

УДК 725

к.т.н., доц. Гетун Г.В., к.т.н., доц. Сахаров В.О.,
Мельник В.А., Станіславенко С.Ю.,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ АКТИВНОГО СЕЙСМОЗАХИСТУ ФУНДАМЕНТІВ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ

Розглядається деякі конструктивні рішення систем сейсмоізоляції висотних будівель, включаючи показники систем активного сейсμοзахисту, на основі порівняння ефективності використання трьох варіантів демпферних елементів, працюючих паралельно з пружними.

На сьогоднішній день спостерігається стійка тенденція до зростання попиту на комфортне житло в центральних частинах великих міст України що зумовлює подальший розвиток висотних будівель і складних інтегрованих комплексів вище 25 поверхів (експериментальне будівництво) та вимагає подальшого удосконалення сучасних каркасно-монолітних архітектурно-будівельних систем, застосування нових технічних рішень, інженерного обладнання, впровадження надійних засобів безпеки їх експлуатації. Одним із засобів безпеки експлуатації є сейсмостійкість будівель. Так як, нормативну інтенсивність сейсмічності у балах для району будівництва приймають на основі списку населених пунктів України і комплекту карт загального сейсмічного районування (ЗСР-2004) території України, наданих Інститутом геофізики НАН України і Кримською експертною радою з оцінки сейсмічної небезпеки та прогнозу землетрусів і затверджених Держбудом України ДБН В.1.1-12-2006 [1] очевидно те, що більшість великих міст знаходиться в зоні інтенсивності 5-6 балів і складної геологічної характеристики окремих ділянок (сейсмічна інтенсивність може бути збільшена на 1-2 бали, що перевищує фонові значення). Постає пропозиція проектування висотних будівель і складних інтегрованих комплексів вище 25 поверхів на сейсмічні впливи з використанням систем сейсмоізоляції для зменшення дії навантажень і впливів від землетрусів.

Розглянемо фундаменти ковзного типу, що конструктивно виконані у вигляді верхнього і нижнього опорних елементів, між якими розміщений ізолюючий шар з матеріалів мінерального походження (пісок, глина) або синтетичних прокладок із низьким значенням коефіцієнта тертя, наприклад, фторопласту. За рахунок сил сухого тертя забезпечують жорсткий кінематичний зв'язок споруди з коливною основою до тих пір, поки сумарна інерційна сила в системі не перевищить певного рівня – порогу

спрацьовування, величина якого залежить від коефіцієнта тертя і конфігурації поверхонь ковзання фундаменту. Залежно від форми поверхонь ковзання сейсмоізолюючі пристрої ковзного типу можна розділити на дві групи: *неповоротні та конструкції з гравітаційною поновлюючою силою*.

До *першої групи* належать опорні пристрої з горизонтальними ділянками ковзання. Потенційна енергія взаємного положення елементів конструкції в процесі їх відносного переміщення залишається постійною, тобто система завжди знаходиться в положенні стійкої рівноваги.

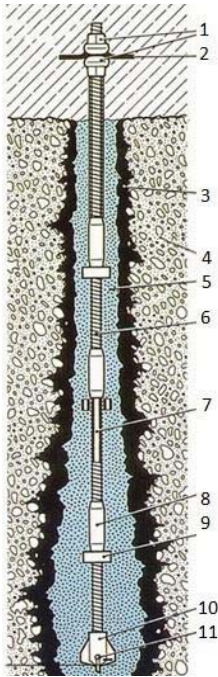


Рис. 1. Анкерний палець «Titan»:

1 – шарова гайка; 2 – пластина; 3 – первинна ін'єкція при бурінні свердловини цементним розчином; 4 – незв'язний ґрунт; 5 – вторинне нагнітання цементного розчину; 6 – труба з різьбовою поверхнею 7 – центральний клапан; 8 – муфта; 9 – центратор; 10 – бурове долото; 11 – сопло для подачі цементного розчину

Конструктивні рішення *фундаментів із поясом ковзання та нахилених під кутом палей «Titan»* запроєктовані у вигляді верхнього і нижнього опорних елементів, між якими розміщений ізолюючий шар із матеріалу мінерального походження: пісок, який має низький коефіцієнт тертя. Характерною особливістю поведінки опорних елементів – верхньої і нижньої плити з горизонтальними поверхнями ковзання, є можливість виникнення вібраційного переміщення, тобто повільно спрямованого руху з постійною або незначно швидкістю, що змінюється. Вібропереміщення зумовлені низкою факторів, в числі яких: несиметричність впливу, зменшення під дією вібрації величини ефективного коефіцієнта тертя, асиметрія надпорних конструкцій (односторонні зв'язки, обмежувачі з неоднаковим зазором тощо), а також наявність невеликих за величиною зовнішніх сил (сильні пориви вітру, незначний односторонній ухил поверхонь ковзання).

