

УДК 721.011.27 (338.45:69)

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРТОСТІ ВИСОТНИХ ОФІСНИХ БУДІВЕЛЬ ЗІ СТАЛЕВИМ ТА ЗАЛІЗОБЕТОННИМ КАРКАСОМ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТОИМОСТИ ВИСОТНЫХ ОФИСНЫХ ЗДАНИЙ СО СТАЛЬНЫМ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМ КАРКАСОМ**

**COST STUDY OF COMMERCIAL MULTISTORY BUILDINGS WITH CONCRETE AND STEEL FRAME**

**Білик А.С., к.т.н., доц. Хмельницька А.В. асп., ас. Бут М.О. асп., ас.** (Київський національний університет будівництва і архітектури м. Київ), **Курашов Р.В., начальник** управління маркетингу і продуктової політики, Метінвест Холдінг, Україна, **Бурган Б., PhD,** Директор Інституту Сталевих Конструкцій, Лондон, Велика Британія

**Билык А.С., к.т.н., доц. Хмельницкая А.В. асп., ас., Бут М.А. асп., ас.** (Киевский национальный университет строительства и архитектуры г. Киев), **Курашев Р.В., начальник** управления маркетинга и продуктовой политики, Метинвест Холдинг, Украина, **Бурган Б., PhD,** Директор Института Стальных Конструкций, Лондон, Великая Британия,

**Bilyk A., MSc, PhD, Khmelnytska A., MSc, But M., assist.,** (Kyiv National University of construction and architecture), **Kurashev R. Head** of marketing and product policy, Metinvest Holding LLC, **Burgan B., MSc, DIC, LLM, PhD,** Director of Steel Construction Institute, UK

**Ключові слова:**

багатоповерхові офісні будівлі, сталеві конструкції, вартість життєвого циклу  
многоэтажные офисные здания, стальные конструкции, стоимость  
жизненного цикла  
multistory office buildings, steel structures, life-cycle cost

Стаття присвячена дослідженню вартості висотних офісних будівель зі сталевим та залізобетонним каркасом. Аналіз вартості життєвого циклу показує, що довгопроектна схема сталевих каркасів є найбільш вигідною для українських ринкових умов.

Статья посвящена исследованию стоимости многоэтажных офисных зданий со стальным и железобетонным каркасом. Анализ стоимости жизненного цикла для концепта «Киев-сити» показывает преимущество длиннопроектной схемы стального каркаса для украинских условий рынка.

## Article devoted to cost study of steel and concrete solutions for commercial multistory buildings. LCCA shown, that steel long span option is more profitable for Ukrainian market conditions.

**Вступ і аналіз останніх досліджень.** Будівельний сектор в усьому світі є найбільшим споживачем металопрокату із величезним потенціалом для подальшого розвитку, особливо для комерційної нерухомості. Після кризи будівельна активність в Україні почала відновлюватися, зокрема завдяки:

- поліпшенню макроекономічної ситуації (щорічний приріст ВВП 4-5%)
- державним інвестиціям у інфраструктуру та об'єкти до ЄВРО 2012
- вигідному розташуванню України для Східноєвропейської бізнес-зони.

Обсяг будівельного сектора України за результатами економічних досліджень 2010р. у грошовому вираженні оцінюється у 9 млрд. дол. США, з яких 7,6 млрд. дол. США складає нерухомість у м<sup>2</sup>. Це охоплює 14 млн. м<sup>2</sup>, з яких 35% складає комерційна нерухомість. Доля застосування сталевих конструкцій у нежитловому будівництві в Україні складає ~ 25%, в той час як для США цей показник ~ 55%, а для Великої Британії ~ 70%.

