

## **РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ КАРКАСА ЗДАНИЯ ИЗ ЛСТК С УЧЕТОМ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ОБШИВКОЙ**

*Приведена методика рационального проектирования конструкций каркаса из ЛСТК с учетом их взаимодействия с обшивкой. Учтены особенности определения несущей способности элементов каркаса, раскрепленных листами малой жесткости через податливые соединения, и оценки НДС образованной такими элементами системы диафрагм, обеспечивающих пространственную жесткость здания.*

**Ключевые слова:** *каркасы малоэтажных зданий, ЛСТК, податливые соединения, диафрагмы жесткости, пространственная жесткость каркаса.*

**Введение.** В Украине для возведения малоэтажных зданий и выполнения надстроек при реконструкции зданий все в большем объеме используются каркасы из легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК). В большинстве конструктивных элементов зданий, выполненных на основе каркаса из ЛСТК (стеновые элементы, перекрытия и покрытия), используется обшивка малой жесткости (плиты OSB, гипсоволокнистые или гипсокартонные листы и т.д.), участвующая в работе конструкции, увеличивая ее несущую способность и значительно влияя на пространственную жесткость. В то же время, вследствие некоторой податливости узлов соединений обшивки с элементами каркаса, нормативные методики [1, 2] ограничивают возможность учета работы обшивки и, как следствие, более рационального использования сечений элементов.

Кроме того, достаточно сложной задачей является изучение взаимодействия элементов рассматриваемых зданий при оценке их пространственной жесткости. Применение существующих методик [3] требует создания достаточно подробных моделей и ведет к большим затратам времени на стадии разработки объемно-планировочных решений и предварительного назначения конструктивных параметров элементов каркаса здания.

**Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы.** Особенности конструктивных решений каркасов зданий из ЛСТК рассмотрены в работах Е.Л. Айрумяна, Я. Брудки, В.W. Schafer, W.W. Yu [4] и других. Изучению устойчивости тонкостенных стержней посвящены работы С.И. Билыка, А.И. Маневича, С.В. Ракши, А.В. Семко, В.А. Семко, А. Ghersi, В.W. Schafer, W.W. Yu [4] и других ученых. В ряде работ приведены результаты исследований и экспериментальных испытаний стальных тонкостенных профилей, раскрепленных листовой обшивкой, и жесткости узлов их соединений (О. Iuotio, Т. Pekoz, В.W. Schafer и другие). Вопросам взаимодействия конструктивных элементов в пространственной системе при обеспечении пространственной жесткости здания посвящены работы П.Ф. Дроздова [3], В.W. Schafer, S.J. Turston и других.

**Выделение не решенных ранее частей проблемы, которой посвящена статья.** Исследование особенностей работы системы «каркас – податливое соединение – обшивка», где обшивка выполняет две конструктивные функции: раскрепление элементов каркаса (уменьшение расчетной длины, исключение отдельных форм потери устойчивости) и обеспечение жесткости конструкций (стен, перекрытий) и каркаса в целом, даст возможность сформировать методику рационального проектирования здания на основе каркаса из ЛСТК.

**Цель работы.** Целью данной работы является получение общего алгоритма рационального проектирования конструкций каркасов из ЛСТК с учетом их взаимодействия с обшивкой малой жесткости с использованием представленных в доступных источниках и полученных при выполнении собственных исследований данных.

**Основной материал и результаты.** Алгоритм методики рационального проектирования конструкций каркаса из ЛСТК с учетом их взаимодействия с обшивкой.

Задачей методики рационального проектирования является уменьшение капитальных затрат на возведение каркаса здания (С).

Целевая функция задачи

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

где  $C_{str}$  – стоимость конструктивных элементов;

$C_w$  – стоимость трудозатрат при возведении каркаса.

Стоимость конструктивных элементов зависит от:

а) геометрических характеристик сечений элементов каркаса ( $A, I$ ), зависящих от назначения рациональных параметров раскрепления элементов обшивкой (шага и жесткости узлов соединений, характеристик обшивки);

б) количества диафрагм и их геометрических характеристик – назначение геометрических и конструктивных параметров стен-диафрагм для обеспечения жесткости здания.

