

М. В. САВИЦЬКИЙ, О. Г. ЗІНКЕВИЧ (ПДАБА, Дніпропетровськ),
А. М. ЗІНКЕВИЧ (ДІПТ)

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ НА ЖОРСТКІСТЬ СТІН-ДІАФРАГМ В КАРКАСНИХ БУДІВЛЯХ З ЛСТК

Отримано залежності впливу конструктивних особливостей діафрагм каркасних будівель із ЛСТК на їх жорсткість. На основі залежностей розроблено методику оцінки жорсткості діафрагми будь-якої конфігурації, яка дозволяє приймати конструктивні рішення для забезпечення просторової жорсткості будівлі.

Ключові слова: каркаси з легких сталевих конструкцій, жорсткість вертикальних та горизонтальних діафрагм, обшивка діафрагм, сталеві тонкостінні холодногнуті профілі

Получены зависимости влияния конструктивных особенностей диафрагм каркасных зданий из ЛСТК на их жесткость. На основании зависимостей разработана методика оценки жесткости диафрагмы какой-либо конфигурации, позволяющая принимать конструктивные решения для обеспечения пространственной жесткости здания.

Ключевые слова: каркасы из легких стальных конструкций, жесткость вертикальных и горизонтальных диафрагм, обшивка диафрагм, стальные тонкостенные холодногнутые профили

The dependences of influence of structural features of diaphragms of lightweight steel framing braced wall structures on their stiffness are determined. On the basis of dependences the procedure for estimation of stiffness of a diaphragm of any configuration that allows making decisions for maintenance of building stiffness is developed.

Keywords: lightweight steel framing, stiffness of braced walls and diaphragms, diaphragm sheeting, steel cold-formed thin gauge members

Вступ

Для зведення малоповерхових будівель значне поширення отримали каркасні технології. Один з напрямків – виконання елементів каркасу будівлі з легких сталевих тонкостінних конструкцій (ЛСТК) – тонкостінних металевих оцинкованих профілів.

Особливістю таких каркасів є те, що в більшості випадків всі вузли з'єднань конструктивних елементів шарнірні – визначальний вплив на просторову жорсткість при дії горизонтальних зусиль мають діафрагми (горизонтальні – перекриття, покриття і вертикальні – стіни).

Зсувна жорсткість (далі – жорсткість) діафрагм, сприймаючих зусилля в своїй площині забезпечується наступними прийомами:

- використання в стіновій панелі хрестових зв'язків з оцинкованих сталевих смуг;
- врахування роботи листів обшивки стіни.

За результатами попередніх розрахунків, найбільший недолік діафрагм з хрестовими зв'язками полягає в значній величині зусиль у вузлі з'єднання зв'язку з каркасом. Оскільки елементи тонкостінні, отримані зусилля можуть привести до місцевих деформацій профілів і зминання листів. Виконання вузлів із забезпеченням конструктивних вимог призводить до їх ускладнення, зменшення технологічності.

Виходячи з цього, хрестові зв'язки розглядаються як елемент жорсткості діафрагм і каркасу в цілому тільки на період монтажу. Необхідна жорсткість каркасу з ЛСТК в процесі експлуатації забезпечується діафрагмами з урахуванням роботи з'єднання елементів каркасу з листами обшивки (гіпсокартон, ОСП і т.д.).

Постановка проблеми

Для забезпечення просторової жорсткості будівлі конструктивні елементи, що виконують функцію діафрагм, повинні задовольняти встановленим вимогам з їх жорсткості. В свою чергу, жорсткість діафрагм може значно змінюватись в залежності від їх конструктивних особливостей. Тобто, необхідна жорсткість може бути отримана шляхом призначення певних конструктивних параметрів, які підбираються за розрахунковою методикою.

В [1, 2] наведені методики оцінки жорсткості діафрагм шляхом їх співставлення з діафрагмою-еталоном, що враховують обмежену кількість факторів та не відображають особливості діафрагм в каркасах з ЛСТК.

Мета роботи

На основі результатів розрахунку моделей діафрагм методом скінченних елементів (МСЕ)

отримати залежності впливу конструктивних особливостей на їх жорсткість.