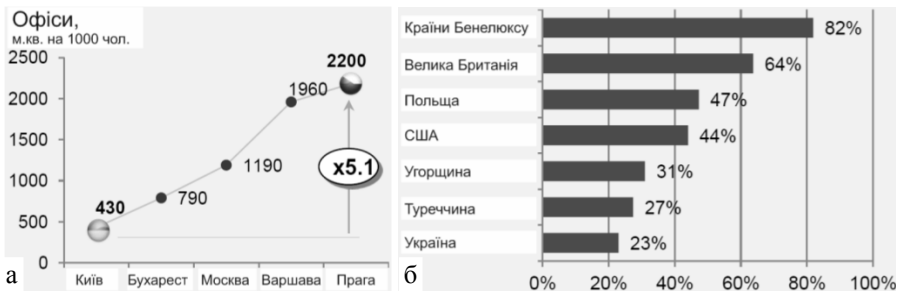


Рис. 1. Рівень насичення сегменту офісної нерухомості (а), порівняльна доля сталевих каркасів у будівництві різних країн (б)

При середньорічній долі сталі у будівництві нерухомості біля 55 тис. тон (що є саме по собі низьким показником) офісна нерухомість займає всього біля 2 тис. тон. Офісна нерухомість в Україні зростає з 2005 року на 52% (ефект низької бази), але питомі показники насиченості великих міст сучасними офісними будівлями все одно продовжують бути в 4..5 разів нижче інших країн (рис. 1). Основними бар'єрами на шляху до широкого впровадження будівництва комерційної нерухомості зі сталі в Україні є:

- **Висока вартість вогнезахисту конструкцій.** Норми, що регламентують високі вимоги до вогнестійкості конструкцій та не враховують активні засоби пожежегасіння, а також монополізм на ринку зумовлюють втричі дорожчу вартість вогнезахисту в Україні, аніж у Європі.
- **Значне лобі підрядних організацій.** Більшість будівельно-монтажних організацій лобіює застосування монолітного залізобетону з метою залучення

більших коштів, аніж у випадку виготовлення сталевих конструкцій на заводі, і можливості наймання менш кваліфікованих, дешевих працівників.

- **Низька організація виробництва.** Ступінь автоматизації виробництва сталевих конструкцій залишається в Україні на низькому рівні, а кількість «ручних» операцій – високою, що посилює роль людського фактору.
- **Застаріла виробнича база.** Прокат для металокаркасів в Україні має застарілий сортамент в той час як європейська практика свідчить про ефективність застосування двотаврів із товстими паралельними полицками, профілів із високоміцних сталей тощо.
- **Відсутність адекватної економічної оцінки рішень.** Законодавчо не врегульовані і вкрай рідко застосовуються моделі економічної оцінки рішень, що враховують строки будівництва та повернення капіталовкладень.

Істотно збільшити ємність ринку може тільки реалізація структурних реформ та стратегії розвитку галузі. Для цього, під егідою одного з найкрупніших виробників сталевого прокату у Європі – компанії Metinvest, в Україні у 2012 році утворено «Український центр сталевого будівництва» (УЦСБ). Розроблена УЦСБ програма розвитку сталі в Україні зокрема передбачає: **скорочення витрат** сталевих будівництва через технічний розвиток, освоєння сортаментів та підвищення ефективності поставок; **усунення перешкод** для вибору сталі на нормативному рівні зі збереженням рівня безпеки; **стимулювання застосування сталевих рішень**, спрямованих на зниження вартості; **позиціонування сталі як матеріалу вибору** у будівництві та створення системи комунікацій. Прогнозовано, що за рахунок реалізації програми, частка сталевих рішень у каркасах будівель на ринку України зросте із 27% до 50% до 2020 р., що означає збільшення об'єму споживання до +125 тис.тон металоконструкцій/рік.

**Постановка мети і задач досліджень.** Для формування сталі як матеріалу вибору для девелоперів, запроваджена пілотна програма порівняння вартості висотних офісних будівель зі сталевим та залізобетонним каркасом. Це актуально, оскільки на розвинутих ринках, таких як Англія та США, собівартість у ділі будівель зі сталі у офісному сегменті до 10% дешевше вирішень у залізобетоні [1]. Перший аналіз виконано для концепції бізнес-району «Київ-сіті», що наразі розробляється компанією DTZ (рис 2). Проект буде знаходитися у Києві на ділянці 104,4 га, з яких 79 га будуть відведені під комерційну офісну нерухомість загальною площею біля 560 тис. м<sup>2</sup> та дозволить створити понад 30000 робочих місць. Загальна прогнозована вартість проекту складе понад 1,5 млрд.\$. Початок будівництва планується у 2015 році. Для консультацій і курування проекту було запрошено Інститут Сталевих конструкцій (Велика Британія) а також Інститут сталевих конструкцій ім. Шимановського, компанію «Основа-Солсіф» та Київський національний університет будівництва і архітектури в Україні.

