

## НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 624.154:624.131

## ОБОСНОВАНИЕ СИЛ ТРЕНИЯ ГРУНТА НА БОКОВУЮ ПОВЕРХНОСТЬ СТВОЛА СВАЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОДТОПЛЯЕМОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

БОЛЬШАКОВ В. И.<sup>1</sup>, д. т. н., проф.,МОТОРНИЙ А. Н.<sup>2</sup>, магистр,МОТОРНИЙ Н. А.<sup>3</sup>, к. т. н., доц.

<sup>1</sup> Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: press.pgasa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

<sup>2</sup> Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 756-33-43, e-mail: A.motorchik@i.ua

<sup>3</sup> Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 756-33-43, e-mail: A.motorchik@i.ua

**Аннотация.** Выполнен анализ материалов инженерно-геологических изысканий на площадках строительства гражданских и промышленных объектов в г. Днепр и Днепропетровской области. Установлена корреляционная зависимость изменения прочностных и деформационных характеристик грунтов от влажности грунта в диапазоне от  $W_p$  до  $W_{sat}$ . Установлено, что прочностные и деформационные характеристики грунтов подчиняются зависимости:  $\varphi_s = \varphi_o(1 - 1,0W_s)$ ;  $C_s = C_o(1 - 1,5W_s)$ ;  $E_s = E_o(1 - 1,5W_s)$ . Предложено выражение для вычисления силы трения глинистого грунта на боковую поверхность ствола сваи или подземного сооружения в виде:  $R_f = U \sum_1^h (\sigma_{zq} tg \varphi_s + C_o) h$ .

Для набивных, буронабивных и буроинъекционных свай установлено, что влияние гидрогеологических условий эксплуатируемой площадки (подтопление территории) на изменение составляющей несущей способности по острию забивной сваи или по подошве подземного сооружения не наблюдается.

Дополнительно установлено, что изменение гидрогеологических условий эксплуатируемой площадки (подтопление территории) приводит к снижению деформативных и прочностных характеристик грунта, подстилающего уплотненную платформу, и требует безотлагательной проверки несущей способности подстилающего слоя и расчета осадки фундамента.

**Ключевые слова:** боковая поверхность ствола свай; боковая поверхность подземного сооружения; силы трения; несущая способность сваи по боковой поверхности; несущая способность

## ОБГРУНТУВАННЯ СИЛ ТЕРТЯ ГРУНТУ НА БІЧНІЙ ПОВЕРХНІ СТОВБУРА ПАЛІ І ПІДЗЕМНИХ СПОРУД ПІД ЧАС ЗМІН ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ ПІДТОПЛЮВАНОВОГО БУДІВЕЛЬНОГО МАЙДАНЧИКА

БОЛЬШАКОВ В. И.<sup>1</sup>, д. т. н., проф.,МОТОРНИЙ А. М.<sup>2</sup>, магистр,МОТОРНИЙ М. А.<sup>3</sup>, к. т. н., доц.

<sup>1</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: press.pgasa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

<sup>2</sup> Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 756-33-43, e-mail: A.motorchik@i.ua

<sup>3</sup> Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 756-33-43, e-mail: A.motorchik@i.ua

**Анотація.** Виконано аналіз матеріалів інженерно-геологічних вишукувань на майданчиках будівництва цивільних і промислових об'єктів у м. Дніпро і Дніпропетровській області. Встановлено кореляційний залежність зміни міцності і деформаційних характеристик ґрунтів від вологості ґрунту в

діапазоні від  $W_p$  до  $W_{sat}$ . Установлено, що міцність і деформаційні характеристики ґрунтів підкоряються залежності:  $\varphi_s = \varphi_o(1 - 1,0W_s)$ ;  $C_s = C_o(1 - 1,5W_s)$ ;  $E_s = E_o(1 - 1,5W_s)$ . Запропоновано вираз для обчислення сили тертя глинистого ґрунту на бічну поверхню стовбура палі або підземної споруди у вигляді:

$$R_f = U \sum_1^h (\sigma_{zq} tg \varphi_s + C_o) h.$$

Для набивних, буронабивних і буроін'єкційних паль установлено, що впливу гідрогеологічних умов експлуатованої майданчика (підтоплення території) на зміну складової несної здатності по лезу забивний палі або по підшві підземної споруди не спостерігається.

