

УДК 624.131.54

**Ю.Л. Винников, И.В. Мирошниченко**

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка,  
Полтава, Украина

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСАДОК ЗДАНИЙ НА НАБИВНЫХ СВАЯХ В ПРОБИТЫХ СКВАЖИНАХ**

Приведен сравнительный анализ результатов аналитических методов определения осадок зданий на набивных сваях в пробитых скважинах в составе ленточных ростверков с данными длительных геодезических наблюдений. Усовершенствована инженерная методика определения осадок оснований зданий на таких сваях, по которой за ширину условного ленточного фундамента принимают диаметр уширения сваи, а глубина заложения соответствует его низу. Несущий слой основания под фундаментом состоит из верхней зоны – достаточного уплотнения, и нижней – природного грунта. Модуль деформации замоченных лессов определяют по компрессионным испытаниям без повышающих коэффициентов, относительная погрешность методики до 20 %.

**Ключевые слова:** набивная свая в пробитой скважине, ленточный ростверк, осадка, геодезические наблюдения, метод послойного суммирования, экспресс-метод, метод конечных элементов.

**Yu.L. Vynnykov, I.V. Miroshnychenko**

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine

## **IMPROVING METHODS OF BUILDINGS ON CAST-IN-SITU PILES IN PUNCHED HOLES SETTLEMENTS DETERMINATION**

A comparative analysis of the results of analytical methods for determining buildings settlements on cast-in-situ piles in punched holes in strip raft with the results of long-term geodetic observations is presented. Engineering method for determining settlements bases such buildings on piles on which conditional width for strip foundation piles take broadening diameter and depth of the bottom of his correspondence has improved. Carrying base layer under the foundation consists of an upper zone – sufficient seal and bottom – natural soil. Modulus of deformation soaked loess determined by compression tests without raising factors. The relative error of method is less than 20 %.

**Keywords:** cast-in-situ pile in punched hole, strip raft, settlements, geodetic observations, summation method of layer, express-method.

Набивные сваи в пробитых скважинах (НСПС) широко используются в строительстве в водонасыщенных лессовых грунтах. Благодаря образованию уплотненной зоны вокруг уширения они имеют высокую несущую способность. На базе натурных исследований специалистами

ПолтНТУ создана инженерная методика расчета НСПС [1]. По ней параметры уширений и уплотненных зон свай определяют в зависимости от параметров трамбовок, материала уширения, физических свойств грунта, расстояния между осями свай. Но для расширения нормативной базы проектирования НСПС и повышения ее достоверности требуется дальнейшее совершенствование методики определения осадок объектов на НСПС в составе ленточных ростверков в условиях замоченных лессовых грунтов, которая бы учитывала взаимодействие зон влияния соседних свай. Наиболее надежный путь решения этой задачи – сравнение расчетных и измеренных путем длительных геодезических наблюдений величин стабилизированных осадок натуральных объектов. Отсюда актуальность комплексных экспериментально-теоретических исследований взаимодействия НСПС в составе ленточных ростверков с замоченными лессовыми грунтами.

Фундаменты, изготавливаемые в предварительно устроенных полостях, исследовали А.А. Бартоломей, И.П. Бойко, В.Н. Голубков, А.Л. Готман, Н.Л. Зоценко, С.Н. Клепиков, П.А. Коновалов, В.И. Крутов, Ф.К. Лапшин, Р.А. Мангушев, М. Метс, А.Б. Пономарев, С.Н. Сотников, Ю.Ф. Тугаенко, В.Б. Швец, R. Katzenbach [3–5]. Однако дальнейших исследований требуют особенности работы НСПС в условиях замоченных лессовых грунтов.

Ранее авторы обосновывали корректные условия использования плоской версии программного комплекса PLAXIS с упругопластической моделью Мора–Кулона для грунта в расчетах совместной работы НСПС в составе ленточных ростверков и замоченных лессовых грунтов и анализировали методики определения осадок [6–8].