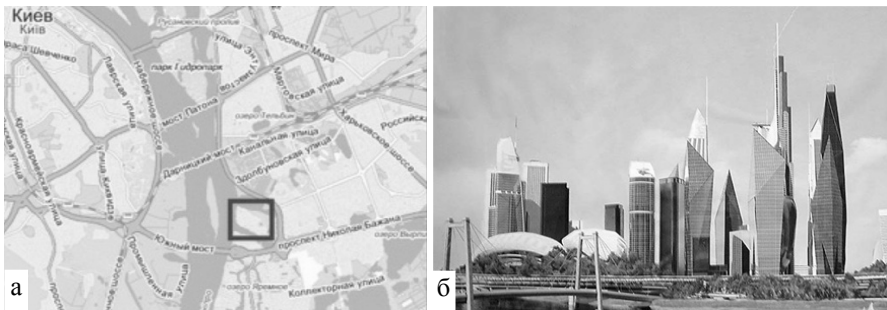


Рис. 2. Місце розташування «Київ-сіті» на мапі Києва (а) та концептуальна візуалізація бізнес-кварталу (б)

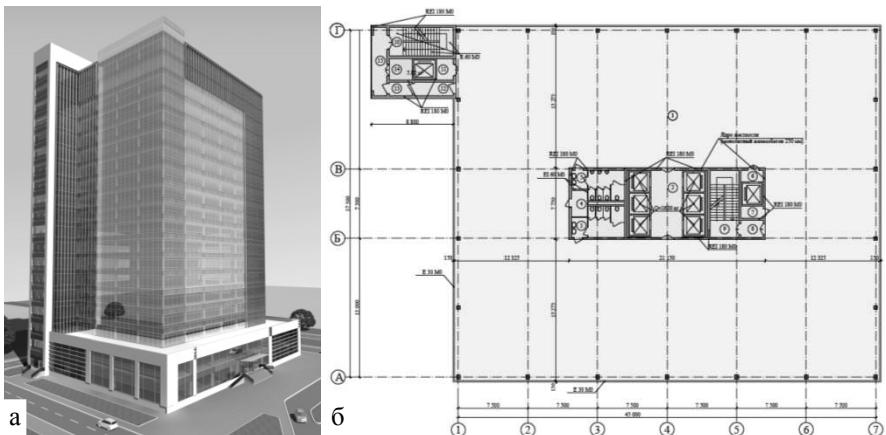


Рис. 3. Візуалізація розробленої висотної будівлі, (а), план типового офісного поверху будівлі при довгопрольотній схемі (б)

Для порівняння було взято концепцію офісної будівлі на 19 надземних та 2 підземних поверхи. Об'ємно-планувальні рішення розроблені відповідно до Технічного завдання DTZ, ДБН В.2.2-9:2009 «Громадські будинки та споруди», ДБН В.2.2-24:2009 «Проектування висотних житлових і громадських будинків» і усіх пов'язаних норм. У будівлі передбачено два підземних поверхи паркінгу під легкові автомобілі, один технічний та два стилобатних поверхи. Всі інші поверхи здаються під оренду як офісні приміщення. Будівля проектується як офіси класу «А». Попередня висота перекриття прийнята 1,2 м, а чиста висота поверхів – 3,0 м. Загальна висота будівлі складає +85,775 м. Відповідно до ДБН В.2.2-24:2009, висотними вважаються будівлі заввишки понад 73,5 м. Розмір базового модулю прийнято 7,5x7,5 м з умов підземного паркінгу та досвіду оптимізації офісних будівель [2]. Будівля прийнята із розмірами в плані 45,0 на 37,5 м відповідно до Технічного завдання. Згідно вимог норм та архітектурного вирішення план будівлі розроблений із центральним залізобетонним ядром, у

