

Моторний Антон Миколайович, с. н. с. науково-дослідної частини по кафедрі основ і фундаментів Придніпровської державної академії будівництва та архітектури.

Моторний Микола Антонович, к. т. н., доц. кафедри основ і фундаментів Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, e-mail: oif@mail.pgasa.dp.ua.

УДК 624.014 : 693.977

МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ КАРКАСА БУДІВЕЛЬ З ЛСТК

О. Г. Зінкевич, к. т. н., доц.

Ключові слова: *каркаси малоповерхових будівель, ЛСТК, податливі з'єднання, діафрагми жорсткості, просторова жорсткість каркаса*

В Україні для зведення малоповерхових будівель і виконання надбудов під час реконструкції будівель все в більшому обсязі застосовуються каркаси з легких сталевих тонкостінних конструкцій (ЛСТК).

Діючі в Україні нормативні документи та існуючі методики розрахунку не повною мірою відображають особливості роботи розглянутих конструкцій, розкріплених податливими з'єднаннями з листами малої жорсткості [1; 2].

Постановка проблеми. У більшості конструктивних елементів будівель, виконаних на основі каркаса з ЛСТК (стінові елементи, перекриття і покриття), використовується обшивка малої жорсткості (плити OSB, гіпсоволокнисті або гіпсокартонні листи і т. д.), що приймає участь у роботі конструкції, збільшуючи її несучу здатність і значно впливаючи на просторову жорсткість. У той же час, через деяку податливість вузлів з'єднань обшивки з елементами каркаса, нормативні методики обмежують можливість урахування роботи обшивки.

Крім того, досить складним є вивчення взаємодії елементів розглянутих будівель під час оцінки їх просторової жорсткості. Застосування існуючих методик [3] вимагає створення достатньо детальних моделей і спричинює великі витрати часу на стадії розробки об'ємно-планувальних рішень і попереднього призначення конструктивних параметрів елементів каркаса будівлі.

Дослідження особливостей роботи системи «каркас – податливе з'єднання – обшивка», де обшивка виконує дві конструктивні функції: розкріплення елементів каркаса (зменшення розрахункової довжини, виключення окремих форм втрати стійкості) і забезпечення жорсткості конструкцій (стін, перекриттів) і каркаса в цілому, дасть можливість сформулювати методику раціонального проектування будівлі на основі каркаса з ЛСТК.

Аналіз публікацій. Особливості конструктивних рішень каркасів будівель із ЛСТК розглянуті в роботах у працях Е. Л. Айрумяна, Я. Брудки, В. W. Schafer, W. W. Yu та ін. Вивченню стійкості тонкостінних стержнів присвячені праці С. І. Білика, А. І. Маневича, С. В. Ракші, А. В. Семка, В. А. Семка, А. Ghersi, В. W. Schafer, W. W. Yu та інших учених. У низці публікацій наведено результати досліджень та експериментальних випробувань сталевих тонкостінних профілів, розкріплених листовою обшивкою, і жорсткості вузлів їх з'єднань (О. Iuogio, Т. Pekoz, В. W. Schafer та ін.). Питанням взаємодії конструктивних елементів у просторовій системі при забезпеченні просторової жорсткості будівлі присвячені праці П. Ф. Дроздова, В. W. Schafer, S. J. Turston та ін.

Метою роботи є одержання загального алгоритму раціонального проектування конструкцій каркасів із ЛСТК з урахуванням їх взаємодії з обшивкою малої жорсткості з використанням наведених у літературних джерелах та отриманих під час виконання власних досліджень даних.

Виклад матеріалу. Передбачається використання методики раціонального проектування для поширених об'ємно-планувальних рішень будівель з використанням каркаса з ЛСТК. Під час формування об'ємно-планувального рішення допускається використання найбільш складної з погляду конструювання системи, але, в той же час, характерної для каркасів даного типу (максимальні прольоти, вільне планування, мінімум внутрішніх стін тощо). Деяке коригування об'ємно-планувального рішення (зменшення прольотів, розширення або введення додаткових діафрагм) зумовлює спрощення конструкцій каркаса.