Деформации основания свай следует рассматривать с учетом расстояния между ними. При редком размещении свай в ленточном ростверке эпюры напряжений под ними мало пересекаются, то есть сваи работают как отдельные. При их густом размещении эпюры напряжений пересекаются, напряжения в грунте под сваей суммируются с напряжениями от соседних свай, что способствует развитию в плоскости их подошвы напряжений больших, чем под отдельной сваей. Осадки фундамента оказываются значительно большими, чем для одиночной сваи. Недостаток методов определения осадок зданий на НСПС в составе ленточных ростверков по схеме одиночных свай с уширением в том, что не учитывается взаимное влияние соседних свай в составе

ростверка, что с уменьшением расстояния между их осями до  $(3-4)b_m$  существенно снижает осадки оснований фундамента.

Потому цель работы – усовершенствовать методику определения осадок зданий на НСПС в составе ленточных ростверков.

Несущим слоем основания НСПС являются лессовые суглинки с коэффициентом водонасыщения  $S_r \geq 0,80$  и модулем деформации  $E = 4-7$  МПа. Подстилающий слой этого основания – суглинки с модулем деформации  $E = 5,5 - 19$  МПа. Для этих условий наиболее полная информация нами получена для семи жилых зданий: два – десятиэтажных; три – девятиэтажных; два – пятиэтажных (табл. 1).

Таблица 1

Результаты длительных геодезических наблюдений за осадками зданий на НСПС в составе ленточных ростверков в условиях замоченных лессовых грунтов

№ п/п	Название объекта, этажность	E, МПа		$h_k$ , м	$V_{cr}$ , м <sup>3</sup>	Значения осадок за период введения в эксплуатацию, мм			Значения стабилизированных осадок, мм			$S_u$ , мм	i	$i_u$	Время стабилизации осадок, лет	Доля осадки за период строительства и заселения от стабилизированной осадки
		несущего слоя	подстилающего слоя			$S_{max}(t)$	$S_{min}(t)$	$\bar{S}(t)$	$S_{max}(t)$	$S_{min}(t)$	$\bar{S}(t)$					
1	Полтава, ул. Курятова, 17; 9 эт.	7	16	5,0	1,5	115,5	60	81	166	80	111,5	180	0,0005	0,005	15	0,725
2	Полтава, ул. Степного Фронта, 29; 9 эт.	6	14	2,5	2,0	93	48	79,5	175	101	124,3	180	0,0004	0,005	12	0,64
3*	Полтава, ул. Петровского, 31; 10 эт.	6	9	2,5	1,5	81	59,5	62,1	122	72,5	90,0	120	0,0004	0,005	11	0,69
4*	Полтава, ул. Гожулянская, 9 эт.	6	7	2,0	2,0	$\frac{49}{55}$	$\frac{31}{36,5}$	$\frac{39,7}{45,9}$	$\frac{67,5}{78}$	$\frac{45}{52}$	$\frac{54,4}{64,6}$	120	0,0002	0,005	10	$\frac{0,73}{0,71}$
5	Полтава, б-р. Боровиковского, 7; 10 эт.	6	5,5	2,0	2,0	$\frac{58}{70}$	$\frac{38}{58}$	$\frac{45,6}{64,5}$	$\frac{77}{96}$	$\frac{52}{78}$	$\frac{61,4}{87,9}$	120	0,0002	0,005	11	$\frac{0,74}{0,73}$
6	с. Россошны, ул. Горбаневская, 4; 5 эт.	4	6	1,6	0,75	73	28,5	46,5	105	49,5	66,6	120	0,0003	0,005	8	0,70
7	Зеньков, ул. Погребняка, 18; 5 эт.	4,5	19	2,5	1,5	34	14,5	24	58	20	32,7	120	0,0004	0,005	7	0,73

\* В числителе - для внешних стен, в знаменателе - для внутренних; E – модуль деформации;  $h_k$  – глубина скважины;  $V_{cr}$  – объем щебня в уширении;  $S_u$  – предельная осадка по ДБН В.2.1-10-2009; i – измеренное значение крена;  $i_u$  – предельный по ДБН В.2.1-10-2009 крен

Характерная инженерно-геологическая колонка объекта № 2 (9-этажное общежитие по ул. Степного Фронта, 29 в г. Полтаве) представлена на рис. 1. Наблюдения за осадками зданий на НСПС проводились методом геометрического нивелирования III класса точности по деформационным поверхностным маркам и опорным реперным точкам.