За рахунок ефекту вібропереміщення споруди з ізолюючими фундаментами, за певних умов можуть з'їхати з опорних поверхонь ковзання. Тому для іршення цієї проблеми було запропоновано закріпити ерхню фундаментну плиту (опору) нахиленими паллями *Titan»* (рис. 1).

Пристрій влаштування анкерних палей «Titan» олягає в їх безпосередньому бурінні з промиванням ідким цементним розчином і послідовному нагнітанні устого цементного розчину. Під «безпосереднім урінням» мається на увазі, що анкерні штанги икористовуються, по-перше, як буровий інструмент, о-друге, вони є каналом для нагнітання цементного

розчину і по-третє, забуренні штанги залишаються в цементному тілі в якості армування. Промивний цементний розчин виносить бурову крихту із свердловини, проникає в навколишній корінь палі, ґрунт, покращує його, зміцнює стінки бурового отвору проти обвалення і створює плавний перехід між тілом палі і ґрунтом. Залежно від властивостей ґрунту стає можливим збільшення діаметра виготовленої палі до подвійного, щодо діаметра бурової коронки. Поверхня стінок анкерних паль «Titan» виходить нерівною і завдяки цьому забезпечується їх добре зчеплення з ґрунтом. Буроін'єкційна штанга, у якості елемента армування, дозволяє сприймати навантаження на стиск і висмикування. Установка без додаткового бурового інструменту та одночасне нагнітання цементного розчину через буроін'єкційних штангу «Titan» значно прискорює і спрощує процес влаштування анкерних паль. Діаметр паль складає 150...200 мм.

Позитивні показники цього виду сейсмосахисту: великий термін експлуатації мінерального ізолюючого шару – піску; легкість влаштування опорних плит фундаменту для надання ефекту поясу ковзання; нахиленні палі «Titan» сприймають значні горизонтальні зусилля і більш ефективно працюють для надання стійкості будівлі, неможливості «з'їхати» з опорної плити порівняно з іншими амортизаторами та обмежувачами.

Негативні показники пов'язані з об'ємно-планувальними рішеннями: будівлі повинні мати компактну конфігурацію, проектне положення її основних конструкцій повинні бути симетричними відносно координаційних осей; неможливість влаштування анкерних паль «Titan» в умовах щільної забудови у містах та населених пунктах.

До другої групи належать пристрої, що мають у загальному випадку ковзання не горизонтальні поверхні, що забезпечують повернення споруди після сейсмічного поштовху в початкове положення стійкої рівноваги, за рахунок виникнення гравітаційної «поновлюючої» сили постійної за величиною (на похилих поверхнях) або позиційні, тобто залежні від взаємного розташування конструкцій споруди (криволінійні поверхні). Конструктивно виконані у вигляді опорних поясів, звернені один до одного, поверхні яких мають ламаний обрис з похилими майданчиками ковзання.

Для зниження величини порогу спрацьовування в системі сейсмоізоляції та уніфікації фундаментів розроблено технічне рішення фундаменту з опорними елементами, що мають горизонтальні та похилі поверхні ковзання для будівель із гнучкими конструктивними схемами. Число опор кожного виду в фундаменті підбирається з умови забезпечення повернення споруди у вихідне положення після припинення дії сейсмічного навантаження.

Парні поверхні опор з похилими майданчиками являють собою чотири попарно розташовані піраміди, по паралельних гранях яких відбувається зміщення елементів (рис.2). Вузол сполучення сейсмоізолюючого фундаменту з

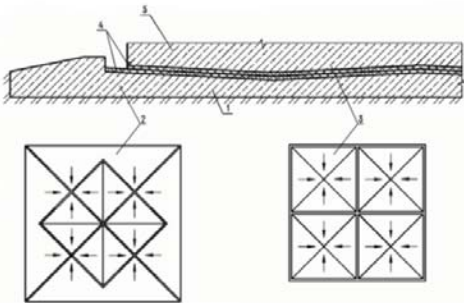


Рис. 2. Опорний пристрій будівлі:

1 – фундамент; 2 – схематичне зображення ухвистів фундаменту;
3 – ухили нижньої плити будівлі; 4 – фторопластові пластини; 5 – ухили верхньої плити будівлі

надфундаментною частиною будівлі виконаний шарнірним, а для прийняття опорних згинальних моментів між колонами каркаса в рівні ковзних опор встановлені розподільні балки. При зміні величин сейсмічного навантаження та відсутності ковзання в сейсмоізолюючих опорах згасання коливань в конструкції фундаментів (відношення прискорення споруди до прискорення впливу) залишається величиною постійною.

