

*В.Г. Кваша, д.т.н., професор, Л.В. Салійчук, к.т.н., с.н.с.
Національний університет «Львівська політехніка»
В.Т. Котенко, н.с., М.В. Нечипоренко, н.с.
ДерждорНДІ, м. Полтава*

ПЕРЕРАХУНОК ФУНДАМЕНТУ ПРОМІЖНОЇ ОПОРИ МОСТА ПРИ ЙОГО РЕКОНСТРУКЦІЇ

Розглянуто методику перерахунку фундаменту з висячих забивних паль проміжної опори моста в процесі його реконструкції з розширенням прольотної будови залізобетонною накладною плитою і підсиленням балок зміною статичної схеми з розрізної на багатопрольотну нерозрізну.

Ключові слова: *фундаменти опор моста, прольотна будова, розширення і підсилення, реконструкція, перерахунок, ґрунти стисливої основи, несуча здатність, розрахунковий опір ґрунту.*

*В.Г. Кваша, д.т.н., професор, Л.В. Салійчук, к.т.н., с.н.с.
Національний університет «Львовская политехника»
В.Т. Котенко, н.с., М.В. Нечипоренко, н.с.
ГосдорНИИ, г. Полтава*

ПЕРЕРАСЧЕТ ФУНДАМЕНТА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ОПОРЫ МОСТА ПРИ ЕГО РЕКОНСТРУКЦИИ

Рассмотрена методика перерасчета фундамента из висячих забивных свай промежуточной опоры моста в процессе его реконструкции с уширением пролетного строения железобетонной накладной плитой и усилением балок изменением статической схемы с разрезной на многопролетную неразрезную.

Ключевые слова: *фундаменты опор моста, пролетное строение, уширение и усиление, реконструкция, перерасчет, ґрунты сжимаемого основания, несущая способность, расчетное сопротивление ґрунта.*

*V. Kvasha, d.t.s., professor, L. Salijchuk, k.t.s., senior research fellow
Lviv Polytechnic National University, V. Kotenko, research fellow
M. Nechyporenko, research fellow
State road research institute, Poltava*

CALCULATION OF SUSPENSION TOWER FOUNDATION BRIDGES BEFORE RECONSTRUCTION

The method of calculation of suspended precast foundation piles suspension tower bridge during its reconstruction with expansion bill span reinforced concrete structure, strengthening beams and slab, change schemes into continuous span.

Keywords: *foundations support, a bridge span construction, expansion and strengthening, reconstruction, calculation, compressible ground foundation, bearing capacity, settlement ground resistance.*

Вступ. Необхідність перерахунку фундаментів опор при реконструкції мостів виникає в усіх випадках, коли змінюються умови їх роботи: збільшуються навантаження або змінюється статична схема прольотних будов.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Цей випадок є найбільш характерним при розширенні мостового полотна залізобетонною накладною плитою, застосування якої ефективно і комплексно розв'язує основні завдання реконструкції [6–9 та ін.], але одночасно створює додаткове навантаження на опори. При обпиранні підшви фундаментів на стисливі шари ґрунтів їх несуча здатність може виявитися недостатньою і в сукупності з впливом інших несприятливих факторів (наприклад, місцевих розмивів ґрунтів основи під фундаментами) як фундаменти, так і їх основи потребують підсилення [8, 10].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Тому виникає об'єктивна необхідність розрахункового аналізу несучої здатності основи фундаментів на нові, збільшені навантаження, причому досить часто такий аналіз доводиться виконувати за відсутності проектної документації, тобто в умовах обмеженої інформації про прийняті в проекті конструктивні рішення фундаментів, зокрема глибину їх закладання. Особливо це важливо для фундаментів із забивних висячих паль, глибина занурення й умови обпирання яких у стисливих шарах ґрунту невідомі.

Саме такий випадок і розглядається в цій роботі, **метою** якої і був розрахунковий аналіз несучої здатності фундаменту з висячих забивних паль з невідомою глибиною їх занурення в ґрунт основи проміжної опори моста в процесі його реконструкції з розширенням прольотної будови монолітною залізобетонною накладною плитою й одночасним підсиленням балок зміною статичної схеми з розрізної на багатопрольотну нерозрізну.

