

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ СЕЙСМОСТІЙКИХ КОНСТРУКЦІЙ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ

Галина ГЕТУН¹, Ірина БЕЗКЛУБЕНКО², Андрій СОЛОМІН³, Віра КОЛЯКОВА⁴

^{1,2,4}Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037

³НТТУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського

37, проспект Перемоги, Київ, Україна, 03056

¹galinagetun@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-3317-3456>

²i.bezklubenko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-9149-4178>

³andr-sol@i.ua, <http://orcid.org/0000-0002-5226-8813>

²koliakova.vm@knuba.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0001-6879-8520>

Анотація. Проектування, будівництво і експлуатація будівель в Україні пов'язані з необхідністю врахування додаткових особливих навантажень і впливів, а саме: сейсмічних, у складних інженерно-геологічних умовах, на слабких ґрунтах, підроблених територіях і просідаючих ґрунтах, а в умовах війни з Росією під час ракетних і артилерійських обстрілів і бомбардувань населених пунктів – впливів від вибухів, вибухових хвиль, розповсюдження пожеж тощо [3].

Територія України розташована на окраїні потужного Азорсько-Середземноморсько-Альпійсько-Трансазійського сейсмогенного поясу планети. Україна загалом не належить до особливо сейсмічно небезпечних регіонів планети. Лише в межах трьох її районів відмічені мало- і середньомagnitude (3...6 балів) землетруси: Українські Карпати та Кримські гори, Приазов'я. Але спостереження за наслідками численних землетрусів показали, що в різних частинах одного сейсмічного району вони значно відрізняються за інтенсивністю. Так, інтенсивність струсу на поверхні землі на ділянках із сипкими ґрунтами є у 15 разів більшою, ніж на ділянках із скельними. Тому під час проектування будівель і споруд слід враховувати особливості будівництва в складних інженерно-геологічних умовах території України, які пов'язані з дослідженнями, проектуванням і облаштуванням основ і фундаментів на слабких водонасичених, глинистих і заторфованих ґрунтах, торфах та ілах, просідаючих, набрякаючих, засолених, здимаючих та нерівномірно



Галина ГЕТУН

професор кафедри архітектурних конструкцій
к. т. н., доцент



Віра Колякова

доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій,
к. т. н., доцент



Андрій Соломін

доцент кафедри біобезпеки і здоров'я людини,
к. ф-м. н., доцент



Ірина БЕЗКЛУБЕНКО

доцент кафедри інформаційних технологій та прикладної математики,
к. т. н., доцент

стиснутих ґрунтах, рихлих пісках і пливунах, закарстованих і підроблюваних територіях, з урахуванням сейсмічної та динамічної дії з дотриманням вимог ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах»

України» [5] і ДБН В.1.1-45:2017 «Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення» [6].

Проектування сучасних будівель в сейсмічних районах розвивається за двома напрямками, які відповідають основним принципам сейсмозахисту, – традиційними (пасивними) і спеціальними (активними). Комплексні системи сейсмозахисту будівель об'єднують пасивну і активну системи.

За традиційного сейсмозахисту здійснюється збільшення несучої здатності основних несучих конструкцій будівель (розміри поперечних перерізів, їх армування, підсилення вузлів стикувань тощо) для сприйняття додаткових зусиль, викликаних сейсмічними впливами. Характер роботи будівель при цьому не змінюється. Спеціальні (активні) заходи покращення сейсмостійкості будівель полягають у зниженні навантажень за рахунок модифікацій їх динамічних схем роботи. Активний сейсмозахист будівель – це новий напрямок, який полягає в проведенні додаткових конструктивних заходів для запобігання небезпечних резонансних коливань і тим самим зниження сейсмічних впливів. Він досягається шляхом зміни динамічних жорсткостей або періодів власних коливань будівель при землетрусах у результаті використання спеціальних конструктивних пристроїв: ковзких поясів, зв'язків, які включаються або виключаються, встановленням динамічних гасителів коливань, кінематичних або пальових фундаментів, які мають дисипативні характеристики самоорганізації, рамно-в'язевих систем із складними діафрагмами жорсткості, гумово-сталевих циліндричних опор тощо.

В статті проаналізовані особливості проектування сталевих сейсмостійких конструкцій висотних будівель. Досліджені схеми сейсмостійких висотних будівель із сталевими каркасами. Обґрунтована доцільність використання сталевих енергопоглинаючих елементів та представлені схеми їх встановлення в сейсмостійких будівлях із сталевими каркасами.

Ключові слова. Сталеві конструкції; висотні будівлі; сейсмостійке будівництво; схеми каркасів; колони; база колони; ригелі; перфоровані стінки; жорсткі з'єднання; енергопоглинаючі елементи.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Аналіз наслідків чисельних землетрусів свідчить, що сталеві конструкції мають

кращу сейсмостійкість у порівнянні з традиційними та залізобетонними [1, 12, 15]. Причинами цього є: високі характеристики міцності та пластичності сталі, які здатні поглинати енергію при їх роботі за межею пружності; реальна можливість залучити до роботи максимальний об'єм металу за межею пружності без втрати міцності та стійкості основних несучих елементів; можливість виготовляти сталеві каркаси будь-яких конструктивних форм, що дозволяє змінювати динамічні характеристики будівель і регулювати сейсмічні навантаження.

При проектуванні сейсмостійких висотних будівель доцільно використовувати сталеві каркаси у вигляді просторових систем з несучими рамними каркасами у поєднанні з діафрагмами жорсткостей з ґратчастих конструкцій із сталі або залізобетонних стінок, а також у поєднанні з стовбурами жорсткостей [8, 14]. В таких будівлях горизонтальні сейсмічні впливи і частина вертикальних навантажень сприймаються діафрагмами жорсткостей або внутрішніми стовбурами жорсткостей, а зовнішні колони сприймають лише вертикальні навантаження.

У випадках залучення конструкцій зовнішнього каркаса на сприйняття горизонтальних сейсмічних і вітрових навантажень утворюється оболонкова просторова конструктивна система «*tube in tube*», яка має велику горизонтальну жорсткість і широко використовується за кордоном для зведення сейсмостійких висотних будівель. Зосередження основної маси несучих конструкцій по контуру будівель підвищує жорсткість каркасів, тим самим зменшує їх деформативність і одночасно покращують роботу каркасів на закручування у цілому [4].

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основні принципи конструювання сейсмостійких сталевих каркасів висотних будівель [2, 3, 8, 10]: 1) конструктивні схеми каркасів повинні мати симетричні форми і забезпечувати виникнення мінімальних горизонтальних сейсмічних навантажень під час зе-

млетрусів, для чого необхідно використовувати легкі огорожувальні конструкції та конструкції перекриттів; 2) при виборі конструктивних схем перевагу слід віддавати схемам, у яких зони пластичності виникають у першу чергу в зв'язках і в горизонтальних елементах каркаса (ригелях, конструкціях перекриттів, об'язувальних балках тощо); 3) розвиток пластичних деформацій допускається в елементах каркасів, які працюють на згинання або зсування; 4) для конструкцій каркасів, що працюють у пружно-пластичній стадії, повинні застосовуватися маловуглецеві та низьковуглецеві сталі з відносним подовженням не менше 20 %; 5) конструкції каркасів, в яких передбачаються розвитку пластичних деформацій під час землетрусів, повинні мати конструктивні форми, що відрізняються низькими рівнями концентрації напружень; 6) області пластичних деформацій повинні бути винесені із

зон зварених і болтових з'єднань; 7) стиснуті конструкції каркасів повинні бути захищені енергопоглинаючими елементами від можливих перевантажень під час землетрусів; 8) енергопоглинаючі елементи необхідно установлювати в конструкції вертикальних зв'язків між колонами; 9) конструкції каркасів повинні мати високий рівень ремонтпридатності.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сталеві колони багатоповерхових сейсмостійких каркасів рамного типу слід, як правило, проектувати замкнутого (коробчастого або круглого) перерізів однаково стійких відносно головних осей інерції, а колони рамно-в'язевих каркасів – двутаврового або замкнутого перерізів (рис. 1).