Додатково встановлено, що зміна гідрогеологічних умов експлуатованої майданчика (підтоплення території) викликає зниження деформативних і міцнісних характеристик ґрунту, який підстилає ущільнену платформу, і вимагає невідкладної перевірки несної здатності підстилкового шару і розрахунку опаді фундаменту.

**Ключові слова:** бічна поверхня стовбура палі; бічна поверхня підземної споруди; сили тертя; несна здатність

## VALIDATION OF GROUND FRICTION FORCES ON THE LATERAL SURFACE OF THE PILE SHAFT AND UNDERGROUND CONSTRUCTION IN HYDROGEOLOGICAL CHANGES OF EXPLOITING FLOODING CONSTRUCTION SITE

BOLSHAKOV V. I.<sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

MOTORNYI A. N.<sup>2</sup>, *master*

MOTORNYI N. A.<sup>3</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

<sup>1</sup> Department of Materials and Materials Processing, State Higher Educational Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., 49600, Dnipro, Ukraine, Tel. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: press.pgasa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

<sup>2</sup> Department of bases and foundations, State Higher Educational Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., 49600, Dnipro, Ukraine, Tel. +38 (0562) 756-33-43, e-mail: A.motorchik@i.ua

<sup>3</sup> Department of bases and foundations, State Higher Educational Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., 49600, Dnipro, Ukraine, Tel. +38 (0562) 756-33-43, e-mail: A.motorchik@i.ua

**Abstract.** It was performed the analysis of materials of engineering and geological surveys on the construction sites of civil and industrial projects in Dnepropetrovsk and the Dnepropetrovsk region. It was determined the correlation dependence of strength and deformation characteristics of soils from the soil moisture in the range of up  $W_p$  to  $W_{sat}$ . It was found that strength and deformation characteristics of soils subject to the relation:  $\varphi_s = \varphi_o(1 - 1,0W_s)$ ;  $C_s = C_o(1 - 1,5W_s)$ ;  $E_s = E_o(1 - 1,5W_s)$ . It was proposed expression for calculation of the frictional force of the clay soil on the lateral surface of the pile shaft or an underground structure in the form of:

$$R_f = U \sum_1^h (\sigma_{zq} tg \varphi_s + C_o) h.$$

For printed, bored piles and tangential piles were found that changes in the hydrogeological conditions of the exploited area (inundation area) for change the bearing capacity of at the tip driven piles or soles of the underground structures are not observed.

In addition, it was determined that the change of tangential piles conditions of the exploited area (flooding areas) reduces the deformability and strength characteristics of the underlying compacted soil platform and requires urgent check the bearing capacity of the underlying layer and the calculation of the foundation deposits.

**Keywords:** lateral surface of the pile shaft, the lateral surface of the underground structure; ground forces of friction on the lateral surface of the pile shaft, underground construction; bearing capacity for the pile side face; bearing capacity of the underground structure on the lateral surface

**Введение.** В процессе эксплуатации зданий и сооружений, построенных на свайных фундаментах, возникают вопросы сохранения несущей способности свай при изменении в период эксплуатации гидрогеологических условий – подтопления территорий. В этом случае при повышении влажности глинистого ґрунта, окружающего сваю или подземное сооружение (опускной колодец, «стена в ґрунте»), ме-

няются классификационные показатели глинистых ґрунтов (показатель текучести  $I_L$ ), что приводит к снижению сил трения ґрунта на боковую поверхность ствола сваи или подземного сооружения, из-за чего должна снижаться составляющая несущей способности ствола сваи или подземного сооружения по боковой поверхности –  $R_f$ .

