

Аналіз отриманих результатів показує, що під час застосування запропонованої методики розрахунку відносна похибка обчислень знаходиться у межах $-2,3...+4,7\%$, що є цілком достатньо для інженерних розрахунків залізобетонних балок, підсилених зовнішньою композитною арматурою. Проведені експериментальні випробування показали, що за відносних деформацій $e_{Ly} = 0,005$ ще не відбувається повне руйнування балок (гарантується запас несучої здатності).

Висновки: 1. Запропонована методика розрахунку міцності нормальних перерізів залізобетонних балок, підсилених зовнішньою композитною арматурою.

2. Під час розрахунку згідно з запропонованою методикою внаслідок обмеження відносних деформацій зовнішньої композитної арматури на рівні 0,005 забезпечується надійна робота конструкції та запас несучої здатності.

1. Кваша В.Г., Мельник І.В., Климпуш М.Д. Експериментальне дослідження залізобетонної мостової балки за ТП вип. 56, підсиленої композитною стрічкою з вуглецевих волокон CFRP // 36. "Автомобільні дороги та дорожнє будівництво". – К., 2001. – Вип. 62. – С. 267–271. 2. Хаятун Ю.Г., Чернявський В.Л., Аксельрод Е.З. Применение углепластиков для усиления строительных конструкций // Бетон и железобетон. – М., 2002. – №6. – С. 17–20; 2003. – №1. – С. 25–29. 3. Кваша В., Мельник І., Собко Ю., Мурин А., Добрянський Р. Застосування композитів CFRP для підсилення залізобетонних мостів в Україні / 9th International Scientific Conference "Current issues of civil and environmental engineering". – Rzeszow, 3–4 September, 2004. – С. 221–227. 4. Rybak M. Łagoda M. Wzmacnianie mostów betonowych za pomocą przyklejanego zbrojenia zewnętrznego // XVIII konferencja naukowo-techniczna „Awarie Budowlane”. – Szczecin-Międzyzdroje, 1997. – P.41–50. 5. Meier U., Kaiser K. Strengthening of Structures with CFRP Laminates, Advanced Composite Materials in Civil Engineering Structures, Proceedings of the Specialty Conference (ASCE). – Las Vegas, Nevada, 1991. – P. 224–232. 6. Kaminska M., Kotynia R. Badania żelbetowych belek z taśmami CFRP przyklejonymi na ich powierzchniach // XVI konferencja naukowo-techniczna "Beton i prefabrykacja". – Tom 2. – Jadwisin. – 1998. – S. 479–484. 7. Kybicki J. Badania doświadczalne zarysowanych belek żelbetowych z naklejonymi taśmami kompozytowymi z włókien węglowych // Prace instytutu techniki – kwartalnik №4 (124) 2002. – S. 43–59. 8. Мурин А.Я., Добрянський Р.З. Дослідження роботи залізобетонних балок, підсилених наклеюванням композитної арматури // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2005. – Вип. 2005-4(52). – С.254–257. 9. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с. 10. Externally bonded FRP reinforcement for RC structures / Technical report fib, bulletin 14. – 2001. – 130 p.

УДК 624.012:620.193

Б.М. Ониськів, Я.В. Сорока, В.М. Канюк, П.Ф. Холод
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра будівельних конструкцій та мостів

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СИЛ БОКОВОГО ТЕРТЯ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ БУРОВСТАВНИХ І БУРОДОБИВНИХ ПАЛЬ

© **Ониськів Б.М.**, Сорока Я.В., Канюк В.М., Холод П.Ф., 2008

Описано методику експериментального дослідження величин і характеру розподілу тертя по боковій поверхні паль та наведено результати їх випробувань в натурі.

Described, method of experimental research of sizes and character of division of friction on the lateral surface of piles and the results of their tests are resulted in nature.

Постановка проблеми. Під час зведення опор мостів у гідрогеологічних умовах Карпат широко застосовувались буронабивні та буровставні палі, технологія влаштування яких та

результати їх випробування частково наведені в [1, 2]. Проте ще не достатньо вивчені чинники, що визначають несучу здатність паль.