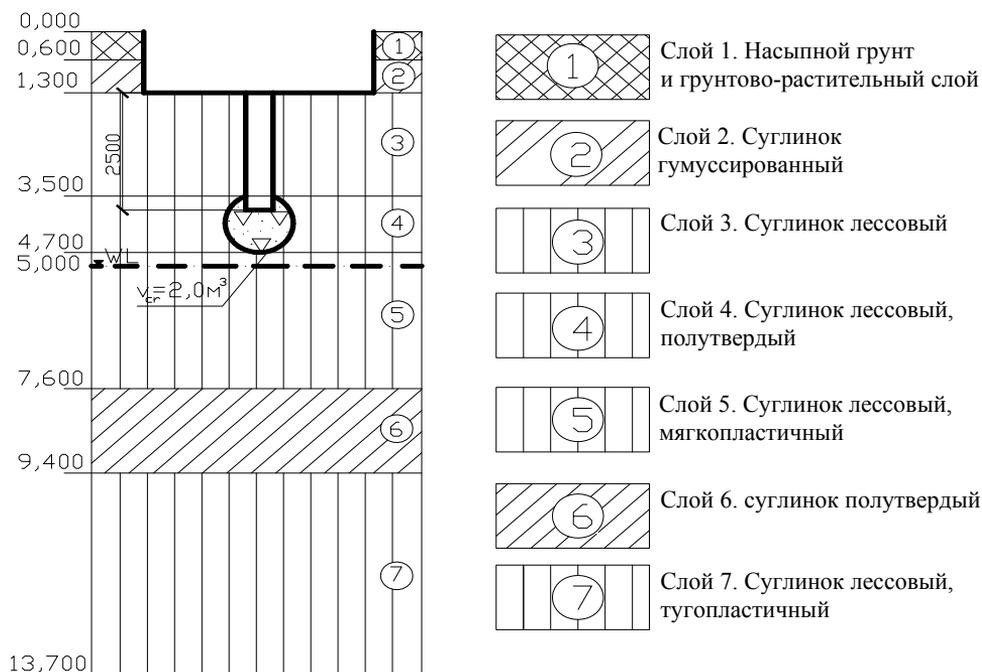


Рис. 1. Инженерно-геологическая колонка участка 9-этажного общежития по ул. Степного Фронта, 29 г. Полтавы

Графики минимальных  $S_{\min}(t)$ , средних  $\bar{S}(t)$  и максимальных  $S_{\max}(t)$  осадок во времени поверхностных марок на здании с НСПС в составе ленточных ростверков в условиях замоченных лессов показаны на рис. 2 (объект № 2), а эпюры осадок марок на этом объекте за период его возведения и эксплуатации – на рис. 3.

Анализ результатов геодезических наблюдений за осадками зданий на НСПС в составе ленточных ростверков в условиях замоченных лессов позволил сделать обобщения: доля средней величины осадок замоченных лессовых оснований НСПС в составе ленточных ростверков жилых зданий за период (1–1,5 года) их строительства и введения в эксплуатацию составляет от 0,64 до 0,73 от значения стабилизиро-

ванной осадки оснований зданий; время стабилизации осадок оснований 9–10-этажных зданий после заселения составляет обычно до 12 лет, а пятиэтажных – до 8 лет; осадки оснований НСПС в составе ленточных ростверков под внутренние стены зданий превышают их осадки под внешние на 16–30 % при близких нагрузках на отдельные сваи; абсолютные и относительные осадки зданий на НСПС в составе ленточных ростверков в условиях замоченных лессовых грунтов не превысили предельных по нормам величин, видимых дефектов и деформаций в их несущих конструкциях не обнаружено, техническое состояние зданий отвечает «нормальному» (см. табл. 1).