Исходя из этого, трудоемкость выполнения каркаса варьируется за счет изменения количества узлов соединений и площади конструкций (диафрагм).

При оценке стоимости трудозатрат условно принимается равной стоимость монтажа профилей разных типоразмеров, листов обшивки разной толщины, соединительных элементов разных диаметров и т.д.

Общая схема методики рационального проектирования конструкций каркаса из ЛСТК с учетом взаимодействия с обшивкой приведена на рисунке 1.

Она включает в себя следующие этапы:

1. Разработка объемно-планировочного решения, установление возможности корректировки его параметров для уменьшения стоимости строительства.

2. Назначение параметров элементов конструкций каркаса (конструкция отдельных элементов, их сопряжений, расчетные схемы).

3. Расчет элементов конструкций каркаса:

– определение усилий в элементах;

– расчет элементов каркаса (центрально сжатых, изгибаемых, внецентренно сжатых или сжато-изгибаемых);

– сопоставление усилий в элементах с предельными усилиями;

– корректировка конструктивного или объемно-планировочного решения при невыполнении условий обеспечения несущей способности.

4. Оценка жесткости принятой конструкции каркаса при восприятии горизонтальных нагрузок. Корректировка конструктивного или объемно-планировочного решения при невыполнении условий жесткости каркаса.

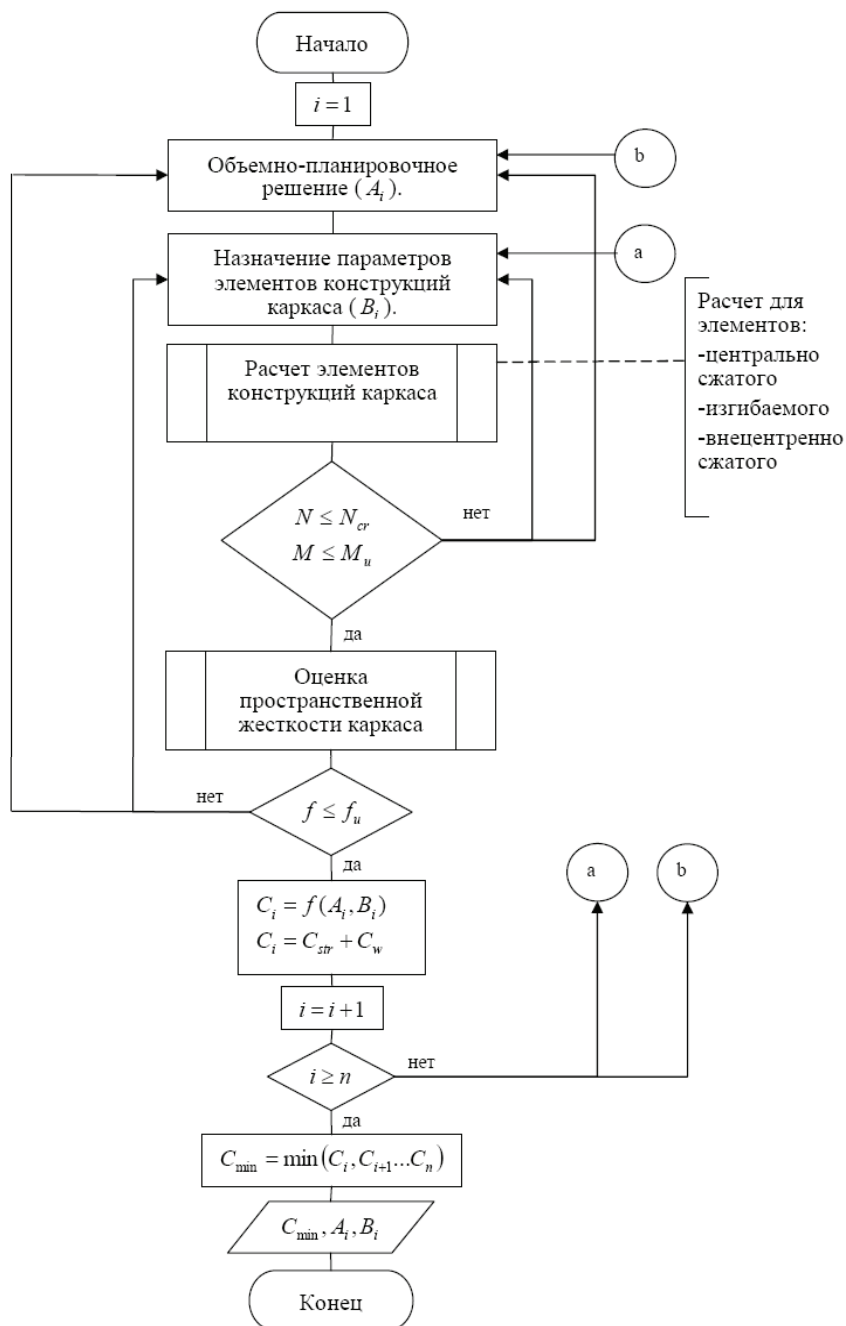
5. Оценка затрат на возведение каркаса здания на основании принятого объемно-планировочного и конструктивного решения.