По данным исследований [13] изменения несущей способности свай и свайных фундаментов зданий и сооружений, эксплуатируемых более 50 лет, отказ работы свай в лёссовых присадочных и слабых водонасыщенных грунтах не выявлен, т. е. снижение несущей способности свай до условия  $F_d < N_d$  не наблюдалось. Отсюда следует, что вычисленные значения несущей способности свай  $F_d$ , по действующим на период проектирования и строительства свайных фундаментов по нормативным документам, имеют ощутимый запас прочности, который превышает, в частности, нормативные допуски, заданные этими же нормативными документами (СНиП, ГОСТ, рекомендациями, ВСН и т. д.). В связи с этим авторами этой статьи сделана попытка обосновать несущую способность сваи в глинистых, в том числе на просадочных и слабых водонасыщенных грунтах, с учетом изменения гидрогеологических условий эксплуатируемой строительной площадки.

Так как несущая способность сваи, в том числе и подземного сооружения, состоит из сопротивления сил трения грунта на боковую поверхность ствола сваи или подземного сооружения –  $R_f$  и сил сопротивления сваи (или подземного сооружения) по нижнему концу ствола сваи или подошвы подземного сооружения, для анализа изменения несущей способности свай нами взяты изменения составляющей несущей способности свай по боковой поверхности –  $R_f$  – за период эксплуатации при соответствующем изменении гидрогеологических условий эксплуатируемой строительной площадки. А учитывая, что силы трения грунта на боковую поверхность ствола сваи или подземного сооружения напрямую зависят от изменения влажности грунта, окружающего ствол сваи или подземное сооружение, за основной изменяющийся параметр глинистого грунта нами была принята влажность грунта.

**Влияние изменения гидрогеологических условий на несущую способность свай и подземных сооружений.** Так как

задача ставится: влияние изменения гидрогеологических условий эксплуатируемой площадки на несущую способность свай и подземных сооружений –  $F_d$ , а  $F_d$ , в свою очередь, зависит от физических и механических характеристик окружающего ствол сваи (или подземное сооружение) грунта, то нами сначала была поставлена задача определить экспериментально влияние изменения влажности  $W$  окружающего подземное сооружение грунта на изменение его физико-механических характеристик, а именно – угла внутреннего трения – « $\varphi$ » и удельного сцепления – « $C$ » (кПа), а также деформативных характеристик. Для этого были проанализированы результаты испытания глинистых грунтов на срез и сжимаемость согласно существующим методам по ГОСТ 12 248-78 и ДСТУ.

Для анализа результатов испытаний были отобраны материалы 72 определений прочностных и деформативных характеристик для трех видов глинистых грунтов, супесей  $0,03 \leq I_p \leq 0,07$ ; суглинков  $0,07 < I_p \leq 0,17$  и глин  $0,17 < I_p$ . Для каждого вида грунта были отобраны материалы по 24 определениям  $C$ ,  $\varphi$ ,  $E$  (всего проанализированы испытания 72 образцов глинистого грунта для каждого вида грунта) всего проанализировано 72 испытания образцов на срез и деформируемость, выполненных изыскательскими организациями города и области. При отборе образцов, подвергшихся испытаниям, придерживались подобия характеристик грунтов: природная влажность  $W$  изменяется в пределах  $0,03 \geq \Delta W \geq 0,01$ , число пластичности  $I_p = W_p - W_L$ , влажность грунта находилась в диапазоне значений  $W_p \leq W \leq W_{sat}$ .

Образцы грунта с влажностью  $W \leq W_p$  объединялись как твердые, не входящие в план анализа и являющиеся исходными отправными значениями, служащими критерием отсчета, и являющиеся константой для проведения и сравнения аналогичных анализов. Таким образом, используя теорию планирования эксперимента, полученные нами результаты анализа мы свели в таблицы по видам грунта.