Включення в роботу елементів сухого тертя, якими є ковзні опори, призводить до збільшення згасання в системі пропорційної зміни сейсмічного навантаження. Зростання дисипації енергії в опорних елементах забезпечує стабілізацію реакції споруди. За даними випробувань маломасштабних моделей, із збільшенням коефіцієнта тертя зростає поріг спрацьовування, разом з тим подальше збільшення реакції по відношенню до граничної величини зменшується у 1,5...1,8 рази, тобто простежується залежність реакції споруди від сили тертя в системі сейсмоізоляції.

Система активного сейсмосахисту у вигляді сейсмоізолюючого ковзного пояса призначена для: зниження розрахункових горизонтальних сейсмічних навантажень на надземні конструкції будівель; зменшення обсягу антисейсмічних заходів; зниження витрати металу і кошторисної вартості будівель; розширення області застосування типових індустриальних конструкцій і виробів, освоєних підприємствами будівельної індустрії (будівництво в районах з більш високою сейсмічністю, підвищення висоти будинків тощо).

Будівлі з сейсмоізолюючими ковзними поясами необхідно проектувати симетричними відносно поздовжньої та поперечної координаційних осей. В якості ковзної пари застосовуються пластини з фторопласту-4 (за ГОСТ 1007-80) товщиною 4...6 мм (рис. 3).

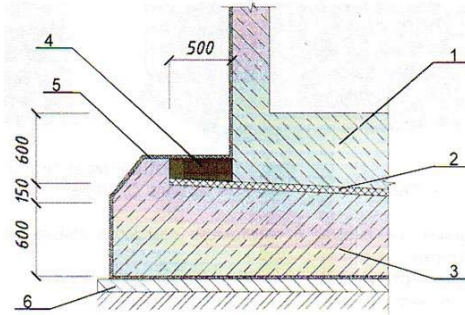


Рис.3. Схема сейсмоізолюючого ковзкого поясу з фторопластом:

1 – верхня фундаментна плита будівлі; 2 – пластини із фторопласту; 3 – нижня фундаментна плита будівлі;

4 – демпфер із гуми; 5 – гідроізоляція; 6 – бетонна підготовка

матеріалу після вичерпання своїх термінів експлуатації не можлива); складність технології влаштування опорних плит фундаменту з ухилом, що збільшує вартість сейсмозахисту в цілому; рекомендації ЦНИИСК ім. Кучеренко використання в будівлях висотою до 9-ти поверхів включно. Але є надії, що з розвитком науково-технологічного прогресу, матеріал змінить свої характеристики, щодо термінів експлуатації.

Одним з найрозповсюджених методів сейсмозахисту будівель за кордоном є застосування тонкошарових **гумовометалевих опор (ГМО)**, які зазвичай розташовують між фундаментом будівлі та нижнім поверхом. ГМО виготовляються у вигляді набору високоякісних тонких гумових шарів, приварених до металевих пластин. Чергуються внутрішні шари гуми товщиною від 3 до 8 мм зі сталевими пластинами товщиною від 1,5 до 4 мм. Кількість шарів гуми може бути від 20 до 40, кількість сталевих пластин від 19 до 39. Верхню і нижню сполучні пластини ГМО виготовляють товщиною 10...40 мм, вони необхідні для кріплення надопорних конструкцій до фундаментів. Метал використовується у вигляді внутрішніх пластин, фланцевих і сполучних.

Фланцеві пластини товщиною 10...20 мм необхідні для кріплення до сполучних (рис. 4). Для забезпечення антикорозійного захисту з'єднувальні пластини кожної ГМО покриті епоксидної смолою.

При вертикальному стисненні такої опори гумові шари зазнають деформацій, які близькі до одностороннього стиску, оскільки $h < R$, металеві пластини сильно обмежують горизонтальні деформації гумових шарів.

Така конструкція опори має горизонтальну

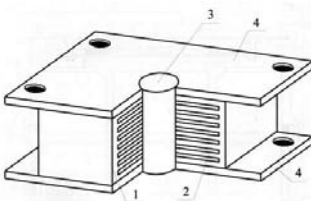


Рис.4. Конструктивна схема ГМО:

1 – каучук (гума); 2 – внутрішні

металеві листи; 3 – свинцеве осердя;

4 – металевий лист

жорсткість монолітного гумового тіла відповідної товщини. Для більшості гум модуль зсуву G , набагато менший від всебічного стиску K , $G/K < 10^3$. Оскільки вертикальна жорсткість ГМО визначається всебічним стиском K , жорсткість ГМО – модулем зсуву G , тому горизонтальна жорсткість ГМО значно менша ніж вертикальна, що дозволяє за допомогою даних опор надійно ізолювати корпус будівлі від горизонтальних зміщень фундаменту і значно знизити інерційні навантаження на елементи конструкції будівлі при землетрусах.