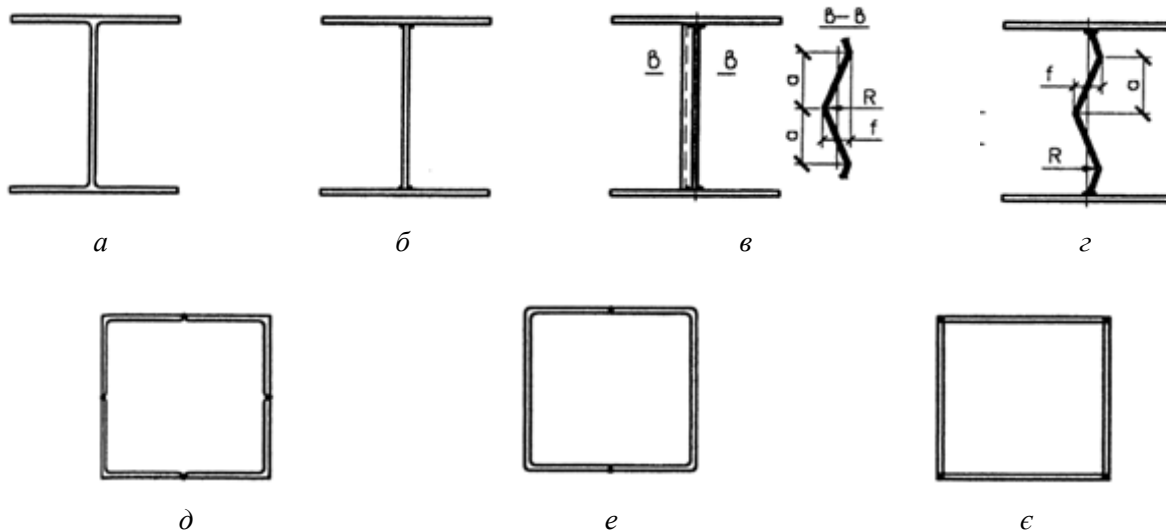


Рис. 1. Перерізи сталевих колон сейсмостійких каркасних будівель:

a, б, в – двотаври (прокатний, зварений з плоскою стінкою і зварений з поперечно і поздовжньо гофрованими стінками);

д, е, ф – трубчасті (з кутової сталі, з гнутих швелерів, з листової сталі)

Fig. 1. Sections of steel columns of earthquake-resistant frame buildings:

a, b, c – I-beams (rolled, welded with a flat wall and welded with transversely and longitudinally corrugated walls);

d, e, f – tubular (from angle steel, from bent channels, from sheet steel)

Ригелі сталевих каркасів, які працюють на згинання, слід проектувати, як правило, з прокатних або зварних двотаврів (рис. 2, *a*,

б). Ригелі з поперечно-гофрованими стінками мають високу малоциклову міцність, тому добре сприймають сейсмічні впливи (рис. 2, *в*). Особливо ефективними є ригелі із

зонами рівного опору на ділянках примикань до колон, тому що мають високу здатність поглинати енергію сейсмічних впливів під час землетрусів (рис. 3).

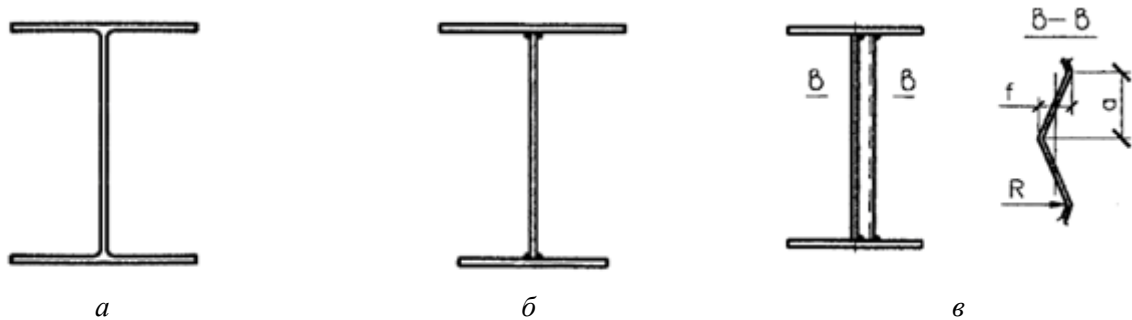


Рис. 2. Перерізи сталевих ригелів сейсмостійких каркасних будівель:

- a* – прокатний двотавр;
- б* – зварений двотавр з різною шириною полиць;
- в* – зварений двотавр з поперечно гофрованою стінкою

Fig. 2. Sections of steel crossbars of earthquake-resistant frame buildings:

- a* – rolled I-beam;
- b* – welded I-beam with different shelf widths;
- c* – a welded I-beam with a transversely corrugated wall

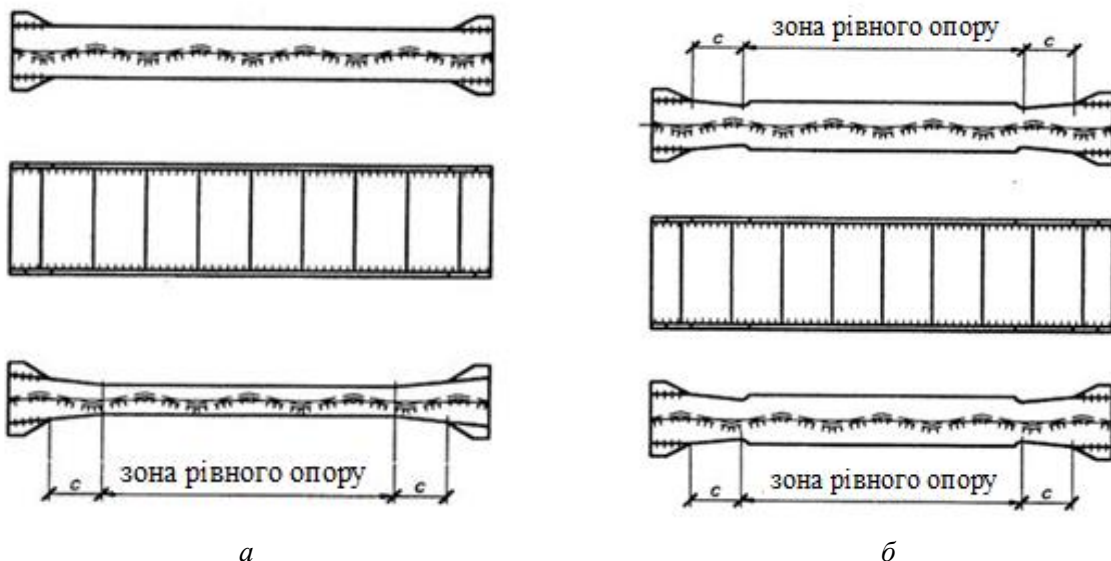


Рис. 3. Сталеві ригелі з поперечно-гофрованими стінками сейсмостійких каркасних будівель:

- a* – із зоною рівного опору в нижньому поясі на ділянках примикань до колон;
- б* – із зонами рівного опору в нижньому і верхньому поясах на ділянках примикань до колон

Fig. 3. Steel crossbars with transversely corrugated walls of earthquake-resistant frame buildings:

- a* – with a zone of equal resistance in the lower belt in the areas of abutments to the columns;
- b* – with zones of equal resistance in the lower and upper belts in the areas of abutments to the columns

Відповідальними елементами несучих конструкцій сейсмостійких багатоповерхових будівель з рамними каркасами є вузли з'єднання ригелів з колонами, які повинні

забезпечувати мінімальні рівні концентрації напружень (рис. 4, 5).

