

REFERENCES

1. Bernshteyn M. L. Termomekhanicheskaya obrabotka metallov i splavov : ucheb [v 2 t.]. / M. L. Bernshteyn. – M. : Metallurgiya, 1968. – 1172 s.
2. Bernshteyn M. L. Termomekhanicheskaya obrabotka metallov i splavov: ucheb. / M. L. Bernshteyn, V. A. Zamovskiy, L. M. Kaputkina. – M. : Metallurgiya, 1983. – 480 s.
3. Bolshakov V. I. Uprochnenie stroitelnykh staley: ucheb. / V. I. Bolshakov. – D. : Sich, 1993. – 332 s.
4. Starodubov K. F. Termicheskoe uprochnenie prokata: ucheb. / K. F. Starodubov, I. G. Uzlov, V. Ya. Savenkov i dr. – M. : Metallurgiya, 1970. – 368 s.

Відомості про автора:

Ткач Татьяна Вадимовна, аспирант кафедри матеріалознавства та обробки матеріалів ПГАСА, e-mail: tani4ka.ua@yandex.ua.

УДК 624.014 : 693.977

**АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНИХ ТА КОНСТРУКТИВНИХ
РІШЕНЬ КАРКАСІВ МАЛОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ З ЛСТК**

О. Г. Зінкевич, к. т. н., доц.

Ключові слова: *каркаси малоповерхових будівель, ЛСТК, обшивка каркаса, діафрагми жорсткості, просторова жорсткість каркаса*

Постановка проблеми. Малоповерхове будівництво займає значні обсяги в будівельній галузі. Згідно з прогнозами, будівництво індивідуальних малоповерхових житлових будинків в Україні (1...3 поверхи) складатиме до 30 % від загального обсягу будівництва житла [1].

Сьогодні у світовій практиці та в будівельній галузі України застосовується цілий ряд технологій зведення малоповерхових житлових будинків із різних матеріалів. Однією з найбільш ефективних і розповсюджених є каркасна технологія, історія використання якої нараховує близько 4 000 років.

Каркасна технологія досить гнучка з погляду забезпечення необхідної енергоефективності огорожувальних конструкцій – мінімальне насичення несучими елементами створює значний об'єм для розміщення теплоізоляційних матеріалів різних типів і товщини. Таке рішення дозволяє широко впроваджувати технології екожитла – застосування місцевих екологічно чистих, відновлюваних матеріалів (солома – для зведення стін; очерет, торф – для покрівлі) [2].

Необхідно зазначити, що в Україні зведення житлових будинків на основі дерев'яного каркаса з подальшим заповненням місцевими матеріалами практикувалося майже у всіх регіонах. Тобто технології екожитла для України не є принципово новими, а скоріше забутими.

Однією із широко розповсюджених каркасних технологій є зведення малоповерхових будівель на основі каркаса з легких сталевих тонкостінних конструкцій (ЛСТК) [3; 4]. Конкурентноздатність каркаса з ЛСТК порівняно з дерев'яним каркасом значно зростає для тих країн або територій, де деревина не є промисловим матеріалом.

Незважаючи на запровадження в Україні деяких нормативних документів, що встановлюють правила проектування каркасів будівель з легких сталевих тонкостінних конструкцій [5], нормативне забезпечення недостатнє.

Так, наприклад, у багатьох країнах, де такі технології набули поширення, розробляються рекомендаційні матеріали, які значно спрощують оцінку можливості реалізації певних об'ємно-планувальних рішень або їх коригування та розробку конструктивних рішень [3; 6; 7].

Для поширення технології каркасного будівництва з ЛСТК в Україні необхідна розробка рекомендацій, що відображають особливості конструкцій такого типу на основі діючих нормативних документів.

Аналіз публікацій. Особливості конструктивних рішень каркасів з ЛСТК розглянуті у працях Е. Л. Айрум'яна [4], Я. Брудки [8], В. W. Schafer [9], W. W. Yu [10] та ін.

У низці праць наведено результати досліджень та експериментальних випробувань сталевих тонкостінних профілів, розкритих листовою обшивкою, та жорсткості вузлів їх з'єднання (О. Iuorio [9], Т. Pekozy, А. Simaan, В. W. Schafer, G. Winter та ін.).

Під час проектування каркасів будівель з ЛСТК важливо забезпечити їх просторову жорсткість. В окремих рекомендаціях із проектування таких будівель [3; 6; 7] наводяться вказівки щодо ефективного розташування діафрагм жорсткості, якими виступають зовнішні та внутрішні стіни, перекриття.

