

УДК 624.154.1

**ВПЛИВ ВИДУ ҐРУНТУ НА СУМІСНУ РОБОТУ ПАЛЬ
І РОСТВЕРКА В КУЩОВОМУ ПАЛЬОВОМУ ФУНДАМЕНТІ**

I. V. Maevska, N. V. Blashchuk, K. A. Chobanova

**ВЛИЯНИЕ ВИДА ПОЧВЫ НА СОВМЕСТНУЮ РАБОТУ СВАЙ
И РОСТВЕРКА В КУСТОВОМ СВАЙНОМ ФУНДАМЕНТЕ**

И. В. Маевская, Н. В. Блащук, К. А. Чобанова

**EFFECT ON SOIL TYPE COLLABORATION PILES
AND GRILLAGE PILE FOUNDATION IN BUSH**

I. Maevska, N. Blashchuk, K. Chobanova

Розглянуто чисельне моделювання методом скінченних елементів сумісної роботи паль та ростверка у складі стовпчастого пального фундаменту. Отримана залежність частки навантаження, яка сприймається ростверком, від характеристик ґрунту: питомого зчеплення, кута внутрішнього тертя, модуля деформації. Також досліджено вплив на частку ростверка розрахункового опору ґрунту по бічній поверхні палі та граничного опору основи, що сукупно враховують характеристики міцності ґрунту. Частка ростверка визначена на різних етапах навантаження: при досягненні деформації 4 см та 10 см. Окремо розглянуто залежність частки навантаження, що сприймається ростверком, у глинистих та піщаних ґрунтах.

Ключові слова: ґрунт, паля, ростверк, питоме зчеплення, кут внутрішнього тертя, модуль деформації, основа, граничний опір, фундамент.

Рассмотрены численное моделирование методом конечных элементов совместной работы свай и ростверка в составе столбчатого свайного фундамента. Полученная зависимость доли нагрузки, воспринимаемой ростверком, от характеристик почвы: удельного сцепления, угла внутреннего трения, модуля деформации. Также исследовано влияние на долю ростверка расчетного сопротивления ґрунта по боковой поверхности сваи и предельного сопротивления основания, что совокупно учитывают характеристики прочности ґрунта. Доля ростверка определена на разных этапах нагрузки: при достижении деформаций 4 см и 10 см. Отдельно рассмотрены зависимость доли нагрузки, воспринимается ростверком, в глинистых и песчаных почвах.

Ключевые слова: почва, свая, ростверк, удельное сцепление, угол внутреннего трения, модуль деформации, основа, предельное сопротивление, фундамент.

We consider the numerical modulation by finite element method of operation of piles and grillage consisting of columnar pile foundation. The dependence of particle load, perceived grillages on soil characteristics: specific grip angle of internal friction, modulus of deformation. Also, the effect of the share of grillage calculated soil resistance on the lateral surface of the pile and maximum resistance to bases, which collectively account for strength characteristics of the soil. Share grillage determined at various stages of loading: when reaching strain of 4 cm and 10 cm separately examined the dependence of particle load, perceived grillages in clayey and sandy.

Keywords: soil, pile, grillage, specific traction, angle of internal friction, modulus of deformation, base, limit the resistance, base.

Вступ

Експериментальними дослідженнями, проведеними в різні періоди Бартоломеєм А. О., Знаменським В. В, Яблочковим В. Д. [1-3] та іншими, показано, що ростверк включається в роботу і сприймає певну частку від загального навантаження, яка становить від 15 % до 45 % в залежності від кроку паль у куші, їх довжини, поперечного перерізу та виду. Вплив виду ґрунту на спільну роботу паль і ростверка не досліджувався.

Оскільки вид ґрунту впливає на роботу фундаменту в цілому, тому від виду ґрунту залежатиме і включення в роботу ростверка.

Для отримання необхідних даних потрібно виконати чисельне моделювання роботи фундаменту, визначити навантаження, яке сприймають палі, та навантаження, що передається на ростверк, у кушовому пальовому фундаменті.

Постановка задачі

При вирішенні поставленої задачі чисельного моделювання використовувався геотехнічний програмний комплекс «Plaxis 3D Foundation», за допомогою якого отримали значення осідань та визначили напружено-деформований стан ґрунту та фундаменту.

Метою випробувань було варіювання видом ґрунту. Стовпчастий пальовий фундамент з кількістю паль $n=9$ шт. однакових розмірів, з однаковими кроком паль $3d$, поперечним перерізом паль $0,3$ м та довжиною 6 м змодельовано в різних видах ґрунту. Оскільки пальові фундаменти з несучим ростверком рекомендовано приймати на піщаних та глинистих ґрунтах [4], тому для моделювання обрано ґрунти, що мають такі фізико-механічні характеристики:

- 1) пісок 1, $\gamma = 16,3$ кН/м³, $c = 2$ кПа, $\varphi = 43^\circ$, $E = 50$ МПа;
- 2) пісок 2, $\gamma = 17,0$ кН/м³, $c = 2$ кПа, $\varphi = 38^\circ$, $E = 40$ МПа;
- 3) пісок 3, $\gamma = 16,6$ кН/м³, $c = 2$ кПа, $\varphi = 32^\circ$, $E = 28$ МПа;
- 4) пісок 4, $\gamma = 17,0$ кН/м³, $c = 2$ кПа, $\varphi = 26^\circ$, $E = 11$ МПа;
- 5) супісок, $\gamma = 19,8$ кН/м³, $c = 15$ кПа, $\varphi = 27^\circ$, $E = 16$ МПа;
- 6) суглинок, $\gamma = 19,8$ кН/м³, $c = 28$ кПа, $\varphi = 22^\circ$, $E = 19$ МПа;
- 7) глина 1, $\gamma = 17,0$ кН/м³, $c = 81$ кПа, $\varphi = 21^\circ$, $E = 28$ МПа;
- 8) глина 2, $\gamma = 17,0$ кН/м³, $c = 2$ кПа, $\varphi = 7^\circ$, $E = 7$ МПа;
- 9) супісок 1, $\gamma = 16,7$ кН/м³, $c = 28$ кПа, $\varphi = 30^\circ$, $E = 32$ МПа;
- 10) супісок 2, $\gamma = 16,7$ кН/м³, $c = 28$ кПа, $\varphi = 28^\circ$, $E = 19$ МПа;
- 11) суглинок 2, $\gamma = 16,0$ кН/м³, $c = 28$ кПа, $\varphi = 15^\circ$, $E = 12$ МПа;
- 12) суглинок 2, $\gamma = 16,0$ кН/м³, $c = 28$ кПа, $\varphi = 7^\circ$, $E = 7$ МПа;

Для аналізу отриманих результатів були прийняті такі передумови і параметри:

- модель ґрунту основи – пружно-пластична модель Кулона-Мора;
- модель стовпчастого фундаменту – забивні палі поперечним перерізом 30×30 см;
- крок паль $3d$ довжиною 6 м;
- розміри розрахункової області в плані 10×10 м;
- за навантаження, що сприймається фундаментом, приймається значення зовнішнього навантаження без урахування ваги ростверка на різних етапах навантаження: при деформаціях 4 см та 10 см;
- частка навантаження, що сприймається ростверком, визначається як добуток реактивного опору основи на площу ростверка без урахування площі паль.

Результати досліджень

Результати, отримані при чисельному моделюванні показали, що частка навантаження, яка сприймається ростверком становить від $2,0$ % до $6,0$ % для фундаментів з деформацією 4 см та від $2,0$ % до $7,0$ % – з деформацією 10 см.

На рис. 1 показано графік залежності між часткою навантаження, що припадає на ростверк, та питомим зчепленням для всіх змодельованих ґрунтів (і піщаних, і глинистих разом).

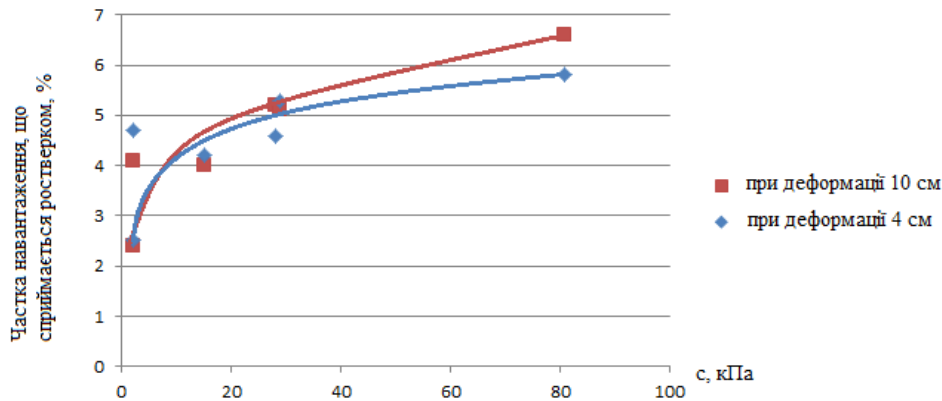


Рис. 1. Залежність частки навантаження, що сприймається ростверком, від питомого зчеплення ґрунту

З рис. 1 видно, що частка навантаження, яка передається на ростверк, зростає із збільшенням питомого зчеплення. Якщо розглянути цю залежність при деформації фундаменту 4 см та 10 см, то можна побачити, що при більшій деформації ростверк краще включається в роботу.

На рис. 2 наведено графік залежності між часткою навантаження, що припадає на ростверк та кутом внутрішнього тертя для всіх змодельованих ґрунтів (і піщаних, і глинистих разом).

З рис. 2 видно, що при збільшенні кута внутрішнього тертя ґрунту частка навантаження, що сприймається ростверком у складі стовпчастого пальового фундаменту, зменшується і коливається від 7-2 %. Зменшення частки ростверка обумовлюється збільшенням роботи паль по бічній поверхні. Відносно деформації фундаменту: при більшій деформації (10 см) ростверк сприймає більше навантаження, ніж при меншій деформації (4 см).

Розглянемо частку навантаження, що передається на ростверк, у складі стовпчастого пальового фундаменту в залежності від модуля деформації ґрунту (для піщаних та глинистих разом) (рис. 3).

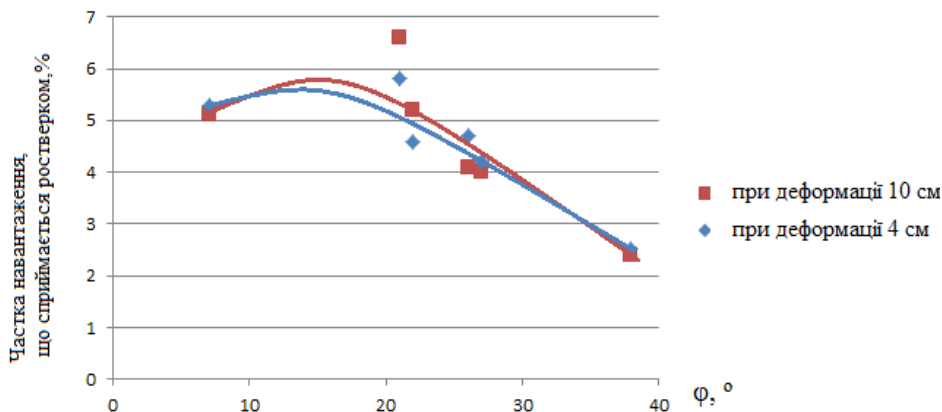


Рис. 2. Залежність частки навантаження, що сприймається ростверком від кута внутрішнього тертя

З рис. 3 помітно, що із збільшенням модуля деформації ґрунту, частка ростверка на деяких ділянках зростає, а на інших – спадає, але все ж таки помітна тенденція зменшення частки ростверка. На різних етапах навантаження частка ростверка мало змінюється та складає 7-2 %.

Розглянемо вплив характеристик міцності ґрунту на частку ростверка окремо у піщаних та у глинистих ґрунтах.

На рис. 4 наведено частку ростверка, що включається в роботу, залежно від кута внутрішнього тертя – φ , ° у піщаних ґрунтах при деформації 4 см та 10 см, що відображає різні етапи навантаження. Питоме зчеплення у змодельованих ґрунтах прийнято сталим.

Як видно з рис. 4, при збільшенні кута внутрішнього тертя ґрунту та деформації, робота ростверка у складі фундаменту зменшується. На різних етапах навантаження частка ростверка практично не змінюється.

Графік залежності частки навантаження від модуля деформації – E , МПа, у піщаних ґрунтах показаний на рис. 5.

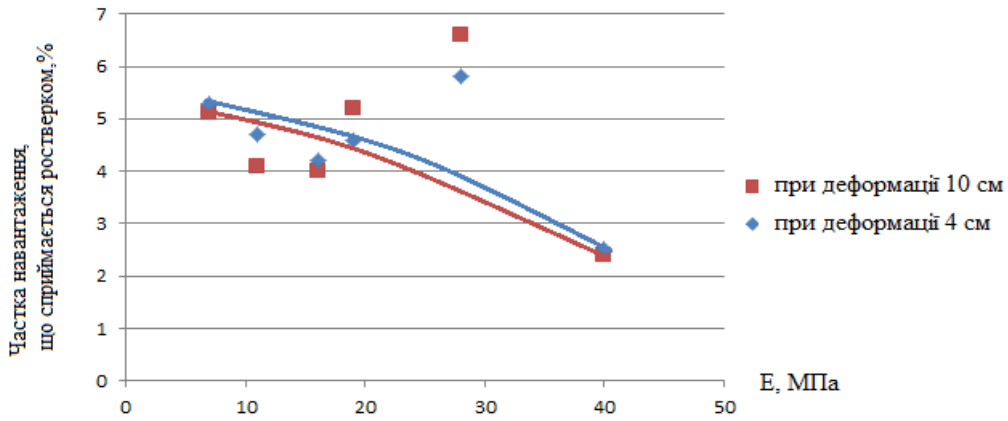


Рис. 3. Залежність частки навантаження, що сприймається ростверком, від модуля деформації

З рис. 6 помітно, що збільшення модуля деформації у піщаних ґрунтах призводить до зменшення частки навантаження, що передається на ростверк стовпчастого пальового фундаменту. На різних етапах навантаження частка ростверка залишається майже незмінною і становить від 5 % до 2 % загального навантаження фундаменту.

Розглянемо, як змінюється частка навантаження, що сприймається ростверком, у складі стовпчастого пальового фундаменту від кута внутрішнього тертя при сталому питомому зчепленні у глинистих ґрунтах (рис. 6).

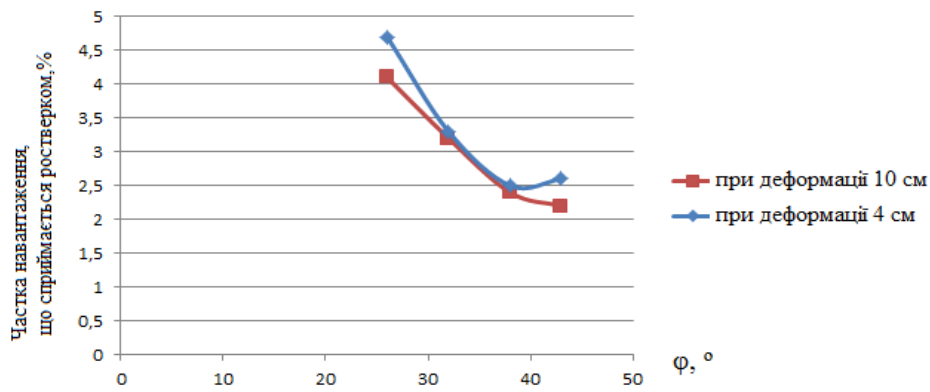


Рис. 4. Залежність частки навантаження, що сприймається ростверком, від кута внутрішнього тертя у піщаних ґрунтах

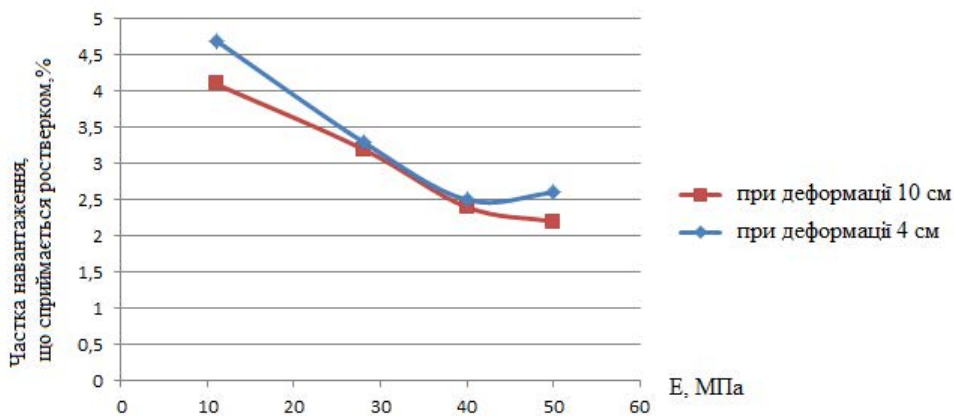


Рис. 5. Залежність частки навантаження, що сприймається ростверком, від модуля деформації у піщаних ґрунтах

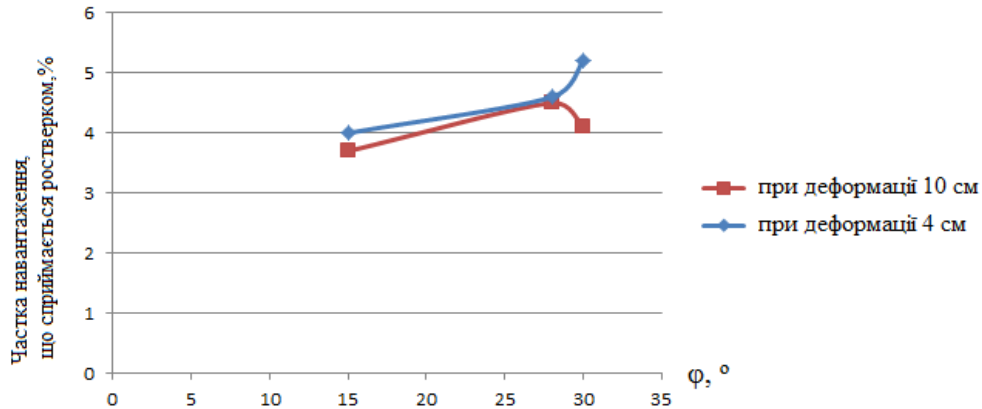


Рис. 6. Залежність частки навантаження, що сприймається ростверком, від кута внутрішнього тертя у глинистих ґрунтах

З рис. 6 видно, що при збільшенні кута внутрішнього тертя у глинистих ґрунтах частка навантаження, що сприймається ростверком, у складі стовпчастого пальового фундаменту зростає і становить 3,5-6 % навантаження фундаменту. При збільшенні навантаження частка ростверка зменшується.

На рис. 7 наведено графік залежності частки навантаження, що сприймається ростверком, у складі стовпчастого пальового фундаменту від модуля деформації глинистого ґрунту.

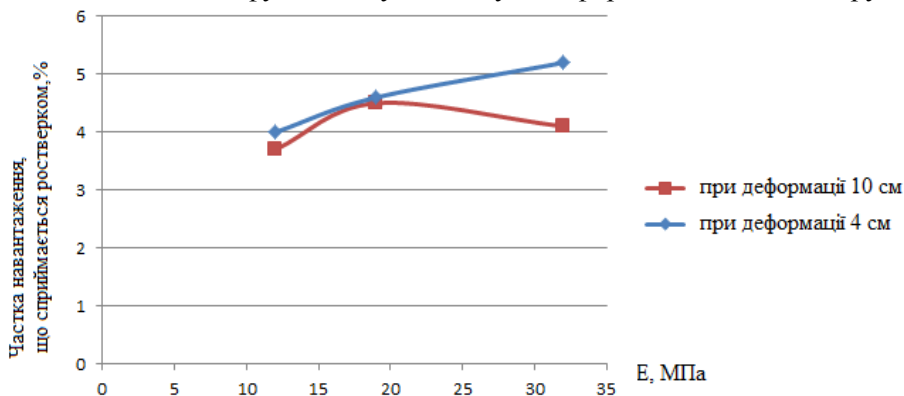


Рис. 7. Залежність частки навантаження, що сприймається ростверком, від модуля деформації у глинистих ґрунтах

Збільшення модуля деформації у глинистих ґрунтах призводить до зростання частки навантаження, що сприймається ростверком, у складі стовпчастого пальового фундаменту лише при невеликих навантаженнях на фундамент: на етапі, коли деформації досягають 4 см. При деформації 10 см не прослідковується залежність частки ростверка від модуля деформації.

Оскільки на несучу здатність ростверка та включення його в роботу впливають характеристики міцності ґрунту, проведено розрахунок частки навантаження в залежності від f_i , кПа – розрахункового опору ґрунту по бічній поверхні палі, який враховує як кут внутрішнього тертя, так і питоме зчеплення [5] та визначається за формулою

$$f_i = \sigma_{zq,i} \frac{v_i}{1 - v_i} \operatorname{tg} \varphi_{II,i} + c_{II,i} \quad (1)$$

де $\sigma_{zq,i}$ – напруження в середині ґрунту i -го розрахункового шару ґрунтової основи, кПа;

v_i – коефіцієнт Пуассона в середині ґрунту i -го розрахункового шару ґрунтової основи.

На рис. 8 наведено графіки залежності частки навантаження, що сприймається ростверком, від розрахункового опору ґрунту по бічній поверхні палі у піщаних ґрунтах на глибині 1 м під подошвою фундаменту, на різних етапах навантаження, а саме: при деформації 4 см та 10 см.

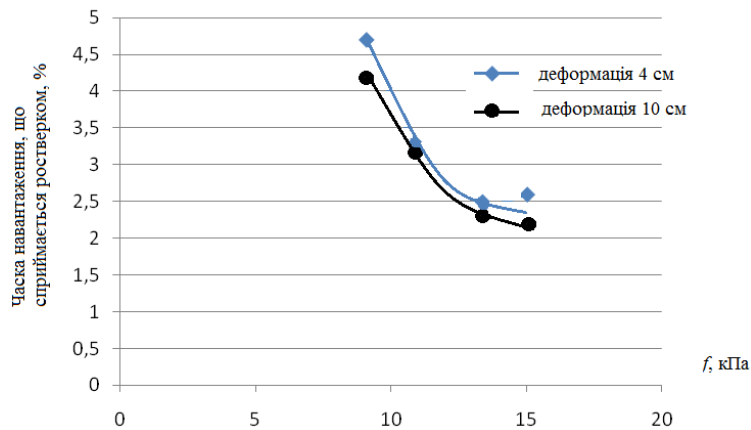


Рис. 8. Частка навантаження, що сприймається ростверком, у складі стовпчастого пальового фундаменту в залежності від розрахункового опору ґрунту по бічній поверхні палі у піщаних ґрунтах на глибині 1 м під подошвою

Помітно, що зі збільшенням міцності ґрунту та деформацій, несуча здатність ростверка має зменшувальний характер.

Розглянемо, як впливають на частку ростверка стовпчастого пальового фундаменту сили граничного опору основи.

Сили граничного опору основи, складеної нескельними ґрунтами в стабілізованому стані, визначається за формулою [5]

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi_1 + c_1 \quad (2)$$

де φ_1 – кут внутрішнього тертя ґрунту, °;

c_1 – питоме зчеплення ґрунту, кПа.

Цей параметр також є таким, що сукупно враховує характеристики міцності ґрунту.

Графіки залежності частки навантаження, що сприймається ростверком, від граничного опору основи наведені на рис. 9.

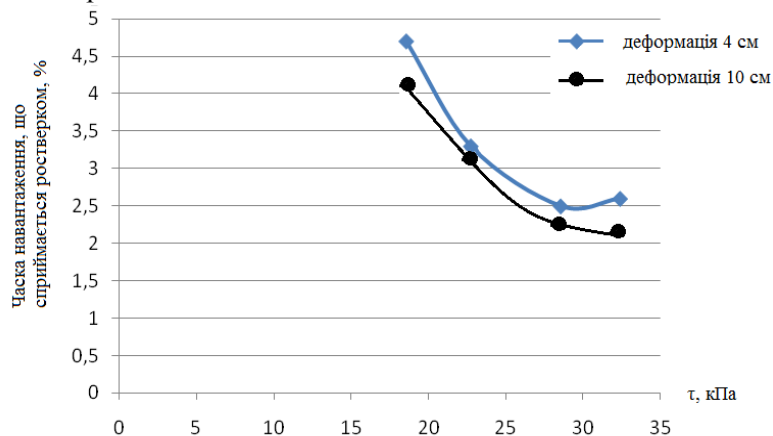


Рис. 9. Частка навантаження, що сприймається ростверком, у складі стовпчастого пальового фундаменту в залежності від граничного опору основи у піщаних ґрунтах на глибині 1 м під подошвою

Із рис. 9 видно, що збільшення граничного опору піщаних ґрунтів основи призводить до зменшення частки ростверка. Різні етапи навантаження: при досягненні деформації 4 см та 10 см, практично не впливають на частку навантаження, що передається на ростверк.

Розглянемо вплив розрахункового опору ґрунту по бічній поверхні палі та граничного опору основи у глинистих ґрунтах на частку навантаження, що сприймається ростверком, у складі стовпчастого пальового фундаменту на різних етапах навантаження.

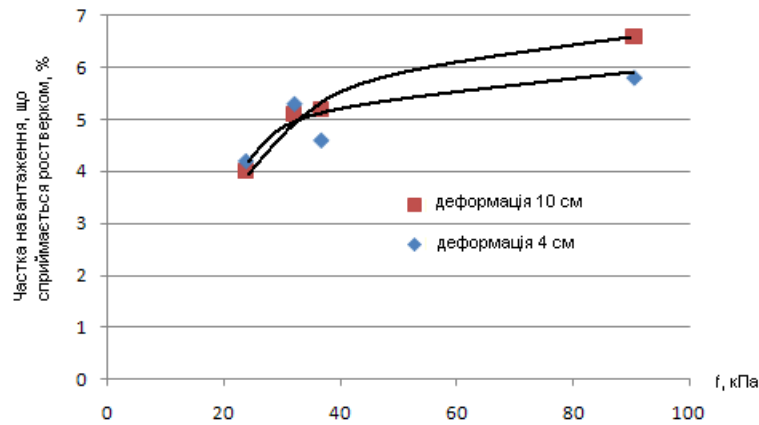


Рис. 10. Частка навантаження, що сприймається ростверком, у складі стовпчастого пальового фундаменту в залежності від розрахункового опору ґрунту по бічній поверхні палі у глинистих ґрунтах на глибині 1 м під подошвою

На рис. 10 показано, що при збільшенні розрахункового опору глинистих ґрунтів по бічній поверхні палі частка ростверка зростає. При цьому ростверк включається в роботу краще при більшій деформації.

Частка навантаження, що сприймається ростверком, в залежності від граничного опору основи у глинистих ґрунтах на відстані 1 м під подошвою наведена на рис. 11. Помітно, що із збільшенням граничного опору основи частка ростверка збільшується і становить від 4 % до 7 %.

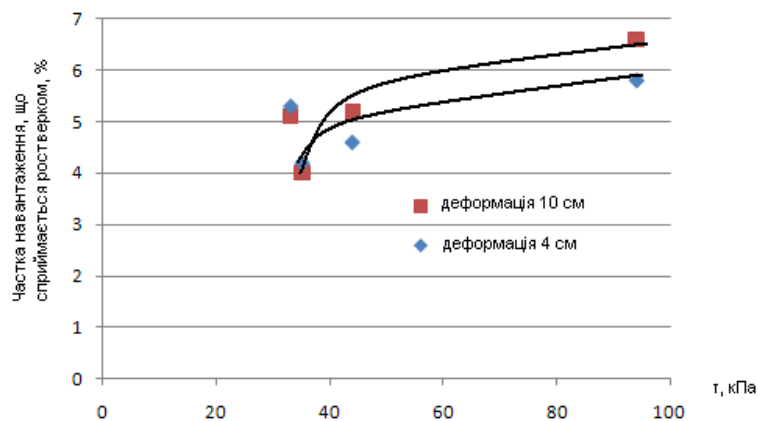


Рис. 11. Частка навантаження, що сприймається ростверком, у складі стовпчастого пальового фундаменту в залежності від граничного опору основи у глинистих ґрунтах на глибині 1 м під подошвою

Висновки

- Виявлено залежність сумісної роботи ростверка та паль у стовпчастому пальовому фундаменті від характеристик ґрунту: кута внутрішнього тертя, питомого зчеплення та модуля деформації.
- При збільшенні питомого зчеплення ґрунту частка навантаження, що сприймається ростверком, зростає на різних етапах навантаження незалежно від виду ґрунту. При цьому ростверк краще включається в роботу при більшому навантаженні.
- У піщаних ґрунтах частка навантаження, що сприймається ростверком, зменшується зі збільшення кута внутрішнього тертя та модуля деформації.
- У глинистих ґрунтах частка навантаження, що сприймається ростверком, зростає зі збільшення кута внутрішнього тертя та модуля деформації.
- Отримано, що ростверк краще включається в роботу при більшій деформації фундаменту.
- У піщаних ґрунтах частка ростверка при збільшенні опору ґрунту по бічній поверхні та граничного опору ґрунту зменшується.
- У глинистих ґрунтах частка ростверка при збільшенні опору ґрунту по бічній поверхні та граничного опору ґрунту зростає.

Використана література

1. Бартоломей А. А. Расчет осадок ленточных фундаментов/ А. А. Бартоломей – М.: Стройиздат, 1972. – 121 с.
2. Знаменский В. В. Взаимодействие низкого ростверка со сваями / В. В. Знаменский, А. М. Рузаев, И. Н. Полюнков // Вестник МГСУ. – М., 2008 – № 2. – с. 48-51. – ISSN 1997-0935.
3. Яблочков В. Д. К вопросу об учете работы низкого ростверка в расчетах свайных фундаментов на коротких забивных висячих сваях / В. Д. Яблочков // Тр. Пермского политехнического института: – Пермь – 1964. – Вып. 16. – С. 87-98.
4. Рекомендации по расчету свайных фундаментов с несущими ростверками: Р 5.01.015.05 – [Срок действия: с 1.01.2006 г. по 1.01.2011г.]. – Минск: Научно-проектно-производственное республиканское унитарное предприятие «СТРОЙТЕХНОРМ», 2005. – 24 с.
5. Основи та фундаменти будівель та споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10-2009. Зміна 1 – [Чинні від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011 – 55 с. – (Державні будівельні норми України).

Маєвська Ірина Вікторівна – к.т.н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

Блащук Наталія Вікторівна – асистент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

Чобанова Каміла Аллахвердіївна – студентка Вінницького національного технічного університету.

Маевская Ирина Викторовна – к.т.н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

Блащук Наталья Викторовна – асистент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

Чобанова Каміла Аллахвердієвна – студентка Вінницького національного технічного університету.

Maevska Irina – Ph.D., docent of department of industrial and civil construction Vinnytsia National Technical University.

Blashchuk Natalia – Ph.D., docent of department of industrial and civil construction Vinnytsia National Technical University.

Chobanova Camila – student Vinnytsia National Technical University.