

ДОСВІД РОЗРОБЛЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЕФЕКТИВНИХ КОНСТРУКЦІЙ ФУНДАМЕНТІВ

В.М. Першаков, д.т.н.

Київ

Понад 70 % території України складають лісові просадкові ґрунти, тому влаштуванню фундаментів під тришарнірні рами приділяється особлива увага.

Особливістю роботи фундаментів під п'ятами стійок тришарнірних залізобетонних рам є те, що вони сприймають одночасно як вертикальні, так і горизонтальні зусилля. При цьому розпір – горизонтальна складова похилого зусилля – має значну величину, а кут нахилу рівнодіючої зусиль може досягати 40°. Тому фундаменти розробляються у вигляді асиметричних залізобетонних башмаків, розвинутих у бік дії горизонтального навантаження. Влаштовують також звичайні забивні пальові фундаменти.

Необхідність забезпечення стійкості і надійної роботи основи при дії на неї вертикальних і горизонтальних зусиль, а також зниження матеріало- та трудомісткості і вартості фундаментів обумовлює складність рішення фундаментів під опори тришарнірних рам та потребує розроблення нових конструкцій фундаментів і способів їх влаштування.

Аналіз існуючих конструктивних рішень.

Традиційна конструкція фундаменту під опори виробничих сільськогосподарських будівель з несучим каркасом із тришарнірних рам – це окремий залізобетонний асиметричний фундамент з горизонтальним розміщенням підшви, який увійшов до каталогу типових виробів збірних залізобетонних конструкцій. Ці фундаменти рекомендується встановлювати безпосередньо на горизонтально сплановані основи при заляганні в основі пісків середньої крупності, а також крупноуламкових ґрунтів. Якщо в основі залягають глини, суглинки, тверді супіски, дрібні і пілуваті піски під підшвою фундаменту влаштовують під-

готовку з пошарово ущільнених пісків крупних, середньої крупності, гравійлистих або крупноуламкових ґрунтів на глибину не менше розрахункової глибини промерзання, але в усіх випадках не менше 0,5 м. Допускається використовувати підготовку з важкого бетону (рис. 1).

При заляганні в основах слабких глинистих ґрунтів розміри піщаної і бетонної подушки встановлюють розрахунком. Наведені рекомендації обумовлені тим, що фундамент з горизонтальним розміщенням підшви створює необхідний опір діючому горизонтальному зусиллю тільки за наявності в основі ґрунтів, які забезпечують високий питомий опір тертя матеріалу фундаменту по ґрунту.

Оскільки зсув фундаменту з горизонтальною підшвою трапляється безпосередньо по контактній поверхні його підшви і ґрунту, розрахунки стійкості основи за схемою плоского зсуву є для такої конструкції визначальними. При такому рішенні запас стійкості фундаменту проти плоского зсуву можна забезпечити спеціальними заходами, а саме: створенням піщаних і бетонних підготовок.

Результати випробувань фундаментів і основ при різних ґрунтах і кутах нахилу рівнодіючої дозволили розробити більш економічні полегшені фундаменти для рам прогонів від 12 до 21 м з кроком 3 і 6 м.*

Стійкість фундаменту при плоскому зсуві можна значно підвищити влаштуванням похилої підшви. Чим більший нахил підшви, тим менша сила зсуву. Для розпірних каркасів будівель, які монтуються із виробів Слудького заводу ЗБВ,

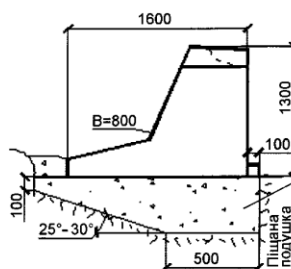


Рис. 1. Фундамент типу ФР-16-8 (серія 1.800-2. вип.1).

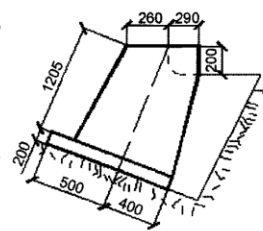


Рис. 2. Блоковий фундамент із похилою підшвою.

* Першаков В.М. Автореферат докторської дисертації. Створення ефективних типів залізобетонних рамних конструкцій з несучими елементами змінного перерізу. – К.: КНУБА, 2012. – 40 с.