Питанням взаємодії конструктивних елементів у просторовій системі присвячені праці П. Ф. Дроздова [11], А. Р. Ржаніцина, Е. С. Сігалова, В. W. Schafer [9], S. J. Turston [12] та ін.

Мета статті. На основі аналізу особливостей об'ємно-планувальних та конструктивних рішень, поширених у світовій практиці каркасного будівництва малоповерхових будівель з ЛСТК, виділити сукупність основних впливових факторів, які необхідно враховувати, розробляючи методики раціонального проектування будівель такого типу.

Виклад матеріалу. *Об'ємно-планувальні рішення.* Під час вибору об'ємно-планувальних рішень може вирішуватися ціла група питань. Наприклад, зменшення енергоспоживання, що досягається вибором енергозберігаючої форми, блокуванням будівель тощо.

Вибір об'ємно-планувального рішення будівлі, виконаної на основі каркаса з ЛСТК, значно залежить також від його конструктивних особливостей. Оскільки в більшості випадків просторова жорсткість будівлі забезпечується стінами, що виконують функцію діафрагм, встановлюються деякі обмеження планувальних рішень – крок внутрішніх стін (діафрагм), обмеження в розташуванні і кількості прорізів [6].

Ще одним фактором, що впливає на вибір об'ємно-планувального рішення, є спрощення конструкцій каркаса при обмеженні вільних просторів будівлі (прольотів, кроку стін, що виконують функцію діафрагм жорсткості). Наприклад, при невеликих прольотах для конструкцій перекриттів (покриттів) можливе використання балок (виходячи з номенклатури сортаменту), при більших прольотах застосовуються легкі ферми [13] (значне збільшення трудомісткості виготовлення).

Таким чином, прийняття об'ємно-планувальних рішень малоповерхових будинків і надбудов із ЛСТК може виконуватись, виходячи з необхідності одержання вільного планування приміщень, раціонального використання перерізів елементів, зменшення витрат на виготовлення конструкцій.

Конструктивні рішення. За конструктивним рішенням каркаси будівель із ЛСТК можна віднести як до дрібно-каркасних, так і до діафрагмовостінових (з урахуванням забезпечення просторової жорсткості стінами-діафрагмами при шарнірному з'єднанні основних конструктивних елементів).

Залежно від використаної технології конструкції стін можуть зводитися з елементів із розрізанням на поверх або повної висоти.

Найбільш поширене рішення конструкції стіни – використання як несучих стійок С- або П-профілів (орієнтованих площиною більшої жорсткості перпендикулярно площині стіни), які обшиваються листовим матеріалом. Як правило, зовнішня обшивка виконується з орієнтовано-стружкових плит (ОСП), внутрішня – з декількох шарів гіпсокартонних (ГКЛ) або гіпсоволокнистих листів (ГВЛ). Також як листи обшивки для каркаса з ЛСТК можуть застосовуватися магнезитові та цементно-стружкові плити. Необхідна товщина внутрішньої обшивки з ГКЛ може підбиратися виходячи з вимог до вогнестійкості конструкції [14].

З'єднання елементів виконуються, як правило, самонарізальними гвинтами або за допомогою заклепок, що встановлюються з певним кроком [15].

Для зовнішніх стін із метою зменшення впливу містків холоду на енергоефективність конструкції як несучі стійки можуть застосовуватися «термопрофілі» з перфорованою стінкою, простір між внутрішньою і зовнішньою обшивкою заповнюється ефективним теплоізоляційним матеріалом [16] (рис. 1).

Жорсткість стінової панелі у своїй площині може забезпечуватися хрестовими зв'язками (рис. 2, а) або, при значних горизонтальних навантаженнях, розкісними решітками (рис. 2, б).

Також жорсткість конструкції у своїй площині може забезпечуватись листами обшивки з урахуванням податливості вузлів їх з'єднань з елементами каркаса [9; 10; 12; 17].

Як і для стінових елементів, у конструкціях перекриттів (покриттів) виконується обшивка листовим матеріалом (два листи ОСП по верхньому поясу, два листи ГКЛ по нижньому). Для перекриттів як обшивку по верхньому поясу можна використовувати сталевий профільований настил.



а



б

Рис. 1. Енергоефективні огорожувальні конструкції каркасних будівель з ЛСТК

Для з'єднання елементів стін і перекриттів (покриття) можуть бути використані два рішення:

- 1) передача навантаження від елемента перекриття по осі стійки стіни (з «випадковим» ексцентриситетом);
- 2) передача навантаження від елемента перекриття на стійку стіни з «конструктивним» ексцентриситетом (з'єднання з полицею стійки).