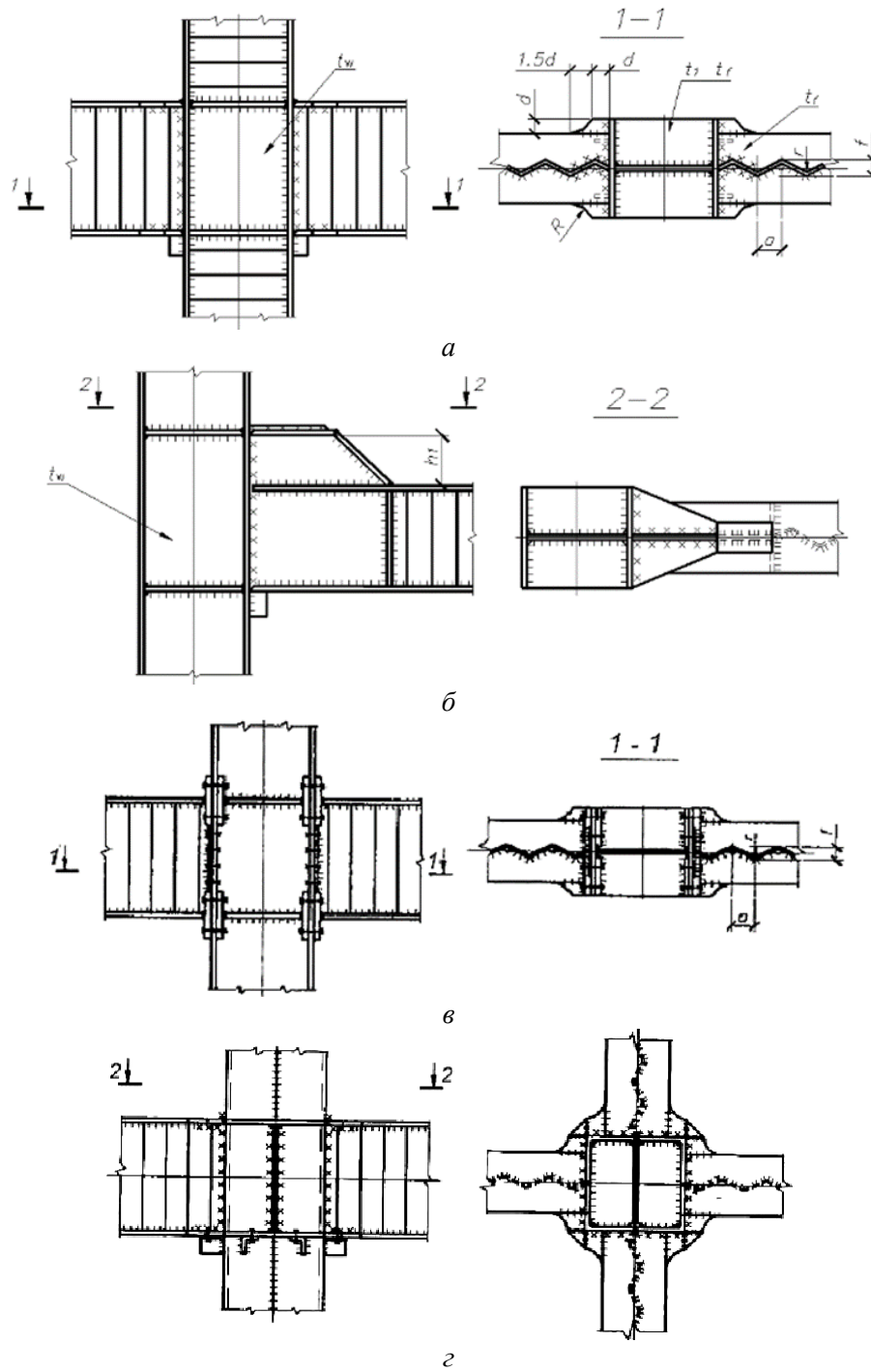


Рис. 4. Жорсткі вузли з'єднань ригелів з колонами сейсмостійких будівель із сталевими каркасами:
a – зварений;
б – зварений із збільшеною висотою ригеля;
в – болтовий;
г – зварний (колона замкнутого перерізу)

Fig. 4. Rigid joints of crossbars with columns of earthquake-resistant buildings with steel frames:
a – welded;
b – welded with an increased height of the bolt;
c – bolted;
d – welded (column of closed section)

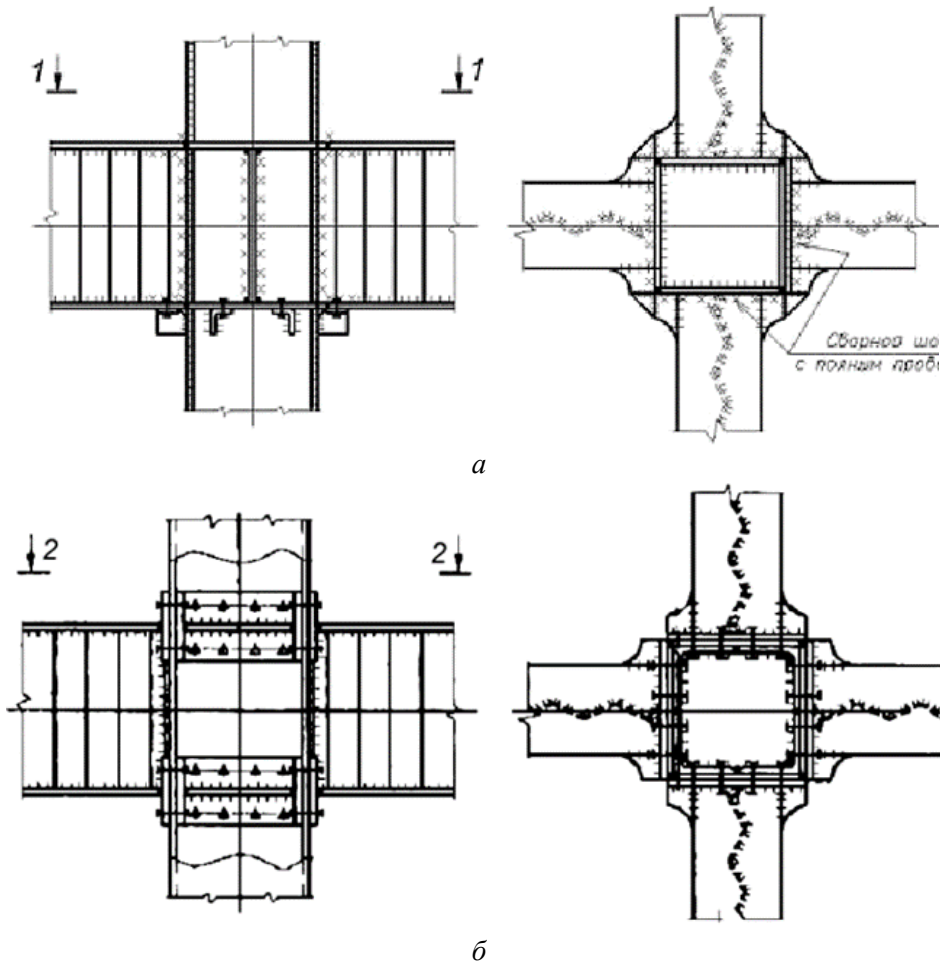


Рис. 5. Жорсткі вузли з'єднань ригелів з колонами сейсмостійких будівель із сталевими каркасами:
a – зварний (колона замкнутого перерізу з 4-х листів);
б – болтовий (колона трубчастого перерізу)

Fig. 5. Rigid joints of crossbars with columns of earthquake-resistant buildings with steel frames: *a* – welded (column of closed cross section made of 4 sheets); *b* – bolted (tubular section column)

В сейсмостійких будівлях із сталевими рамними каркасами енергопоглинаючими елементами є:

