

УДК 624.159

**ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЗАСТОСУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ФУНДАМЕНТНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ СУЧАСНА КЛАСИФІКАЦІЯ**

Л. В. Гембарський

*У статті досліджено історію розвитку конструктивно-технологічних рішень, які застосовуються при реконструкції фундаментних систем та розроблено їх сучасну класифікацію. Розроблено блок-схему причинно-наслідкової залежності, що призводить до реконструкції фундаментних систем.*

*В статье исследована история развития конструктивно-технологических решений, применяемых при реконструкции фундаментных систем и разработана их современную классификацию. Разработана блок-схема причинно-следственной зависимости, приводящих к реконструкции фундаментных систем.*

*The article examines the history of design and technological solutions used in the reconstruction of foundation systems and developed their current classification. A block diagram of cause-effect relationships that lead to the reconstruction of foundation systems.*

**Формулювання проблеми.** Застосування того чи іншого конструктивно-технологічного рішення при реконструкції фундаментних систем неможливе без усвідомлення історичного розвитку фундаментобудування та виявлення причин, які призводять до необхідності втручання в підземну частину будівель та споруд. Одночасно з цим, на сьогодні існує багато різноманітних класифікацій методів підсилення основ та фундаментів, які не враховують вплив причинно-наслідкового значення деформацій фундаментів зокрема та будівель в цілому на вибір того чи іншого інженерно-технологічного рішення для реконструкції фундаментних систем. Існуючі класифікації інженерно-технологічних рішень з реконструкції фундаментних систем є досить вузькими та суб'єктивними.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** За даними дослідників Є. М. Пашкіна, М. М. Вороніна, Є. М. Михайловського, П. О. Рапопорта та інших до ХХ-го сторіччя за весь час існування пам'яток архітектури, протягом якого вони неодноразово піддавалися ремонту та реконструкції, їх фундаменти не підсилювались та не реставрувались та, навіть в деяких випадках, після руйнації будинків храмів при їх відновленні, фундаменти вдруге використовувались без будь-яких додаткових укріплень [1, 2]. В наявній технічній літературі та нормативній базі, наводяться причини, за яких виникає необхідність реконструкції фундаментних систем і/або основ [3, 4, 5]. Питання нормування робіт з реконструкції фундаментних систем в Україні, в тому числі їх часткова класифікація, в основному регламентуються [3, 4] та іншими, за кордоном [6, 7].

**Формулювання мети статті.** Метою проведеного дослідження є розробка блок-схеми причинно-наслідкової залежності, що призводить до реконструкції фундаментних систем одним із зазначених конструктивно-технологічних рішень. На підставі розробленої блок-схеми необхідно створити сучасну класифікацію конструктивно-технологічних рішень з реконструкції фундаментних систем, якою покликано полегшити роботу інженерів-проектувальників при здійсненні проектування відповідних заходів.

**Основний матеріал.** Розвиток конструктивно-технологічних рішень з реконструкції фундаментних систем бере одночасний початок з давніх часів, коли війни, суспільні потреби та невинний розвиток людства, у тому числі науково-технічний прогрес, викликало необхідність спорудження капітальних, а отже довготривалих будівель та споруд. В першу чергу це стосувалось спорудження фортець для захисту населення та культових споруд. Не розуміючи та не володіючи достатніми знаннями в області фундаментобудування, будівельники давніх часів зводили будівлі та споруди в найнепридатніших для цього місцях. Найчастіше вони використовували досвід та помилки будівництва в аналогічних місцях, схожих конструкцій, удосконалюючи та збільшуючи конструкції будівель та споруд. Найбільша кількість споруд, з яких ми можемо робити висновки про розвиток будівництва, зокрема фундаментобудування та про їх реконструкцію, дійшла до нас територіально з Європи античних часів та середньовіччя. Так,

в Малій Азії за античних часів було зведено Храм Артеміди. Зодчим того часу було відомо про таке явище, як землетруси, що на території Малої Азії та Греції мало постійне місце, та про їх наслідки. Наші будівельні предки вибрали як основу під одне з семи чудес світу заболочену місцевість. Нерозуміючи природу землетрусу, та його механізм розповсюдження, будівельники сподівалися, що болото відіграє роль подушки та у випадку землетрусу збереже величний храм. Херсіфрон, архітектор, якому було довірено збудувати Храм Артеміди, для того, щоб ґрунт основи був ще пружинистим, запропонував вирити величезний котлован та засипати його деревним вугіллям та вовною.

