

*Корнієнко М.В., к.т.н., професор
Жук В.В., к.т.н., доцент
Абед С.Ф., аспірант*

Київський національний університет будівництва та архітектури

НАПРУЖЕНИЙ СТАН ГРУНТОВОЇ ОСНОВИ ФУНДАМЕНТУ, ПІДСИЛЕНОГО ГРУНТОГЛИНОЦЕМЕНТНИМИ ПАЛЯМИ, ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ

З'ясовано, що сьогодні питанню взаємодії будівель з ґрунтовою основою приділяється все більше уваги, при цьому розглядається спільна робота елементів системи «ґрунтова основа – фундамент – будівля» з урахуванням гідрогеологічних особливостей будівельних майданчиків. Наведено результати числового моделювання закріплення ґрунтової основи фундаменту з використанням бурозмішувальної технології. Розрахунки виконано за допомогою АСНД «VESNA» з використанням нелінійної моделі ґрунтового середовища. Розглянуто ґрунтові умови, складені піщаними і глинистими ґрунтами до та після підсилення фундаменту ґрунтоглиноцementeними палями при можливому водонасиченні ґрунтової основи фундаменту. Показано ефективність запропонованого методу підсилення.

Ключові слова: *числове моделювання, закріплення, фундамент, напруження, ґрунтоглиноцementeнні палі.*

*Корниенко Н.В., к.т.н., профессор
Жук В.В., к.т.н., доцент
Абед С.Ф., аспирант*

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТА, УСИЛЕННОГО ГРУНТОГЛИНОЦЕМЕНТНЫМИ СВАЯМИ, ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Выяснено, что сегодня вопросу взаимодействия зданий с ґрунтовым основанием уделяется все больше внимания, при этом рассматривается совместная работа элементов системы «ґрунтовое основание – фундамент – здание» с учетом гидрогеологических особенностей строительных площадок. Представлены результаты численного моделирования закрепления ґрунтового основания фундамента с использованием буромесительной технологии. Расчеты выполнялись с помощью АСНИ «VESNA» с использованием нелинейной модели ґрунтовой среды. Рассмотрены ґрунтовые условия, представленные песчаными и глинистыми ґрунтами до и после усиления фундамента ґрунтоглиноцementeнными сваями при возможном водонасыщении ґрунтового основания фундамента. Показана эффективность предложенного метода усиления.

Ключевые слова: *численное моделирование, закрепление, фундамент, напряжение, ґрунтоглиноцementeнная свая.*

STRESS STATE OF THE SOIL BASIS FOUNDATION, FIXING SOIL-CLAY-CEMENT PILES, BY RESULTS OF NUMERICAL SIMULATION

Today's interaction buildings with soil base is receiving increasing attention, while considered working together elements of the system "soil - foundation - building" taking into account the geological features of the construction site. In work results of numerical simulation fixing of the soil basis foundation with jet grouting technology. The calculations were performed using the ASSR «VESNA» using a nonlinear model of soil environment. Were considered soil conditions presented by sandy and clay soils in water-saturated condition before and after fixing of the soil-clay-cement piles.

Almost 90% of Ukraine exposed to difficult geological conditions of construction, including about 70% of the territory occupied by subsidence soils. Under construction in special soil conditions understand the range of activities related to research, design and installation of bases and foundations on saturated clay and weak peat soils, peat and muds, subsidence, swelling and saline, and uneven compressible soils, loose sand and silt, mines and karst areas in view of seismic and dynamic action.

The opportunities of numerical simulation ability at the design stage caused by the settlement system, choice of models of soil environment that most accurately describe the properties and behavior of the soil and make it possible to take into account the hydrogeological aspects of the construction site.

The purpose of the work was fulfill the evaluation of the stress state of soil base foundation strengthening soil-clay-cement piles, the results of numerical modeling. In work Strip foundations shallow low-rise buildings with frameless design schemes.

In the paper the tape foundations shallow low-rise buildings with frameless constructive scheme. Short description of buildings: floor height of no more than 3 m; foundations rubble a laying of strip with a monolithic plate part depth of 1 m; walls made of brickwork, span up to 6 m; overlapping and coating of hollow plates; roof roll combinations. Depending on the number of storeys of buildings, the following options for per unit length load on the foot of the basement: 200 kN/m, 300 kN/m and 400 kN/m.

Calculations performed by finite element method in the flat setting using ASSR «VESNA». The work had examined to basics with saturated loam and sand. As the area was considered a possible flooding in case the entire array of water saturation of the soil. This assumption is oriented to the worst combination of factors allows for water saturation foundations rain and meltwater, due to raising the level of ground water soaking emergency basis for the leaking of vodonesuchyh networks.