6. Варьирование параметров объемно-планировочного и конструктивного решения в пределах возможного диапазона изменения с соответствующим шагом ( $i = 1 \dots n$ ). Повторная оценка затрат для рассматриваемого решения.

7. Сравнение затрат на возведение каркаса здания для рассмотренных решений. Принятие объемно-планировочного и конструктивного решения с минимальными затратами на возведение здания.

Расчет элементов конструкций каркаса с учетом их взаимодействия с обшивкой малой жесткости имеет следующие особенности. Расчетная длина в плоскости меньшей

жесткости центрально сжатых, внецентренно сжатых и сжато-изгибаемых элементов, а также расчетная длина сжатого пояса изгибаемых элементов из плоскости изгиба определяется с учетом их раскрепления податливыми связями с обшивкой (узлами соединения). При этом рассматриваемая геометрическая длина элемента принимается равной двум расстояниям между узлами закреплений  $l_y = 2S_c$  (учитывается возможность выхода из строя одного соединительного элемента [4, 5]). При определении расчетной длины  $l_{ef,y} = \mu l_y$  учитывается жесткость связей  $V$  [6, 7].



**Рисунок 1 – Общая схема методики рационального проектирования конструкций каркаса из ЛСТК**

Алгоритм оценки пространственной жесткости каркаса здания из ЛСТК, учитывающий результаты выполненных исследований [8, 9], приведен на рисунке 2. Расчет выполняется в следующем порядке:

1. Исходя из принятого объемно-планировочного решения определяется горизонтальная нагрузка на перекрытие (покрытие), а также общие геометрические характеристики сегментов линий диафрагм (высота/длина), их количество, расположение.



Рисунок 2 – Схема оценки пространственной жесткости каркаса здания из ЛСТК

2. Определяются поправочные коэффициенты, учитывающие отличие конструктивных параметров ( $k_i$ ) и геометрических размеров ( $k_{ar_i}$ ) рассматриваемых сегментов линии диафрагмы от диафрагмы-эталона.

3. Определяется жесткость единицы длины сегмента диафрагмы ( $V_{ni}$ ) с принятыми конструктивными параметрами.

4. Определяется жесткость линии диафрагмы ( $V_i$ ), состоящей из нескольких сегментов с определенными параметрами.

5. Определяется усилие, воспринимаемое диафрагмой ( $P_{li}$ ), с учетом распределения горизонтальных нагрузок между всеми диафрагмами в зависимости от соотношения жесткостей конструкций, составляющих каркас здания.

6. Для оценки прочности элементов сегмента диафрагмы (усилия в узлах соединений  $N_c$ , учет дополнительного усилия сжатия в стойках от горизонтальной нагрузки на сегмент  $N_s$ ) определяется усилие, воспринимаемое отдельным сегментом, в зависимости от соотношения жесткостей сегментов в линии диафрагмы. При невыполнении условий прочности элементов сегмента диафрагмы производится корректировка конструктивного решения (уменьшение шага узлов, увеличение диаметра соединительных элементов, изменение толщины, материала листов обшивки, увеличение шага стоек или их типоразмера).