Перша схема відповідає технології монтажу каркаса укрупненими елементами (панелями) з розрізанням на поверх і з використанням як елементів перекриття ферм (рис. 3, *а*).

Друга схема забезпечує спрощений монтаж каркаса з використанням балок як елементів перекриття, особливо у разі поелементного монтажу стійок на всю висоту каркаса (рис. 3, *б*). В той же час, прикладення навантаження з ексцентриситетом вимагає його врахування під час розрахунків.



а



б

Рис. 2. Забезпечення жорсткості стінової конструкції хрестовими зв'язками (а), розкісною решіткою (б)

Несуча система будівлі утворюється вертикальними несучими конструкціями, об'єднаними в єдину просторову систему горизонтальними несучими конструкціями перекриттів і покриття [11]. Найважливішою якістю такої системи є забезпечення надійного опору горизонтальним навантаженням (вітровим, сейсмічним) [3; 6].



а



б

Рис. 3. З'єднання елементів стін і перекриттів у каркасі під час передачі навантаження: по осі стійки стіни (а); з ексцентриситетом (б)

Особливості конструкцій каркаса з ЛСТК (найбільша технологічність вузлів з'єднань елементів, що відповідають шарнірній схемі; складний НДС тонкостінних профілів при жорсткому з'єднанні) передбачають використання в більшості випадків шарнірних з'єднань елементів. Конструктивні рішення, що забезпечують жорсткі (рамні) вузли, значно ускладнюють конструкцію і трудомісткість її виготовлення, тому застосовуються згідно з відповідним обґрунтуванням.

Таким чином, просторова жорсткість будівлі забезпечується за в'язевою схемою – будівля розглядається як просторова несуча система конструктивних елементів – діафрагм (стін, перекриттів), з'єднаних між собою зв'язками, що сприймають зсув.

Урахування жорсткості всіх складових елементів може виконуватись під час розрахунку каркаса будівлі із застосуванням методу скінчених елементів (МСЕ). При цьому необхідне створення достатньо детальної моделі, що спричинює значні витрати часу на стадії розробки об'ємно-планувального рішення і попереднього призначення конструктивних параметрів елементів каркаса будівлі.

Виходячи з цього, рекомендації з проектування повинні дозволяти виконання спрощеної оцінки розподілу горизонтальних зусиль між вертикальними діафрагмами, враховуючи співвідношення жорсткостей всіх елементів каркаса. Крім того, посібники і рекомендації з проектування легких каркасних будівель [3; 6; 7; 12; 17] установлюють вимоги до складових діафрагм для певних конструктивних рішень та силових впливів і не можуть бути поширені на діафрагми з довільними конструктивними рішеннями.

Висновок. Проаналізовано особливості об'ємно-планувальних та конструктивних рішень, поширених у світовій практиці каркасного будівництва малоповерхових будівель з ЛСТК. Однією з основних особливостей проектування каркасів з ЛСТК є необхідність урахування взаємодії елементів каркаса з обшивкою малої жорсткості через податливі з'єднання. Це дозволить приймати більш ефективні проектні рішення, оскільки обшивка може виконувати дві конструктивні функції: а) розкріплення елементів каркаса для зменшення гнучкості стержня (або його елементів) у площині меншої жорсткості або виключення кручення перерізів; б) формування з елементами каркаса діафрагм, що забезпечують просторову жорсткість будівлі.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Савицкий Н. В. Перспективы развития каркасной технологии малоэтажного строительства жилых зданий в Украине [Електронний ресурс] / Н. В. Савицкий, Е. Л. Юрченко, Е. А. Коваль, И. И. Перегинец. – Режим доступу до статті: <http://dostupne->

zhitlo.com.ua/stati/stroitelstvo-segodnya-i-zavtra/stattja-perspektivi-razvitija-karkasnoj-tehnologii-maloetazhnogo-stroitelstva.html.