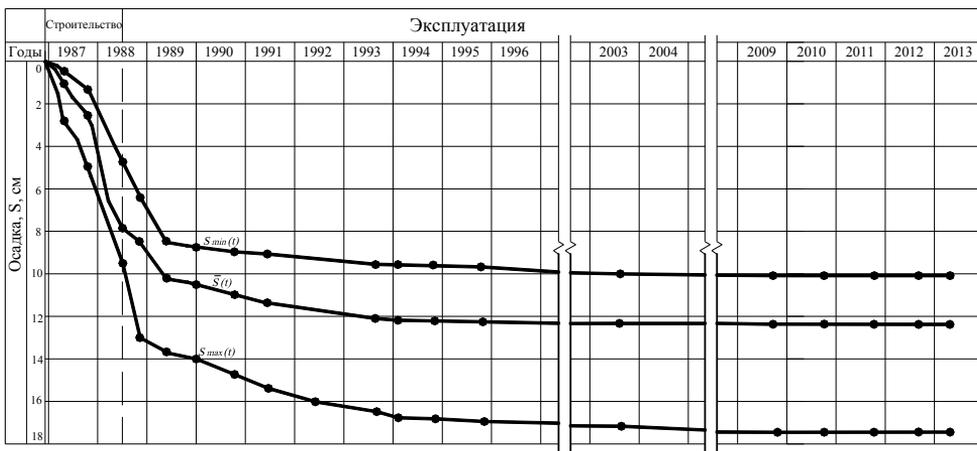


Рис. 2. Графики развития минимальных, средних и максимальных осадок стеновых марок 9-этажного общежития, ул. Степного Фронта, 29 г. Полтавы

Расчет осадок 1 НСПС в составе ленточных ростверков для зданий  $S$  выполнен методами: а) как для одиночной сваи с уширением; б) экспресс-метод И.А. Розенфельда (формула Д.9, ДБН В.2.1-10-2009)<sup>1</sup> как для условных ленточных фундаментов шириной  $b_y$ , равной диаметру уширения  $d_{br}$  при однорядном расположении НСПС, и глубиной, соответствующей его низу; в) послойного суммирования (формула Д.4, ДБН В.2.1-10-2009) как для условных ленточных с теми же размерами, что и в предыдущей методике. Несущий слой основания под уширением состоит из верхней зоны, достаточного уплотнения, и нижней, природного грунта. Модуль

<sup>1</sup> ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти будівель і споруд. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 107 с.

деформации грунта в пределах зоны достаточного уплотнения приняты  $3E$  (где  $E$  – модуль деформации природного грунта). Модуль деформации замоченных лессов определяют по компрессионным испытаниям без повышающих коэффициентов. Результаты сравнения занесены в табл. 2.

Таблица 2

Сопоставления рассчитанных и измеренных осадок зданий на НСПС в составе ленточных ростверков в условиях замоченных лессовых грунтов

Номер объекта		1	2	3	4	5	6	7				
Метод определения осадок	как единичной свай с уширением	$S$ , мм	108,3	45,0	44,2	24,9	27,0	37,7	40,9	63,9	17,5	
		$S/\bar{S}$	0,97	0,36	0,49	0,46	0,42	0,61	0,47	0,96	0,54	
	как ленточного фундамента	экспресс-метод	$S$ , мм	109,5	74,7	44,9	49,7	63,6	42,1	52,8	58,0	19,1
			$S/\bar{S}$	0,98	0,60	0,50	0,91	0,98	0,69	0,60	0,87	0,58
		последовательного суммирования	$S$ , мм	122,5	105,0	76,8	45,7	55,4	54,2	85,4	66,6	28,3
			$S/\bar{S}$	1,10	0,845	0,85	0,84	0,86	0,88	0,97	1,00	0,87
	средние измеренные	$\bar{S}$ , мм	111,5	124,3	90,0	54,4*	64,6**	61,4*	87,9**	66,6	32,7	
		$\bar{S}/\bar{S}$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