Існують свідчення того, що під час відтворення храму після пожежі, яку влаштував Герострат, архітектори не стали прибирати залишки спалених конструкцій, а залишили їх як матеріал, що мало зміцнювати, на їх думку, основу під новий храм, конструкції якого і масивність в цілому значно перевищували свого попередника. Імовірно основа та фундамент під храмом до пожежі не витримали навантажень та деформувалися внаслідок різноманітних впливів. Враховуючи попередній досвід експлуатації та зважаючи на масивність нової, запроєктованої будівлі храму, архітектори і вдалися на той час до незвичайного методу укріплення основи та підсилення фундаментів. Переживши неодноразові підпали, напади та інші спроби руйнації пам'ятки, Храм Артеміди був вщент зруйнований саме землетрусом, негативні наслідки якого для будівлі були посилені слабкою заболоченою основою.

В давні часи підсилення основи та фундаментів виконувалось виключно перед початком будівництва, оскільки окрім досвіду зведення не існувало необхідних теоретичних знань, технологій та механізмів, за допомогою яких можна б було здійснити реконструкцію фундаментних систем вже існуючих будівель.

Якщо провести аналіз для чого були призначені давні будови та споруди, які дійшли до нас, то ми побачимо, що більшість з них являє собою культові або обрядові споруди, які виконують свою функцію і понині. Це можна пояснити тим, що на їх зведення виділялися колосальні гроші або їх еквівалент, та залучалися найкращі зодчі свого часу. Окрім того, не треба забувати яке значення релігія, тобто церква, мала і має значення в суспільстві. Верховна царина богослов'я проявлялась і в тому, що богослужіння в церкві було основним елементом видовища, яке підпорядковувало собі архітектуру. Саме по цих пам'ятках архітектури ми можемо робити висновок про розвиток будівничої справи та зокрема про фундаментобудування.

На жаль, численні війни та зміна ідеологій на території України призвели до значних втрат пам'яток архітектури як давніх часів та вже більш сучасного зодчества. Однак і ті архітектурні шедеври, що дійшли до нас від Софії Київської до Одеського оперного театру, дають змогу деякою мірою оцінити історію підсилення їх фундаментів та укріплення основ.

Переважна кількість пам'яток архітектури, що знаходяться на території України мають стрічкові фундаменти, які виконано з крупноуламкового кам'яного матеріалу, розпилених блоків та цегли, яку як переважно допоміжний матеріал почали використовувати в Київському князівстві в фундаментах споруд вже в XI сторіччі.

Найбільш розповсюдженою технологією зведення фундаментів була так звана схема "фундаментний рів", на сьогодні більш відомий як спосіб "під залив", коли заповнення земляних траншей здійснювалось валунами або бутовим каменем "насухо", або із заливанням вапняним чи глинистим розчинами. Укладка крупних валунів або блоків ускладнювала характер розподілення напружень під подошвою фундаментів, оскільки створювались зони підвищених напружень в місцях контакту буту з ґрунтами основи. Подібна взаємодія приводила в місцях підвищених напружень до розвитку пластичних деформацій. Протягом десятків років прикладення навантаги нижній ряд буту вдавливався в ґрунтову основу, що викликало деяке вирівнювання та зменшення напружень, яке в свою чергу досягалось за рахунок усадочних деформацій в декілька сантиметрів, а іноді в декілька десятків сантиметрів.