Встановити значення жорсткості діафрагми будь-якої конфігурації, пов'язуючи її параметри з відповідними характеристиками діафрагми-еталону через встановлені залежності.

Фактори, що впливають на жорсткість діафрагм

На основі моделювання МСЕ попередньо аналізувався вплив конструктивних особливостей на показники роботи діафрагми, для подальшого моделювання й врахування в залежностях приймалися значимі.

За результатами попереднього аналізу тип профілю каркасу (згинна жорсткість), товщина і жорсткість матеріалу листів обшивки незначно впливають на жорсткість діафрагм (умовно не враховувався їх безпосередній вплив на зсувну жорсткість зв'язків обшивки з елементами каркасу). Таким чином, як фактори, що впливають на жорсткість діафрагми (зміна величини до 5 %) тип профілю, товщина і жорсткість листів можуть не розглядатися.

Для подальшого розгляду прийняті наступні фактори:

- жорсткість зв'язків між обшивкою і елементами каркасу, v_c , кН/см (встановлюється експериментальним шляхом [3, 4] і залежить від товщини, модуля пружності, матеріалу листа, діаметра елементів кріплення);
- співвідношення розмірів діафрагми h/L (висота / довжина);
- крок стійок каркасу;
- крок вузлів кріплення листів обшивки до елементів каркасу;
- кількість і конфігурація прорізів у діафрагмі.

Жорсткість діафрагми (v , кН/см) оцінювалася за величиною переміщення верхнього поясу при прикладенні горизонтального навантаження:

$$v = P/f, \text{ кН/см}, \quad (1)$$

де P – зосереджене горизонтальне навантаження (вітрове, сейсмічне), прикладене до верхнього поясу діафрагми, кН;

f – переміщення верхнього поясу діафрагми в горизонтальній площині, см.

Для оцінки жорсткості діафрагм будь-яких розмірів використовується приведенне до довжини значення

$$v_0 = \frac{v}{L} = \frac{P}{f} \cdot \frac{1}{L}, \text{ кН/(см}\cdot\text{мп)}, \quad (2)$$

де L – довжина діафрагми.

Вплив кількості і конфігурації прорізів у діафрагмі

Оскільки більшість діафрагм (внутрішніх і зовнішніх стін будівель) експлуатується з прорізами, оцінювався вплив їх кількості та конфігурації.

Розглядалися моделі з рівною сумарною довжиною сегментів (фрагмент діафрагми з обшивкою на всю висоту) при різній довжині окремих сегментів. Крім того, оцінювався вплив способу моделювання обшивки в діафрагмі на результати розрахунку для наступних випадків:

- а) суцільна обшивка з вирізаними прорізами (рис. 1, а);
- б) враховані тільки сегменти діафрагми з обшивкою на всю висоту (рис. 1, б);
- в) обшивка складається із сегментів на всю висоту і фрагментів над і під прорізами, кожний з яких з'єднаний з каркасом (рис. 1, в).

Приклад конфігурації прорізів в діафрагмі та способів їх моделювання наведені на рис. 1.

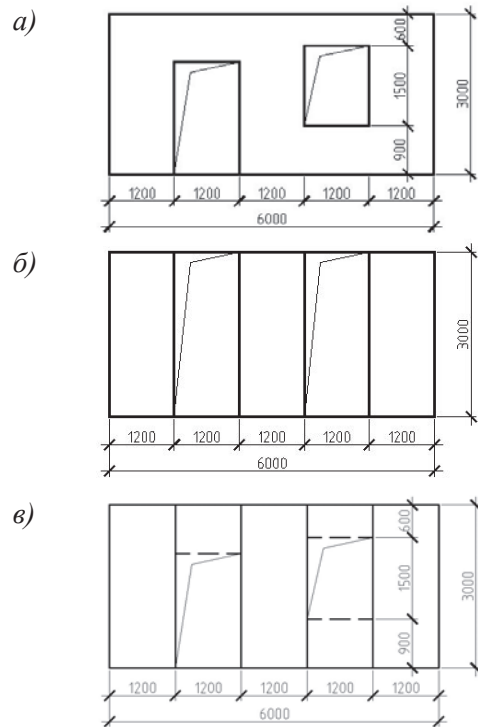


Рис. 1. Способи врахування прорізів при моделюванні роботи діафрагм

Діафрагма з суцільною обшивкою (прорізи вирізані) має найбільшу жорсткість, але внаслідок складності виконання та обмежень типових розмірів листів є непрактичною. Як правило, обшивка стін над і під прорізами виконується з окремих фрагментів, що кріпляться до каркасу з влаштуванням швів (спосіб «в»).