Під час дослідження роботи паль під навантаженням велика увага, як правило, приділяється характеру розподілення сил тертя по їх боковій поверхні. Не менше зацікавлення викликає також питання перерозподілу навантажень, що діють на палю, між силами тертя її бокової поверхні та огорож ґрунту в межах вістря під час роботи палі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Загалом закон розподілу реакції по боковій поверхні та в межах нижнього кінця палі залежить насамперед від співвідношення модулів деформації матеріалу палі і оточуючого її масиву ґрунту, а також геометричних розмірів палі і фізико-механічних властивостей ґрунту. Для визначення величини навантаження, що передається через нижній торець палі і її бокову поверхню, необхідно розв'язати багатофакторну задачу, яка вимагає виконання ретельно продуманих експериментів з використанням сучасної вимірювальної техніки.

Аналіз літературних даних показує, що одним із способів отримання найточніших результатів з розподілу сил тертя по боковій поверхні палі (побудовою епюр « f ») є метод з замірювання деформацій робочої арматури паль з використанням тензорезисторів.

Мета роботи – дослідити вплив сил бокового тертя на несучу здатність буровставних і буродобивних паль. У цих експериментальних дослідженнях розподіл сил по боковій поверхні в буровставних і буродобивних палях вивчався двома способами:

– окремим випробуванням паль до і після ін'єкції пазух між стінками свердловини та тілом вставної або добивної палі цементно-піщаним розчином у разі відсутності і наявності сил тертя на їх бокових поверхнях;

– визначенням сил бокового тертя за величиною заміряних деформацій у поздовжній арматурі встановлених у свердловину паль з застосуванням електротензорезисторів.

Виклад основного матеріалу. За першого способу випробування паль на дію вертикального навантаження замірювання її осідання виконувались двічі: під час їх влаштування, тобто після встановлення залізобетонних паль заводського виготовлення у свердловини, а у випадку буродобивних паль – після їх добивання у щільні ґрунти до ін'єкції пазух та в готовому вигляді – після заповнення пазух цементно-піщаним розчином і досягнення ним проектною міцності. Під час завантаження дослідних зразків паль вертикальним навантаженням вимірювались переміщення їх голови (осідання), які записувались у журнал випробування.

Методика вимірювання осідання і використані прилади детально описані у [2]. На основі одержаних результатів побудовані графіки залежності осідання паль від величини прикладеного навантаження (рис. 1, а, б). Величина сил тертя визначалася як різниця між граничними навантаженнями, одержаними під час випробування паль після і до ін'єкції пазух між палями і ґрунтами.

Другий спосіб дослідження розподілу сил тертя по боковій поверхні паль полягав в тому, що під час їх випробування на вертикальне навантаження вимірювались деформації поздовжньої арматури, залізобетонної палі, і за величиною цих деформацій визначалися напруження в окремих перерізах палі по висоті, а також обчислювались вертикальні зусилля в кожному із цих перерізів та палі загалом. Нормальні напруження в бетоні цих же перерізів палі визначалися з використанням методу січення елементів і січних модулів деформацій бетону та одержаних деформацій арматури [4]. Сумарні сили бокового тертя на різній глибині визначалися як різниця між величиною прикладеного навантаження на палю і вертикальним зусиллям, що виникло у бетоні і арматурі у цьому перерізі палі.

Аналіз експериментальних даних сил бокового тертя по довжині палі дав змогу виявити низку особливостей поведінки буродобивних і буровставних паль під навантаженням. Сили тертя в кожній з цих паль виникали по-різному і переважно залежали від типу палі, її параметрів, а також від модуля деформації ґрунту основи у межах нижнього їх кінця. Важливу роль при цьому відіграє стан і деформаційні властивості ґрунту на рівні вістря палі, тому що геометричні параметри паль і фізико-механічні властивості ґрунту, розташованого вище, були у двох випадках однаковими.