Використання такої конструкції фундаментів продовжувалось приблизно до середини XIX сторіччя, поступившись зведенню фундаментів з пиляних блоків, бутовій кладці "під лопатку" та цегляній кладці на вапняковому розчині і романському цементі. Не зважаючи на це і сьогодні можна зустріти конструкції фундаментів "під залив" будинків, зведених у середині XX-го сторіччя.

Для боротьби з нерівномірними осадками а також для рівномірного розподілення напружень під подошвою в давнину використовувався прийом армування контактної зони

фундамент-грунт дерев'яними лежаками. Так, відомо, що армування підшви фундаменту виконувалось під час зведення Десятинної церкви у Києві.

Історія слов'янської архітектури містить в собі чимало відомостей, коли пам'ятки початкового середньовіччя руйнувалися, простоявши декілька десятків років - внаслідок значних та нерівномірних осідань. З часом, після накопичення досвіду, шляхом проб та помилок, технологія підготовки основи удосконалювалась, про що свідчить ціла низка пам'яток архітектури споруджених в складних інженерно-геологічних умовах у період XV-XVIII сторіччя, які стоять і понині.

Часто при спорудженні монументальних споруд, майже до XIX ст., як елементи, що вирівнювали тиск, а також для ущільнення ґрунтів використовувались дерев'яні забивні палі.

В цілому призначення ширини підшви фундаментів, форми їх поперечного перерізу в більшості випадків залежала від типу та стану ґрунтів, шари яких розроблялися під рови для влаштування стрічкових фундаментів. Так, у випадку стійких ґрунтів будівельникам вдавалося виконати майже вертикальні стрічки фундаментів прямокутного перерізу. У випадку нестійких ґрунтів поперечний перетин фундаментів міг бути як трапецієвидної форми, так і іншої, неправильної форми. Глибина закладення фундаментів залежала виключно від досвіду зведення і експлуатації та збільшувалася із сторіччя в сторіччя. При цьому будівничі давнини навряд чи враховували сезонне промерзання ґрунтів, оскільки всі будівельні роботи виконувались у теплий період року. За дослідженнями Пашкіна Є. М. для періоду XI-XIII сторіч глибина закладення фундаментів не перевищувала 1 м, а для періоду XIV-XIX сторіч глибина закладення збільшувалась від 1,6 м до 4,0 м, в середньому, склавши близько 2,0 м. Найбільша глибина закладення фундаментів від поверхні землі в 4 м зафіксована в будівлі церкви Успіння на Подолі в Києві XII сторіччя.

В давнину, якість зведення фундаментів та обґрунтування вибраних параметрів були хаотичними, та у випадку доброї якості це скоріш за все становило виняток ніж правило.

За весь час існування пам'яток, на протязі якого вони неодноразово піддавалися ремонту та реконструкції, фундаменти не підсилювались та не реставрувалися і навіть в деяких випадках після руйнації храмів вдруге використовувались при відновленні без будь-яких додаткових укріплень. Так, видатний російський архітектор Казаков у XVIII не тільки створював нові архітектурні шедеври, але і реконструював пам'ятки. Ось тільки реставрація пам'яток зводилась виключно до відновлення їх зовнішнього вигляду, як наприклад стіни Коломенського кремля без усунення причин їх руйнації - підсилення фундаментів.

Основними причинами деформацій пам'ятників у вигляді склепінчастих похилих та кутових тріщин в стінах, нахилів будівель пам'яток протягом всього часу їх існування є:

- погіршення стану та просідання ґрунтів від замочування в результаті порушення поверхневого стоку, протікань з водогінних систем, порушення відмосток тощо;
- суфозійний виніс ґрунтів зосередженою інфільтрацією з подальшим утворенням пустот;
- багаторазовий прояв морозного пучення;
- гниття палей;
- спорудження поблизу пам'ятників котлованів, траншей, водогінних комунікацій;
- спорудження в безпосередній близькості від пам'ятника нової будівлі;
- дія вібраційних впливів.