якому розміщуються сходи, ліфти та комунікації. Глибина від ядра до зовнішніх стін прийнята 15 м, що відповідає світовій практиці. Також згідно вимог норм для висотних будівель, у будівлі запроєктовані пожежні ліфти та зовнішня сходово-клітина, що має природне освітлення. Для аналізу було взято 2 варіанти архітектурного вирішення будівлі – короткопрольотна схема, де розмір сітки колон рівний базовому модулю та довгопрольотна схема (7,5 на 15 м), що реалізує концепцію «вільного планування» (рис. 3). Для металевих каркасів при короткопрольотній схемі були взяті перекриття зі зварними суцільностінчастими балками, другорядними зварними або прокатними балками та композитною залізобетонною плитою по металевому профільованому настилу. Для металевих каркасів при довгопрольотній схемі були прийняті аналогічні рішення з перфорованими головними балками для пропуску комунікацій. Також два варіанти – із коротким і довгим прольотом – були розроблені і у вирішенні із повністю залізобетонним каркасом. При цьому використані балково-плитні монолітні перекриття. Обрані умови породжують сімейство альтернатив: **A1** – короткий проліт, сталевий каркас, другорядні балки зварні з кроком 3,75 м; **A2** – короткий проліт, сталевий каркас, другорядні балки прокатні з кроком 2,5 м; **A3** – довгий проліт, сталевий каркас, другорядні балки зварні з кроком 3,75 м; **A4** – довгий проліт, сталевий каркас, другорядні балки зварні, крок 2,5 м; **A5** – короткий проліт, залізобетонний каркас; **A6** – довгий проліт, залізобетонний каркас. Кожна з альтернатив має бути проаналізована для знаходження оптимальної.

**Методика досліджень.** Навантаження на конструкції будівель прийняті у відповідності із ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи». При цьому урахувані усі коефіцієнти надійності, які стосуються як навантажувальних ефектів, так і призначення будівлі та окремих конструкцій. Коефіцієнти надійності за призначенням через можливі економічні збитки при руйнуванні прийнято як для найвищого класу наслідків СС3, усі основні конструкції прийняті найвищої категорії відповідальності А. Постійні навантаження від власної ваги конструкцій взяті для типового складу перекриттів з урахуванням коефіцієнтів надійності за навантаженням. Для офісних поверхів перекриття складається із фальшпідлоги, яка влаштовується по несучій плиті, що спирається на другорядні балки. Знизу улаштовується підвісна стеля, до якої підходять комунікації та освітлення. Для першого, технічного поверху, а також підвальних і горища замість фальш підлоги улаштовується керамічна плитка. Прийнято, що підземна частина будівлі улаштовується у монолітному залізобетоні в усіх 6 альтернативах.

Для типового офісного поверху приведене експлуатаційне розрахункове постійне навантаження складає 3,44 кПа, а граничне 3,78 кПа, а для інших поверхів - 3,94 кПа, і 4,5 кПа відповідно. Характеристичні корисні навантаження на перекриття прийняті 4,0 кПа, 3,5 кПа – для зони паркінгу та 6,0 кПа – для технічного поверху. Для корисних навантажень для перекриттів також урахувані коефіцієнти сполучення. Прийнятий термін експлуатації

будівлі 100 років. Характеристичне значення вітрового тиску на висоті 10 м для міста Київ при середньому періоді повторюваності 50 років складає  $W_0 = 0,37 \text{ кН/м}^2$ , а характеристичне значення снігового навантаження  $S_0 = 1,55 \text{ кН/м}^2$ . Прийнятий тип вітрової місцевості – 4. В запас попередньо прийнято, що старший період власних коливань будівлі перевищує 0,25 сек. Для вітру врахована зміна тиску по висоті та аеродинамічна форма будівлі. Обмеження за II граничним станом прийняті відповідно до ДСТУ Б.В.1.2-3:2006 «Прогини та переміщення»: для будівлі 1/500 висоти, для балок 1/250 прольоту. Сейсмічні навантаження прийняті для м. Київ при розрахунковому землетрусі 6 балів по шкалі MSK-64 (оскільки будівля вище 50 м) згідно ДБН В.1.1-12:2008 «Будівництво у сейсмічних районах» з використанням спектрального методу. Величина відносного прискорення прийнята  $a_0 = 0,05$ , коефіцієнт що враховує непружні деформації і локальні пошкодження елементів будівлі  $k_1 = 0,25$ . Усі альтернативи були розраховані як єдина система із ґрунтовою основою. За відсутності даних про геологію на попередньому етапі, були прийняті ґрунтові умови найближчого аналога. Сталеві та залізобетонні конструкції запроєктовано відповідно до нових національних норм, прийнятих у 2007..2012 роках і частково гармонізованих з Єврокодами. При сталевому каркасі другорядні балки прийнято як такі що працюють як композитні. Інформація про альтернативи міститься у таблиці 1.