Нижче описані методика та основні результати перевірочних розрахунків несучої здатності з умови обмеження деформацій фундаменту, виконані в ГНДЛ-88 Національного університету «Львівська політехніка» в процесі розроблення робочого проекту реконструкції моста через р. Сула біля с. Млини Полтавської області на км 172+598 автодороги Р60 Кролевець – Конотоп – Ромни – Пирятин.

Основний матеріал і результати. Існуючий міст збудовано на початку 1961 р. [5, 11] за 10-прольотною балковою розрізною конструктивною схемою 10×16,8 м. Прольотні будови всіх 10-ти прольотів однотипні, зібрані з п'яти збірних залізобетонних попередньо напружених балок, довжиною 16,76 м, конструкцію яких розроблено і досліджено в УкрдортрансНДІ (тепер ДерждорНДІ) в 1960–1961 рр. [11]. Балки з кроком 1,66 м поперек прольоту об'єднані між собою в просторову систему прольотної будови в площинах трьох прольотних і двох опорних діафрагм шляхом об'єднання півдіафрагм суміжних балок зварюванням верхніх та нижніх закладних деталей металевими накладками.

При реконструкції існуюча прольотна будова розширюється до Г-9,5+2×0,75 м монолітною залізобетонною накладною плитою з улаштуванням додаткових підсилюючих контурних ребер у межах висоти крайніх балок без розширення опор (рис. 1). З метою розвантаження балок

у прольотах розрізна система прольотних будов перетворюється на нерозрізну з ліквідацією деформаційних швів над проміжними опорами.