За отриманими результатами жорсткості діафрагм при моделюванні обшивки за способа-

ми «б» та «в» відрізняються незначно (деяке зменшення для способу «б»), тому для спрощення розрахункової схеми будівлі в цілому рекомендується задавати діафрагми тільки з урахуванням сегментів на всю висоту (спосіб «б»).

Оскільки надалі діафрагма з прорізами розглядається як сукупність окремих сегментів з обшивкою на всю висоту, передбачається, що жорсткість окремого сегмента буде залежати від співвідношення його геометричних розмірів (h/L) і може визначатись за тими ж залежностями, що і для діафрагм із певним h/L .

Вплив розмірів діафрагми і жорсткості зв'язків обшивки з каркасом

Залежності жорсткості діафрагми, приведені до одиниці її довжини (1 мп) від співвідношення розмірів h/L і жорсткості зв'язку обшивки з елементами каркасу наведені на рис. 2.

Оскільки залежності жорсткості діафрагм від фактору, що розглядається, є ізопараметричними, апроксимуючі рівняння наводяться для моделей з певним його значенням. Зміна величини фактору враховується відповідним коефіцієнтом.

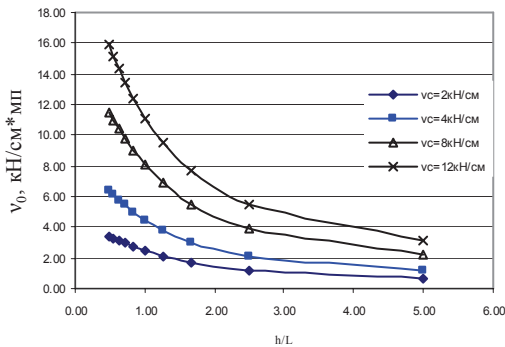


Рис. 2. Залежності приведені жорсткості діафрагми від співвідношення розмірів діафрагми при різних жорсткості зв'язків

Залежності приведені жорсткості діафрагми від жорсткості зв'язків листів обшивки з елементами каркасу наведені на рис. 3.

Вплив кроку стійок каркасу та кроку вузлів кріплення листів обшивки до елементів каркасу

Оцінка впливу кроку стійок каркасу, а також, кроку вузлів кріплення листів обшивки до елементів каркасу по контуру та в середній частині діафрагми виконувалася на моделях діафрагм (рис. 4) з наступними параметрами: довжина діафрагми $L = 6000$ мм, висота $h = 3000$ мм, жорсткість зв'язків обшивки з каркасом $vc = 2$ кН/см, крок стійок каркасу $S_s = 200$;

400; 600; 1000 мм, крок вузлів кріплення обшивки до елементів каркасу по контуру діафрагми $S_{ce} = 100; 200; 300$ мм, в середній частині діафрагми – $S_{ci} = 100; 200; 300$ мм.

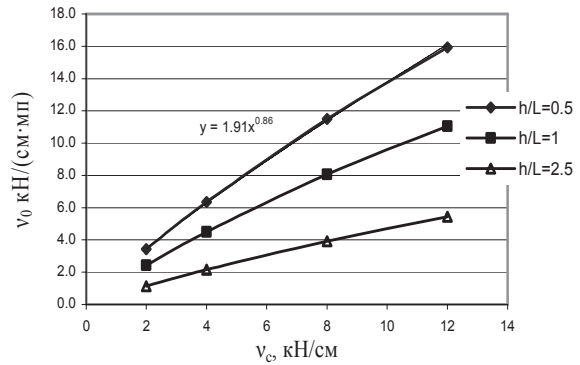


Рис. 3. Залежності приведені жорсткості діафрагми від жорсткості зв'язків обшивки з каркасом