**Результати досліджень.** Для девелопера важливо знайти оптимальне вирішення, яке б забезпечувало максимальну економічну вигоду від інвестиційного проекту. Для цього мають бути застосовані відповідні економічні моделі порівняння.

Таблиця 1

Показники альтернатив, залежні від конструктивного вирішення

Показник	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Каркас	Сталь	Сталь	Сталь	Сталь	З/б.	З/б.
Проліт, м	7,5	7,5	15	15	7,5	15
Загальна площа, м <sup>2</sup>	41993	41993	42027	42027	41910	41951
Корисна площа, м <sup>2</sup>	38634	38634	38667	38667	38550	38592
Площа оренди типового пов., м <sup>2</sup>	1584	1584	1586	1586	1581	1582
Площа оренди стилобатн. пов., м <sup>2</sup>	2541	2541	2542	2542	2537	2539
Кількість машиномісць у паркінгу	156	156	160	160	156	160
Об'єм бетону, м <sup>3</sup>	9806	9806	10233	10233	16891	20282
Витрати арматури, тон	830	830	962	962	2901	5964
Опалубка щитова, м <sup>2</sup>	6839	6839	7098	7098	20069	19967
Балки сталеві, тон	767	805	1028	1308	0	0
Колони сталеві, тон	618	323	217	217	0	0
Профільований настил, м <sup>2</sup>	33381	33381	33419	33419	0	0
Площа вогнезахисту, м <sup>2</sup>	23648	23394	24191	24905	0	0

Одним із дієвих критеріїв порівняння є собівартість у ділі, що враховує повні витрати на зведення будівлі разом із усіма системами і опорядженням. Для точного визначення собівартості потрібно знати об'єми та вирішення будівлі по всіх статтях витрат. На етапі попередньої оцінки альтернатив використовуються аналогі та укрупнені показники. У даному дослідженні розрахунок собівартості проведений за участі компанії Thomas&Adamsон та Інституту Сталевих конструкцій (ВБ). Розцінки показники взяті ринковим методом із відкритих джерел.

В той же час, собівартість у ділі не враховує експлуатаційні показники будівлі. Через це застосовують моделі життєвого циклу будівель, що є найбільш сучасним методом оцінки ефективності рішень. Аналіз вартості життєвого циклу зазвичай включає в себе окрім собівартості, витрати на експлуатацію і відрахування а також механізми повернення інвестицій від оренди тощо. Огляди моделей життєвого циклу для будівель [3,4,5] показують, що найбільш застосовною наразі, незважаючи на недоліки є NPV модель. У даній роботі застосовано функцію життєвого циклу у формі прибутку на основі рівняння Хаджепура та Грігсона [2]:

$$NPV = \sum_{k=1}^t \frac{RO_k}{(1+I)^{k-1}} - \sum_{k=1}^t \frac{C_o}{(1+I)^{k-1}} - C_c - \frac{C_r}{(1+I)^t} \quad (1)$$