2. **Савицький М. В.** Світовий досвід енергоефективного будівництва з місцевих матеріалів та доцільність його використання в умовах України / М. В. Савицький, Ю. Б. Бендерський, Є. Л. Юрченко, І. І. Перегінєць, О. О. Коваль, М. М. Бабенко // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – 2011. – Вып. № 61. – С. 375 – 382.
3. Residential structural design guide: 2000 Edition [Text] – W. : PATH, 2000. – 434 p.
4. **Айрумян Э. Л.** Легкие стальные каркасы из оцинкованных гнутых профилей для одноэтажных зданий массового применения / Э. Л. Айрумян, В. Ф. Беляев, А. А. Каганов, И. А. Румянцева // Промышленное и гражданское строительство. – 2003. – № 6. – С. 23 – 24.
5. Настанова з проектування конструкцій будинків із застосуванням сталевих тонкостінних профілів : ДСТУ-Н Б В.2.6-87:2009. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 55 с.
6. APA, Wall bracing and the codes, APA-The Engineered Wood Association, Licensed Architect. 2nd Quarter. – 2007. – Vol. 11. – № 2. – P. 35 – 40.
7. IRC Wall Bracing: A Guide for Builders, Designers and Plan Reviewers. Copyright. – 2007. – Version 1.0. – 34 p. – Режим доступу до сайту: www.foamsheathing.org
8. **Брудка Я.** Легкие стальные конструкции / Я. Брудка, М. Лубиньски. – М., Стройиздат, 1974. – 342 с.
9. **Schafer B. W.** Notes on AISI Design Methods for Sheathing Braced Design of Wall Studs in Compression [Електронний ресурс] / B. W. Schafer, L. Vieira, O. Iourio // Progress Report to AISI-COFS Project Monitoring Task Group, 2008. – 30 p. – Режим доступу: <http://www.ce.jhu.edu/bschafer/sheathedwalls/>
10. **Wei-Wen Yu.** Cold-form steel design - 3rd ed / Wei-Wen Yu // John Wiley and Sons, 2000. – 767 p.
11. **Дроздов П. Ф.** Конструирование и расчет несущих систем многоэтажных зданий и их элементов. [Учебное пособие для вузов]. Изд. 2-е, перераб. и доп./ П. Ф. Дроздов. – М., Стройиздат, 1977. – 223 с.
12. **Thurston S. J.** Evaluation method EM3. Determination of bracing ratings of bracing walls / S. J. Thurston. – New Zealand : BRANZ, 2004. – 27 p. – Режим доступу: http://www.branz.co.nz/cms_show_download.php
13. Steel Construction. System Cross-Section and Details [Електронний ресурс] / Режим доступу: www.badecelik.com.tr
14. **Семко В. О.** До питання вогнестійкості конструкцій із легких сталевих тонкостінних елементів в житловому будівництві / В. О. Семко, А. А. Орліковський, Д. А. Прохоренко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне : Вид-во нац. Ун-ту водного господар. та природокорист. – 2011. – Вип. 21. – С. 532 – 537.
15. **Куражова В. Г.** Виды узловых соединений в легких стальных тонкостенных конструкциях / В. Г. Куражова, Т. В. Назмеева // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 3. – С. 47 – 52.
16. **Савицкий Н. В.** Ограждающая конструкция с каркасом из термопрофилей / Н. В. Савицкий, А. А. Несин // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2009. – № 50. – С. 479 – 482.
17. Cold-Formed Steel Walls with Fiberboard Sheathing – Shear Wall Testing. Research report RP 05 – 3. – 2005. – Режим доступу: [www.steel framing.org/PDF/research/RP05-3.pdf/](http://www.steel framing.org/PDF/research/RP05-3.pdf)

SUMMARY

For low-rise buildings frame technologies have got significantly widespread. One of the directions is using lightweight steel thin-wall constructions (LSTC).

To promote this technology in Ukraine it's necessary to develop guidelines that reflect the structural features of this constructions type based on existing codes. For this purpose, analyzes of space-planning and design decisions features used in international practice is carried out.

Feature of such frames is that in most cases all connections of structural elements are pivot-hinged. Thus, the main influence on building's spatial rigidity under the lateral forces is taken by diaphragms (horizontal – floors and vertical – shear walls).

This work allows to developed the simplified method of estimating influence of major constructional peculiarities of shearwalls on their rigidity, enabling definition of requirements to the

construction on the preliminary stage of forming space-and-planning decisions for frame building of LSTC.

The considered questions affect to definition of lightweight steel framing elements' carrying ability. The considered elements are braced by low rigidity sheathing through spring stiffness fasteners. Also, the stress strain state of the lateral force resisting system's main elements – shear walls, consisted of thin-walled steel structures braced by sheathing, was investigated.

Additionally, this work allows to develop the simplified design approach allowing to take into account influence of bracing parameters on framing elements' carrying ability, to set the value of any configuration's shear wall stiffness linking its parameters with correspondent parameters of the standard shear wall, to estimate lateral force's distribution between shear walls in view of an all frame's elements' stiffness ratio.