Як можемо бачити, причини та наслідки деформацій будівель пам'яток архітектури збудованих століття та тисячоліття тому не відрізняються від тих, що виникають у збудованих будинках сучасних часів.

В промисловому будівництві початок операцій з підсилення фундаментів під час нового будівництва стартує з XIX сторіччя, коли почалися зводитись великі споруди. Так з початку XIX сторіччя активно почався закріплюватися ґрунт в основах гідротехнічних споруд.

Підсилення основ та фундаментів цивільних споруд і будівель, що експлуатуються, активно почали впроваджувати в XX сторіччі. Це обумовлюється тим, що будівельна наука зробила величезний крок вперед, особливо в царині механіки ґрунтів та їх взаємодії з фундаментами. Окрім того почали руйнуватися шедеври світового здобутку, які потребували термінового втручання з метою запобігання їх остаточній втраті. В Україні прикладом може слугувати будівля Одеського театру опери та балету, збудована видатними архітекторами світового масштабу Фельнером та Гельмером в 1884-1887 рр [8].

Помилки при прийнятті неправильних конструктивно-технологічних рішень з реконструкції фундаментних систем будівель, дорого коштує як з точки зору фінансових втрат, так і безпосередньо збереження самих будівель. Відомо багато прикладів, коли приймалися хибні рішення з реконструкції фундаментних систем, або взагалі реконструкцію вели не на подолання причин руйнації будівель, а на ліквідацію їх наслідків [1, 8].

Поява та розвиток того чи іншого конструктивно-технологічного рішення з реконструкції фундаментних систем у часі залежало від стану розвитку науки та експериментального напрацювання. Так, в Україні до 50-х років ХХ сторіччя в основному широко використовувались такі конструктивно-технологічні рішення, як збільшення підшви фундаментів, часткова заміна слабких фундаментів.

У 1931 році Б. А. Ржаніциним розроблено спосіб закріплення на основі двох хімічних розчинів: сіліката натрію та хлористого кальцію.

Одним з яскравих прикладів невдалого застосування хімічного ін'єкційного методу підсилення основи способом однорозчинної силікатизації просадкових лесових ґрунтів під фундаментами будівлі Одеського театру опери та балету, яке було здійснено у 1954-1956 рр. [8].

Окрім виключно конструктивно-технологічних рішень з хімічної ін'єкції, що застосовувались для реконструкції фундаментних систем, у 70-80-х роках використовується газо- і електросилікатизація.

Наприкінці 80-х з появою досконалих машин та механізмів отримали розвиток конструктивно-технологічні рішення з підсилення за допомогою паль та jet-технології. Також в сучасному світі реконструкції фундаментних систем використовуються рішення з армування ґрунту.

Широко застосовується таке конструктивно-технологічне рішення з реконструкції фундаментних систем як метод підведення суцільної залізобетонної плити під будівлю.

Для запобігання нерівномірним осіданням будівлі як комплексна реконструкція використовуються методи збільшення жорсткості надфундаментної конструкції будівлі шляхом надбудови додаткових поверхів, збільшення товщин стін, взяття будівлі в обойми. Наряду із збільшенням жорсткості надфундаментної конструкції використовується метод збільшення жорсткості існуючих фундаментів шляхом їх армування, хімічним ін'єктування, взяттям в обойму.

Нормативними документами [3] рекомендується у рамках реконструкції фундаментних систем змінювати підземну частину будинку шляхом влаштування просторово-рамної системи або встановлення фундаментів на виносні конструкції, зведені по периметру.

Вибір того чи іншого конструктивно-технологічного рішення закріплення фундаментів залежить від багатьох умов: геологічних нашарувань, якості ґрунтової основи, ґрунтових вод, місцевих особливостей, конструктивних особливостей будівлі, якості кладки будівлі тощо. Тому підсилення фундаментів необхідно розглядати як комплексну задачу.

