним є ЛПРА, яку звичайно використовують для інженерних розрахунків. ЛПРА має можливості, які добре підходять для наукових досліджень, у тому числі різноманітні моделі скінчених елементів, нелінійностей, контакту матеріалів і та ін. Саме цьому було вирішено проводити розрахунки за методом скінчених елементів у програмному комплексі ЛПРА.

Постановка завдання. Основною метою є дослідження впливу залізобетонної частини комбінованої плити із профільованим настилом на міцність та деформативність конструктивного елемента в цілому. Розробити пропозиції щодо методики чисельного моделювання роботи сталезалізобетонних комбінованих плит із профільованим настилом за допомогою методу скінчених елементів.

Основний матеріал. Передумовою чисельного моделювання НДС сталезалізобетонних плит з профільованим настилом є наявність контактної шару між бетоном та профнастилом, з метою змодельовати розшарування та вивчити його вплив на параметри НДС плит.

При моделюванні навантажень використали наступні припущення: 1) вважали, що навантаження на профнастил і плиту ПМ-1 є рівномірно розподіленим; 2) навантаження, які в експериментальних дослідженнях передавалися через дошки моделювалися за допомогою абсолютно жорстких СЕ, так як по відношенню до сталезалізобетону дошка буде абсолютно жорстким тілом, що має набагато більшу міцність і жорсткість.

Місця прикладання навантажень, їх величина і конфігурація відповідали експериментальним. До профнастилу і плити ПМ-1 прикладали рівномірно розподілене навантаження; в усіх інших випадках – зосереджені навантаження через абсолютно жорсткі СЕ елементи. На рис.1 показано як прикладалося навантаження на профнастил.

Абсолютно жорсткий СЕ

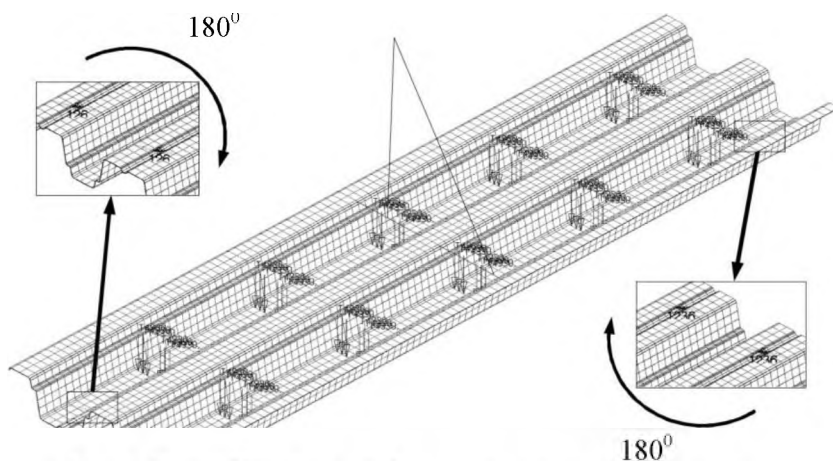


Рис. 1. Повні СЕ моделі профнастилу у положенні позитив

До нижніх поверхонь (западин) профнастилу (положення позитив) прикладали сумарне навантаження величиною $F=1232,5$ Н на кожну поверхню западини. Це навантаження автоматично рівномірно розподілялося між вузлами поверхні засобами ЛПА. Кількість западин у профнастилі – 4, відповідно, загалом прикладалося 4930 Н, що відповідає експерименту. У положенні негатив навантаження величиною 4911,5 Н прикладалося одразу на всі поверхні.

У випадку плити ПМ-1 до верхньої площини сталезалізобетону прикладали рівномірно розподілене по площині навантаження амплітудою $p = 26269$ Н/м². Площа верхньої площини дорівнювала $A = 0,45$ м². Таким чином загальне навантаження складало 11821 Н.

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1 (20) 2018

У експерименті до плит ПМА-1...ПМА-5 приклали зосереджені навантаження через дошки, що розташовувалися на верхній поверхні сталезалізобетону. Для моделювання таких умов прикладання навантажень застосовували АЖСЕ. Для цього у точках, що відповідали місцям прикладання зосереджених сил, будували повідний вузол. Для зручності накладання АЖСЕ цей вузол розташовували на незначній відстані від верхньої площини плити. Після цього утворювали АЖСЕ, поєднуючи повідний вузол з декількома веденими, що належали верхній площині плити. Кількість і розташування ведених вузлів відповідали габаритам дощок у експериментах. Після утворення АЖСЕ до їх повідних вузлів приклали відповідні зосереджені навантаження.

Сумарні величини навантажень були наступними: для плити ПМА-1:–16480 Н; для плити ПМА-2:–21480 Н; для плити ПМА-3:–18840 Н; для плити ПМА-4: –13480 Н; для плити ПМА-5:–12480 Н.

Опорні вузли усіх плит і профнастилу моделювалися за допомогою АЖСЕ. Процедура утворення АЖСЕ була аналогічною до утворення АЖСЕ при моделюванні навантажень. Відмінності полягали в тому, що повідний вузол розташовувався на рівні крайньої нижньої поверхні; повідний вузол поєднувався із веденими вузлами крайньої нижньої поверхні плит; замість сили у повідному вузлі розташовували опору із відповідними ступенями вільності.

В усіх випадках для опор приймалися наступні ступені вільності: з однієї сторони моделі опора забороняла лінійні переміщення вздовж осей x , y , z і кутове переміщення навколо осі z ; з другої сторони опора забороняла переміщення по осях x і y і кутове переміщення навколо осі z (рис. 1).