Першаков В.М. Каркасні будинки з тришарнірних залізобетонних рам. Монографія. – К.: Книжкове видавництво НАУ, 2007. – 301 с.

БілНДДіпросільбуд запропонована конструкція фундаменту з похилою підшовою (рис. 2) для будівлі з несучим каркасом з тришарнірних рам прогоном 18,0 м і кроком 3,0 м.

Фундамент із похилою підшовою має цілу низку переваг у порівнянні з типовим. Перш за все опір зсуву ґрунту по підшві перестав бути вирішальним чинником при призначенні розмірів фундаментів і глибини їх закладання.

Перевірка стійкості основи за схемою плоского зсуву показала достатній запас стійкості. Це дає можливість встановлення фундаменту безпосередньо на основу (якщо не враховувати влаштованого в необхідних випадках піщаного вирівнювального шару завтовшки 50-100 мм) практично при будь-яких видах ґрунтів. Крім того, використання фундаменту з похилою підшовою дозволяє більш повно використовувати несучу здатність ґрунтів основи і власне прийняти оптимальні розміри фундаменту, що зменшує його масу і витрати матеріалів.

Пензенський інженерно-будівельний інститут розробив фундамент під рами прогоном 18,2 м і 20,6 м, в якому опір зсуву фундаменту передбачено за рахунок того, що рівнодіюча зовнішніх сил знаходиться у межах кута, обмеженого коефіцієнтом тертя бетону підшви фундаменту по ґрунту (рис. 3,а). Досягнути стійкості фундаменту проти зсуву по ґрунту можна збільшенням лобового опору. Так, розроблений другий тип фундаменту, який для підсилення лобового опору зсуву по ґрунту доповнений спеціальною вертикальною стінкою, яка входить до конструкції фундаменту (рис. 3,б).

Збільшення опору зсуву фундаменту досягають бетонною підготовкою зубчастої конфігурації. При будівництві будівель прогоном 18,6 м і 21 м із кроком рам 4 м передбачена бетонна

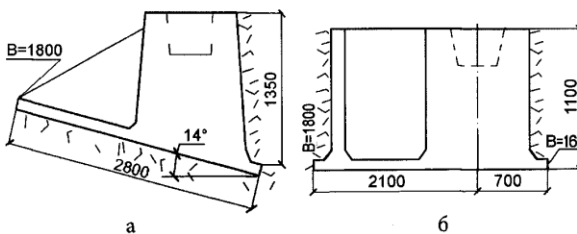


Рис. 3. Блоковий фундамент із розвинутою похилою підшовою (а) та з додатковою вертикальною стінкою (б).

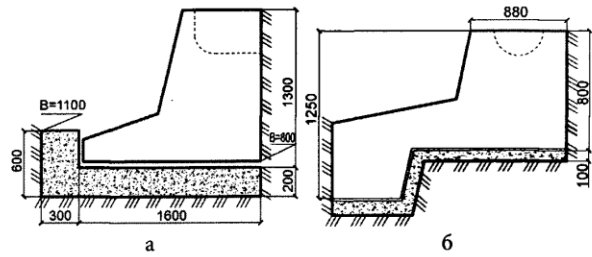


Рис. 4. Блоковий фундамент із горизонтальною подушкою (а) та з переднім зубом (б).

підготовка з улаштуванням уступів для утримання фундаменту підготовки від ковзання по ґрунту (рис. 4,а).

Розроблено залізобетонний фундаментний башмак, який для збільшення опору зсуву по ґрунту доповнений зубом. Його влаштовують на підготовці з бетону В10 завтовшки 100 мм (рис. 4,б).

Для створення надійного і економічного фундаменту під стоек тришарнірної рами, здатного сприймати розпірне зусилля будь-якої величини, за участю автора розроблена конструкція кутового фундаменту (рис. 5).