Узагальнюючи наявну літературну та нормативну базу, можна виділити такі причини, за яких виникає необхідність реконструкції фундаментних систем і/або основ:

- наднормативні осідання і крени, причини яких можуть бути різними (неповнота або відсутність достовірних даних про інженерно-геологічні умови та властивості ґрунтів, помилки і недогляди проектування і будівництва, порушення режиму експлуатації, зміни гідрогеологічних умов тощо);
- зміна умов роботи основ та фундаментів, викликаною забудовою території, що прилягає, освоєння підземного простору та іншими причинами;
- зношення, ушкодження чи руйнування конструкцій (тріщини, відшарування захисного шару арматури, корозія, утрата міцності матеріалу фундаментів та ін.);
- збільшення навантажень на основи та фундаменти внаслідок надбудови, прибудови, заміни або підсилення конструкцій будівель. Кожна з цих причин, або їх поєднання призводить до зниження несучої здатності ґрунтів, нерівномірних осідань будівлі і як наслідок – до деформацій наземної частини будівель та споруд.

На підставі накопиченого досвіду автором запропоновано структуровану блок-схему причин (таб. 1), що викликають необхідність реконструкції фундаментних систем, вказано основні умови та чинники виникнення потреби в цьому, а також відмічено наслідки осідання ґрунтів основи і фундаментних систем та їх руйнація та заходи, які застосовуються при реконструкції фундаментних систем та зміцненні їх основ. Дуже рідко одна з причин, вказаних у табл. 1,

призводить до зниження несучої здатності фундаментів та/або ґрунтів, нерівномірних осідань будівлі і як наслідок – до деформацій надфундаментної частини будівель та споруд. Найчастіше трапляється поєднання декількох причин, які призводять до пошкоджень конструкцій чи аварій споруд та будівель. Саме виявлення основоположної причини з поміж інших є головною задачею, розв'язання якої потребує від спеціалістів різносторонніх спеціалізованих знань і нарешті допомагає знайти найефективніше конструктивно-технологічне рішення з реконструкції фундаментних систем.

Таблиця 1

**Блок-схема причинно-наслідкової залежності, що призводить до реконструкції фундаментних систем одним із зазначених конструктивно-технологічних рішень**

Причини, що викликають необхідність реконструкції фундаментних систем			
Антропогенні	Техногенні	Суспільні потреби	Природні
Зміна планування території та освоєння підземного простору навколо або під існуючою будівлею чи спорудою	Порушення умов експлуатації та вплив агресивного середовища на основу та фундаментні системи існуючої будівлі чи споруди	Зміна функціонального призначення або переоснащення будівлі чи споруди, що експлуатуються	Зміна гідрогеологічного режиму основи, вплив сейсмічної активності та інших природних факторів незалежно від господарської діяльності людини
Основні умови, за яких може відбуватися осідання ґрунтів основи і фундаментних систем та їх руйнація			
1. Будівництво в умовах щільної міської забудови безпосередньо біля існуючих будівель та споруд. 2. Підроблювання територій, на яких розташовано існуючі будівлі та споруди	1. Потрапляння атмосферних опадів та техногенних витоків з існуючих інженерних мереж в основу та конструкції фундаментів. 2. Заморожування та відтаювання ґрунтів основи та конструкцій фундаментів 3. Динамічний вплив на основу та фундаментні системи транспорту, в тому числі від поїздів метрополітену.	1. Надбудова додаткових поверхів. 2. Заміна конструктивних елементів існуючої будівлі чи споруди на більш важкі. 3. Прибудова до існуючої будівлі чи споруди. 4. Заміна обладнання.	1. Підйом або зниження рівня ґрунтових вод пов'язані із зміною гідрологічного режиму річок (в тому числі підземних). 2. Сейсмічні впливи від землетрусів. 3. Інші природні впливи (в тому числі від виверження вулканів).
Чинники, за яких може відбуватися осідання ґрунтів основи та фундаментних систем та їх руйнація			
1. Помилки під час інженерно-геологічних вишукувань. 2. Помилки під час проектування. 3. Помилки під час будівництва 4. Помилки під час експлуатації	Постійний розвиток інфраструктури та інженерно-технічний прогрес	Форс-мажорні обставини	
Наслідки осідання ґрунтів основи та фундаментних систем та їх руйнації			
Наднормативні осідання і крени	Збільшення навантажень на основи та фундаменти	Зміна умов роботи основ та фундаментів	
Конструктивно-технологічні рішення, що застосовуються при реконструкції фундаментних систем			
1. Збільшення площі спирання фундаментних систем. 2. Передача навантаги від будівлі на глибинні несучі ґрунти. 3. Зміцнення конструкцій фундаментів. 4. Зміцнення ґрунтів основи. 5. Комбіноване конструктивно-технологічне рішення			