По приведенным выше таблицам физико-механических характеристик (глинистых грунтов (табл. 1 - 3)) выполнялась статистическая обработка результатов показателей физико-механических характеристик каждого вида грунта и выводилась зависимость изменения показателей прочностных и деформативных характеристик  $C = f(W)$ ,  $\varphi = f(W)$ ,  $E = f(W)$ . По результатам анализа установлены следующие упрощенные зависимости:

$$\varphi = \varphi_o(1 - W); C = C_o(1 - 1,5W);$$

$$E_i = E_o(1 - 1,5W),$$

где  $C_o$ ,  $\varphi_o$ ,  $E_o$  – показатели прочностных характеристик глинистых грунтов при влажности  $W \leq W_p$ , т. е.  $\varphi = \varphi_p$ ;  $C = C_p$ ;  $E = E_p$ . Значения  $\varphi_{w_o}$ ,  $C_{w_o}$ ,  $E_{w_o}$  вычисляются интерполяцией:  $\varphi$  (между  $W_p \div W_{sat}$ );  $C$  (между  $W_p \div W_{sat}$ );  $E$  (между  $W_p \div W_{sat}$ )

Таким образом, в зависимости от диапазона изменения влажности грунта  $W(W_p \leq W \leq W_{sat})$ , имея исходные данные по влажностям (естественная влажность  $W \geq W_p$ ) и влажности в заданном (обводненном состоянии  $W = W_{sat}$ ), интерполяцией можно определить значение механических характеристик грунта ( $\varphi_w$ ,  $C_w$ ,  $E_w$ ) для заданной влажности грунта  $W$  в эксплуатационном состоянии:

$$\left. \begin{aligned} C_{\text{э}} &= \frac{C_p - C_{sat}}{W_{sat} - W_p} (W_{\text{э}} - W_p); \\ \varphi_{\text{э}} &= \frac{\varphi_p - \varphi_{sat}}{W_{sat} - W_p} (W_{\text{э}} - W_p); \\ E_{\text{эк}} &= \frac{E_p - E_{sat}}{W_{sat} - W_p} (W_{\text{э}} - W_p) \\ C_{\text{э}} &= \frac{\Delta C}{\Delta W} (\Delta W_{\text{э}}); \\ \varphi_{\text{эк}} &= \frac{\Delta \varphi}{\Delta W} (\Delta W_{\text{э}}); \\ E_{\text{эк}} &= \frac{\Delta E}{\Delta W} (\Delta W_{\text{э}}) \end{aligned} \right\} \text{или (1)}$$

где:  $\Delta C = C_p - C_{sat}$  – изменение (приращение) удельного сцепления в пределах изменения влажности;

$\Delta \varphi = \varphi_p - \varphi_{sat}$  – изменение (приращение) угла внутреннего трения в пределах изменения влажности;

$\Delta E = E_p - E_{sat}$  – изменение (приращение) модуля общей деформации в пределах изменения влажности.

По вычисленным значениям прочностных  $C_w$ ,  $\varphi_w$  и деформативных  $E_w$  характеристик грунта в пределах изменяющейся влажности  $W_{\text{э}} \rightarrow W_{sat}$  вычисляют силы трения грунта на боковую поверхность ствола сваи или подземного сооружения (опускного колодца, «стенки в грунте» и др.), приравнивая их к касательным напряжениям в грунте при сдвиге, т. е.  $f = \tau = \sigma_{zq} \cdot tg\varphi_n + C_w$ . В данном выражении для « $f$ » глубина расположения середины слоя грунта  $h_i$  – вычисляется из значений вертикального давления

$$\sigma_{zg} = \gamma \cdot h; h = \frac{\sigma_{zq}}{\gamma} \quad (2)$$

где:  $\gamma$  – среднее значение удельного веса грунта от поверхности до середины расположения слоя грунта, для которого определяются силы трения грунта на боковую поверхность ствола сваи или подземного сооружения с учетом взвешенного состояния грунта водой, т. е.  $\gamma_{вз} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}$ , при расположении середины слоя грунта ниже уровня подземных вод.

В дальнейшем расчете вычисляется сопротивление по боковой поверхности ствола сваи  $R_f$  или подземного сооружения по формуле

$$R_f = U \sum \tau_i h_i = U \sum (\sigma_{zg} tg\varphi_w + C_w) h_i, (3)$$

где:  $U$  – периметр сечения ствола сваи или периметр подземного сооружения;

$\tau$  – касательные напряжения в грунте при сдвиге с учетом изменения гидрогеологических условий;

$\sigma_z$  – давление грунта от собственного веса с учетом изменения гидрогеологических условий;

$\varphi_w$  – угол внутреннего трения с учетом изменения гидрогеологических условий;

$C_w$  – удельное сцепление грунта с учетом изменения гидрогеологических условий площадки.