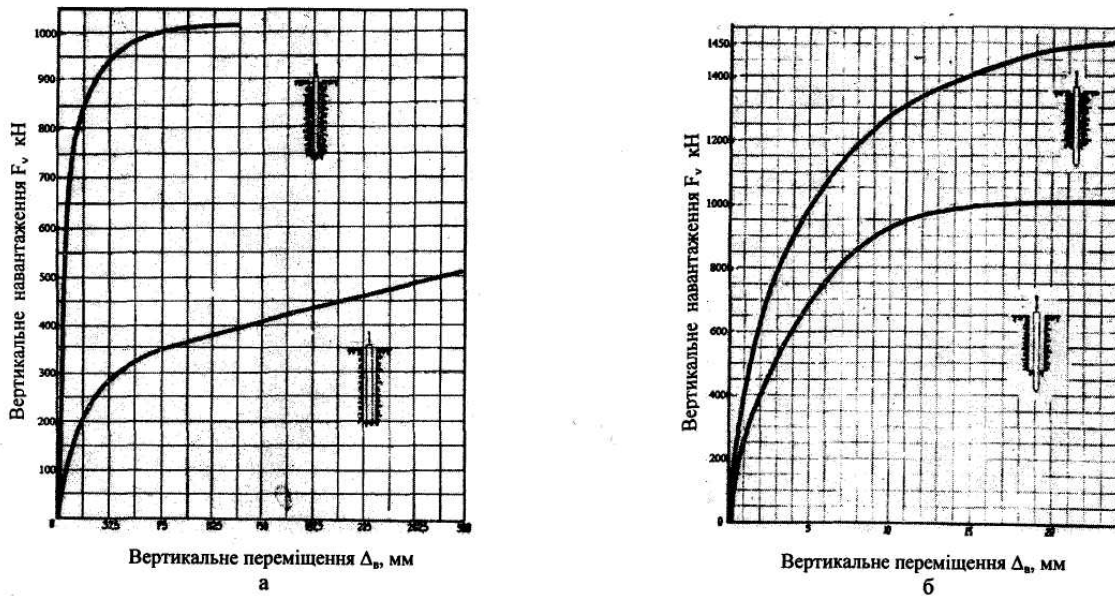


Рис. 1. Графік залежності переміщень палі від вертикального навантаження:
 а – буровставної; б – буронабивної

Внаслідок добивання залізобетонної палі в ґрунт буродобивна паля мала надійнішу основу, ніж буровставна. Випробуваннями палі встановлено, що за перших ступенів навантаження вістря буродобивної палі дещо затримувало розвиток сил тертя по боковій її поверхні, тому що незначні напруги на рівні вістря не викликали істотних деформацій ґрунту. За подальшого завантаження палі осідання її почало збільшуватись, а з ними почали зростати сили тертя по боковій поверхні. Проте активний розвиток сил тертя почався у межах нижнього кінця палі. Це, мабуть, пов'язано з частковим вичерпанням в межах щільної зони, яка сформувалася під час добивання палі, несучої здатності ґрунту.

На цій стадії завантаження основна частина навантаження сприймалася нижнім торцем палі у вигляді контактних тисків ґрунту, які поступово зростали і викликали насамперед осідання палі.

Зі зростанням осідання палі за її подальшого завантаження несуча здатність збільшувалась, насамперед за рахунок зростання сил бокового тертя.

Описаний характер взаємодії буродобивної палі з ґрунтом за вертикального завантаження наочно ілюструється зіставленням графіків залежності осадження від прикладеного навантаження під час випробування палі до і після ін'єкції пазух. Як бачимо із рис. 1, на першому ступені занурення (125 кН) усе навантаження передавалось через нижній торець палі і силами тертя на боковій поверхні на глибині її добивання. На другому ступені (250 кН) сили тертя збільшуються, захоплюючи у роботу частину бокової поверхні палі, розташованої вище від рівня її добивання у межах свердловини.

Частка зовнішнього навантаження, що сприймається силами тертя у межах свердловини, із деякими наближеннями вираховується як різниця навантажень, одержаних під час випробувань палі до і після ін'єкції пазух. За 250 кН зовнішнього навантаження сила тертя дорівнювала 60 кН, а за 450 кН збільшилась до 140 кН, що у першому випадку становило 25 % від загального навантаження, а у другому – 35 %. Подальше завантаження палі привело до пропорційного збільшення сил тертя на все більшій частині бокової поверхні палі. За граничного навантаження 1350 кН сили тертя у межах свердловини сприйняли 400 кН, що становить приблизно 34 % від загальної її величини. Вичерпання несучої здатності палі наступило за навантаження, що дорівнює 1450 кН, яке на 400 кН більше від граничного навантаження, отриманого під час випробування тієї самої буродобивної палі до ін'єкції пазух цементно-піщаним розчином.