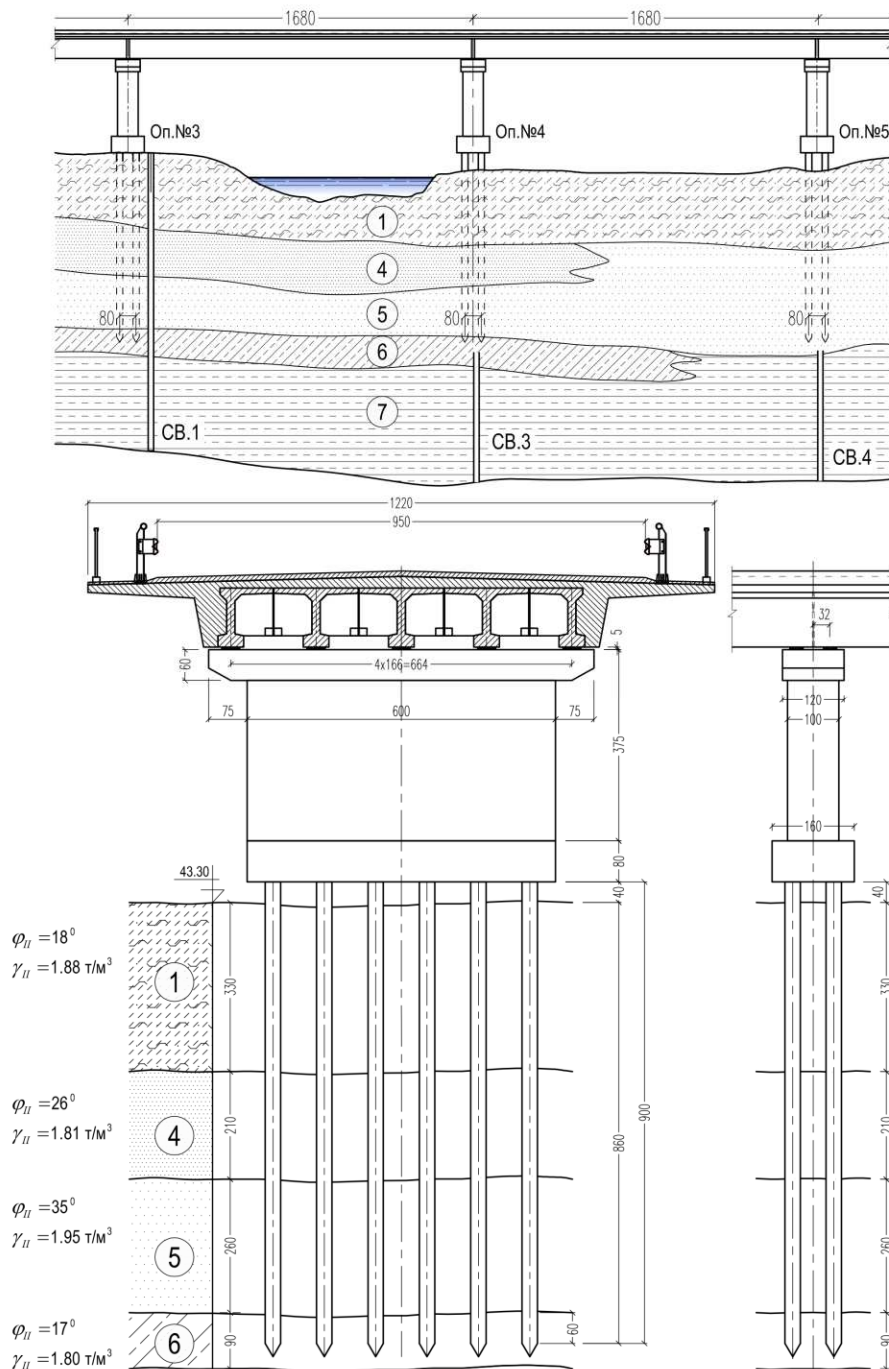


Рис. 1. Прив'язка опори №4 до геологічних умов основи під фундамент

Усі проміжні опори однотипні за конструкцією: монолітні, бетонні, суцільні, масивні, з двоконсольним ригелем. Такий тип опор при ширині тіла опори, меншій від відстані між осями крайніх балок, і за наявності двоконсольного ригеля за існуючою класифікацією умовно відносять до жорстких масивних опор полегшеного типу.

Фундаменти опор із забивних паль перерізом 30×30 см, які згідно з оцінкою інженерно-геологічних умов за характером роботи в ґрунті можна віднести до висячих, оскільки наявні типи ґрунтів основи, в котрих розташовані палі, допускають їх переміщення. Глибина занурення паль у ґрунти основи невідома. Зверху палі для сумісної роботи об'єднані монолітним залізобетонним ростверком, який за рівнем розташування відносно поверхні ґрунту відносять до ростверку зниженого типу, а за розрахунковою схемою – до жорсткого, у котрому власні деформації під дією зовнішнього навантаження є на декілька порядків меншими, ніж його переміщення в ґрунтовій основі. Опорні частини ковзання у вигляді двох прилягаючих одна до одної плоских металевих пластин.

Перевірний розрахунок пального фундаменту проміжної опори виконаний у зв'язку з розширенням існуючих прольотних будов зі зміною їх статичної схеми з розрізної на нерозрізну і збільшенням навантажень на опору. Для перевірних розрахунків прийнято фундамент опори № 4, а ґрунти основи за найближчою до цієї опори свердловиною № 3, фізико-механічні характеристики ґрунтів якої прийнято за результатами інженерно-геологічних вишукувань, виконаних Сумською філією ПП «Дніпродіпроводгосп» у 2011 р. (рис. 1). За даними технічного звіту, за результатами інженерно-геологічних вишукувань у межах імовірної глибини занурення паль у ґрунтовій основі виділено такі інженерно-геологічні елементи (ІГЕ) (рис.1) з відповідними фізико-механічними характеристиками:

ІГЕ-1: суглинок замулений із включенням сапропелю та битих мушель. (У технічному звіті дані про фізико-механічні характеристики відсутні, тому для розрахунків прийнято їх мінімальні табличні значення: кут внутрішнього тертя $\varphi_{II}=17^\circ$, питома вага $\gamma_{II}=1,88 \text{ т/м}^3$);

ІГЕ-4: пісок пилюватий, середньої щільності (дані про фізико-механічні характеристики відсутні, тому для розрахунків прийнято мінімальні табличні значення: $\varphi_{II}=26^\circ$; $\gamma_{II}=1,81 \text{ т/м}^3$; коефіцієнт пористості $e=0,75$);

ІГЕ-5: пісок середньої крупності, середньої щільності з включенням уламків опоки та битих мушель ($\varphi_{II}=35^\circ$; $\gamma_{II}=1,95 \text{ т/м}^3$; коефіцієнт пористості $e=0,64$, питома сила зчеплення $C_{II}=0,1 \text{ т/м}^2$ (1 кПа));

ІГЕ-6: суглинок м'яко- та тугопластичний ($\varphi_{II}=17^\circ$; $\gamma_{II}=1,80 \text{ т/м}^3$; $C_{II}=1,5 \text{ т/м}^2$ (15 кПа).