Таблиця 1

Таблиця фізико-механічних характеристик сучасних ґрунтів

№ опред.	Показатели физико-механических характеристик																	
	$P_s$ т/м <sup>3</sup>	$P$ т/м <sup>3</sup>	$W$ q.e.	$W_p$ q.e.	$W_L$ q.e.	$I_p$ q.e.	$IL$	$P_d$ кн/м <sup>3</sup>	$e$ q.e.	$Sr$ q.e.	$W_{sat}$ q.e.	$I_{Lsat}$ q.e.	$C_o$ (кПа)	$\phi_o$ (град)	$E_o$ (Мпа)	$C_w$ (кПа)	$\phi_w$ (град)	$E_w$ (Мпа)
1	2,66	1,77	0,19	0,17	0,24	0,07	0,285	1,49	0,785	0,64	0,30	1,57	17,0	25°	12,0	10	18°	6,6
2	2,66	1,82	0,21	0,16	0,24	0,08	0,625	1,50	0,77	0,725	0,27	1,375	15,0	23°	13,0	90	18°	7,6
3	2,66	1,75	0,18	0,15	0,23	0,08	0,375	1,48	0,797	0,60	0,30	1,875	18,0	24°	11,0	10	17°	6,0
4	2,66	1,70	0,20	0,17	0,24	0,07	0,43	1,42	0,873	0,675	0,33	2,30	14,0	25°	12,0	7,0	18°	6,12
5	2,66	1,78	0,20	0,17	0,22	0,05	0,60	1,48	0,80	0,665	0,30	2,60	12,0	26°	14,0	7,0	18°	7,6
6	2,66	1,74	0,20	0,18	0,25	0,07	0,29	1,45	0,83	0,64	0,31	1,57	14,0	25°	12,0	8,0	17°	6,2
7	2,67	1,88	0,24	0,17	0,24	0,07	1,0	1,51	0,768	0,834	0,32	2,14	13,0	24°	13,0	7,0	17°	6,7
8	2,67	1,92	0,23	0,18	0,25	0,07	0,71	1,56	0,71	0,86	0,27	1,30	12,0	25°	14,0	7,0	18°	7,8
9	2,67	1,89	0,22	0,19	0,26	0,07	0,43	1,55	0,72	0,82	0,27	0,71	12,0	26°	13,0	7,0	19°	7,3
10	2,67	1,85	0,21	0,17	0,25	0,08	0,50	1,53	0,745	0,753	0,28	1,375	16,0	24°	14,0	9,0	17°	8,0
11	2,67	1,79	0,23	0,18	0,24	0,06	0,83	1,455	0,83	0,739	0,31	2,16	11,0	25°	12,0	6,0	17°	6,2
12	2,67	1,85	0,26	0,19	0,26	0,07	1,00	1,47	0,82	0,84	0,31	1,71	13,0	25°	11,0	7,0	17°	6,0
13	2,68	1,77	0,23	0,17	0,23	0,06	1,00	1,44	0,86	0,71	0,32	2,50	12,0	26°	13,0	6,0	18°	6,7
14	2,68	1,83	0,22	0,18	0,25	0,07	0,71	1,50	0,79	0,746	0,29	1,57	13	25°	14,0	7,0	18°	7,7
15	2,68	1,86	0,21	0,17	0,24	0,07	0,57	1,54	0,74	0,76	0,28	1,57	14,0	26°	15,0	8,0	19°	11,7
16	2,68	1,80	0,22	0,19	0,25	0,06	0,50	1,475	0,81	0,73	0,30	1,83	11,0	24°	12,0	6,0	17°	6,6
17	2,68	1,79	0,23	0,18	0,25	0,07	0,71	1,46	0,83	0,74	0,31	1,14	13,0	25°	13,0	7,0	17°	7,2
18	2,68	1,78	0,22	0,16	0,22	0,06	1,00	1,46	0,835	0,706	0,31	2,50	12,0	26°	14,0	6,0	18°	7,5
19	2,67	1,77	0,21	0,17	0,24	0,07	0,57	1,46	0,83	0,67	0,31	2,00	14,0	24°	13,0	7,0	17°	6,8
20	2,66	1,76	0,20	0,16	0,23	0,07	0,57	1,47	0,80	0,665	0,30	2,00	13,0	25°	12,0	7,0	18°	6,8
21	2,67	1,75	0,19	0,16	0,23	0,07	0,43	1,47	0,82	0,62	0,31	2,14	14,0	24°	13,0	8,0	17°	7,0
22	2,66	1,79	0,22	0,18	0,24	0,06	0,67	1,47	0,18	0,72	0,30	2,0	11,0	25°	14,0	6,0	18°	7,7
23	2,68	1,84	0,23	0,17	0,23	0,06	1,00	1,49	0,80	0,77	0,30	2,17	12,0	26°	15,0	7,0	18°	8,3
24	2,68	1,75	0,23	0,16	0,23	0,07	1,0	1,42	0,89	0,63	0,33	2,43	13,0	24°	12,0	7,0	17°	6,6