Подібні результати роботи буродобивної палі під дією вертикального навантаження отримано за даними вимірювання зусиль у поздовжній арматурі залізобетонної палі. Хоча частина тензорезисторів вийшла із робочого стану через технічні причини, але ці багаточисленні результати

замірювань, які були отримані, дають достатньо чітку картину передачі зовнішнього навантаження на ґрунт. По заміряних відносних деформаціях поздовжньої арматури побудовано графіки їх розподілу на довжині палі під час випробування останньої до ін'єкції пазух з цементним розчином (рис. 2) та після ін'єкції (рис. 3), а також визначені сумарні сили тертя на різній глибині свердловини для кожного ступеня навантаження.

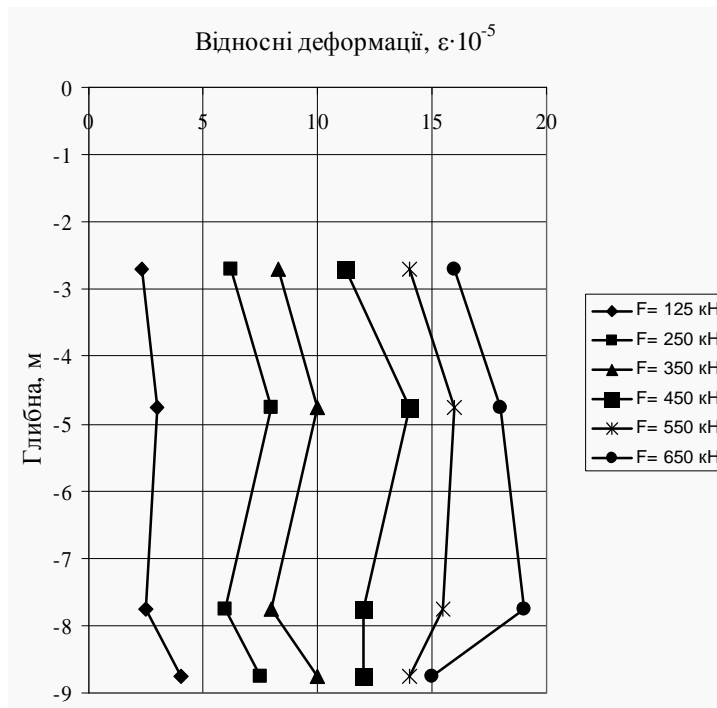


Рис. 2. Графіки деформації поздовжньої арматури під час випробування буродобивної палі до ін'єкції пазух цементним розчином

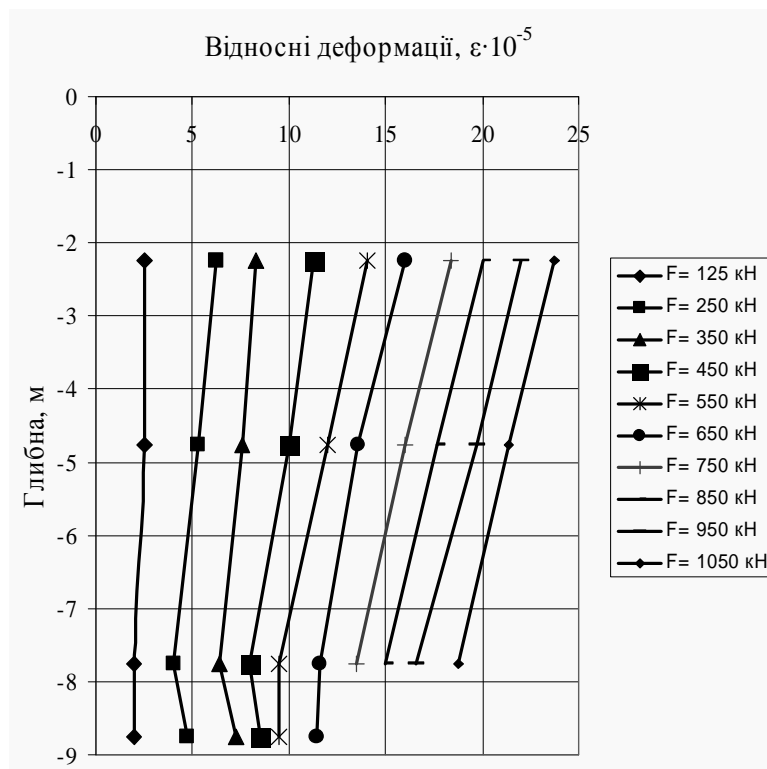


Рис. 3. Графіки деформації поздовжньої арматури під час випробувань буродобивної палі після ін'єкції пазух цементно-піщаним розчином