Умовно можна розділити ухвалення архітектурно-конструктивного рішення на жорстке і гнучке:

а) жорстке рішення – прийняте планування остаточне, необхідні вимоги до конструкцій і каркасу в цілому забезпечуються відповідними конструктивними рішеннями;

б) гнучке рішення – прийняте попереднє архітектурно-конструктивне рішення може бути частково змінене для спрощення конструктивних рішень (здешевлення будівництва).

У першому випадку раціональне проектування (зменшення витрат) обмежується конструктивними рішеннями, у другому – знаходиться раціональна «рівновага» між конструктивним і об'ємно-планувальним рішеннями.

Таким чином, методика раціонального проектування застосовується для випадків, коли жорсткі рішення, які значно ускладнюють конструктивні рішення каркаса з ЛСТК, не будуть прийняті, а саме:

- прийняте об'ємно-планувальне рішення дозволяє використовувати типові конструктивні рішення, але не ефективно за витратою матеріалів;

- прийняте об'ємно-планувальне рішення може бути дещо змінене (зміна кількості, геометрії прорізів, діафрагм тощо) з метою зниження вартості конструкцій каркаса під час раціонального підбору їх параметрів.

Метою методики раціонального проектування є зменшення капітальних витрат на зведення каркаса будівлі (С).

Цільова функція задачі:

$$C = C_{str} + C_w \rightarrow \min_{C_{str}} \quad (1)$$

де C_{str} – вартість конструктивних елементів;

C_w – вартість трудозатрат при зведенні каркаса.

Вартість конструктивних елементів залежить від:

а) геометричних характеристик перерізів елементів каркаса (A , I), що залежать від призначення раціональних параметрів розкріплення елементів обшивкою (кроку і жорсткості вузлів з'єднань, характеристик обшивки);

б) кількості діафрагм та їх геометричних характеристик – призначення геометричних та конструктивних параметрів стін-діафрагм для забезпечення просторової жорсткості будівлі.

Як указувалось вище, не розглядається значна зміна конструктивного рішення при жорсткій прив'язці до попередньо прийнятого об'ємно-планувального рішення (наприклад, забезпечення просторової жорсткості за рахунок виконання жорстких вузлів з'єднань конструктивних елементів), тому приймаються поширені для ЛСТК конструктивні рішення.

Виходячи з цього, трудомісткість виконання каркаса варіюють за рахунок зміни кількості вузлів з'єднань і площі конструкцій (діафрагм). Оцінюючи вартість трудозатрати умовно приймають рівними вартості монтажу профілів різних типорозмірів, листів обшивки різної товщини, з'єднувальних елементів різних діаметрів тощо.

Загальну схему методики раціонального проектування конструкцій каркаса з ЛСТК з урахуванням взаємодії з обшивкою наведено на рисунку.

Вона містить у собі наступні етапи:

1. Розробка об'ємно-планувального рішення, встановлення можливості коригування його параметрів для зменшення вартості будівництва.

2. Призначення параметрів елементів конструкцій каркаса (конструкція окремих елементів, їх з'єднань, розрахункові схеми).

3. Розрахунок елементів конструкцій каркаса:

- визначення зусиль в елементах;

- розрахунок елементів каркаса (центрально-стиснутих, згинальних, позацентрово-стиснутих);

- співставлення зусиль в елементах із граничними зусиллями;

- коригування конструктивного або об'ємно-планувального рішення за невиконання умов забезпечення несучої здатності.

4. Оцінка жорсткості прийнятої конструкції каркаса при сприйнятті горизонтальних навантажень. Коригування конструктивного або об'ємно-планувального рішення за невиконання умов жорсткості каркаса.

5. Оцінка витрат на зведення каркаса будівлі на підставі прийнятого об'ємно-планувального та конструктивного рішення.