На сьогодні існує багато різноманітних класифікацій методів підсилення основ та фундаментів, які не враховують вплив причинно-наслідкового значення деформацій фундаментів зокрема та будівель в цілому на вибір того чи іншого інженерно-технологічного рішення для реконструкції фундаментних систем. Існуючі класифікації інженерно-технологічних рішень з реконструкції фундаментних систем є досить вузькими та суб'єктивними.

Автором запропоновано таку систематизовану класифікацію конструктивно-технологічних рішень, які застосовуються при реконструкції фундаментних систем з виділенням таксонометричних одиниць (рис. 1).

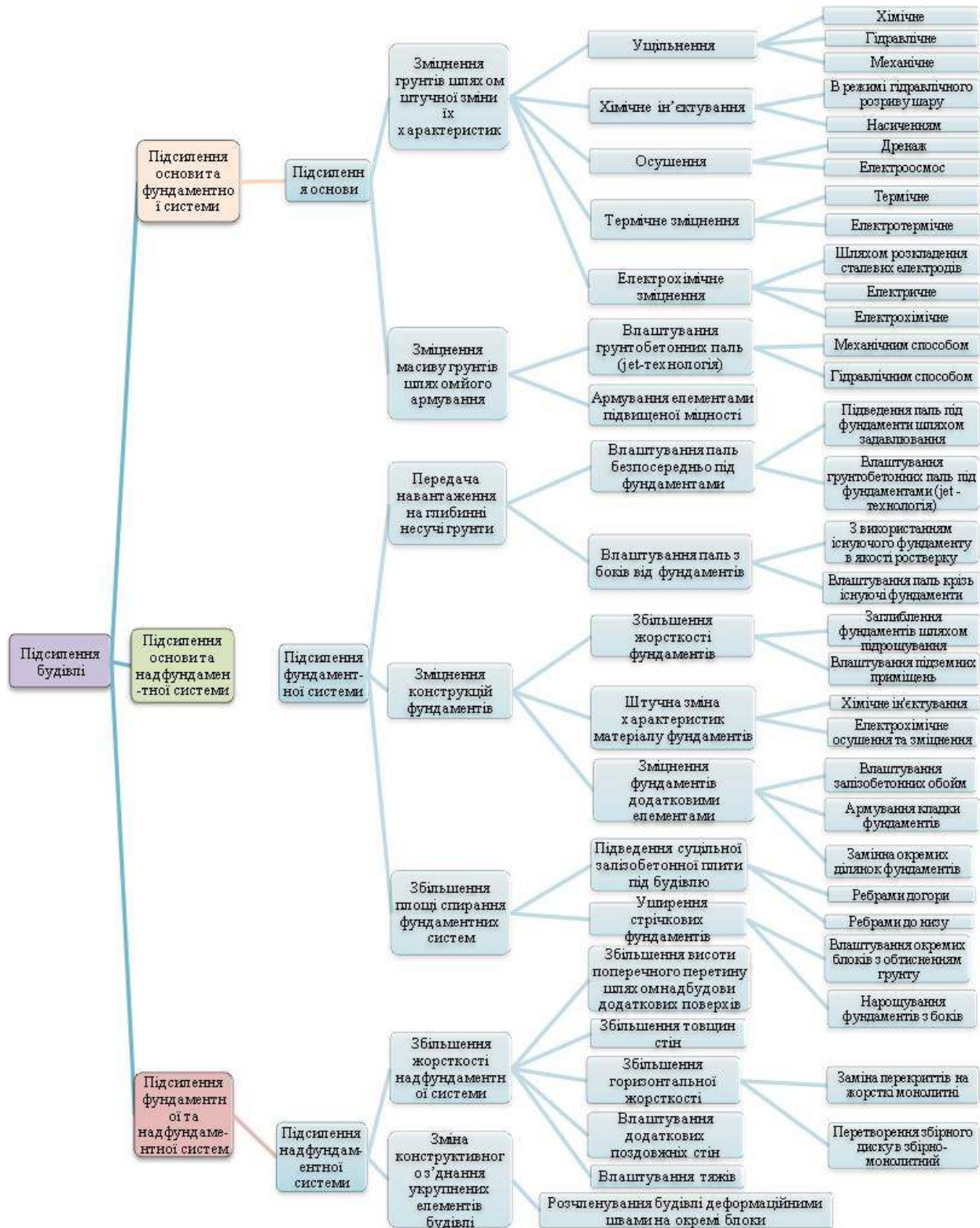


Рис. 1. Класифікація конструктивно-технологічних рішень з реконструкції фундаментних систем

### Висновки

В результаті проведених досліджень з аналізу розвитку конструктивно-технологічних рішень з реконструкції фундаментних систем будівель та споруд розроблено блок-схему причинно-наслідкової залежності, що призводять до реконструкції фундаментних систем. На підставі розробленої блок-схеми створено сучасну класифікацію конструктивно-технологічних рішень з реконструкції фундаментних систем, якою покликано полегшити роботу інженерів-проектувальників при здійсненні проектування відповідних заходів. Незважаючи на різноманітність існуючих видів реконструкції фундаментних систем, описаних в табл. 2, виходячи з вітчизняної та особистої практики, найбільш поширеними серед них є:

- вид реконструкції фундаментних систем палями;
- вид реконструкції фундаментних систем шляхом розширення опорної частини;