Навантаження і впливи на фундамент прийнято згідно з вимогами норм [1] у найбільш не вигідному їх сполученні. При цьому коефіцієнти сполучення зусиль від окремих видів навантажень у запас міцності прийнято такими, що дорівнюють 1,0.

Відповідно до вимог нормативних документів [2, 3] розрахунок фундаменту проводимо за деформаціями основи (другою групою граничних станів) у загальній схемі «основа – фундамент – споруда» на основні сполучення нормативних величин навантажень і впливів.

У розрахунковій моделі фундамент із забивних висячих паль розглядають як умовний масивний на стисливій основі, якою є шар ґрунту з

обпертими в ньому кінцями паль, до складу котрого входять палі, ґрунт між палями і деякий об'єм ґрунту, примикає до зовнішніх сторін паль і обмежений по зовнішньому контуру нахиленими площинами під кутом $\alpha = \frac{\varphi_{mII}}{4}$ до вертикалі [3], (φ_{mII} – середньозважене значення нормативного кута внутрішнього тертя шарів ґрунту, які проходить забита паля).

$$\varphi_{mII} = \frac{\varphi_1 l_1 + \varphi_2 l_2 + \dots + \varphi_i l_i}{l_1 + l_2 + \dots + l_i}, \quad (1)$$

де $\varphi_1, \varphi_2 \dots \varphi_i$ – кути внутрішнього тертя окремих шарів ґрунту в межах глибини занурення палі; $l_1, l_2 \dots l_i$ – товщина відповідних шарів ґрунту.

У цій розрахунковій схемі передбачено, що розподіл тиску від навантажень на фундамент та від ваги ґрунтового масиву з включеними в нього палями проходить через сили тертя, які діють по зовнішніх поверхнях крайніх рядів паль і передаються на площу умовного фундаменту, обмежену контурними, нахиленими під кутом α площинами.

У цьому випадку розрахунок основи зводиться до розрахунку напружень у ґрунті під подошвою умовного фундаменту при дії на нього найневигодніших комбінацій вертикальних та горизонтальних навантажень (уперек і вздовж прольотної будови), від яких на рівні подошви умовного фундаменту виникають вертикальні осьові зусилля й згинальні моменти M_x і M_y відповідно від горизонтальних сил уздовж та впоперек моста. Тоді умова міцності ґрунтової основи під подошвою умовного фундаменту має вигляд

$$\sigma = \frac{N + Q}{A_\phi} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq 1,2R', \quad (2)$$

де N – вертикальне осьове зусилля від зовнішніх навантажень; Q – вага масиву ґрунту умовного фундаменту з включеними в нього палями; M_x і M_y – згинальні моменти від зовнішніх сил, що діють на фундамент у площинах x та y (уздовж і впоперек моста) відносно його центра ваги на рівні подошви ростверку; A_ϕ – розрахункова площа обпирання умовного фундаменту; W_x і W_y – моменти опору розрахункової площі відносно осей x (уздовж моста) та y (впоперек моста); R' – розрахунковий опір ґрунту на рівні кінця паль для умовного жорсткого фундаменту з урахуванням глибини його закладання і ширини подошви за рекомендаціями норм [2] та з урахуванням тривалих консолідаційних явищ згідно з рекомендаціями проф. П.О. Коновалова [4].

$$R' = Rmk, \quad (3)$$

де R – розрахунковий опір ґрунту, визначений за нормативним документом [2];

m, k – коефіцієнти збільшення розрахункового опору внаслідок зміни фізико-механічних характеристик ґрунту основи за період експлуатації моста (визначають за рекомендаціями П.О. Коновалова [4]).