Numerical simulation of stress-strain state of the system "soil - foundation" has shown that the arrangement soil-clay-cement piles at two-side strengthening can reduce the value of stress under the sole foundation for possible water saturation of soil base to 5 times for little loaded foundations (200 kN/m), up to 8 times for medium loaded foundations (300 kN/m), up to 10 times for strongly loaded foundations (400 kN/m).

Numerical simulation makes it possible to predict the expected effect of strengthening the foundation by the arrangement soil-clay-cement piles.

Keywords: *numerical simulation, fixing, foundation, stress, soil-clay-cement pile.*

Вступ. Більшість будівельних майданчиків території України мають ґрунтові умови, складені слабкими ґрунтами. Під будівництвом в особливих ґрунтових умовах розуміють комплекс робіт, пов'язаних з дослідженням, проектуванням та влаштуванням основ і фундаментів на слабких водонасичених глинистих та заторфованих ґрунтах, торфах і мулах, просідаючих, набухаючих та засолених, здимальних і нерівномірно стисливих ґрунтах, пухких пісках та пливунах, закарстованих і підроблюваних територіях з урахуванням сейсмічних та динамічних дій. Використання таких ґрунтів, як основи для фундаментів будівель і споруд розглядається з урахуванням можливого руйнування їх структури та розвитку нерівномірних деформацій [1].

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Раніше в лабораторних умовах було виконано дослідження характеристик міцності ґрунтоглиноцементних паль залежно від умісту цементу в композиції «цемент – ґрунт», водоцементного співвідношення в глиноцементній суміші, властивостей добавок [2].

За результатами фізичного моделювання закріплення основи фундаменту в лабораторних умовах було обґрунтовано підсилення фундаментів за допомогою ґрунтоглиноцементних паль (технологія струменевої цементації) в суглиннистих ґрунтах при реконструкції будівлі [3].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Постійне прагнення до економічності інженерних рішень вимагає використання нових конструктивних рішень, що стає можливим при застосуванні числового моделювання. Варіаційні розрахунки зі зміною положення паль підсилення, їх геометрії та характеристик міцності дозволяють знайти оптимальний варіант підсилення фундаменту.

Оскільки серед будівельних конструкцій, що вже багато років використовуються у промислових і цивільних будівлях, переважають залізобетонні, узагальнення й аналіз існуючих пропозицій з проектування і застосування ефективних способів підсилення таких конструкцій та їх відповідна систематизація мають важливе значення. Необхідно також урахувати, що майже 90% території України підпадає під вплив складних інженерно-геологічних умов будівництва, у тому числі близько 70% території вкрито просідаючими ґрунтами [4].

Завдяки розвитку числового моделювання розрахунків надземних конструкцій будівлі та фундаментів спільно з ґрунтовим масивом сьогодні успішно ввійшов у повсякденну практику проектування. Проведення таких розрахунків на стадії проектування обумовлено можливостями розрахункового апарату, вибором моделей ґрунтового середовища, що найбільш точно описують властивості та поведінку ґрунтів та дають змогу врахувати гідрогеологічні особливості будівельного майданчика.

Мета роботи – виконати оцінювання напруженого стану ґрунтової основи фундаменту, підсиленого ґрунтоглиноцементними палями, за результатами числового моделювання при можливому водонасиченні основи фундаменту в межах стисливої товщі.

Основний матеріал і результати дослідження. У роботі розглядаються стрічкові фундаменти мілкового закладання малоповерхових будівель із безкаркасною конструктивною схемою.

Короткий опис будівель: висота поверху не більше 3 м; фундаменти стрічкові з монолітною плитною частиною, глибина закладання – 1 м; стіни із цегляної кладки, проліт не більше 6 м; перекриття та покриття з пустотних плит; покрівля рулонна.

Залежно від поверховості будинків прийняті такі варіанти погонного навантаження на рівні подошви фундаменту: 200, 300, 400 кН/м. Фізико-механічні характеристики ґрунтів основи, що розглядалися для числового дослідження спільної роботи елементів системи «ґрунтова основа – фундамент», наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Фізико-механічні характеристики ґрунтів основи

Ґрунт	w_{sab} д. од.	γ , кН/м ³	γ_{sab} кН/м ³	e , д. од.	E , МПа	E_{sab} МПа	P_{sb} МПа
Пісок дрібний середньої щільності	0,22	16,95	19,90	0,73	19,5	13,3	0,095
Суглинок	0,25	18,26	19,14	0,72	11,7	5,9	0,160

При розв'язанні задач підсилення фундаменту ґрунтоцементними палями шляхом числового моделювання були прийняті такі вихідні дані: планувальна позначка землі – 0 м; відмітка підшови фундаменту – 1,0 м; ширина підшови фундаменту – 1,2 м; потужність шару ґрунту нижче підшови фундаменту – 12 м (для основи, представленої суглинками) та 13 м (для піщаної ґрунтової основи).