Гумовометалеві опори класифікують: залежно від демпферних характеристик; за типом конструктивного рішення; за несучою здатністю.

ГМО повинні бути запроєктовані таким чином, щоб забезпечити експлуатаційну надійність у граничному стані, отриманому від повної стискаючої сили, опору сили вітру і дії землетрусу. Опори не повинні зазнавати пошкоджень, які зачепили б їх належне функціонування або призвели до надмірних витрат на їх обслуговування протягом запланованого терміну служби. ГМО повинні бути оснащені фланцями для кріплення до вертикальних конструкцій будівлі та фундаментів і захищені гумовим покриттям із зовнішньої сторони від зовнішніх впливів і атмосферних опадів. Схеми розміщення сейсмоізолюючих багатопарових гумових опор в конструкціях фундаментів наведені на рис. 5.

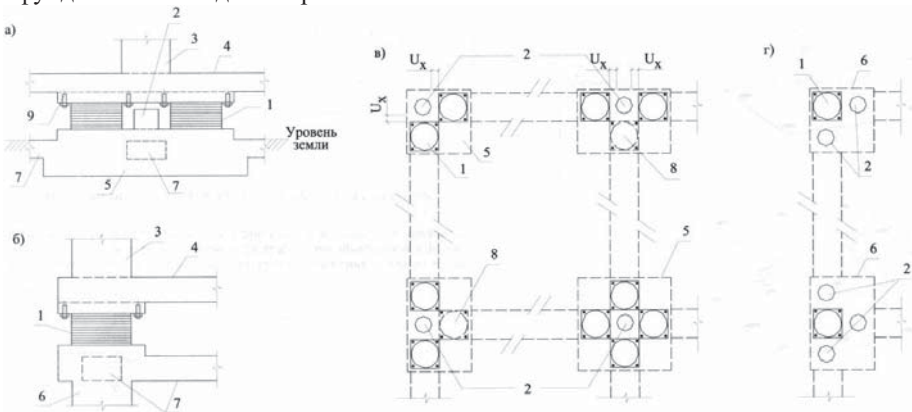


Рис. 5. Схеми розміщення сейсмоізолюючих багатопарових гумових опор:

a – на фундаментній плиті; *б* – на капітелі колон підземної частини будівлі; *в, г* – варіанти можливого розташування в плані сейсмоізолюючих опор і обмежувачів переміщень; *1* – сейсмоізолююча гумовометалева опора; *2* – обмежувач; *3* – колона першого поверху будівлі; *4* – плита перекриття першого поверху; *5* – фундаментна плита; *6* – колона підземної частини будівлі із капітеллю; *7* – фундаментна балка; *8* – третя можлива опора; *9* – анкерний болт

Позитивні показники ГМО: проста технологія влаштування і можливість заміни при закінченні терміну експлуатації, щільність забудови не впливає на обмеження їх використання, високі показники сейсмосахисту.

Негативні показники: чутливість до низьких температур, яка пов'язана з повзучістю гумових компонентів; невисокий термін експлуатації, 20... 50 років. При проектуванні висотних будівель із довговічністю 100...150 років із урахуванням належного експлуатаційного обслуговування та можливого відновлення за рахунок капітальних ремонтів, залишається необхідність їх заміни.

Література

1. ДБН В.1.1-12-2006. Будівництво у сейсмічних районах України. – К.: Мінбуд України, 2006. – 82 с.
2. Методические рекомендации по проектированию сейсмоизоляции с применением резинометаллических опор. Российская ассоциацией по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС). – Москва: 2008. – 46 с.
3. Немчинов Ю.І. Сейсмостійкість будівель і споруд. – Київ: 2008. – 480 с.
4. Ормонбеков Т.О., Бегалиев Т.О. Применение тонкослойных резинометаллических опор для сейсмозащиты зданий в условиях территории Кыргызской республики. – Бишкек: 2005. – 220 с.
5. Чень Сятин. Сейсмоизолированное здание со скользящим фторопластовым поясом. – Санкт-Петербург: 2011. – 87 с.
6. Юнкер. А. Застосування анкерних паль «Titan» – Еннепеталь. Німеччина: 2011. – 11 с.

Анотация

В данной статье рассматриваются некоторые конструктивные решения систем сейсмоизоляции высотных зданий, включая положительные и отрицательные показатели систем активной сейсмозащиты, на основе сравнения эффективности использования трех вариантов демпферных элементов, работающих параллельно с упругими.

Annotation

In this article discusses some of the designs of seismic isolation systems of high-rise residential buildings, including positive and negative indicators of active seismic systems, based on a comparison of the effectiveness of the three options damping elements working in parallel with elastic.