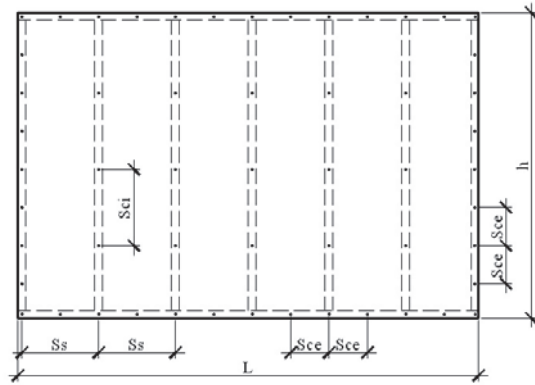


Рис. 4. Схема моделі діафрагми для оцінки впливу кроку стійок каркасу і вузлів з'єднання листів обшивки з каркасом

Залежності приведені жорсткості діафрагми від кроку стійок каркасу наведені на рис. 5 (в позначенні рядів чисельник – крок внутрішніх вузлів, знаменник – крок вузлів контуру).

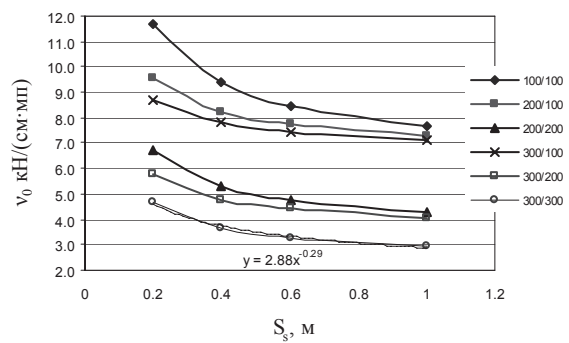


Рис. 5. Залежності приведені жорсткості діафрагми від кроку стійок каркасу при зміні кроку вузлів з'єднання аркушів обшивання з каркасом

На рис. 6 наведено залежності приведені жорсткості діафрагми від кроку внутрішніх ву-

злів і вузлів контуру для діафрагми з кроком стійок каркасу $S_s = 600$ мм. При побудові залежностей прийнято наступні умови:

- залежність жорсткості діафрагми від кроку внутрішніх вузлів побудована з врахуванням кроку вузлів контуру 300 мм (ряд – внутрішні вузли);

- залежність жорсткості діафрагми від кроку вузлів контуру побудована з врахуванням кроку внутрішніх вузлів 300 мм (ряд – вузли контуру).

За отриманими залежностями (рис. 6) можна зробити висновок, що крок вузлів контуру має більший вплив на жорсткість діафрагми порівняно з кроком внутрішніх вузлів.

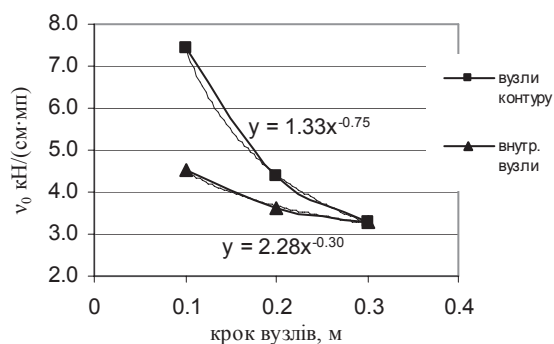


Рис. 6. Вплив кроку вузлів (контуру і внутрішніх) з'єднання аркушів обшивання з каркасом на твердість діафрагми

Визначення жорсткості діафрагми

На основі отриманих кореляційних залежностей розроблено методику оцінки зсувної жорсткості діафрагм, що дозволяє врахувати вплив їх конструктивних особливостей.