Таблиця 2

Таблиця фізико-механічних характеристик суцільков

№ опред.	Показатели физико-механических характеристик																	
	$P_s$ т/м <sup>3</sup>	$P$ т/м <sup>3</sup>	$W$ к.е.	$W_p$ к.е.	$W_L$ к.е.	$I_p$ к.е.	$IL$	$P_d$ кн/м <sup>3</sup>	$e$	$q_e$	$Srge$	$W_{sat}$ к.е.	$I_{Lsat}$ к.е.	$C_o$ (кПа)	$\phi_o$ (град)	$E_o$ (Мпа)	$C_w$ (кПа)	$\phi_w$ (град)
1	2,70	1,85	0,22	0,19	0,31	0,12	0,25	1,52	0,78	0,76	0,29	0,83	22,0	23°	18,0	12,0	17°	10,2
2	2,70	1,84	0,24	0,20	0,29	0,09	0,44	1,48	0,82	0,79	0,30	1,11	20,0	22°	16,0	11,0	16°	8,8
3	2,70	1,82	0,21	0,18	0,30	0,12	0,25	1,50	0,80	0,71	0,30	1,00	24,0	23°	15,0	13,0	16°	8,2
4	2,70	1,80	0,25	0,22	0,32	0,10	0,30	1,44	0,87	0,78	0,32	1,00	22,0	24°	17,0	11,0	17°	8,8
5	2,70	1,81	0,24	0,21	0,32	0,11	0,27	1,46	0,85	0,76	0,31	0,91	23,0	23°	16,0	12,0	16°	8,0
6	2,69	1,77	0,25	0,18	0,30	0,12	0,58	1,42	0,89	0,75	0,33	1,25	24,0	22°	18,0	12,0	15°	9,2
7	2,69	1,79	0,27	0,20	0,34	0,14	0,50	1,41	0,90	0,81	0,335	1,04	26,0	22°	17,0	14,0	15°	8,7
8	2,69	1,81	0,26	0,17	0,33	0,16	0,56	1,44	0,87	0,80	0,32	0,93	28,0	23°	17,0	14,0	16°	8,9
9	2,71	1,83	0,25	0,21	0,34	0,13	0,31	1,46	0,84	0,82	0,31	0,77	25,0	22°	18,0	13,0	15°	9,6
10	2,71	1,85	0,25	0,19	0,34	0,15	0,40	1,48	0,82	0,82	0,30	0,73	28,0	23°	17,0	15,0	16°	9,30
11	2,71	1,90	0,27	0,20	0,34	0,14	0,50	1,50	0,81	0,95	0,30	0,93	27,0	22°	16,0	15,0	15°	8,8
12	2,71	1,94	0,27	0,21	0,37	0,16	0,375	1,53	0,77	0,95	0,28	0,44	28,0	24°	18,0	16,0	17°	10,2
13	2,71	1,92	0,25	0,18	0,33	0,15	0,47	1,54	0,80	0,85	0,30	0,80	26,0	25°	16,0	14,0	18°	8,8
14	2,71	1,93	0,26	0,19	0,31	0,12	0,58	1,53	0,77	0,91	0,28	0,75	22,0	23°	17,0	13,0	17°	9,8
15	2,71	1,91	0,28	0,22	0,35	0,13	0,46	1,49	0,82	0,92	0,30	0,615	24,0	22°	19,0	13,0	15°	10,3
16	2,72	1,78	0,26	0,19	0,34	0,15	0,47	1,41	0,92	0,77	0,34	0,53	27,0	22°	20,0	13,0	15°	10,2
17	2,71	1,83	0,24	0,21	0,37	0,16	0,19	1,48	0,83	0,88	0,31	0,625	26,0	23°	22,0	14,0	16°	11,6
18	2,70	1,92	0,25	0,20	0,34	0,14	0,36	1,59	0,75	0,90	0,28	0,57	24,0	21°	23,0	14,0	15°	13,1
19	2,69	1,88	0,23	0,18	0,34	0,16	0,31	1,53	0,76	0,81	0,28	0,625	25,0	22°	19,0	15,0	16°	11,8
20	2,70	1,95	0,26	0,19	0,36	0,17	0,41	1,55	0,74	0,95	0,27	0,47	26,0	23°	18,0	15,0	18°	10,4
21	2,71	1,89	0,23	0,18	0,34	0,16	0,31	1,54	0,76	0,82	0,28	0,625	23,0	22°	19,0	13,0	16°	11,8
22	2,71	1,91	0,24	0,19	0,33	0,14	0,36	1,54	0,76	0,86	0,28	0,643	24,0	23°	20,0	14,0	17°	11,6
23	2,71	1,87	0,25	0,19	0,34	0,15	0,40	1,50	0,81	0,84	0,30	0,73	22,0	22°	18,0	12,0	15°	9,8
24	2,71	1,88	0,22	0,17	0,34	0,17	0,30	1,54	0,76	0,78	0,28	0,64	24,0	20°	19,0	14,0	15°	10,2