- ригелі, в яких пластичні деформації розвиваються на ділянках біля опор поясів за межами зварених з'єднань з колонами. Тому для збільшення об'єму металу, який працює за межами пружності, в сейсмостійких будівлях рекомендується створювати в поясах ригелів зони рівного опору (рис. 3);

- у місцях розвитку пластичних деформацій звисання поясів не повинно перевищувати $0,25t_f \sqrt{\frac{E}{R_y}}$;

- стінки колон у зонах рамних вузлів, в яких допускається розвиток зсувних пластичних деформацій. При цьому згинальні

моменти і нормальні сили, які діють в колонах, сприймаються поясами колон, а стінки працюють лише на зсування (рис. 4, *a*, *б*, *в*);

- стінки траверс баз колон, в яких можливий розвиток пластичних зсувних деформацій під час землетрусів (рис. 6). При цьому відношення висоти стінки до її товщини не повинне перевищувати $\sqrt{\frac{E}{R_y}}$. Збільшення довжини траверс колон знижує поперечні сили і площа поперечних перерізів траверс, що призводить до збільшення пластичних зсувних деформацій і поглинання сейсмічної енергії.

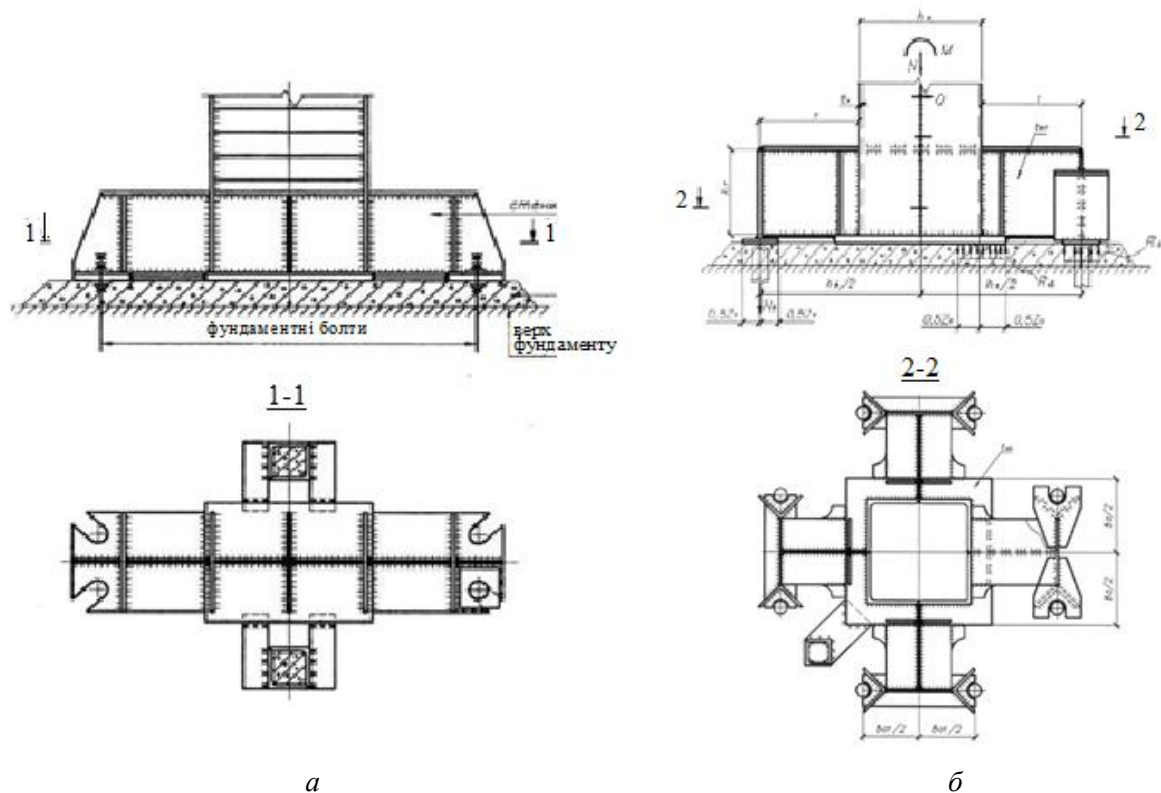


Рис. 6. Базис колон сейсмостійких будівель із сталевими каркасами:

- a* – двотаврового перерізу;
б – трубчастого перерізу)

Fig. 6. Column bases of earthquake-resistant buildings with steel frames:

- a* – double section;
b – tubular section)

Для сейсмостійких будівель із сталевими каркасами висотою 10...20 поверхів рекомендується проектувати рамні та рамно-в'язеві каркаси (рис. 7).

В будівлях висотою 5...8 поверхів (рис. 7, *a*), для зниження згинальної жорсткості конструкцій, з метою зменшення горизонтальних сейсмічних навантажень, рекомендується виконувати сталеві каркаси із стовбурами жорсткості, які мають однакові характеристики жорсткості в поперечному і поздовжньому напрямках. У таких будівлях ригелі жорстко з'єднуються із стовбурами жорсткості та шарнірно з колонами.

В будівлях висотою 10...12 поверхів рекомендується додатково встановлювати **ау-тригерні системи** – жорсткі траверси у вигляді ферм висотою в один поверх в одному

або двох рівнях за висотою будівлі (рис. 7, *в*).

Будівлі висотою понад 12 поверхів рекомендується проектувати з рамними каркасами в обох напрямках. При цьому в будівлях з нижчими каркасами, в окремих випадках, доцільно проектувати верхні поверхи з меншою згинальною жорсткістю (рис. 7, *г*).

Рамні схеми сейсмостійких сталевих каркасів багатоповерхових будівель можуть вирішуватися в різних варіантах. Розбивка сталевих рамних каркасів на відправні елементи може бути традиційною поелементною з колонами довжиною до 12 м або з елементами у вигляді одноповерхових поперечних рам габаритних розмірів виготовлених на заводі та поздовжніх поелементних ригелів.