Оскільки фактична глибина занурення паль у ґрунт основи невідома, в перевірочному розрахунку розглянуто два екстремальні випадки ймовірної

глибини занурення паль з обпиранням їх у різні за фізико-механічними властивостями шари ґрунту:

– **випадок 1:** довга паля з закладанням до 10,0 м, обперта кінцями в шарі відносно слабкого ґрунту ПГЕ-6 (суглинок м'якопластичний);

– **випадок 2:** коротка паля із закладанням до 6,0 м, обперта в шарі більш міцного ґрунту ПГЕ-5 (пісок середньої крупності, середньої щільності).

При виконанні умови міцності (2) для цих двох випадків можна вважати забезпеченою міцність умовного фундаменту в діапазоні занурення паль 6 – 10 м.

Зусилля на фундамент опори визначали від вертикальних і горизонтальних постійних та тимчасових навантажень згідно з вимогами норм [1] у площинах x і y (уздовж та впоперек моста) у їх найневигоднішому для напруженого стану основи сполученні. Результати визначення зусиль на фундамент від окремих видів навантажень, схеми прикладання яких показано на рис. 2, зведені в таблицю 1.

Таблиця 1. Зведена таблиця нормативних зусиль на рівні підшви ростверку опори, що передаються на фундамент

| № з/п | Найменування зусиль | Зосереджені сили | | Згинальні моменти | |
|-------|---|------------------------|--------------------------|--|--|
| | | вертикальні N_i , кН | горизонтальні H_i , кН | уздовж моста (площина x) $M_{i,x}$, кН·м | впоперек моста (площина y) $M_{i,y}$, кН·м |
| 1 | Постійні навантаження з власною вагою балок | 2954,0 | - | - | - |
| 2 | Власна вага опори з ростверком | 776,0 | - | - | - |
| 3 | Сумарне постійне навантаження | 3730,0 | - | - | - |
| 4 | Опорна реакція навантаження А15 при симетричному навантаженні двох суміжних прольотів | 976,0 | - | - | 1708,7 |
| 5 | Опорна реакція навантаження А15 при навантаженні одного прольоту | 770,5 | - | 246,6 | 1248,4 |
| 6 | Опорна реакція від навантаження НК-100 при навантаженні двох прольотів | 928,6 | - | - | 2785,8 |
| 7 | Опорна реакція від навантаження НК-100 при навантаженні одного прольоту | 890,8 | - | 285,0 | 2685,8 |
| 8 | Поперечне навантаження від бокового удару навантаження А15 | - | 100,8 | - | 613,0 |
| 9 | Поздовжнє навантаження від гальмування навантаження А15 при передачі його на одну опору | - | 252,0 | 1159,0 | - |
| 10 | Тиск вітру на опору впоперек моста | - | - | - | 463,7 |
| 11 | Тиск вітру на опору вздовж моста | - | - | 423,4 | - |

За аналізом даних таблиці 1 визначено найневигодніші для розрахунку фундаменту опори комбінації одночасної дії вертикальних і горизонтальних

навантажень (при коефіцієнті сполучення $K=1,0$). Розрахунковими сполученнями зусиль будуть:

а – впоперек моста (вісь у) (рис. 2, а):

1. Сумарне постійне навантаження (3) $N_{II}=3730$ кН.
2. Опорна реакція навантаження НК-100 при навантаженні одного прольоту (7) створює моменти M_y і M_x (7).

$N_{HK}=890,8$ кН; $M_y=2682,4$ кН·м; $M_x=285,0$ кН·м;