\* под внешние стены; \*\* под внутренние стены

Сравнение значений рассчитанных и измеренных стабилизированных осадок зданий на НСПС, объединенных ленточными ростверками, в условиях замоченных лессовых грунтов показало, что наиболее достоверной методикой определения их осадок является метод последовательного суммирования как для ленточного фундамента с шириной равной диаметру жесткого уширения при однорядном размещении свай (глубина соответствует его низу), а при двухрядном и шахматном порядке размещения НСПС ширину условного фундамента следует принимать как сумму расстояния между осями рядов свай и диаметра уширения. Допустимо принимать модуль деформации в зоне достаточного уплотнения НСПС как три его величины для природного грунта. В условиях водонасыщенных лессовых грунтов их модуль деформации следует определять по данным компрессионных испытаний без повышающих коэффициентов  $m_k$ .

Сопоставлены также осадки оснований НСПС в составе ленточных ростверков для объекта № 2 и получены относительные погрешности от значений длительных геодезических наблюдений. По моделированию в 2D версии МКЭ относительная погрешность составила 8,6 %, в 3D версии МКЭ – 12,6 %, в аналитических расчетах: как одиночных свай с уширением – 63,8 %; как условного ленточного фундамента экспресс-методом – 39,9 %, методом послойного суммирования – 15,5 %. Следовательно, наиболее достоверный метод расчета осадок оснований НСПС в составе ленточного ростверка – моделирование в плоской версии МКЭ, а из аналитических – метод послойного суммирования по расчетной схеме условного ленточного фундамента.

Таким образом, на базе способа послойного суммирования усовершенствована методика определения осадок оснований зданий на НСПС в составе ленточных ростверков, по которой ширину условного ленточного фундамента принимают как диаметр жесткого уширения сваи, а глубина его заложения соответствует низу уширения. Относительная погрешность метода не превышает 20 % по сравнению с измеренными геодезическими величинами стабилизированных осадок природных объектов.

### **Библиографический список**

1. Зоценко М.Л., Винников Ю.Л. Посібник з проектування та зведення фундаментів у пробитих свердловинах. – Київ: Держбуд України, 1997. – 72 с.
2. Бартоломей А.А., Омельчак И.М., Юшков Б.С. Прогноз осадок свайных фундаментов. – М.: Стройиздат, 1994. – 384 с.
3. Сотников С.Н. Строительство и реконструкция фундаментов зданий и сооружений на слабых грунтах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.02 / ВНИИОСП. – М., 1987. – 49 с.
4. Mets M. The effect of natural factors on bearing capacity of sands / M. Mets, T. Ruben // Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Olexandria, 2009. – Amsterdam, Berlin, Tokyo, Washington: JOS Press, 2009. – P. 1049–1051.
5. Katzenbach R, Bachmann G., Gutberlet C. Soil-structure interaction of deep foundations and the ULS design philosophy // Geotechnical Engineering in Urban Environments: proc of the 14<sup>th</sup> European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Madrid, 2007. – Millpress Science Publishers Rotterdam, 2007. – P. 55–60.

6. Винников Ю.Л., Мірошніченко І.В. Результати тривалих геодезичних спостережень за осіданнями будівель на набивних палях у пробитих свердловинах // *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов.* – Вып. 61; ПГАСА. – Днепропетровск, 2011. – С. 88–93.

7. Мірошніченко І.В. Винников Ю.Л., Лапін М.І. Моделювання взаємодії набивних палей у пробитих свердловинах у складі стрічкових фундаментів із водонасиченими лесоподібними ґрунтами // *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов.* – Вып. 56; – ПГАСА. – Днепропетровск, 2010. – С. 291–298.