Як бачимо із рис. 2, зростання деформацій у поздовжній арматурі під час випробування буродобивної палі вертикальним навантаженням і відсутності її контакту з ґрунтом в межах свердловини відбувалося прямо пропорційно до прикладеного навантаження на більшій частині довжини палі. Це говорить про те, що нормальні стискаючі сили в окремих перерізах палі у межах свердловини були рівні між собою, а прикладене навантаження сприймалося тільки нижнім кінцем палі і силами тертя на глибині її добивання.

Друга картина показана на рис. 3, де графіки розподілення деформації у поздовжній арматурі отримані під час випробування палі після ін'єкції пазух. У цьому випадку деформації змінюються по довжині палі із зростанням знизу доверху.

На першому ступені завантаження це зростання було незначним і існувало у нижній частині палі. За подальшого завантаження нерівномірність розподілу деформації по довжині палі збільшується і між крайніми тензорезисторами різниця показів коливалась у межах $5 \cdot 10^{-5}$. Це викликано тим, що частина прикладеного до палі навантаження передається на ґрунт за рахунок сил бокового тертя, величина яких по довжині палі зростала. Розподілення цих сил наочно показано на рис. 3.

Як бачимо із графіків, зростання сумарної сили бокового тертя по глибині свердловини має майже прямолінійний характер. На першому ступені навантаження (125 кН) вона проявляється у межах нижнього кінця палі і на глибині 8.75 м від поверхні землі дорівнювала приблизно 80 кН. З подальшим завантаженням у роботу включається уся бокова поверхня палі, розташована нижче від відмітки 4.75 м. Сили тертя з кожним рівнем навантаження збільшуються і за 650 кН їхня максимальна величина дорівнювала приблизно 200 кН.

Після цього навантаження у роботу включається уся бокова поверхня палі. Зростання сил тертя увесь час відбувається зверху вниз, зберігаючи лінійний характер.

Внаслідок оброблення експериментальних даних визначено величини сил бокового тертя і нормальні зусилля в окремих перерізах палі по глибині свердловини і побудовано відповідні графіки (рис. 4; 5).

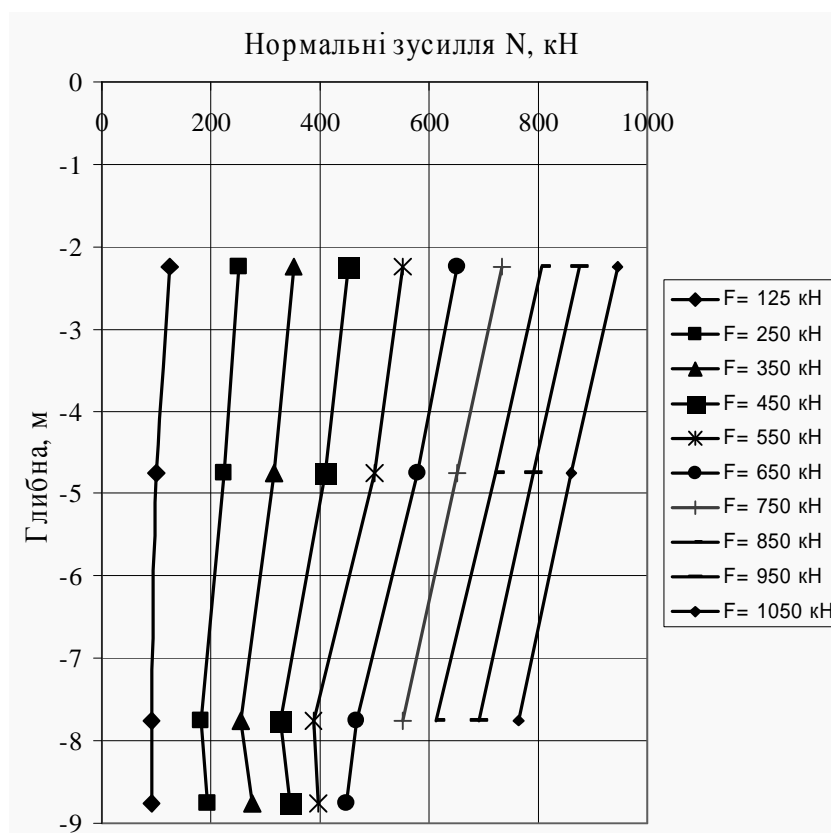


Рис. 4. Графіки зміни нормальних зусиль в перерізах буродобивної палі залежно від глибини свердловини