Основа розраховувалася за другою групою граничних станів відповідно до вимог норм [5], при цьому рівень ґрунтових вод у процесі водонасичення основи приймався на позначці підшови фундаменту.

Розрахунки виконувалися методом скінченних елементів у плоскій постановці з використанням АСНД «VESNA» [6, 7]. Розглядалася задача для основи із суглиноків та пісків при можливому їх водонасиченні за рахунок підняття рівня ґрунтових вод або замочування зверху при аварійному витіканні техногенних вод із водонесучих мереж. Фізико-механічні характеристики ґрунтоцементних паль [2, 3] прийняті однаковими по всьому об'єму. До розрахунку приймається поперечний переріз 1 п. м «стіни в ґрунті» шириною b_1 і висотою h_1 (табл. 2), утвореною із взаємно пересічних ґрунтоцементних паль [8]. Характеристики ґрунтоглиноцементної палі наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Характеристики ґрунтоглиноцементної палі [2, 3]

Ґрунт	Об'ємна вага γ , кН/м ³	Модуль деформації E , МПа	Міцність на стиск R_c , МПа	Коефіцієнт Пуассона μ	Діаметр D , мм	Глибина свердловини h_1 , м
Пісок	20	1350	13,73	0,2	800	7
Суглинок	20	930	9,81	0,25	700	7

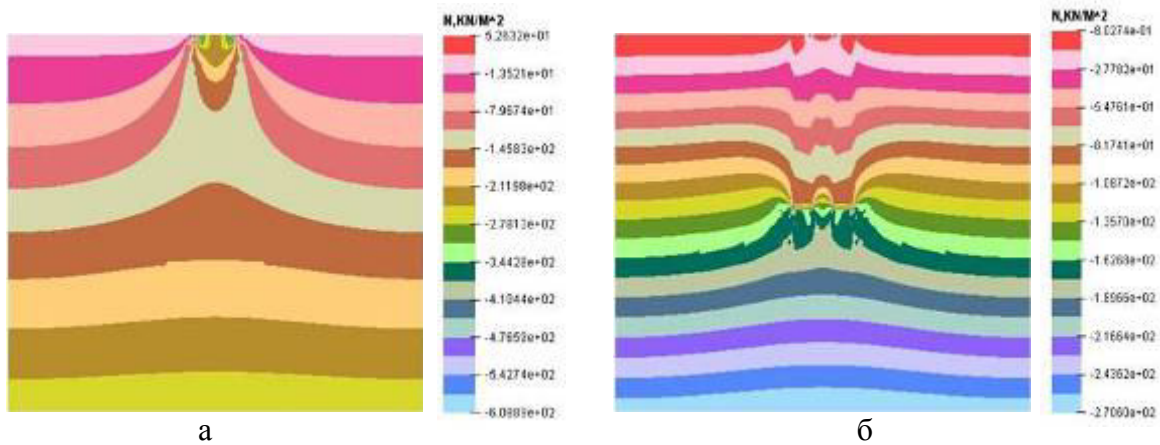
Як зона можливого підтоплення розглядався випадок водонасичення всього масиву ґрунту, товщина якого відповідає величині стисливої зони. Це припущення орієнтоване на розгляд найгіршої комбінації факторів, що допускає можливість водонасичення основи дощовими й талими водами, внаслідок підняття рівня ґрунтових вод, аварійного замочування основи при витоках води з водонесучих мереж тощо.

Результати розрахунків дослідження зміни напруженого стану ґрунтової основи фундаменту при можливому водонасиченні основи зведено в табл. 3. Числове моделювання підсилення фундаменту ґрунтоглиноцементними палями показало, що напруження під підшовою фундаменту зменшуються у 5 – 10 разів (для погонного навантаження 200...400 кН/м).

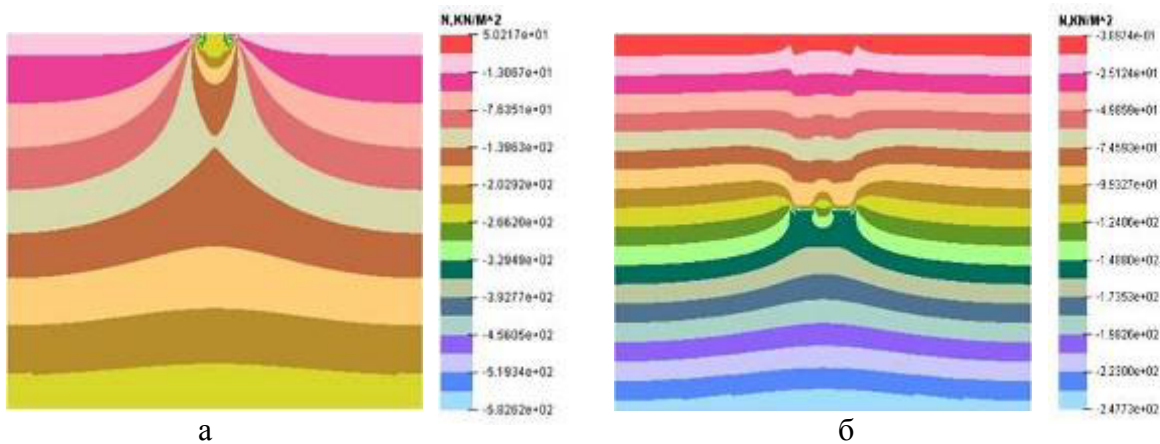
Результати розрахунків дослідження зміни напруженого стану ґрунтової основи фундаменту при погонному навантаженні 400 кН/м наведено на рис. 1, 2.