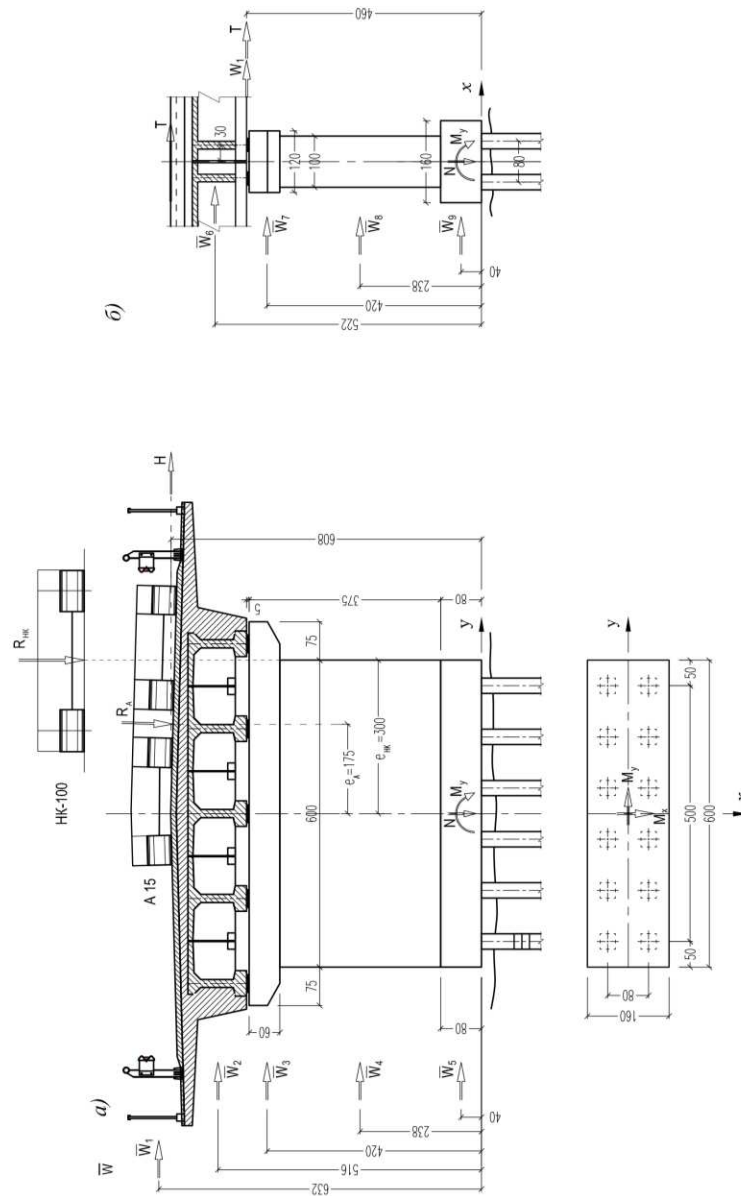


Рис. 2. Розрахункові схеми сполучень вертикальних і горизонтальних навантажень упоперек (а) і вздовж (б) прольоту

3. Тиск вітру на опору впоперек моста (10): $M_y=463,7$ кН·м.

Сумарні зусилля при розрахунковому сполученні навантажень упоперек моста (рис. 2,а).

Осьове зусилля: $N=3730,+890,8=4620,8$ кН.

Згинальні моменти: $M_y=2682,4+463,7=3146,1$ кН·м; $M_x=285,0$ кН·м

б – уздовж моста (вісь x) (рис. 2,б).

1. Сумарне постійне навантаження (3) $N_{II}=3730,0$ кН.

2. Опорна реакція від навантаження А15 при навантаженні одного прольоту (5)

$N_A=770,5$ кН; $M_x=246,6$ кН·м; $M_y=1348,4$ кН·м.

3. Поздовжнє навантаження від гальмування навантаження А15 (9): $M_x=1159,0$ кН·м.

Осьове зусилля: $N=3730,0+770,5=4500,5$ кН.

Згинальні моменти: $M_x=246,6+1159=1405,6$ кН·м; $M_y=1348,4$ кН·м.

Як відмічалось вище, для перевірки міцності основи під подошвою умовного фундаменту в цьому розрахунку при невідомій глибині занурення паль розглянуті два екстремальних варіанти закладання подошви умовного фундаменту залежно від довжини паль у шарі ґрунту ІГЕ-6 (рис. 3, а) і у шарі ґрунту ІГЕ-5 (рис. 3, б).