REFERENCES

1. Savitskiy N. V. Perspektivy razvitiya karkasnoy tehnologii maloetazhnogo stroitel'stva zhilyh zdaniy v Ukrainye [Electronnyy resurs] / N. V. Savitskiy, E. L. Yurchenko, E. A. Koval', I. I. Pereginets. – Rezhym dostupu: <http://dostupne-zhitlo.com.ua/stati/stroitelstvo-segodnya-i-zavtra/stattja-perspektivi-razvitija-karkasnoj-tehnologii-maloetazhnogo-stroitelstva.html>.
2. Savyts'kyy M. V. Svitovyy dosvid energoefektyvnogo budivnytstva z mistsevyh materialiv ta dotsil'nist' yoho vykorystannya v umovah Ukrayiny / M. V. Savyts'kyy, Yu. B. Benders'kyy, E. L. Yurchenko, I. I. Pereginets, O. O. Koval', M. M. Babenko // Stroityel'stvo. Materialovedeniye. Mashinostroeniye. – 2011. – Vyp. № 61. – S. 375 – 382.
3. Residential structural design guide: 2000 Edition [Text] – W.:PATH, 2000. – 434 p.
4. Ayrumyan E. L. Lehkie stal'nye karkasy iz otsynkovannyh gnutyh profilyey dlya odnoetazhnyh zdaniy massovogo primyenyeniya / E. L. Ayrumyan, V. F. Belyaev, A. A. Kaganov, I. A. Rumyantseva // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. – 2003. – № 6. – S. 23 – 24.
5. Nastanova z proektuvannya konstruktsiy budynkiv i sporud iz zastosuvannyam stalevyh tonkostinnyh profiliv : DSTU-N B V.2.6-87:2009. – K.: Minrehionbud Ukrayiny, 2010. – 55 s.
6. APA, Wall bracing and the codes, APA-The Engineered Wood Association, Licensed Architect. 2nd Quarter. – 2007. – Vol. 11. – № 2. – P. 35 – 40.
7. IRC Wall Bracing: A Guide for Builders, Designers and Plan Reviewers. Copyright. – 2007. – Version 1.0. – 34 p. – Rezhym dostupu: www.foamsheathing.org
8. Brudka Ya. Lehkie stal'nye konstruktsii / Ya. Brudka, M. Lubin'ski // M., Stroyizdat, 1974. – 342 s.
9. Schafer B. W. Notes on AISI Design Methods for Sheathing Braced Design of Wall Studs in Compression / B. W. Schafer, L. Vieira, O. Iourio // Progress Report to AISI-COFS Project Monitoring Task Group, 2008. – 30 p. – Rezhym dostupu: <http://www.ce.jhu.edu/bschafer/sheathedwalls/>.
10. Wei-Wen Yu. Cold-form steel design - 3rd ed / Wei-Wen Yu // John Wiley and Sons, 2000. – 767 p.
11. Drozdov P. F. Konstruirovaniye i raschet nesushchih sistem mnogoetazhnyh zdaniy i ih elementov. [Uchebnoe posobie dlya vuzov]. Izd. 2-e, pererab. i dop. / P. F. Drozdov – M., Stroyizdat, 1977. – 223 s.
12. Thurston S. J. Evaluation method EM3. Determination of bracing ratings of bracing walls / S. J. Thurston. – New Zealand : BRANZ, 2004. – 27 p. – Rezhym dostupu: http://www.branz.co.nz/cms_show_download.php
13. Steel Construction. System Cross-Section and Details / Rezhym dostupu: www.badecelik.com.tr
14. Semko V. O. Do pytannya vohnestiykosti konstruktsiy iz lehkyh stalevyh tonkostinnyh elementiv v zhytlovomu budivnytstvi [Tekst] / V. O. Semko, A. A. Orlikovs'kyy, D. A. Prohorenko // Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. – Rivne : Vyd-vo nats. Un-tu vodnoho hospodar. ta pryrodokor. – 2011. – Vyp. 21. – S. 532 – 537.
15. Kurazhova V. G. Vidy uzlovyh soyedinyeniya v lehkyh stal'nyh tonkostyennyh konstruktsiyah / V. G. Kurazhova, T. V. Nazmeeva // Inzhenerno stroityel'nyy zhurnal. – 2011. – № 3. – S. 47 – 52.
16. Savitskiy N. V. Ograzhdayushchaya konstruktsiya s karkasom iz termoprofililey / N. V. Savitskiy, A. A. Nyesin // Stroityel'stvo. Materialovedeniye. Mashinostroeniye. – 2009. – № 50. – S. 479 – 482.

17. Cold-Formed Steel Walls with Fiberboard Sheathing – Shear Wall Testing. Research report RP 05 – 3. – 2005. – Rezhim dostupa: www.steel framing.org/PDF/research/RP05-3.pdf

Відомості про автора:

Зінкевич Оксана Григорівна, к.т.н., доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, e-mail: oks-ukr@mail.ru