Фундамент розміщують у несучому шарі ґрунту і надають йому спеціальної кутової форми поперечного перерізу, з будь-яким можливим кутом розкриття полиць *a*: прямокутним, розвалкованим або звалкованим кутами внутрішнім поперечним ребром (або системою ребер), яке передає горизонтальну або нахилену складову зусилля від п'яти рами *H* на лобову стінку фун-

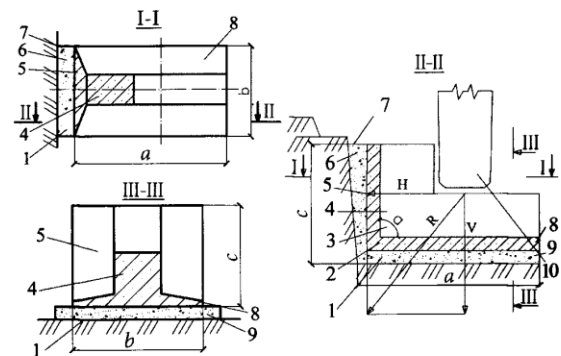


Рис. 5. Кутівий фундамент:

1 – несучий шар ґрунту; 2 – кутівий фундамент; 3 – кут 90-120°; 4 – поперечне ребро; 5 – лобова стінка; 6 – шар бетону, ущільненого щебеню, піску; 7 – поверхня ґрунту непорушеної або втрамбованої структури; 8 – подушка; 9 – підготовка; 10 – п'ята стійки рами.

даменту, від неї на укладений у розпір шар бетону або засипки на вертикальну або похилу поверхню ґрунту непорушеної або ущільненої структури. Вертикальну складову реакції опори V сприймає фундаментна плита (подушка), наприклад, горизонтальна полиця кутового фундаменту.

Розміри лобової стінки фундаменту, яка передає горизонтальну або похилу складову реакції п'яти H , також необхідно розраховувати. Визначають також тиск на ґрунт і переміщення фундаменту, які не повинні перевищувати нормованих значень.

Фундамент під стоек тришарнірної рами може бути окремим, стрічковим, збірним, складеним, збірно-монолітним або монолітним у залежності від виробничих умов і можливостей будівництва.

Зазор (пазуха) клиноподібної форми, який утворився між лобовою поверхнею кутового фундаменту і ґрунтом з непорушеною або ущільненою структурою, ретельно бетонують, пошарово (в розпір) заповнюють щебенем, піском, піщано-гравійною або піщано-щебеневою сумішшю.

Для сільськогосподарських виробничих будівель із каркасами з тришарнірних рам широко використовуються пальові фундаменти. Пала такого фундаменту має достатньо поздовжній переріз і розвинуту довжину, які забезпечують потрібний опір ґрунту повороту палі у площині дії навантаження, що обумовлюється ще і конструктивними рішеннями, пов'язаними з вирішенням вузла опирання рами в стіновій панелі на фундамент.

У деяких випадках використовують призматичні залізобетонні палі суцільного трапецієподібного перерізу. У голові палі для опирання стояка рами влаштовують закладну деталь. Прийнято клас бетону В30. Ці палі перерізом $220 \times 450 \times 500$ мм, завдовжки 3,5 м сприймають горизонтальне навантаження 17 т або вертикальну 18 т. Вони значно дешевше фундаментних башмаків із горизонтальною підшовою і бетонною підготовкою.

Порівняння різних варіантів фундаментів показують, що фундамент із двох похилих палей із залізобетонним ростверком є неекономічним. Ефективним виявився блоковий фундамент із похилою підшовою. Однак пальові фундаменти з

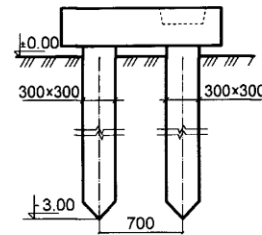


Рис. 6. Фундамент з двома паями і збірним залізобетонним ростверком.

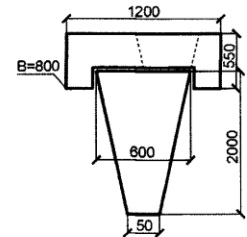


Рис. 7. Пірамідальна пая із збірним залізобетонним оголовком.

одиначних палей можуть застосовуватися при усіх видах ґрунтів, у яких не можуть бути застосовані блокові фундаменти (рис. 6, 7).