З ростом сил тертя на довжині палі зусилля стиску в окремих її перерізах зменшились. Це бачимо із графіків, показаних на рис. 4. На перших ступенях навантаження нормальні зусилля в окремих перерізах палі були майже однакової величини. Зі зростанням навантаження їх збільшення в нижніх перерізах відбувалося повільніше, ніж у верхній частині палі. Так продовжувалось до вичерпання несучої здатності буродобивної палі. Це ще раз підтверджує той факт, що частина зовнішнього навантаження передавалась на ґрунт за допомогою сил тертя, величина яких зростала зверху вниз.

Процес передачі навантаження на ґрунт під час випробування буровставної палі має дещо інший характер. Наявність в забої свердловини ґрунтів частково порушеної структури під час буріння кардинально змінило картину роботи палі в ґрунті. Як показали проведені випробування, після передачі на буровставну палю навантаження відбувалося вертикальне переміщення голови палі. Цьому переміщенню через підвищену деформативність ґрунтів основи палі насамперед протидіяли сили тертя по її боковій поверхні. Ґрунти під нижнім кінцем палі (п'ятою) почали працювати в стадії їх утрамбовування тільки після повної мобілізації сил тертя на усій її довжині. Це ілюструється графіками залежності осідань від величини прикладеного навантаження, побудованими на основі даних, одержаних під час випробувань буровставної палі до і після ін'єкцій пазух цементно-піщаним розчином, тобто за відсутності і наявності контактів між тілом вставляваної залізобетонної палі і стінками свердловини (рис. 1). Із зіставленням величин осаджень палі на перших ступенях навантаження у двох випадках її випробування бачимо, що наявність контакту між тілом встановлюваної палі і ґрунтом значною мірою зменшує її вертикальне переміщення. Так, наприклад, за зовнішнього навантаження 250 кН осідання палі до ін'єкції становило 31 мм, а при цьому самому навантаженні після ін'єкції вона досягнула величини усього 0,6 мм.