7. Определяется значение горизонтального перемещения верхнего пояса диафрагмы  $f_i$ , исходя из ее жесткости и величины воспринимаемого горизонтального усилия.

**Выводы.** С учетом полученных результатов разработана методика рационального проектирования каркасов малоэтажных зданий и надстроек из ЛСТК, учитывающая взаимодействие элементов каркаса с обшивкой малой жесткости через податливые соединения.

Оценка экономической эффективности внедрения разработанной методики проводилась при расчете каркаса надстройки жилого дома. В качестве критерия оценки принят расход стали элементов каркаса.

Экономический эффект составил 81 грн/м<sup>2</sup> общей площади здания сравнительно с расчетами по действующим нормам (прибл. 13.5 %).

#### Литература

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] / Дроздов П.Ф. 2-е изд., перераб. и доп.* – М.: Стройиздат, 1977. – 223 с.
4. *Yu W.W. Cold-form steel design [Текст] / Yu W.W. 3rd ed. 2000.* – 767 p.
5. *Iuorio O. Compilation of k values [Електрон. ресурс] / O. Iuorio, B.W. Schafer; Johns Hopkins University.* – Режим доступа: <http://www.ce.jhu.edu/bschafer/sheathedwalls>.
6. *Лейтес С. Д. Справочник по определению свободных длин элементов стальных конструкций [Текст] / С. Д. Лейтес.* – М., 1963. – 161 с.
7. *Савицький М.В. Особливості розрахунку елементів каркаса з ЛСТК, обшитих листами малої жорсткості / Савицький М.В., Зінкевич А.М., Зінкевич О.Г. // Збірник наукових праць. Сер. : Галузеве машинобудування, будівництво.* – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – Вип. 3 (33). – С. 207 – 211.

8. Савицький М.В. Вплив конструктивних особливостей на жорсткість стін-діафрагм у каркасних будівлях з ЛСТК / Савицький М.В., Зінкевич О.Г., Зінкевич А.М. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені ак. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. – Вип. 37. – С. 169 – 173.
9. Савицький Н.В. Взаимодействие элементов каркаса малоэтажного здания из ЛСТК при обеспечении пространственной жесткости / Савицький Н.В., Зінкевич О.Г. // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПГАСА, 2013. – Вип.1–2. – С. 13 – 18.

*М.В. Савицький, д.т.н., професор  
А.М. Зінкевич, к.т.н., доцент  
О.Г. Зінкевич, к.т.н., доцент*

*ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»*

## **РАЦІОНАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ КАРКАСА БУДІВЕЛЬ З ЛСТК З УРАХУВАННЯМ ЇХ ВЗАЄМОДІЇ З ОБШИВКОЮ**

*Наведено методичку раціонального проектування конструкцій каркаса з ЛСТК з урахуванням їх взаємодії з обшивкою. Ураховано особливості визначення несучої здатності елементів каркаса, що розкріплені листами малої жорсткості через податливі з'єднання, та оцінки НДС утвореної такими елементами системи діафрагм, що забезпечують просторову жорсткість будівлі.*

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

*M. Savytsky, DSc, Prof.  
A. Zinkevych, PhD, Ass.Prof  
O. Zinkevych, PhD, Ass.Prof*

*Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture*

## **RATIONAL DESIGN OF FRAMING FROM LIGHTWEIGHT STEEL THIN-WALL CONSTRUCTIONS WITH ACCOUNTING OF SHEATHING'S BRACING INTERACTION**

*An approach of rational design of framing from lightweight steel thin-wall constructions with bracing by low rigidity sheathing was presented. The features of definition of lightweight steel framing elements' caring ability braced by low rigidity sheathing through spring stiffness fasteners were taken into account. Also, the features of the stress strain state of the lateral force resisting system's main elements – shear walls, consisting of those structures were estimated.*

**Keywords:** *low-rise buildings' frames, cold-formed thin gauge steel members, yielding connections, braced walls, lateral force resisting system.*

*Надійшла до редакції 28.09.2014*

*© М.В. Савицький, А.Н. Зінкевич, О.Г. Зінкевич*