6. Варіювання параметрів об'ємно-планувального та конструктивного рішення в межах

можливого діапазону зміни з відповідним кроком ($i=1...n$). Повторна оцінка витрат для розглянутого рішення.

7. Порівняння витрат на зведення каркаса будівлі для розглянутих рішень. Прийняття об'ємно-планувального та конструктивного рішення з мінімальними витратами на зведення будівлі.

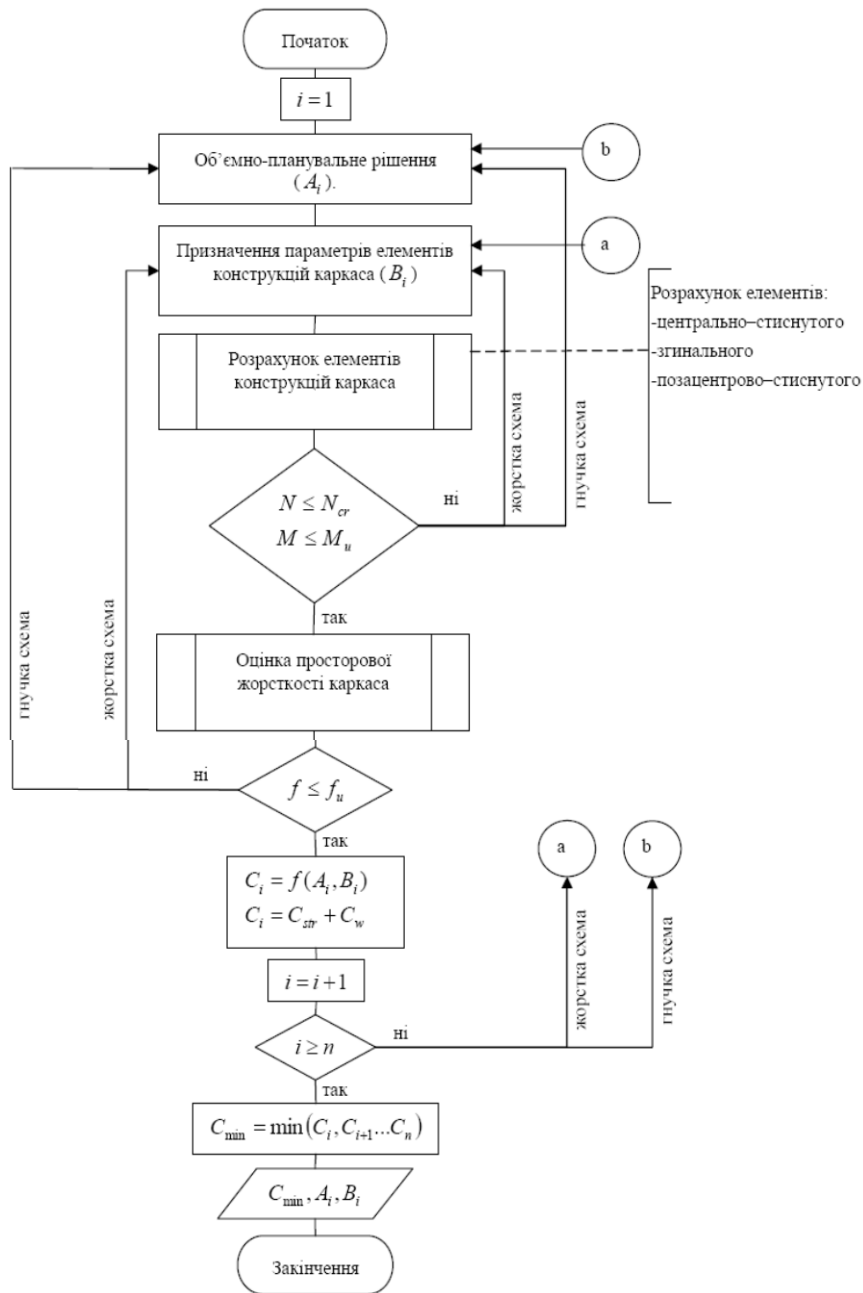


Рис. Загальна схема методики раціонального проектування конструкції каркаса з ЛСТК

Розрахунок елементів конструкцій каркаса з урахуванням їх взаємодії з обшивкою малої жорсткості має певні особливості.