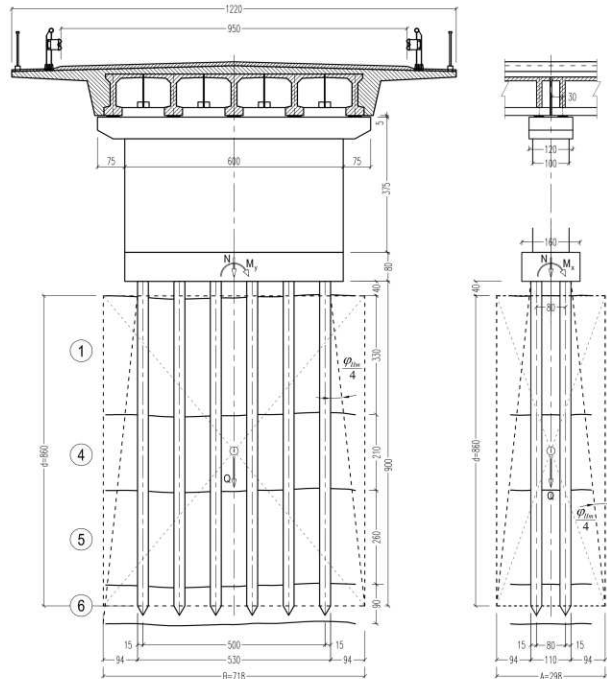
При обох варіантах максимальні напруження під подошвою умовного фундаменту при розрахунку за другою групою граничних станів знаходимо за формулою (2) з урахуванням власної ваги масиву ґрунту умовного фундаменту Q з розташованими в ньому палями (рис. 3, а, б).

Розрахунковий опір ґрунту шарів ІГЕ-6 і ІГЕ-5 знаходимо за ДБН В.2.1-10-2009 [5] з урахуванням ширини та глибини закладання умовного фундаменту, а також його збільшення внаслідок тривалих консолідаційних процесів протягом періоду експлуатації моста за рекомендаціями проф. О.П. Коновалова [4]. Результати виконаних розрахунків представлено в таблиці 2.

Таблиця 2. Розрахункові сполучення зусиль та розраховані максимальні напруження під подошвою умовного фундаменту

| Варіант розрахунку, розрахунковий шар ґрунту основи | Розрахункові сполучення зусиль і максимальні розраховані напруження | | | | | | | | 1,2R', кПа |
|---|---|-----------------------|-----------------------|---------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|------------|
| | уздовж моста | | | | упоперек моста | | | | |
| | N+Q, кН | M _x , кН·м | M _y , кН·м | σ_{gp}^{max} , кПа | N+Q, кН | M _x , кН·м | M _y , кН·м | σ_{gp}^{max} , кПа | |
| Варіант 1 (ІГЕ-6) | 7975,5 | 1405,6 | 1348,4 | 550 | 8095,5 | 285,0 | 3146,1 | 530 | 880 |
| Варіант 2 (ІГЕ-5) | 5945,5 | 1405,6 | 1348,4 | 820 | 6065,8 | 285,0 | 3146,1 | 720 | 1850 |

a)



б)

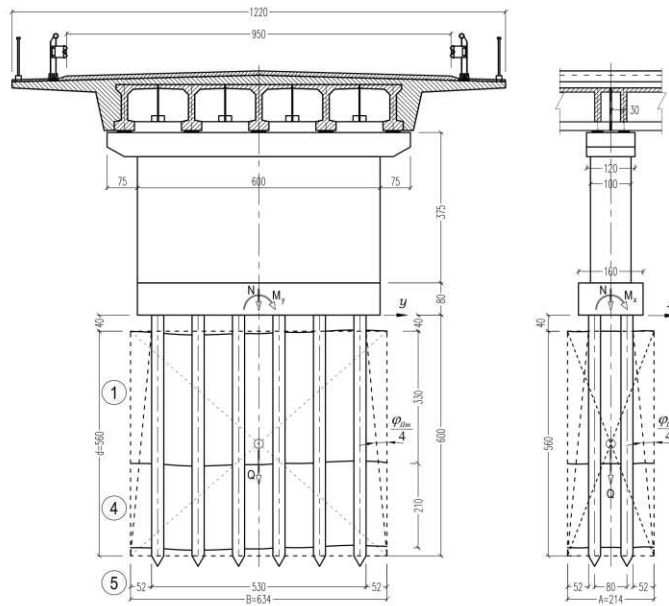


Рис. 3. Схема до розрахунку фундаменту опори № 4 при закладанні кінців паль у шарах ґрунту ІГЕ-6 (а) і ІГЕ-5 (б)

З порівняння розрахованих максимальних напружень у ґрунті під подошвою умовного фундаменту σ_{2p}^{max} і розрахункового опору ґрунту 1,2R' видно, що при обох розглянутих варіантах глибини закладання паль міцність основи під подошвою умовного фундаменту при розрахунку за другою групою граничних станів забезпечується.