Таблиця 3 – Порівняльна характеристика ґрунтової основи фундаменту за напруженнями, кПа

Варіант ґрунтової основи фундаменту		при зовнішньому погонному навантаженні на фундамент, кН/м		
		200	300	400
Суглинок	водонасичена основа без підсилення фундаменту	141	204	266
	водонасичена основа з двостороннім підсиленням палями	25,1	26,8	26,2
Пісок дрібний середньої щільності	водонасичена основа без підсилення фундаменту	135	205	278
	водонасичена основа з двостороннім підсиленням палями	26,4	27,2	28,0



**Рисунок 1 – Ізополі напружень, кПа, при навантаженні на фундамент 400 кН/м у водонасичених піщаних ґрунтах (АСНД «VESNA»):
а – до підсилення; б – при двосторонньому підсиленні фундаменту ґрунтоцементними палями**



**Рисунок 2 – Ізополі напружень, кПа, при навантаженні на фундамент 400 кН/м у водонасичених суглинистих ґрунтах (АСНД «VESNA»):
а – до підсилення; б – при двосторонньому підсиленні фундаменту ґрунтоцементними палями**

Висновки. Числове моделювання напружено-деформованого стану системи «грунтова основа – фундамент» показало, що влаштування ґрунтоглиноцементних паль при двосторонньому підсиленні дозволяє зменшити величину напружень під подошвою фундаменту при можливому водонасиченні ґрунтової основи до п'яти разів для малонавантажених фундаментів (200 кН/м), до восьми разів для середньонавантажених фундаментів (300 кН/м), до десяти разів для сильнонавантажених фундаментів (400 кН/м). Числове моделювання дає можливість спрогнозувати очікуваний ефект від підсилення фундаменту шляхом улаштування ґрунтоглиноцементних паль. Такий підхід дозволяє підвищити надійність проектування будівель.

Література

1. Жук В. В. До розрахунків спільної роботи будівлі з ґрунтовою основою в умовах нерівномірних деформацій / В. В. Жук, В. Л. Підлуцький // *Основи і фундаменти: міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К. : КНУБА, 2015. – Вип. 36. – С. 9 – 17.
2. Авед С. Ф. Исследования прочности ґрунтоцементной сваи в песчаных и суглинистых ґрунтах / С. Ф. Авед // *Сборник научных трудов ДонГТУ*. – 2013. – Вып. 41.– С. 214 – 220.
3. Авед С. Ф. Обоснование реконструкции фундамента с помощью ґрунтоглиноцементных свай в просадочных суглинистых ґрунтах / С. Ф. Авед // *Сб. научн. тр. ДонГТУ*. – 2014. – Вып. 2 (43).– С. 78 – 86.
4. *Механика ґрунтов. Ч. 1. Основы геотехники: учебник для студ. строит. вузов* [под ред. Б. И. Далматова]. – М. : АСБ ; С-Пб. : ГАСУ, 2002. – 204 с.
5. *Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов из цементогрунта*. – М. : Стройиздат, 1986. – 41 с.
6. Жук В. В. Методика моделювання спільної роботи каркасної будівлі з лесовою просідаючою основою / В. В. Жук, В. О. Сахаров, М. В. Корнієнко // *Основи і фундаменти: міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К. : КНУБА, 2006. – Вип. 30. – С. 39 – 46.
7. Zhuk V. Features of interaction of the frame building with the loess collapsible soil base / V. Zhuk // *Proc. of the XIII Danube-European Conf. on Geotechnical Engineering «Active Geotechnical Design in Infrastructure Development» (29 – 31 May 2006)*. – Ljubljana, Slovenia, 2006. – P. 711 – 714.
8. *Малинин А. Г. Струйная цементация ґрунтов* / А. Г. Малинин. – М. : Стройиздат, 2010. – 226 с.

© Корнієнко М.В., Жук В.В., Авед С.Ф.
Надійшла до редакції 02.03.2016