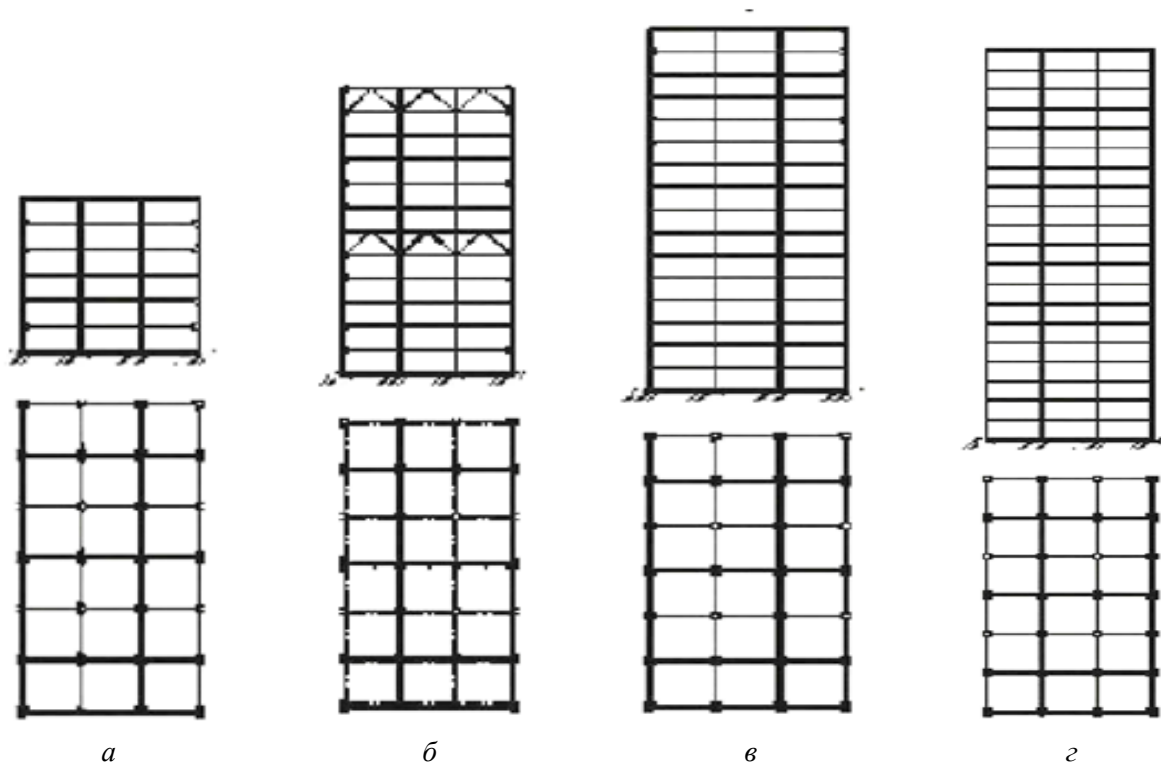


Рис. 7. Схеми сейсмостійких висотних будівель із сталевими рамними каркасами:
a – із стовбуром жорсткості та шарнірними з'єднаннями ригелів з колонами;
б – те саме, і додатковими аутригерними системами у двох рівнях;
в – з рамним каркасом нижніх поверхів і рамно-зв'язковим верхніх поверхів;
г – з рамними каркасами в обох напрямках за всією висотою

Fig. 7. Schemes of earthquake-resistant high-rise buildings with steel frame frames:
a – with a trunk of stiffness and hinged joints of crossbars with columns;
b – the same, and additional outrigger systems in two levels;
c – with a frame frame of the lower floors and a frame-link frame of the upper floors;
d – with frame frames in both directions along the entire height

Багатоповерхові сейсмостійкі будівлі із зв'язевими та рамно-зв'язевими сталевими каркасами для надання більшої жорсткості та ремонтпридатності після землетрусів доцільно оснащувати енергопоглиначами, які встановлюють у зв'язках між колонами (рис. 8). Енергопоглиначі забезпечують високу сейсмостійкість каркасних будівель, захищають елементи каркасів від пікових перевантажень і резонансних явищ.

Особливо ефективними є рамно-зв'язеві каркаси будівель, в яких роль пружного ядра виконують рами, а енергопоглиначі різних конструкцій захищають каркаси від руйнувань під час перевантажень та поглинають енергію сейсмічних впливів за рахунок пластичної роботи сталі.

В невисоких сейсмостійких будівлях із сталевими рамно-зв'язевими каркасами для зниження жорсткості каркасів і, відповідно, сейсмічних навантажень рекомендується встановлювати зв'язки з енергопоглиначами в одному кроці між колонами (рис. 8, *a*). У більш високих будівлях для збільшення жорсткості каркасів раціонально переходити до більш розвинутих систем установки енергопоглиначів у зв'язках між колонами (рис. 8, *б, в, г*).

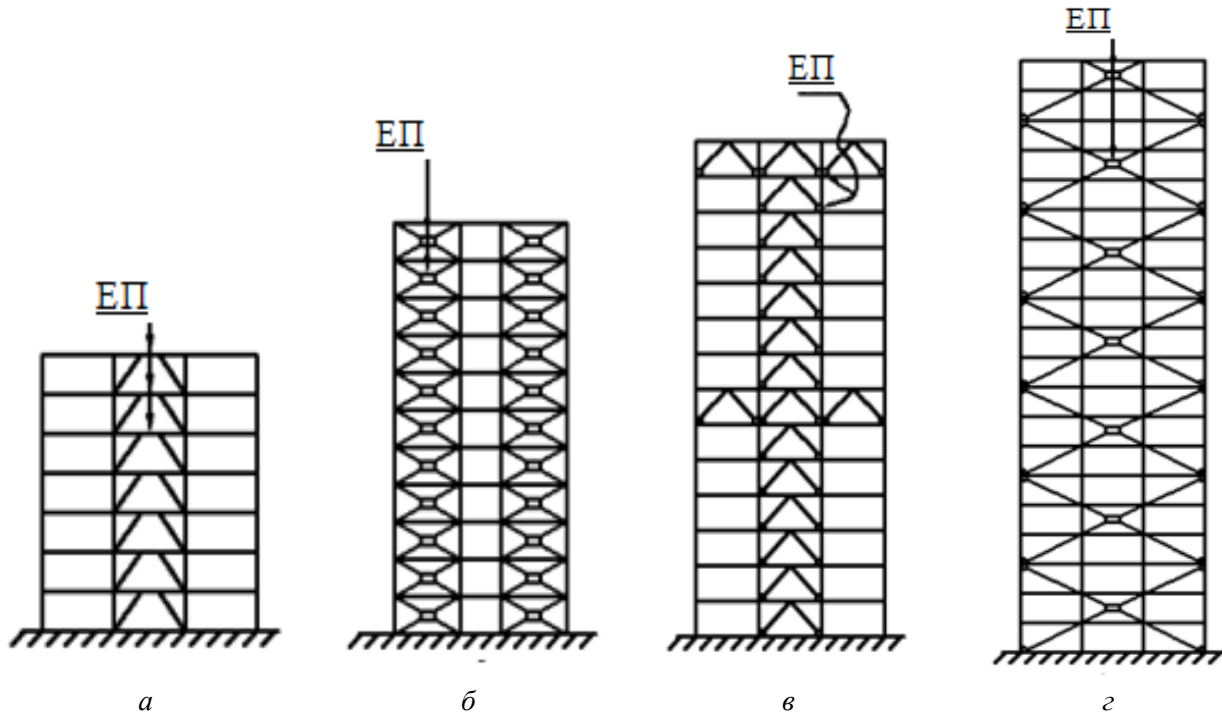


Рис. 8. Схеми сейсмостійких будівель із сталевими в'язевими і рамно-в'язевими каркасами:
 а, б – рамно-зв'язкові з енергопоглиначами (ЕП) і стовбуром жорсткості для будівель висотою до 20 поверхів;

в – рамно-в'язевий з енергопоглиначами (ЕП) для будівель висотою 6...12 поверхів;

г – рамно-в'язевий з енергопоглиначами (ЕП) для будівель висотою понад 15 поверхів

Fig. 8. Schemes of earthquake-resistant buildings with steel connecting and frame-non-connecting frames:
 а, b - elm frame with energy absorbers (EP) and a stiffening trunk for buildings up to 20 floors high;
 c – frame-connecting with energy absorbers (EP) for buildings with a height of 6...12 floors;
 d - frame-connecting with energy absorbers (EP) for buildings with a height of more than 15 floors

Для висотних сейсмостійких будівель висотою понад 25 поверхів рекомендується проектувати сталеві просторові каркаси з розташуванням основних несучих конструкцій по периметру будівель або стовбурів жорсткості – конструктивних систем «*tube*» або «*tube in tube*» (рис. 9).

Для забезпечення високої сейсмостійкості такі конструкції оснащуються енергопоглинаючими пристроями (ЕП), які здатні поглинати всю енергію сейсмічних впливів під час землетрусів.

На рис. 9, а наведена каркасно-стовбурна схема, яку рекомендується проектувати для сейсмостійких будівель із сталевими каркасами висотою до 73, 5м, а за більшої висоти – системи «*tube*» або «*tube in tube*» в рамному (рис. 9, б) або в'язевому варіантах (рис. 9, в, г).

У будівлях з рамними варіантами зовнішніх оболонок каркасів ефективність роботи покращується із зменшенням кроку між колонами. Ідеальними, в таких випадках, є перфоровані сталеві оболонки з прорізами для вікон. Для висотних будівель із зв'язковими варіантами зовнішніх оболонок раціональними є великорозмірні зв'язки хрестового типу з колонами і ригелями двотаврових перерізів (рис. 9, в). Ефективними є також стрижневі зовнішні оболонки з перехресним розташуванням елементів, які одночасно виконують роль колон і зв'язків (рис. 9, г). В будівлях з такими конструктивними рішеннями роль енергопоглинаючих елементів виконують вузлові елементи каркасів зовнішніх оболонок.