Висновки:

1. Для перевірного розрахунку прийнятий фундамент опори № 4 з найневигоднішими інженерно-геологічними умовами та підмитим

ростверком і оголеною його подошвою. Фундаменти інших опор мають такий же або кращий стан та знаходяться в таких же або кращих інженерно-геологічних умовах, тому результати цього розрахунку можна розповсюдити і на фундаменти інших проміжних опор.

2. У розрахунку при невідомій глибині занурення паль розглянуто два ймовірні екстремальні випадки можливої глибини занурення паль з їх обпиранням у різні за фізико-механічними характеристиками шари ґрунту. В обох випадках несуча здатність основи фундаменту з висячих паль забезпечується. Тому можна вважати забезпеченою несучу здатність основи і фундаментів інших проміжних опор.

3. Опори з оголеними внаслідок розмивів ростверками потребують виконання захисних заходів проти подальшого розмивання основи під їх подошвою.

Література

1. ДБН В.1.2-15: 2009. *Мости та труби. Навантаження і впливи.* – К.: Мінрегіонбуд, 2009. – 83 с.
2. ДБН В.1.2-10.2009. *Основи та фундаменти споруд.* – К.: Мінрегіонбуд, 2009. – 86с.
3. ДБН В.1.2-10.2009. *Основи та фундаменти споруд. Зміна №1.* – К.: Мінрегіонбуд, 2009. – 55 с.
4. *Інженерна геологія, механіка ґрунтів, основи і фундаменти.* / М.Л. Зоценко, В.І. Коваленко, А.В. Яковлев, О.О. Петраков, В.Б. Швець, О.В. Школа, С.В. Біда, Ю.Л. Винников. – Полтава: ПолтНТУ, 2004. – 568 с.
5. *Кваша, В.Г. Обстеження та випробування автодорожніх мостів* / В.Г. Кваша. – Львів: НУЛП, 2002. – 103 с.
6. *Кваша, В.Г. Досвід ремонту та реконструкції мостів України.* / В.Г. Кваша // *Теорія і практика будівництва: вісник* – Львів: НУ «ЛП», 2006, – №562. – С. 38 – 49.
7. *Кваша, В.Г. Застосування монолітної залізобетонної накладної плити для розширення балкових автодорожніх мостів* / В.Г. Кваша // *Промислове будівництво та інженерні споруди.* – 2008. – №4. – С. 24 – 31.
8. *Кваша, В.Г. Розширення струнобетонної прольотної будови монолітною залізобетонною накладною плитою з підсиленням балок і аварійних опор* / В.Г. Кваша, Л.В. Салійчук. // *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: зб.* – К.: НТУ, 2006. – Вип. 73. – С. 116 – 120.
9. *Кваша, В.Г. Розширення прольотної будови автодорожнього моста з її підсиленням зміною статичної схеми без влаштування деформаційних швів* / В.Г. Кваша, Л.В. Рачкевич // *Дороги і мости: зб. наук. пр.* – К.: ДерждорНДІ, 2008. – Вип. 9. – С. 106 – 111.
10. *Кваша, В.Г. Підсилення опор при реконструкції мостів* / В.Г. Кваша, Л.В. Салійчук // *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр.* – Рівне: НУВГП, 2013. – Вип. 25. – С. 739 – 753.
11. *Научно-технический отчет УкрдортрансНИИ «Предварительно напряженные пролетные строения пролетом 10-30 м» / Отчет по теме №06-61.* – К., 1961. – 384 с.

Надійшла до редакції 23.09.2013

© В.Г. Кваша, Л.В. Салійчук, В.Т. Котенко, М.В. Нечипоренко