Застосовують пальові фундаменти з коротких пірамідальних забивних палей. Під кожен стійку рами влаштовують пальовий фундамент, який складається з двох частин: власне пірамідальної палі і збірного залізобетонного ростверку, що вдягається на палі таким чином, щоб утворити гніздо для встановлення стояка піврами (див. рис. 7). Розміри пірамідальної палі становлять: довжина 2,0 м, переріз у голові $0,6 \times 0,6$ м, переріз у підшві $0,05 \times 0,05$ м. Розміри ростверку стакана $0,55 \times 1,0 \times 1,2$ м. Фундаменти з пірамідальних палей ефективніші ніж східчасті фундаментні башмаки з підготовкою (рис. 8).

Для багатьох типів ґрунтів рекомендують палі забивні таврового перерізу з консоллю, конструкція якої досить економічна (рис. 9). Наявність консолі викликає в перерізі палі момент, протилежний за знаком.

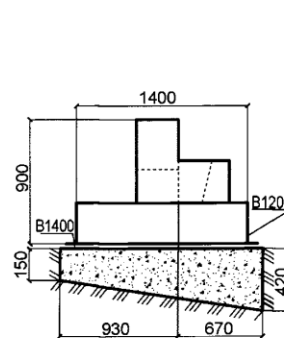


Рис. 8. Блоковий ступінчастий фундамент із бетонною підшовою.

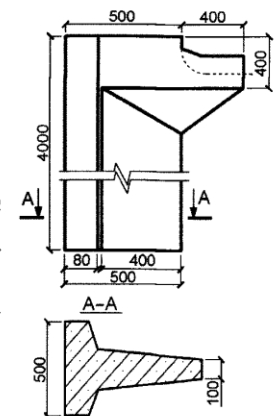


Рис. 9. Пая таврового перерізу з консоллю.

Розроблені конструкції буронабивної палі з ущільненим ядром (рис. 10) і асиметрично блокового фундаменту (рис. 11).

Розроблення фундаментів для будинків із несучим каркасом із тришарнірних рам не повинне обмежуватись одним або двома типами універсальних конструктивних рішень. Різноманіття ґрунтових умов, різний стан виробничої бази і механічна озброєність будівельних організацій обумовлюють необхідність розроблення і застосування різних типів фундаментів.

При будівництві сільськогосподарських будинків з несучим каркасом із тришарнірних рам у першу чергу можуть бути рекомендовані залізобетонні фундаменти з похилою підшовою. Їх можна застосовувати на піщаній основі та на глинистих ґрунтах.

У широкому діапазоні ґрунтових умов як фундаменти для будинків з несучими каркасами їх тришарнірних рам можна використовувати залізобетонні палі різної форми поперечного перерізу.

За техніко-економічними показниками ефективними фундаментами для будинків з несучим каркасом із тришарнірних рам у ґрунтових умовах I типу за просадочністю є: буронабивна похила паля з ущільненим ядром, асиметричний фундамент у витрамбованому котловані з похилою або східчастою підшовою, клиноподібна паля з консоллю, забивний блок ЗБР і блок-паля перемінного таврового перерізу.

Автор узагальнив досвід проектування і будівництва конструкцій пального фундаментів під тришарнірні залізобетонні рами (див. таблицю) і дійшов висновку, що більш індустріальною конструкцією є фундаменти у вигляді пірамідальних палей (варіант 1), які у порівнянні з фундаментами серії 1.800-2 більш економічні як за вартістю, так і за трудомісткістю зведення (майже

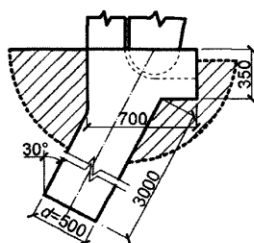


Рис. 10. Паля буронабивна із ущільненим ядром.

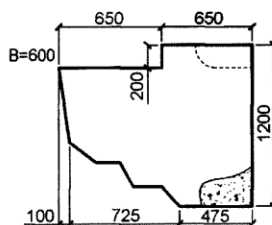


Рис. 11. Асиметричний блоковий фундамент.

у 3 рази). Пірамідальні палі успішно застосовують у багатьох областях України.

Форма пірамідальної палі як фундаменту під розпірні конструкції не є оптимальною. Статична робота такої палі в ґрунті при похилому навантаженні недостатньо ефективна. Напруження, що виникає на контакті "паля-ґрунт", нерівномірне, що сприяє її повороту в ґрунті.