Жорсткість одиниці довжини діафрагми (1 мп) із врахуванням конструктивних особливостей визначається за формулою:

$$v_n = v_0 \cdot k_i, \text{ кН/(см·мп)}, \quad (3)$$

де v_0 – жорсткість одиниці довжини діафрагми-еталона, кН/(см·мп);

k_i – коефіцієнти, що враховують конструктивні відмінності розглянутої діафрагми від діафрагми-еталона:

k_c – коефіцієнт, що враховує вплив жорсткості вузлів з'єднання листів обшивки з елементами каркасу діафрагми;

k_s – коефіцієнт, що враховує вплив кроку стійок каркасу;

k_{ci} – коефіцієнт, що враховує вплив кроку внутрішніх вузлів з'єднання листів обшивки з елементами каркасу діафрагми;

k_{ce} – коефіцієнт, що враховує вплив кроку вузлів з'єднання листів обшивки з контурними елементами каркасу діафрагми.

Жорсткість діафрагми будь-якої конфігурації визначається як:

$$v = \sum v_{ni} L_{si} k_{ar_i}, \text{ кН/см}, \quad (4)$$

де v_{ni} – жорсткість одиниці довжини певного сегменту, кН/(см·мп).

L_{si} – довжина сегменту діафрагми (фрагменту діафрагми з обшивкою на всю висоту), м;

k_{ar_i} – коефіцієнт, що враховує співвідношення геометричних розмірів сегменту діафрагми (висота / довжина).

Значення коефіцієнтів приймаються за співвідношенням кореляційних залежностей для розглянутої діафрагми і діафрагми еталона.

Наприклад, визначення в загальному вигляді коефіцієнту k_c , що враховує вплив жорсткості вузлів з'єднання листів обшивки з елементами каркасу на жорсткість діафрагми виконується наступним чином

$$k_c = \frac{1,91 \cdot v_c^{0,86}}{1,91 \cdot v_{c_e}^{0,86}} = \left(\frac{v_c}{v_{c_e}} \right)^{0,86}, \quad (5)$$

де v_{c_e} – жорсткість вузлів з'єднання листів обшивки з елементами каркасу діафрагми-еталону.

Достовірність розробленої методики оцінювалась порівнянням результатів, отриманих при розрахунку тестових діафрагм (розрахункові дані) з результатами розрахунку моделей діафрагм МКЕ.

Жорсткість діафрагми-еталону визначалась експериментально (в даній роботі – чисельним експериментом) і використовувалась як вихідні дані для розрахунку.

Визначались переміщення верхнього поясу діафрагм в горизонтальній площині при прикладенні горизонтального навантаження.

Відхилення результатів отриманих за розробленою методикою та розрахунками моделей не перевищує 15 %.

Висновки

Розроблено спрощену методику оцінки впливу основних конструктивних особливостей діафрагм на їх жорсткість, яка дозволяє встановлювати вимоги до конструкції на попередньому етапі формування об'ємно-планувальних рішень каркасних будівель із ЛСТК.

За отриманими результатами можна зробити висновок, що розроблена розрахункова методика є достатньо достовірною для оцінки жорсткості діафрагм та каркасу будівлі в цілому.

Отримані залежності впливу вищенаведених факторів та методика оцінки жорсткості діафрагм можуть бути використані для забезпечення просторової жорсткості будівлі за рахунок:

- призначення вимог до конструкції вертикальних та горизонтальних діафрагм;
- обмеження відстані між діафрагмами (зменшення вантажної площі)
- обмеження кількості прорізів у діафрагмі.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Рекомендации по учету жесткости диафрагм из стального профилированного настила в покрытиях одноэтажных производственных зданий

при горизонтальных нагрузках [Текст] – М., 1980. – 25 с.

2. Residential structural design guide: 2000 Edition [Text] – W., 2000. – 434 p.
3. Iuorio, O. Compilation of k values [Electron. resource] / O. Iuorio, B. W. Schafer; Johns Hopkins University. – 2008. – Access mode: <http://www.ce.jhu.edu/bschafer/sheathedwalls>
4. Савицкий, Н. В. Влияние жесткости обшивки на расчетную длину сжатой стойки каркаса из ЛСТК между узлами закрепления [Текст] / Н. В. Савицкий, О. Г. Зинкевич, А. Н. Зинкевич // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 32. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 115-117.

Надійшла до редколегії 25.10.2010.

Прийнята до друку 31.10.2010.