де  $NPV$  - чисте теперішнє значення прибутку,  $k$  - лічильник років,  $t$  - термін циклу експлуатації будівлі після закінчення будівництва, що прийнято 50 років.  $C_c$  - собівартість у ділі на початок експлуатації.  $R$  - дохід за рік при повній оренді площ. Для офісів класу «А» середня вартість оренди 1 м<sup>2</sup> в Києві становить 38\$/місяць а для більш привабливих офісів вільного планування 40\$/місяць.  $O_k$  - плаваюча річна ставка заповнюваності орендарями, за прийнятою моделлю, що дійсна для міста Київ, усереднено складає 85%.  $I$  - прогнозована ставка інфляції, прийнята за даними НБУ 8,5%.  $C_o$  - річні експлуатаційні витрати, що прийняті 2% від  $C_c$ .  $C_r$  - витрати на реновацію в кінці циклу, що прийняті для 14% вартості будівлі при залізобетонному каркасі та 5% - для сталевих вирішення за рахунок утилізованості і меншої ваги. Для всіх альтернатив була також підрахована тривалість будівництва та собівартість на момент введення в експлуатацію з урахуванням недоотриманої оренди внаслідок пізнішого завершення. Економічні параметри альтернатив показані у табл. 2.

**Висновки.** Як видно із таблиці 2, за критерієм собівартості у ділі найбільш економічними є рішення зі сталевим каркасом при короткому прольоті, в той час як залізобетонний варіант з короткими прольотами виявляється дешевшим за довгопрольотні вирішення у сталі. Проте при урахуванні неотримання оренди від різниці строків будівництва, собівартість на момент введення в експлуатацію показує перевагу сталевих вирішень перед залізобетонними незалежно від прольоту.

Таблиця 2

## Економічні параметри альтернатив, тис.дол.США

Параметр	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Собівартість у ділі	<b>37823</b>	<b>37546</b>	<b>38933</b>	<b>38662</b>	<b>38571</b>	<b>43925</b>
Тривалість будівництва	384	399	358	401	430	509
Річний дохід від оренди при $O = 85\%$	11425	11425	12038	12038	11398	12012
Недоотримана оренда	990	1327	0	1467	2325	5139
Собіварт.на момент введ.в експлуат.	<b>38813</b>	<b>38874</b>	<b>38933</b>	<b>40128</b>	<b>40896</b>	<b>49064</b>
Приведений Прибуток NPV	<b>95033</b>	<b>95042</b>	<b>102327</b>	<b>101200</b>	<b>92356</b>	<b>90540</b>

При обчисленні чистого прибутку в моделі життєвого циклу з урахуванням експлуатаційних показників стає очевидною перевага сталевих каркасів з довгопрольотною схемою. Концепція вільного планування має також перевагу через збільшення кількості місць у паркінгу і більшу гнучкість при реновації. У розгорнутому вигляді дослідження буде видане у вигляді буклету, що демонструє девелоперам перевагу сталевих каркасів незалежно від стратегії інвестора (будівництво і здача в оренду чи продаж). Тематикою подальших досліджень є деталізація параметрів функції життєвого циклу та створення універсальної системи пошуку оптимальних рішень багатоповерхових будівель зі сталевим каркасом [6]. Послідовна реалізація в Україні програми УЦСБ призведе до збільшення долі сталевих рішень в комерційному сегменті будівництва вже в недалекому майбутньому.

1. Hicks S.J., Lawson R.M., Rackham J.W., Fordham P. Comparative Structure Cost of Modern Commercial Buildings (Sec.Ed.) SCI P137, 85 p. (2004) 2. Khajehpour S., Grierson D.E. Profitability versus safety of high-rise office buildings // Struct Multidisc Optim 25, pp 279–293 (2003) 3. Flanagan R, Norman G, Meadows J, Robinson G (1989) Life Cycle Costing: Theory and Practice. Oxford: BSP Professional Books. 4. Butry, D. T.; Chapman, R. E.; Huang, A. L.; Thomas, D. S. A Life-Cycle Cost Comparison of Exit Stairs and Occupant Evacuation Elevators in Tall Buildings//Atlas Specialty Metals Vol 48, pp. 155 – 172 5. Schade J. Life cycle cost calculation models for buildings Department of Civil, Mining and Environmental Engineering Luleå University of Technology, Luleå, Sweden – INPRO, 2007, 9 p. 8. Білик А.С. Оптимізація конструкцій з дискретно змінною схемою навантаження// «Современные конструкции.. » Збірник наукових праць, ОДАБА, 2012 – С.21-29