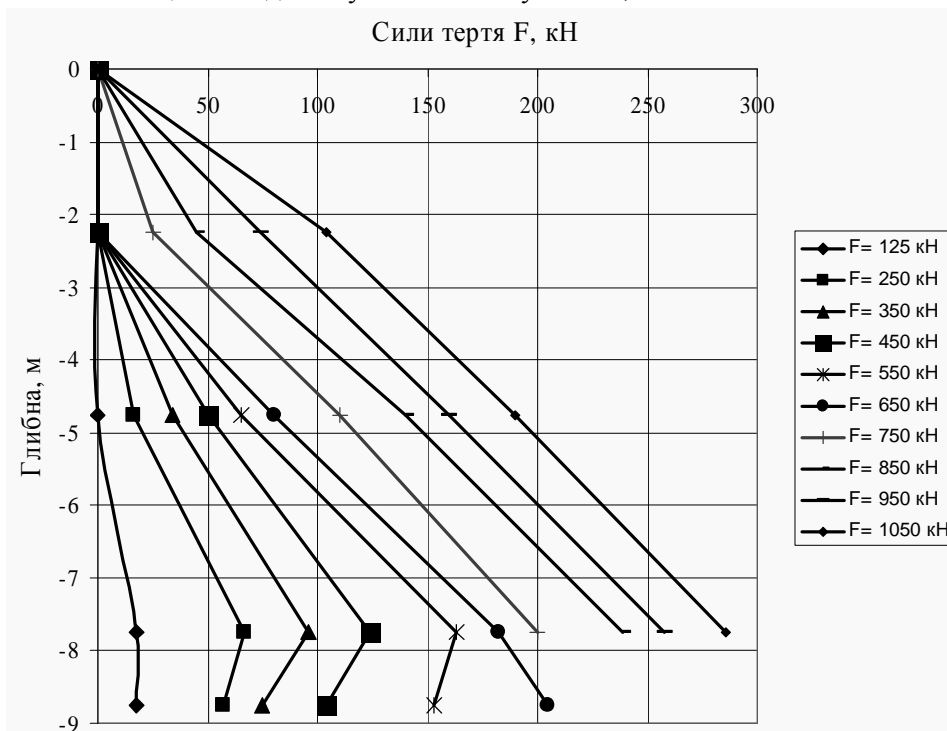


Рис. 5. Графік розподілу сил тертя по довжині буродобивної палі

Аналогічна картина спостерігалась і на інших ступенях навантаження. Під час випробування буровставної палі після ін'єкції ріст її вертикальних переміщень зменшився у десятки разів порівняно із першим випробуванням (до ін'єкції). Це переважно викликано виникненням сил тертя по боковій поверхні палі, яке у першому випадку було відсутнє. Правда, потрібно зауважити, що під час першого випробування палі відбулося деяке утрамбовування ґрунтів її основи, яка певною мірою могла зменшити їх деформативні властивості і тим самим вплинути на величину осідання за повторного випробування палі. Але основну роль у цьому випадку, як нам здається, відіграли сили

бокового тертя. Майже прямо пропорційно зростаюче осідання до навантаження 650 кН (рис. 1, а) є цьому підтвердженням. На останній стадії завантаження після повної мобілізації сил тертя по боковій поверхні палі її осідання різко зросло і на передостанньому ступені навантаження (950 кН) досягли 35 мм. Максимальна величина навантаження становила 1050 кН, що на 550 кН більше від граничного навантаження, одержаного під час випробування буровставної палі до ін'єкцій пазух.

Висновки. Із проведеного аналізу роботи буродобивної і буровставної палі в ґрунті на різних стадіях їх навантаження випливає, що характер розподілу сил тертя по боковій поверхні палі значною мірою залежить від міцності і деформативності ґрунту основ.

За міцних ґрунтів основи розвиток сил тертя залежить насамперед від деформативності цих ґрунтів. Зростання сил тертя відбувається одночасно з ростом напруг в ґрунтах на рівні нижнього кінця палі. У випадку слабких ґрунтів основи сили тертя проявляються із самого початку завантаження палі, тоді як в першому випадку за малого навантаження вони взагалі відсутні.

1. Ониськів Б.Н., Сорока Я.В. *Рекомендації по устрою бурообивних и буровставных свай в условиях залегания гравийно-галечниковых грунтов, подстилаемых прочными породами.* – К., 1977. 2. Ониськів Б.Н., Сорока Я.В., Канюк В.М. *Особенности влаштування фундаментів опор мостів в гідрогеологічних умовах Карпат // Вісник НУ «Львівська політехніка».* – 2005 – №545. – С. 133–137. 3. Ониськів Б.Н., Сорока Я.В. *Эффективный способ устройства буронабивных свай: Сб. науч. тр.* – К., 1979. 4. Барабаш В.М. *Застосування методу скінченних елементів для прогнозування деформації, міцності і тріщиностійкості залізобетонних стержнів / Вісник Львівського державного аграрного університету.* – 2000. – №1. – С. 69–76.

УДК 621.311.18

В.І. Орел

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра гідравліки та сантехніки

ВИКОРИСТАННЯ СЕГМЕНТНИХ ЗАТВОРІВ НА ВІДКРИТИХ ВІДВІДНИХ КАНАЛАХ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ТЕС

© Орел В.І., 2008

Показано підбір сегментних затворів шлюзів-регуляторів відкритих відвідних каналів систем технічного водопостачання ТЕС за відомих співвідношень розмірів затворів і наповнення каналу перед шлюзом.

The selection of segmental gates of gateways-regulators of the opened taking slug channels of systems of technical water supply thermal power station at known ratio of the sizes gates and filling of the slug channel before a gateway is shown.

Постановка проблеми. У системах технічного водопостачання ТЕС з протічним водосховищем-охолодником для розподілу води на охолодження у верхню і нижню частини водосховища на відвідних каналах влаштовують шлюзи-регулятори (рис. 1, а) [1, 2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У періоди регулювання скиду води в акваторію водосховища-охолодника пропускну здатність шлюза-регулятора в разі незатопленого витікання води через його отвір прямокутної форми без бічного стиснення можна розрахувати за формулою [3, с. 269]: