

УДК 624.15

**УЧЕТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРИЛОЖЕНИЯ
НАГРУЗКИ ПРИ ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ
РАБОТЫ УСИЛЕННОГО СВАЯМИ
ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА
МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ**

Блащук Н.В., Маевская И.В., Балакер С.Ю.

*Винницкий национальный технический университет,
г. Винница, Украина*

В статье приведены результаты численного моделирования НДС систем «ленточный фундамент мелкого заложения–сваи усиления–основание» и «ленточный свайный фундамент–основание». Проведен сравнительный анализ полученных данных для обеих систем. Установлено, что без учета последовательности приложения нагрузки при моделировании работы усиленного сваями ленточного фундамента мелкого заложения результаты моделирования соответствуют работе нового ленточного свайного фундамента. При этом отсутствие учета последовательности приложения нагрузки в процессе моделирования существенно снижает величину нагрузки, которая может быть воспринята ростверком усиленного фундамента, в состав которого входит существующий фундамент.

The article presents the results of numerical simulation of strained-deformed state of the systems' «strip shallow foundation–pile–ground» and «strip-pile foundation–ground ». A comparative analysis of the data for both systems found that, excluding the sequence of load modelling of reinforced piles strip foundation shallow simulation results obtained us-

ing the new ribbon pile foundation. In this case, the lack of consideration sequence of load application in the modelling process significantly reduces the amount of load that can be perceived reinforced raft foundation, which includes the existing foundation.

При численном моделировании напряжено-деформированного состояния (НДС) конструкций зданий и сооружений последовательность приложения нагрузки, как правило, не учитывается, поскольку значительного влияния на конечный результат не оказывает. При моделировании работы фундаментов на грунтовом основании не учитывать историю и этапы нагрузки было бы большим упущением, особенно при моделировании усиления фундамента. Об этом свидетельствуют результаты численного моделирования совместной работы свай и ростверка на грунтовом основании.

Численное моделирование выполнено методом конечных элементов в программном комплексе «Plaxis 3D Foundation» (право на пользование лицензионным программным продуктом было предоставлено совместным украинско-французским предприятием «Основа-Солсиф» в рамках договора о творческом содружестве №60/2 от 30.05.2011 г.). Оценка соответствия результатов, полученных при моделировании работы свайных фундаментов [1] в программном комплексе «Plaxis 3D Foundation», с данными натурных исследований показала хорошую сходимость (расхождение не более 10 %).

Для оценки влияния последовательности нагрузки на работу фундамента выполнен комплексный анализ НДС систем «ленточный фундамент мелкого заложения–сваи–основание» (ленточный фундамент мелкого заложения, впоследствии усиленный сваями) и «ленточный свайный фундамент–основание» (фундамент, сразу выполненный как свайный). При моделировании были учтены этапы работы систем под нагрузкой (табл. 1), а также были приняты следующие предпосылки и параметры:

- модель грунта основания – упругопластическая модель Кулона-Мора;
- модель ленточного фундамента с соотношением сторон $L/B \geq 10$ (рис. 1);
- сваи – 3 поперечным размером $d = 30$ см, длиной 3, 6, 9, 12, 15 м;
- способы устройства свай: без выемки и с выемкой грунта;

- размещение свай в два ряда;
- расстояние между рядами свай 5d, 7d и 9d;
- шаг свай в продольном направлении 3d, 6d, 9d и 12d;
- размеры расчетной области в плане 40×60 м, по глубине размер изменялся в зависимости от длины свай;
 - грунт основания варьировался (как песчаный, так и глинистый) с сохранением физически возможных сочетаний физико-механических характеристик);
 - за допустимую нагрузку для ленточного фундамента до и после усиления принимается значение внешней нагрузки с учетом собственного веса, соответствующее деформациям, которые не превышают допустимого значения;
 - доля нагрузки, воспринимаемой ростверком, определяется как произведение реактивного отпора грунта под подошвой ростверка на площадь ростверка без учета площади свай;
 - при моделировании усиления принят вариант устройства выносных свай, как менее эффективный (по сравнению со сваями усиления, которые проходят через конструкцию существующего ленточного фундамента) (рис. 1).

Таблица 1

Этапы работы систем
«ленточный фундамент мелкого заложения–сваи–основание»
и «ленточный свайный фундамент–основание»

Ленточный фундамент мелкого заложения–сваи усиления–основание	Ленточный свайный фундамент–основание
1. Работа грунтового основания без фундамента	(начальная фаза)
2. Устройство ленточного фундамента мелкого заложения	2. Устройство ленточного свайного фундамента
3. Работа ленточного фундамента мелкого заложения под действием вертикальной нагрузки	3. Работа ленточного свайного фундамента под действием вертикальной нагрузки
4. Устройство свай усиления	
5. Объединение свай усиления и существующего фундамента единым ростверком	
6. Совместная работа существующего фундамента и свай при его усилении под дей	"" "

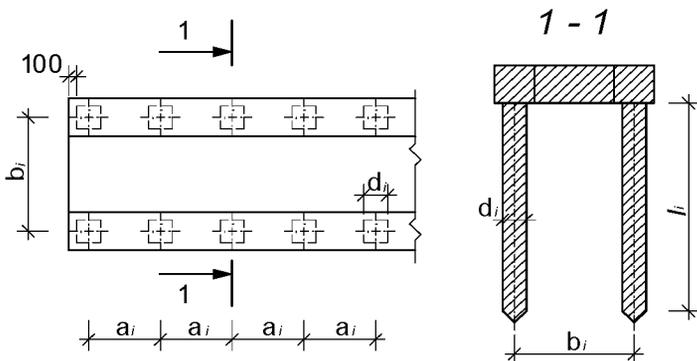


Рис. 1. Модель ленточного фундамента при усилении сваями

На рис. 2 для примера показаны вертикальные перемещения грунта основания системы «ленточный свайный фундамент–основание» при различном шаге свай длиной 9 м (сваи устраиваются без выемки грунта, грунт основания – песок средней крупности). Видно, что чем больше расстояние между сваями, тем лучше включается в работу грунт между свайного пространства и тем лучше реализует свою несущую способность по грунту свая. Характер развития деформаций грунта в основании фундамента существенно меняется при изменении расстояния между сваями, реактивный отпор основания под подошвой ростверка с увеличением расстояния между сваями также увеличивается. Качественно такие же зависимости наблюдаются при оценке вертикальных перемещений грунта основания системы «ленточный фундамент мелкого заложения–сваи усиления–основание».

На рис. 3 показаны вертикальные перемещения грунта основания системы «ленточный фундамент мелкого заложения–сваи–основание» для свай длиной 6 м на разных этапах работы. При сравнении величины нагрузки на фундамент до усиления и на ростверк (в состав которого входит существующий фундамент) без учета нагрузки, которую воспринимают сваи, то нагрузка на ростверк больше только за счет увеличения площади.

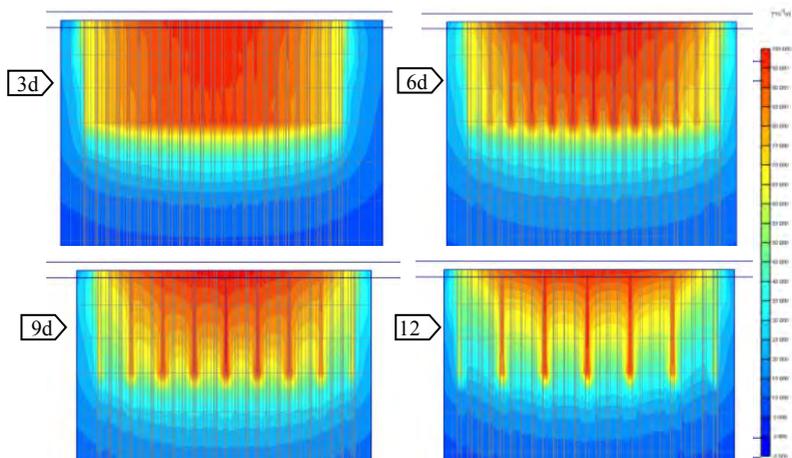


Рис. 2. Вертикальные перемещения грунта основания системы «ленточный свайный фундамент–основание» для свай длиной 9 м при разном продольном шаге свай

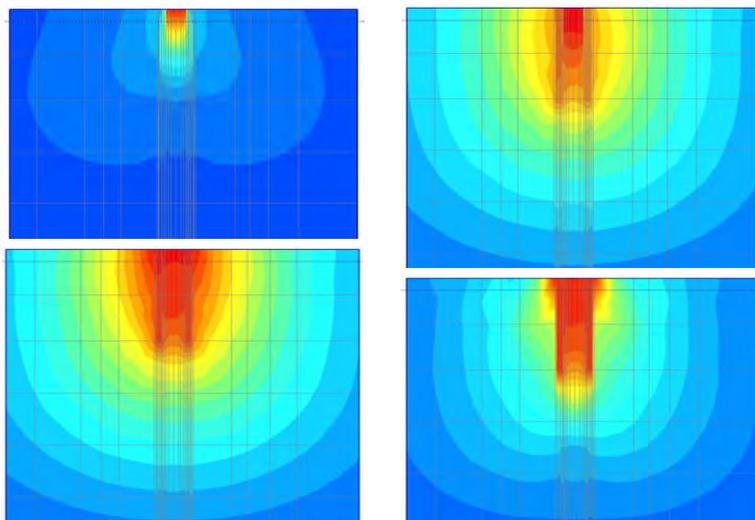


Рис. 3. Вертикальные перемещения грунта основания системы «ленточный фундамент мелкого заложения фундамент–свай–основание» для свай длиной 6 м на разных этапах приложения нагрузки:
a – ленточный фундамент мелкого заложения до усиления; *б* – устройство свай усиления; *в* – объединение свай усиления с существующим фундаментом; *г* – увеличение нагрузки

Проанализировав результаты численного моделирования НДС систем «ленточный фундамент мелкого заложения–сваи усиления–основание» и «ленточный свайный фундамент–основание», можно сделать выводы о том, что модель системы «ленточный фундамент мелкого заложения–сваи–основание» соответствует работе ленточного фундамента мелкого заложения до и после усиления сваями, а модель системы «ленточный свайный фундамент–основание» соответствует работе нового ленточного свайного фундамента. То есть, если не учитывать историю приложения нагрузки, то моделирование работы усиленного фундамента получится некорректным.

По результатам численного моделирования были построены графики зависимости нагрузки, воспринимаемой ростверком в составе свайного фундамента, от шага свай в продольном направлении (на рис. 3 для примера показаны такие зависимости для забивных свай на однородном основании из песчаных грунтов при расстоянии между рядами свай 5d). При сравнении графиков рис. 4, а и 4, б видно, что ростверк в составе усиленного фундамента воспринимает большую нагрузку, чем в составе свайного ленточного фундамента при одинаковой внешней нагрузке, в одних и тех же грунтовых условиях и при одинаковых геометрических параметрах фундаментов.

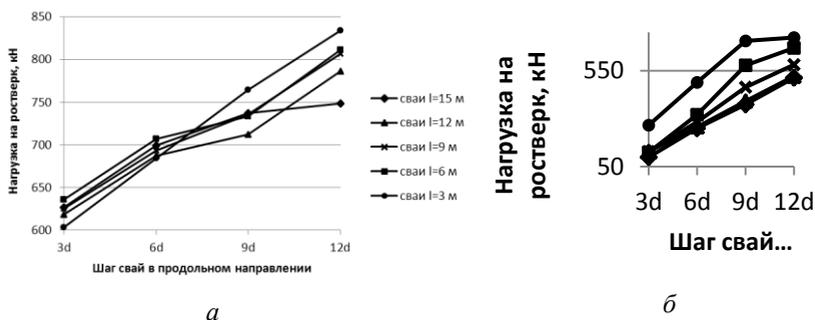


Рис. 4. Зависимость нагрузки, которая воспринимается ростверком, при различной длине свай от шага свай в продольном направлении для систем «ленточный фундамент мелкого заложения–сваи усиления–основание» (а) и «ленточный свайный фундамент–основание» (б)

Численное моделирование с учетом последовательности приложения нагрузки позволило оценить НДС систем «ленточный фундамент мелкого заложения–сваи усиления–основание» и «ленточный свайный фундамент–основание». Реактивный отпор основания под подошвой ленточного фундамента мелкого заложения до и после усиления практически не меняется (при увеличении нагрузки после устройства свай изменение 5–8 % объясняется включением в работу конструкции усиления), сваи включаются в работу только после увеличения внешней нагрузки. Реактивный отпор основания под подошвой ленточного свайного фундамента постепенно растет с увеличением внешней нагрузки, то есть характер распределения нагрузки между ростверком и сваями в составе нового и усиленного фундаментов существенно отличается, что подтверждается испытаниями на маломасштабных моделях [2] и натурных свайных фундаментов [3, 4].

Результаты численного моделирования подтвердили необходимость учета последовательности приложения нагрузки при моделировании работы усиленного сваями фундамента мелкого заложения. Воспроизведение истории загрузения при моделировании усиления позволяет получать более экономичные проектные решения.

Литература

1. Блащук, Н.В. Сумісна робота існуючого фундаменту і паль при його підсиленні: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02 / Н.В. Блащук. – Київ, 2012. – 212 с.
2. Маєвська, І.В. Результати модельних досліджень стрічкових фундаментів мілкового закладання, що підсилюються палями / І.В. Маєвська, Н.В. Блащук // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2009. – № 2(7). – С. 64–69.
3. Бартоломей, А.А. Прогноз осадок свайных фундаментов / А.А. Бартоломей, И.М. Омельчак, Б.С. Юшков. – М. : Стройиздат, 1994. – 377 с.
4. Бартоломей, А.А. Расчет осадок ленточных фундаментов / А. А. Бартоломей. – М. : Стройиздат, 1972. – 121 с.