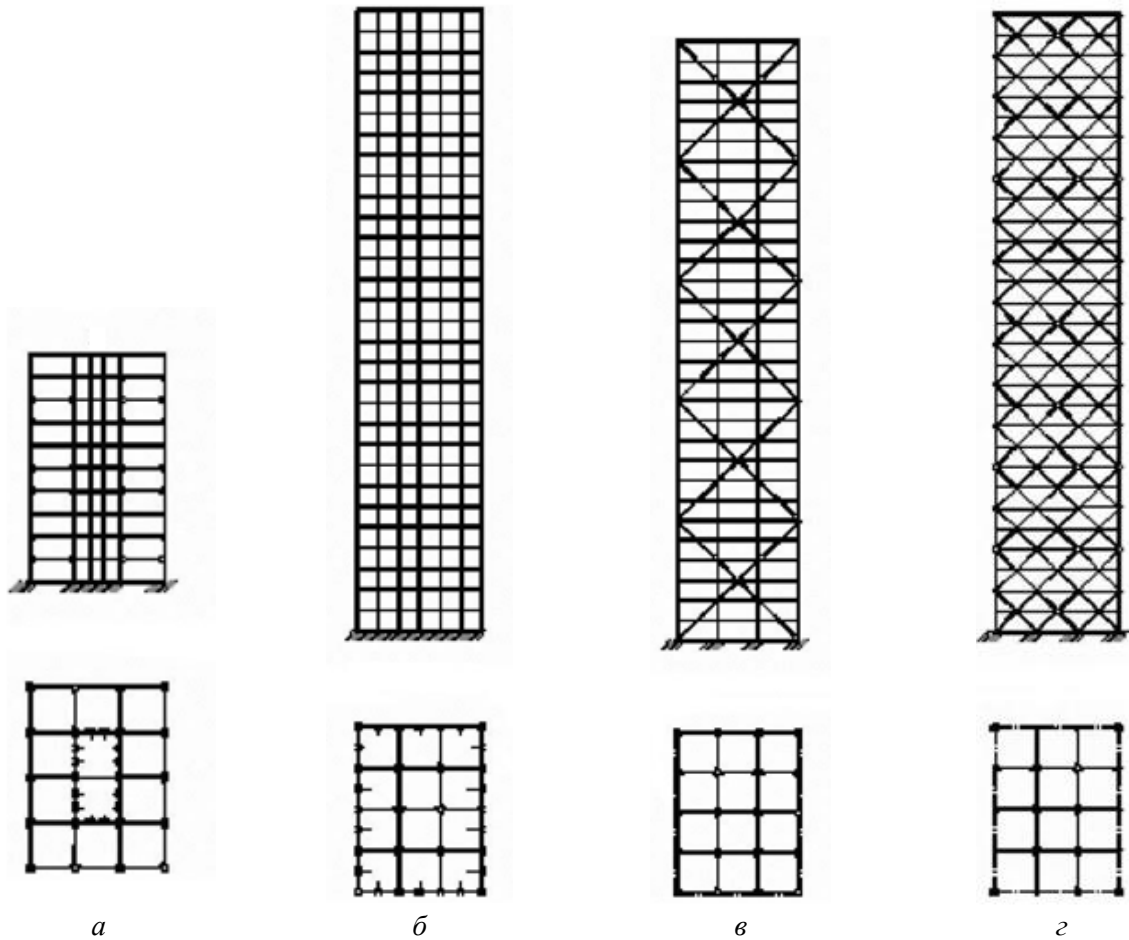


Рис. 9. Схеми сейсмостійких будівель із сталевими стовбурними і оболонковими конструктивними системами:

a – каркасно-стовбурна;

б – оболонкова «tube»;

в – оболонкова з великорозмірними зв'язками хрестового типу;

г – оболонкова перехресним розташуванням стрижневих елементів

Fig. 9. Schemes of earthquake-resistant buildings with steel trunk and shell structural systems:

a – frame-trunk; *b* – shell "tube"; *c* – membrane with large cross-type ligaments;

d – a shell with a cross-arrangement of rod elements

Таким чином, під час землетрусів металеві каркаси будівель отримують визначену кількість енергії сейсмічних впливів, при цьому у випадках пружної роботи майже вся енергія акумулюється каркасами через малі коефіцієнти поглинання сталевих елементів. Це призводить до різкого збільшення амплітуд коливань будівель, особливо за співпадіння частот коливань ґрунтових основ з власними коливаннями каркасів. У зв'язку з цим збільшуються зусилля в елементах каркасів і можливе руйнування конструкцій. Особливо небезпечними є пікові перевантаження, які іноді перевищують розрахункові сейсмічні у 2...3 рази. Сейсмічний захист

несучих сталевих конструкцій будівель від резонансних і пікових перевантажень (сейсмічних, вибухових тощо) є необхідними умовами для забезпечення їх сейсмостійкості. Найпростіше здійснити сейсмосахист за допомогою **спеціальних сталевих енергопоглинаючих елементів**, які встановлюють в каркасах будівель. Вони стають запобіжниками від руйнувань несучих конструкцій у випадках перевищень фактичних сейсмічних навантажень прийнятих при розрахунках за діючими будівельними нормами і правилами ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України» [5].

Розроблені типи енергопоглиначів дозволяють поглинути всю енергію сейсмічних впливів, яка надходить до будівель, за рахунок пластичної роботи сталі при знакозмінних циклічних навантаженнях. Завдяки цьому виключаються перевантаження елементів несучих конструкцій і забезпечується їх надійна робота під час землетрусів. Каркаси будівель оснащені енергопоглинаючими елементами здатні витримувати без руйнувань не менше двох землетрусів різних інтенсивностей.

Енергопоглинаючими елементами можуть бути як окремі елементи сталевих каркасів будівель (ригелі, стінки рамних вузлів,

бази колон), так і спеціальні енергопоглиначі. За характером роботи за межами пружності сталі енергопоглиначі можна розділити на дві групи: стиснуто-розтягнуті, в яких матеріал працює за межами пружності на розтягування і стискання (рис.10, а) та зсувні, в яких матеріал працює на зсування (рис. 10, б). За однакових рівнів пластичних деформацій сталеві енергопоглиначі зсувних типів поглинають на 15% менше енергії на одиницю об'єму матеріалу, що працює за межами пружності, у порівнянні із стиснуто-розтягнутими енергопоглиначами. Але зсувні енергопоглиначі мають простішу форму і дешевші у виготовленні.