У деяких областях України під розпірні конструкції застосовують фундаменти у вигляді двох вертикальних палей перерізом 300×300 мм із монолітним ростверком. Палі розташовані по лінії дії горизонтального навантаження. Улаштування цього фундаменту (варіант II) менш трудомістке у порівнянні зі збірними залізобетонними башмаками, що вимагає підвищеної витрати бетону і сталі.

У Черкаській обл. застосовують конструкції фундаменту, які складаються з двох забивних залізобетонних кесонних блоків КФ-2 заввишки 1,5 м, перерізом зверху 900×900 мм, знизу 500×500 мм, на які ставиться фундаментний башмак Ф-21 (варіант III). Цей варіант фундаменту за витратами сталі найбільш прийнятний, але надто трудомісткий.

У Чернігівській обл. впроваджують залізобетонну палю з консоллю СКР-4 (варіант IV). Довжина палі становить 4,3 м, переріз від 500×400 мм до 200×400 мм унизу на відстані 2 м. Тому на консоль насаджують стакан-шайбу СШ-1 із гніздом для п'яти рами.

Консоль дозволяє передавати вертикальне навантаження з ексцентриситетом щодо центру ваги поперечного перерізу палі. Цей фундамент можна застосовувати при будівництві на майданчиках з нерівним рельєфом і на слабких ґрунтах, де може бути виправдана велика витрата сталі на палі.

У КНУБА розроблена нова конструкція пального фундаменту під п'яту рами. Фундамент складається з однієї або двох забивних призматичних палей довжиною до 3 м і однієї пірамідальної тригранної або чотиригранної палі довжиною до 2 м, що забивається з боку зворотної дії горизонтального навантаження. Палі об'єднали ростверком (варіант V). Однак такий фундамент має велику кількість деталей та потребує значних витрат бетону і сталі.

НОВІ КОНСТРУКЦІЇ

Конструктивне рішення пильових фундаментів, застосованих під тришарнірні залізобетонні рами прогоном 21 м

Варіанти	Конструктивне рішення	Крок рам, м	Розрахункові навантаження на фундамент, т			Витрати матеріалів на один фундамент	
			вертикальна (P)	горизонтальна (H)	вага стіни (Pc)	бетону, м ³	сталі, кг
I		6	15,4	15,1	4,2	0,59	38,25
II		4	12,3	11,3	7,7	1,38	115,0
III		6	21,3	20,8	10,4	2,4	45,7
IV		6	29,0	22,4	3,1	1,0	101,0
V		4	20,91	19,21	7,7	1,5	100,0
VI		6	15,35	13,5	5,8	0,46	21,85
VII		4	14,4	9,8	3,0	0,48	60,0
VIII		6	15,0	13,5	3,0	0,75	70,0
IX		6	15,0	13,5	3,0	0,6	20,0

ЦНИИЭПсельстроем випробувані і впроваджені фундаменти у вигляді забивного блока (варіант IX), що являє собою усечену піраміду з невеликими кутами нахилу граней. Розміри верхньої грані блока 900×600 мм, нижньої 800×600 мм. Висота блока дорівнює 1,3 м. Гніздо для встановлення п'яти рами зміщено щодо центра ваги верхньої грані у напрямку, протилежному дії горизонтального навантаження. На виготовлення фундаментів типу ЗБР витрачається бетону стільки ж, а сталі – у 2 рази менше. При всіх позитивних якостях такого типу фундаменту велика площа нижньої основи, що занурюється в ґрунт, дозволяє застосовувати його тільки в слабких ґрунтах.

Конструкція забивної залізобетонної палі таврового перерізу (варіант VII) вписується в квадрат розміром 500×500 мм. Паля має консоль вильотом 400 мм, що дозволяє передавати навантаження від вертикальної сили з ексцентриситетом відносно центра ваги поперечного перерізу.

Переріз геометричної форми і консолі дозволяє підвищити несучу здатність палі, однак вона складна у виготовленні і потребує значних витрат сталі, що ускладнює її застосування.