Під час попередніх розрахунків були з'ясовано деякі недоліки моделей. По-перше, після розшарування матеріали працювали окремо одне від одного, а це приводило до того, що у зонах опорних вузлів залізобетон опускався нижче профнастилу і опор. По-друге, у вертикальній і горизонтальній арматурі виникали незначні (практично нульові) крутні моменти, які нічим не компенсувалися,

які спричиняли нескінченні круті деформації лінійних СЕ, а це привело до неможливості подальшого розрахунку.

Для виправлення цих недоліків у опорних зонах плит вузлам вертикальної площини заборонили переміщуватися у напрямку вертикальної осі, а вузлам горизонтальної і вертикальної арматури заборонили прокручування навколо їх повздовжніх осей. Особливості, а також будова опорних вузлів показано на рис. 2. Для усіх моделей, що розглянуті вище, проводили лінійний та нелінійний статичні розрахунки. При лінійному статичному розрахунку ігноруються нелінійні властивості матеріалів і геометрична нелінійність конструкції. Розрахунок проводиться по початкових модулях пружності. При цьому не можливо виявити такі ефекти, як розшарування матеріалів та їх руйнування при досяганні границі текучості. Розрахунок проведено до закону Гука.

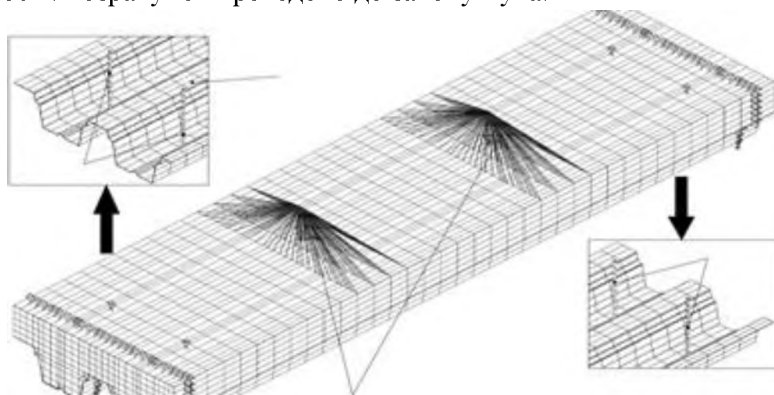


Рис.2. Повна СЕ модель плити ПМА-1

Нелінійний розрахунок передбачає прикладання навантаження у декілька кроків, збільшуючи його від нуля до максимального значення. На кожному кроці навантаження оброблюються значеннями січних модулів пружності, відповідно до діаграми деформування матеріалів, а також зміни у розмірах конструкції, що можуть впливати на результати розрахунку. На базі, оброблених на даному кроці параметрів НДС, будують розв'язок для наступного

кроку навантаження. Цей процес закінчується тоді, коли досягають максимального навантаження, або коли конструкція перетворюється у механізм – з'являються пластичні шарніри, втрачається місцева або загальна стійкість і т.д.

Для виконання розрахунку у програмному комплексі ЛИРА необхідно послідовно відмічати, який тип розрахунку буде виконуватися, які випадки навантажень і опор застосувати. Додатково для нелінійного розрахунку вказують кількість кроків навантажень, та який набір параметрів НДС видавати на кожному кроці навантаження. У усіх нелінійних розрахунках кількість кроків навантаження дорівнювала 20, але не для всіх плит досягли максимального значення навантажень. В експерименті було можливим збільшувати навантаження за таких умов. На жаль при розрахунках МСЕ така можливість відсутня.

Час розрахунку залежить як від складності моделі, так і від збіжності системи рівнянь. У випадках, коли навантаження наближалось до критичного (втрата стійкості, поява пластичних шарнірів) розрахунок починає повторюватися декілька разів для точного визначення моменту переходу від статичної конструкції до механізму. Значення навантаження у такий момент і буде максимальним значенням, яке можна прикласти до конструкції.

Висновки. На основі проведених досліджень сформульовано загальні висновки по моделюванню та розрахунку сталезалізобетонних плит з профільованим настилом, з урахуванням особливості їх геометрії та роботи під навантаженням.

Список використаної літератури

1. Сталезалізобетон. Continuance // 36. наук. праць. – Полтава : ПолтНТУ, 2016. –358 с.
2. Стороженко Л. І. Розрахунок сталезалізобетонних таврових балок з армуванням вертикальними листами за деформаційною схемою / Л. І. Стороженко, А. В. Іванюк, В. М. Чередніков, О. В. Череднікова // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури.–Одеса:Зовнішшрекламсервіс, 2012. –Вип. 47, частина 2. – С. 342 – 348.

3. Семко О. В. Чисельний аналіз напружено-деформованого стану тонкостінних сталевих елементів сталезалізобетонних конструкцій / О. В. Семко, Ю. О. Авраменко, О. В. Череднікова // Зб. наук. праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – Випуск 3 (33). – С. 212 – 217.

Аннотація

Предложена методика численного моделирования напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонных плит с профилированным настилом, с учетом особенности их геометрии и работы под нагрузкой.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, сталежелезобетон, комбинированные плиты с профилированным настилом, метод конечных элементов.

Annotation

The method of numerical simulation of the stress-strain state of steel-reinforced concrete slabs with profiled flooring is proposed, taking into account the features of their geometry and work under load.

Key words: stress-strain condition, steel reinforced concrete, combined slabs with profiled flooring, finite element method..

Стаття надійшла до редакції у квітні 2018 р.