Таблиця 3

Таблиця фізико-механичних характеристик стін четвертичних

№ опред.	Показатели физико-механических характеристик																	
	$P_s$ г/м <sup>3</sup>	$P$ г/м <sup>3</sup>	$W$ г.е.	$Wp$ г.е	$WL$ г.е	$Ip$ г.е	$IL$	$Pd$ кн/м <sup>3</sup>	$e$ г.е	$Sr$ г.е	$Wsat$ г.е	$ILsat$ г.е	$Co$ (кПа)	$\phi_0$ (град)	$E_0$ (Мпа)	$C_w =$ $C_0(1-1,5W)$	$\phi_w = \phi_0(1-W)$	$E_w = E_0(1-1,5W)$
1	2,72	1,90	0,29	0,21	0,45	0,24	0,33	1,47	0,85	0,93	0,31	0,42	0,28	20°	19,0	15,0	14°	10,0
2	2,72	1,92	0,31	0,25	0,47	0,22	0,27	1,47	0,85	0,99	0,31	0,24	0,27	22°	21,0	14,0	15°	11,0
3	2,72	1,94	0,33	0,26	0,40	0,20	0,35	1,46	0,86	1,00	0,32	0,32	0,28	21°	20,0	15,0	14°	10,5
4	2,72	1,93	0,34	0,22	0,43	0,21	0,57	1,44	0,89	1,00	0,33	0,33	0,28	20°	23,0	14,0	13°	11,8
5	2,72	1,91	0,35	0,23	0,46	0,23	0,52	1,41	0,93	0,96	0,34	0,34	30,0	19°	20,0	15,0	13°	10,0
6	2,71	2,00	0,28	0,19	0,42	0,23	0,61	1,56	0,74	1,00	0,28	0,39	32,0	18°	18,0	16,0	13°	10,4
7	2,71	1,97	0,29	0,21	0,46	0,25	0,32	1,53	0,77	1,00	0,28	0,28	34,0	20°	19,0	20,0	15°	11,0
8	2,71	1,95	0,33	0,23	0,45	0,22	0,45	1,47	0,84	1,00	0,33	0,45	33,0	19°	21,0	17,0	13°	10,7
9	2,71	1,99	0,30	0,20	0,41	0,21	0,24	1,53	0,77	1,00	0,30	0,48	31,0	19°	20,0	17,0	13°	11,0
10	2,71	1,98	0,32	0,22	0,42	0,20	0,24	1,50	0,81	1,00	0,32	0,50	32,0	21°	22,0	17,0	14°	11,6
11	2,73	2,05	0,31	0,23	0,42	0,19	0,42	1,56	0,75	1,00	0,28	0,26	36,0	20°	19,0	21,0	15°	11,0
12	2,71	2,00	0,29	0,21	0,43	0,22	0,36	1,55	0,75	1,00	0,28	0,32	38,0	18°	20,0	22,0	13°	15,1
13	2,70	1,98	0,32	0,22	0,47	0,25	0,40	1,50	0,80	1,00	0,30	0,32	36,0	19°	20,0	20,0	13°	10,6
14	2,72	1,96	0,30	0,19	0,39	0,20	0,55	1,50	0,81	1,00	0,30	0,55	37,0	19°	21,0	20,0	13°	11,5
15	2,72	1,97	0,33	0,20	0,43	0,23	0,57	1,48	0,84	1,00	0,31	0,48	38,0	20°	19,0	21,0	14°	10,5