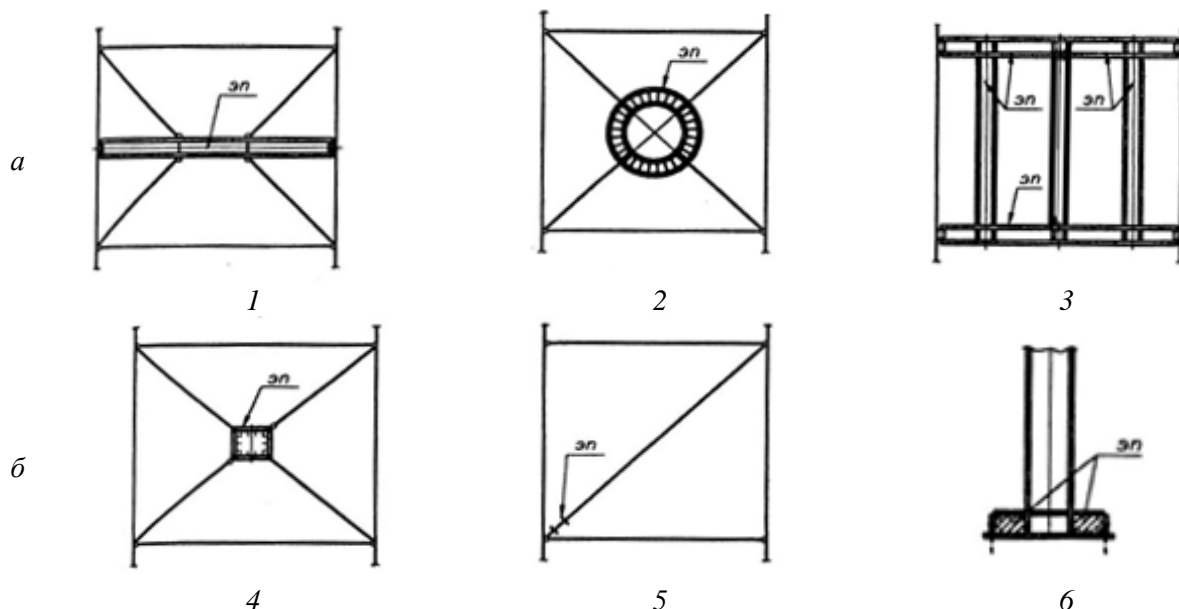


Рис. 10 Схеми установки енергопоглиначів в сейсмостійких будівлях із сталевими каркасами: а – стиснуто-розтягнуті; б – зсувні;

1 – балковий; 2 – кільцевий; 3 – рамний; 4, 5 – у зв'язках; 6 – в базі колон

Fig. 10 Schemes of installation of energy absorbers in earthquake-resistant buildings with steel frames:

a – compressed-stretched; b – shears;

1 – beam; 2 – ring; 3 – frame; 4, 5 – in connections; 6 – in the column base

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

При проектуванні висотних будівель в Україні необхідно враховувати додаткові навантаження їх експлуатації в особливих умовах підвищеної сейсмічності, складних інженерно-геологічних умов, надзвичайних ситуацій від можливих обстрілів і вибухів

та дотримуватись діючих норм та конструктивних рекомендацій, які відображені у спеціальній літературі.

Висотні будівлі із сталевими каркасами краще чинять опір сейсмічним і динамічним впливам у порівнянні із залізобетонними каркасами.

Для захисту несучих конструкцій висотних будівель із сталевими каркасами від резонансних сейсмічних і можливих ударних і

вибухових впливів доцільно використовувати спеціальні сталеві енергопоглинаючі елементи (стиснуто-розтягнуті та зсувні).

ЛІТЕРАТУРА

1. Айзенберг Я. М. Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты / Я. М. Айзенберг и др. – М.: Наука, 1983. – 140 с.
2. Гетун Г. В. Аналіз специфічних особливостей проектування висотних будівель у сейсмічних районах. //Г. Гетун, В. Колякова, І. Безклубенко, О. Баліна, В. Мельник / *Зб. Наук праць "Будівельні конструкції. Теорія і практика"*, Київ: КНУБА, 2019.-Вип.4 с.39-48.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.4.2019.39-48>
3. Гетун Г. В., Куліков П. М., Плоский В. О., Чернишев О. Д. Конструкції будівель і споруд. Книга 2. Нежитлові будівлі: Підручник для вищих навчальних закладів / Гетун Г. В., Куліков П. М., Плоский В. О., Чернишев О. Д. – Кам'янець-Подільський: Видавництво «Рута». 2022. – 900 с.: іл.
4. Голосов В. Н., Ермолов В. В., Лебедев Н. В. и др. Инженерные конструкции: Учебник для вузов / Голосов В. Н., Ермолов В. В., Лебедев Н. В. И др. под общ. ред. Ермолова В. В. – М.: Высшая школа, 1991. – 408 с.
5. ДБН В.1.1-12:2014. Технічні норми, правила і стандарти. Загальнотехнічні вимоги до життєвого середовища та продукції будівельного призначення. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. *Будівництво у сейсмічних районах України*. – К.: Мінрегіонбуд України, 2014. – 110 с.
6. ДБН В.1.1-45:2017. Технічні норми, правила і стандарти. Загальнотехнічні вимоги до життєвого середовища та продукції будівельного призначення. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. *Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення*. – К.: Мінрегіонбуд України, 2017. – 29 с.
7. Дятков С. В., Михеев А. П. Архитектура промышленных зданий: Учебник для вузов / Дятков С. В., Михеев А. П. – М.: изд-во АСВ, 1998. – 480 с.: ил.
8. Коляков М. И. Металлические каркасы гражданских зданий / М. И. Коляков, М. И. Медведев. – Киев: "Будивельник", 1976. – 132 с.
9. Куліков П. М., Плоский В. О., Гетун Г. В. Архитектура будівель та споруд. Книга 5. Промислові будівлі: Підручник для вищих навчальних закладів / Куліков П. М., Плоский В. О., Гетун Г. В. – Кам'янець-Подільський: Видавництво «Рута». 2020 р. – 820 с.: іл.
10. Куліков П. М., Плоский В. О., Гетун Г. В. Конструкції будівель і споруд. Книга 1: Підручник для вищих навчальних закладів / Куліков П. М., Плоский В. О., Гетун Г. В. – К.: Видавництво «Ліра-К». 2021 р. – 820 с.: іл.
11. Медведев С. В. Сейсмические воздействия на здания и сооружения / С. В. Медведев, Б. К. Карапетян, В.А. Быховский. / М.: Стройиздат, 1968. 191 с.
12. Немчинов Ю.И. Сейсмостойкость зданий и сооружений. В двух частях. – Киев., 2008. – 480 с.
13. Немчинов Ю. И., и др. Проектирование зданий с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости /под ред. Ю. И. Немчинова. – К.: Гудименко С.В., 2012. – 384 с.
14. Немчинов Ю. И. Сейсмостойкость высотных зданий и сооружений. Киев: 2015. – 584 с. ил.
15. Плевков В. С., Мальганов А. И., Балдин И. В. Железобетонные и каменные конструкции сейсмостойких зданий и сооружений: Учебное пособие. Под ред. В. С. Плевкова. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 290 с.
16. Репях В. В. Опыт применения новых строительных норм в сейсмических расчетах зданий / *Будівельні конструкції. Зб. наук.праць*. – К.:НДІБК, 2009. - Вип. 69. – с. 674-679.
17. Сахаров В. А., Гетун Г. В., Мельник В. А. Анализ влияния сейсмической нагрузки на деформации высотного здания при различном числе этажей. // Budownictwo, Czestochowa, Poland: 2014. – Вип.19., с.156-162.
18. Шевцов К. К. Проектирование зданий для районов с особыми природно-климатическими условиями: Учеб. Пособие для студентов вузов. – М.: Высш. шк., 1986. – 232 с., ил.

REFERENCES

1. Aizenberh Ya. M. Seismoyzoliatsiya y adaptivnye systemy seismozashchyty / Ya. M. Aizenberh y dr. – М.: Nauka, 1983. – 140 s.
2. Hetun H. V. Analiz spetsyfichnykh osoblyvostei proektuvannia vysotnykh budivel u seismichnykh raionakh. //H. Hetun, V. Koliakova, I. Bezklubenko, O. Balina, V. Melnyk /

Zb. Nauk prats "Budivelni konstru-ktivsii. Teoriia i praktyka", Ky-yiv.:KNUBA,2019.-Vyp.4 s.39-48.