Розрахункова довжина в площині меншої жорсткості центрально-стиснутих, позакентрово-стиснутих та стиснуто-згинальних елементів, а також розрахункова довжина стиснутого поясу згинальних елементів із площини згину визначається з урахуванням їх розкріплення податливими зв'язками з обшивкою (вузлами з'єднання). При цьому розглянута геометрична довжина елемента приймається рівною двом відстаням між вузлами закріплень $l_y = 2S_c$ (враховується можливість виходу з ладу одного з'єднувального елемента [4; 5]). Визначаючи розрахункову довжину $l_{ef,y} = \mu l_y$, враховують жорсткість зв'язків [6; 7].

Оцінку просторової жорсткості каркаса будівлі з ЛСТК пропонується виконувати в такому порядку:

1) виходячи з прийнятого об'ємно-планувального рішення визначаються горизонтальне навантаження на перекриття (покриття), а також загальні геометричні характеристики сегментів ліній діафрагм (висота / довжина), їх кількість, розташування;

2) визначаються коригувальні коефіцієнти, що враховують відмінність конструктивних параметрів і геометричних розмірів розглянутих сегментів лінії діафрагми від діафрагми-еталона;

3) визначається жорсткість одиниці довжини сегмента діафрагми із прийнятими конструктивними параметрами;

4) визначається жорсткість лінії діафрагми, що складається з декількох сегментів із визначеними параметрами;

5) визначається зусилля, що сприймається діафрагмою, з урахуванням розподілу горизонтальних навантажень між усіма діафрагмами залежно від співвідношення жорсткостей конструкцій, що складають каркас будинку;

6) для оцінки міцності елементів сегмента діафрагми (зусилля у вузлах з'єднань, урахування додаткового зусилля стиску в стійках від горизонтального навантаження на сегмент) визначається зусилля, що сприймається окремим сегментом, залежно від співвідношення жорсткостей сегментів у лінії діафрагми; за невиконання умов міцності елементів сегмента діафрагми виконується коригування конструктивного рішення (зменшення кроку вузлів, збільшення діаметра сполучних елементів, зміна товщини, матеріалу листів обшивки, збільшення кроку стійок або їх типорозміру);

7) визначається величина горизонтального переміщення верхнього поясу діафрагми виходячи з її жорсткості та величини сприйнятого горизонтального навантаження.

Висновок. З урахуванням отриманих результатів розроблено методику раціонального проектування каркасів малоповерхових будівель та надбудов із ЛСТК, що враховує взаємодію елементів каркаса з обшивкою малої жорсткості через податливі з'єднання.

Оцінка економічної ефективності впровадження розробленої методики проводилася під час розрахунку каркаса надбудови житлового будинку. Як критерій оцінки прийнято витрату сталі елементів каркаса. Економічний ефект склав 81 грн/м² загальної площі будинку порівняно з розрахунками за діючими нормами.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення та монтажу: ДБН В.2.6-163:2010. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 202 с.

2. Настанова з проектування конструкцій будинків із застосуванням сталевих тонкостінних профілів : ДСТУ-Н Б В.2.6-87:2009. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 55 с.

3. **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.

4. **Yu W.W.** Cold-form steel design [Текст] / W. W. Yu 3rd ed. 2000. – 767 p.

5. **Iuorio O.** Compilation of k values [Електрон. ресурс] / O. Iuorio, B. W. Schafer; Johns Hopkins University. – 2008 – Режим доступу: <http://www.ce.jhu.edu/bschafer/sheathedwalls>.