Для експериментального будівництва на просадних ґрунтах розроблена конструкція палі клиноподібної форми (варіант VIII) з верхньою основою 800×600 мм і нижньою 800×100 мм. Паля заввишки 1,5 м має однією стороною консоль, розташовану в протилежному напрямку дії розпору, що дозволяє змістити гніздо для опи-

рання п'яти рами ексцентрично відносно центра ваги перерізу палі, зменшити величину її згинального моменту і горизонтального переміщення (рис. 12).

Клиноподібна форма палі дозволяє повніше, ніж пірамідальна, використовувати відпор ґрунту на рівні вістря за рахунок збереження постійної ширини грані, перпендикулярної до напрямку розпору. Однак, при зануренні клиноподібної палі, як і пірамідальної, потрібне влаштування приямка для попередньої установки перед зануренням у ґрунт, що спричиняє незручність і потребує додаткових витрат. Крім того, ця паля матеріаломістка за витратами сталі.

За участю автора розроблена конструкція забивного блока-палі у вигляді тавра змінного перерізу за довжиною з невеликими (близько 5°) кутами нахилу граней до вертикалі (варіант VI). Стакан для опирання п'яти рами зміщений відносно центра ваги конструкції з ексцентриситетом, що забезпечує рівномірний тиск передньої стінки і підшви фундаменту на ґрунт. Конструкція блоків-паль удосконалена: переріз зменшений за рахунок пристрою верхньої частини ребра двобічної консолі, які необхідні для опирання фундаментних балок (рис. 13).

Для рівномірного занурення фундаменту в ґрунт консоль влаштована у верхній частині передньої стінки. Консоль сприяє ущільненню ґрунту і зменшенню призми його випирання. Розміри верхньої основи наступні: стінки – 900×400 мм, ребра – 600×500 мм; нижньої основи: стінки – 700×100 мм, ребра – 600×100 мм, висота блока-палі – 1,5 м.

Аналіз свідчить, що розроблена конструкція фундаменту (варіант VI) є найбільш прийнятною, оскільки має позитивні якості, властиві кожному типові фундаменту окремо, а саме: велику площу бічної поверхні (як у таврової палі); ухил грані, що наближається до ухилу пірамідальної палі; розширену стінку (як у клиноподібної палі).

При визначенні ефективності фундаменту під тришарнірні рами необхідно виходити з таких положень: робота конструкції фундаменту на межі фундамент-ґрунт повинна бути рівномірною, щоб сума моментів відносно точки повороту фундаменту від вертикальних і горизонтальних

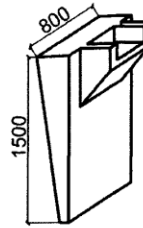


Рис. 12. Клиноподібна паля з консоллю.

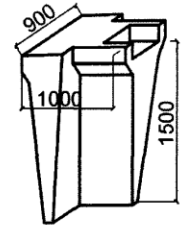


Рис. 13. Блок-паля змінного таврового перерізу з консолями.

складових максимально наближалися до нуля; фундамент повинен відповідати максимальній несучій здатності на горизонтальне і вертикальне навантаження при мінімальній витраті бетону і сталі.

Таким чином, блок-паля таврового змінного перерізу (варіант VI) є найбільш ефективною і найменш матеріаломісткою конструкцією, яка сприймає розпір, що відповідає усім необхідним вимогам. Такий фундамент після експериментальної перевірки рекомендується для широкого застосування при зведенні каркасів сільськогосподарських, виробничих, громадських та інших будівель та споруд.

Висновки. При будівництві каркасних будівель із тришарнірних залізобетонних рам найбільш ефективними та найменш матеріаломісткими є залізобетонні фундаменти з похилою підшвою (на піщаній основі і на глинистих ґрунтах); буронабивна паля з ущільненням ядром (в ґрунтових умовах I типу просадочності); асиметричний фундамент у витрамбованому котловані з похилою або ступінчастою підшвою; клиноподібна паля з консоллю; забивний блок ЗБР; блок-паля перемінного таврового перерізу (з консолями); пальовий фундамент зі збірним ростверком з коротких елементів; паля з вертикальних елементів, об'єднаних діафрагмами СВД. Використання ефективних паль СВД дозволяє зменшити вартість фундаменту за рахунок зниження на 40-50 % витрат бетону і сталі та зменшення в 2-3 рази трудомісткості влаштування фундаменту.