<https://doi.org/10.32347/2522-4182.4.2019.39-48>

3. **Hetun H. V., Kulikov P. M., Ploskyi V. O., Chernyshev O. D.** Konstruktsiia budivel i sporud. Knyha 2. Nezhytlovi budivli: Pidruchnyk dlia vyshchykh navchalnykh zakladiv / Hetun H. V., Kulikov P. M., Ploskyi V. O., Chernyshev O. D. – Kamianets-Podilskyi: Vydavnytstvo «Ruta». 2022. – 900 s.: il.
4. **Holosov V. N., Ermolov V. V., Lebedev N. V.** y dr. Ynzhenernye konstruktssy: Ucheb-nyk dlia vuzov / Holosov V. N., Ermolov V. V., Lebedev N. V. Y dr. pod obshch. red. Er-molova V. V. – M.: Vysshaiia shkola, 1991. – 408 s.
5. **DBN V.1.1-12:2014.** Tekhnichni normy, pravyla i standarty. Zahalnotekhnichni vymohy do zhyttievoho seredovyscha ta produktsii budivelnoho pryznachennia. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. Budivnytstvo u seismichnykh raionakh Ukrainy. – //K.: Minrehionbud Ukrainy, 2014. – 110 s.
6. **DBN V.1.1-45:2017.** Tekhnichni normy, pravyla i standarty. Zahalnotekhnichni vymohy do zhyttievoho seredovyscha ta produktsii budivelnoho pryznachennia. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. Budivli i sporudy v skladnykh inzhenerno-heolohichnykh umovakh. Zahalni polozhennia. – K.: Minrehionbud Ukrainy, 2017. – 29 s.
7. **Diatkov S. V., Mykheev A. P.** Arkhitektura promyshlennykh zdani: Uchebnyk dlia vuzov / Diatkov S. V., Mykheev A. P. – M.: yzd-vo ASV, 1998. – 480 s.: yl.
8. **Koliakov M. Y.** Metallicheskye karkasy hrazhdanskykh zdani / M. Y. Koliakov, M. Y. Medvedev. – Kyev: "Budyvelnyk", 1976. – 132 s.
9. **Kulikov P. M., Ploskyi V. O., Hetun H. V.** Arkhitektura budivel ta sporud. Knyha 5. Promyslovi budivli: Pidruchnyk dlia vyshchykh navchalnykh zakladiv / Kulikov P. M., Ploskyi V. O., Hetun H. V. – Kamianets-Podilskyi: Vydavnytstvo «Ruta». 2020 r. – 820 s.: il.
10. **Kulikov P. M., Ploskyi V. O., Hetun H. V.** Konstruktsii budivel i sporud. Knyha 1: Pidruchnyk dlia vyshchykh navchalnykh zakladiv / Kulikov P. M., Ploskyi V. O., Hetun H. V. – K.: Vydavnytstvo «Lira-K». 2021 r. – 820 s.: il.
11. **Medvedev S. V.** Seismicheskye voz-deistviia na zdaniia y sooruzheniia / S. V. Medvedev, B. K. Karapetian, V.A. Bykhovskiy. / M.: Stroiyzdat, 1968. 191 s.
12. **Nemchynov Yu. Y.** Seismostoikost zdani y sooruzheni. V dvukh chastiakh. – Kyev., 2008. – 480 s.
13. **Nemchynov Yu. Y.**, y dr. Proektyrova-nye zdani y zadannym urovnem obespeche-nyiia seismostoikosty /pod red. Yu. Y. Nemchynova. –K.: Hudymenko S.V., 2012. – 384 s.
14. **Nemchynov Yu. Y.** Seismostoikost vysotnykh zdani y sooruzheni. Kyev: 2015. – 584 s. yl.
15. **Plevkov V. S., Malhanov A. Y., Baldyn Y. V.** Zhelezovetonnye y kamennye konstruktssy seismostoikykh zdani y so-oruzheni: Uchebnoe posobyie. Pod red. V. S. Plevkova. – M.: Yzdatelstvo ASV, 2010. – 290 s.
16. **Repiakh V. V.** Opyt prymereniia novykh stroitelnykh norm v seismicheskykh raschetakh zdani / Budivelni konstruktssii. Zb. nauk.prats. – K.:NDIBK, 2009. - Vyp. 69. – s. 674-679.
17. **Sakharov V. A., Hetun H. V., Melnyk V. A.** Analiz vliyaniia seismicheskoii na-hruzky na deformatsyy vysotnoho zda-nyiia pry razlychnom chysle etazhei. // Budownictwo, Czestochowa, Poland: 2014. – Vyp.19., s.156-162.
18. **Shevtsov K. K.** Proektyrovanye zda-nyi dlia raionov s osobymu pryrodno-klimatecheskymu uslovyiamy: Ucheb. Posobyie dlia studentov vuzov. – M.: Vyssh. shk., 1986. – 232 s.,

FEATURES OF THE DESIGN OF STEEL EARTHQUAKE-RESISTANT STRUCTURES OF HIGH-RISE BUILDINGS

Galyna GETUN, Iryna BEZKLUBENKO, Andriy SOLOMIN, Vira KOLIAKOVA

Summary. The design, construction and operation of buildings in Ukraine is associated with the need to take into account additional special loads and impacts, namely: seismic, in complex engineering and geological conditions, on weak soils, artificial territories and subsidence soils, and in the conditions of the war with Russia during missile and artillery shelling and bombardment of populated areas – effects from explosions, blast waves, spread of fires, etc. [3].

The territory of Ukraine is located on the outskirts of the powerful Azores-Mediterranean-Alpine-Trans-Asian seismogenic belt of the planet. In

general, Ukraine does not belong to particularly seismically dangerous regions of the planet. Low and medium-magnitude (magnitude 3...6) earthquakes were recorded only within three of its regions: the Ukrainian Carpathians and the Crimean Mountains, the Azov region. But observations of the consequences of numerous earthquakes have shown that in different parts of the same seismic area they differ significantly in intensity. Thus, the intensity of the earthquake on the surface of the earth in areas with loose soils is 15 times greater than in areas with rocky ones. Therefore, during the design of buildings and structures, one should take into account the peculiarities of construction in the complex engineering and geological conditions of the territory of Ukraine, which are associated with research, design and arrangement of bases and foundations on weak water-saturated, clayey and peaty soils, peat and silt, subsidence, swelling, saline, swelling and unevenly compacted soils, loose sands and floating karst and forged territories, taking into account seismic and dynamic action in compliance with the requirements of DBN B.1.1-12:2014 "Construction in seismic regions of Ukraine" [5] and DBN V.1.1-45:2017 "Buildings and structures in difficult engineering and geological conditions. General Provisions" [6].

The design of modern buildings in seismic areas is developing in two directions that correspond to the main principles of seismic protection - traditional (passive) and special (active). Complex systems of seismic protection of buildings combine passive and active systems.

With traditional seismic protection, the load-bearing capacity of the main load-bearing structures of buildings is increased (the dimensions of cross-sections, their reinforcement, strengthening of

joints, etc.) to absorb additional forces caused by seismic influences. At the same time, the nature of the buildings does not change. Special (active) measures to improve the seismic resistance of buildings consist in reducing loads due to modifications of their dynamic work schemes. Active seismic protection of buildings is a new direction, which consists in the implementation of additional constructive measures to prevent dangerous resonant oscillations and thereby reduce seismic impacts. It is achieved by changing the dynamic stiffness or periods of natural oscillations of buildings during earthquakes as a result of the use of special structural devices: sliding belts, connections that can be turned on or off, installation of dynamic vibration dampers, kinematic or pile foundations, which have dissipative characteristics of self-organization, frame-linking systems with complex stiffness diaphragms, rubber-steel cylindrical supports, etc. The article analyzes the features of designing earthquake-resistant steel structures of high-rise buildings. The schemes of earthquake-resistant high-rise buildings with steel frames were studied. The feasibility of using steel energy-absorbing elements is substantiated and schemes for their installation in earthquake-resistant buildings with steel frames are presented.

Keywords. Steel structures; tall buildings; earthquake-resistant construction; frame schemes; columns; column base; bolts; perforated walls; rigid connections; energy absorbing elements.

Стаття надійшла до редакції 28.10.22