6. **Лейтес С. Д.** Справочник по определению свободных длин элементов стальных конструкций / С. Д. Лейтес. – М., 1963. – 161 с.

7. **Савицький М. В.** Особливості розрахунку елементів каркаса з ЛСТК обшитих листами малої жорсткості / М. В. Савицький, А. М. Зінкевич, О. Г. Зінкевич // Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – Вип. 3 (33). – С. 207 – 211.

SUMMARY

Framings from lightweight steel thin-wall constructions (LSTC) are used for erection of low-rise buildings and superstructures in many cases. In such building structures based on the LSTC framing (walls and floors) are used low rigidity sheathings (OSB, gypsum board, etc), which increase their carrying ability and spatial rigidity.

At the same time, due to spring stiffness of frame-sheathing connections, building codes restrict an opportunity of sheathing work accounting and, as a consequence, more efficient use of element cross-sections. In addition, enough challenge is accounting of considered building elements interaction for estimation of their spatial rigidity.

Investigation of the features of “framing-spring stiffness connections- sheathing” system, where the sheathing carries out two structural functions: frame elements bracing (reduction of effective length and exception of certain form buckling) and to ensure the rigidity of structures (walls, floors) and the frame as a whole, will allow to form the technique of rational design of the LSTC framing building.

The purpose of this work is to obtain a general algorithm of rational design of LSTC framing constructions in view of their interaction with low rigidity sheathing, using presented in the available sources and received in own work data.

The main task of rational design technique is to reduce the cost of building frame. It includes the following steps:

- 1) development of space-planning decisions (considering the possibility of adjustments to reduce the cost of construction);
- 2) assignment of frame element parameters (single element constructive decisions, their connections);
- 3) calculation of frame structural elements (accounting sheathing work);
- 4) estimation of the accepted frame structure rigidity under the lateral forces; adjustment constructive or space-planning decisions at default of frame rigidity conditions;
- 5) estimation of building frame cost based on the accepted space-planning and constructive decision;
- 6) variation of the space-planning and constructive solution parameters in possible margins; reassessment of the cost;
- 7) comparison of costs; adoption of space-planning and design solution with minimal costs for erection of the building.

Calculation of frame structural elements and estimation of LSTC building frame spatial rigidity are carried out with accounting of their interaction with a low rigidity sheathing.

REFERENCES

1. Konstruktsii budivel' i sporud. Stalevi konstruktsii. Normy proektuvannya, vyhotovlennya ta montazhu: DBN V.2.6-163:2010. – K. : Minrehionbud Ukrayiny, 2011. – 202 s.
2. 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.
3. **Drozdov P. F.** Konstruirovaniye i raschet nesushchih sistem mnogoetazhnyh zdaniy i ih elementov. [Uchebnoye posobie dlya vuzov]. Izd. 2-e, pererab. i dop./ P. F. Drozdov – M. : Stroyizdat, 1977. – 223 s.
4. **Yu W. W.** Cold-form steel design [Текст] / W. W. Yu 3rd ed. 2000. – 767 p.
5. **Iuorio O.** Compilation of k values [Elektron. resurs] / O. Iuorio, B. W. Schafer; Johns Hopkins University. – 2008 – Rezhym dostupu: <http://www.ce.jhu.edu/bschafer/sheathedwalls>.
6. **Leytes S. D.** Spravochnik po opredeleniyu svobodnyh dlin elementov stal'nyh konstruktsiy [Tekst] / S. D. Leytes. – M., 1963. – 161 s.
7. **Savyts'kyi M. V.** Osoblyvosti rozrahunku elementiv karkasu z LSTK obshytyh lystamy maloyi zhorstkosti / M. V. Savyts'kyi, A. M. Zinkevych, O. G. Zinkevych // Galuzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo. – Poltava : PoltNTU, 2012. – Vyp. 3 (33). – S. 207 – 211.

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