- вид реконструкції фундаментних систем хімічним ін'єктування.

### Використана література

1. Пашкин Е. М. Инженерная геология (для реставраторов) : Учебное пособие. / Е. М. Пашкин – М. : Архитектура-С, 2005. – 264 с.
2. Воронин Н. Н. Любите и сохраняйте памятники древнерусского искусства. / Н. Н. Воронин – М.: Искусство, 1960.
3. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування – Чинний від 01.07.09 – К. : Мінрегіонбуд України, 2000. – 79 с.
4. ДБН В.3.1.-1-2002 Ремонт і підсилення несучих та огорожувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків та споруд – Чинний від 01.07.03 – К. : Державний комітет будівництва і архітектури України, 2003. – 82 с.
5. ДБН В.3.2-1-2004 Реставраційні, консерваційні та ремонтні роботи на пам'ятках культурної спадщини – Чинний від 01.01.05 - К. : Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2005. – 121 с.
6. EN 12716. Jet grouting, 2001.
7. Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов и подземных сооружений при реконструкции гражданских зданий и исторической застройки. – М.: Правительство Москвы, Москомархитектура, 1998.
8. Снисаренко В. И. Оценка влияния массивов искусственных грунтов на реконструируемые фундаменты здания Одесского театра оперы и балета. / В. И. Снисаренко, В. А. Гришин, В. В. Беглецов, Л. В. Гембарский // Нові технології в будівництві. – 2003 – № 1 (5). – 13 с.

**Гембарський Лев Володимирович** – директор Науково-дослідного інституту підземного і спеціального будівництва, м. Київ.