8. Харченко М.О., Винников Ю.Л., Мірошніченко І.В. Просторова задача моделювання напружено-деформованого стану системи «стрічковий ростверк – набивні палі у пробитих свердловинах – основа» // *Збірник наук. праць (галузеве машинобудування, буд-во).* Вип. 4 (34). – Т. 2. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – С. 245–260.

### References

1. Zotsenko M.L., Vinnikov Yu.L. Posibnik z proektuvannya ta zvedennya fundamentiv u probitikh sverdlovinakh. Kiev, Derzhbud Ukraïni, 1997. 72 s.

2. Bartolomey A.A., Omelchak I.M., Yushkov B.S. Prognoz osadok svajnykh fundamentov [Forecast settlement pile foundations]. Moscow: Strojizdat, 1994. 384 s.

3. Sotnikov S.N. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya fundamentov zdanij i sooruzhenij na slabykh gruntakh [Construction and reconstruction the foundations of buildings and structures on soft soils]. *Thesis of doctors degree dissertation*, Moscow, 1987. 49 s.

4. Mets M., T. Ruben The effect of natural factors on bearing capacity of sands. *Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Olexandria, 2009.* Amsterdam, Berlin, Tokyo, Washington: JOS Press, 2009. pp. 1049-1051.

5. Katzenbach R., Bachmann G., Gutberlet C. Soil-structure interaction of deep foundations and the ULS design philosophy. *Geotechnical Engineering in Urban Environments: proc of the 14<sup>th</sup> European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Madrid, 2007).* Millpress Science Publishers Rotterdam, 2007. pp. 55-60.

6. Vinnikov Yu.L., Miroshnichenko I.V. Rezul'tati trivalikh geodezichnikh sposterezhen' za osidannyami budivel' na nabivnikh palyakh u probitikh sverdlovinakh. *Sbornik nauchnykh trudov «Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroeni"e»*, 2011, no. 61. pp. 88-93.

7. Miroshnichenko I.V., Vinnikov Yu.L., Lapin M.I. Modelyuvannya vzaemodii nabivnykh pal' u probitikh sverdlovinakh u skladi strichkovykh fundamentiv iz vodonasichenimi le-sopodibnymi rrunтами. Sbornik nauchnykh trudov «*Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie*», 2010, no. 56. pp. 291-298.

8. Kharchenko M.O., Vinnikov Yu.L., Miroshnichenko I.V. Prostorova zadacha modelyuvannya napruzhenno-deformovanogo stanu sistemi «strichkoviy rostverk – nabivni pali u probitikh sverdlovinakh – osnova». Zbirnik nauk. prats' (galuzeve mashinobuduvannya, bud-vo). vol. 2. no. 4 (34). Poltava, 2012. pp. 245-260.

### **Об авторах**

**Винников Юрий Леонидович** (Полтава, Украина) – доктор технических наук, профессор кафедры добычи нефти, газа и геотехники Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка; e-mail: [vyunnykov@yandex.ru](mailto:vyunnykov@yandex.ru)

**Мирошниченко Ирина Владимировна** (Полтава, Украина) – младший научный сотрудник кафедры добычи нефти, газа и геотехники Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка; e-mail: [Krokozablyk@mail.ru](mailto:Krokozablyk@mail.ru)

### **About the authors**

**Vinnikov Yuriy Leonidovich** (Poltava, Ukraine) – Doctor of Technical, Professor of the Department of oil, gas and geotechnics, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University; e-mail: [vyunnykov@yandex.ru](mailto:vyunnykov@yandex.ru)

**Miroshnichenko Irina Vladimirovna** (Poltava, Ukraine) – Junior Researcher, the Department of oil, gas and geotechnics, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University; e-mail: [Krokozablyk@mail.ru](mailto:Krokozablyk@mail.ru)

Получено 27.03.2014