16	2,72	2,05	0,30	0,24	0,51	0,27	0,22	1,58	0,72	1,00	0,26	0,07	36,0	18°	18,0	22,0	13°	10,8
17	2,72	2,02	0,29	0,26	0,51	0,24	0,125	1,56	0,74	1,00	0,27	0,04	34,0	20°	19,0	20,0	15°	11,0
18	2,72	2,00	0,30	0,25	0,55	0,30	0,17	1,54	0,77	1,00	0,28	0,10	35,0	19°	17,5	20,0	14°	10,0
19	2,71	1,97	0,31	0,24	0,52	0,28	0,25	1,50	0,81	1,00	0,30	0,21	33,0	21°	16,0	18,0	15°	8,8
20	2,71	1,90	0,29	0,26	0,55	0,29	0,103	1,47	0,84	0,93	0,31	0,17	39,0	20°	16,0	21,0	14°	8,5
21	2,70	1,87	0,28	0,20	0,44	0,24	0,33	1,46	0,85	0,89	0,31	0,46	38,0	22°	16,0	20,0	15°	8,0
22	2,71	1,92	0,3	0,22	0,49	0,27	0,30	1,48	0,83	0,98	0,31	0,33	36,0	21°	16,5	19,0	14°	8,5
23	2,72	1,98	0,31	0,22	0,47	0,25	0,36	1,51	0,80	1,00	0,30	0,32	34,0	19°	17,0	19,0	13°	9,3
24	2,70	1,95	0,29	0,23	0,49	0,26	0,23	1,51	0,79	0,99	0,29	0,23	37,0	22°	17,0	21,0	16°	9,5

**Выводы.** На основании выполненного анализа материалов инженерно-геологических изысканий на строительных площадках г. Днепр и области, выполненными изыскательскими организациями г. Днепр, целевым назначением которого было установить корреляционную зависимость сил трения грунта на боковую поверхность ствола сваи или подземного сооружения, установлено:

В диапазоне изменения эксплуатационной влажности грунтов эксплуатируемой территории прочностные  $C_3$ ,  $\varphi_3$  характеристики глинистых грунтов и деформационные  $E_{3к}$  изменяются по линейному закону, близкому к выражениям:  $C_3 = C_o(1 - 1,5W_3)$ ;  $\varphi_3 = \varphi_o(1 - W_3)$ ;  $E_3 = E_o(1 - 1,5W_3)$ . А, имея закон изменения прочностных и деформативных характеристик эксплуатируемых территорий от изменяющейся в процессе эксплуатации влажности  $W_3$ , определяют силы трения грунта на боковую поверхность ствола сваи или подземного сооружения  $f = \tau = \sigma_{zq} \cdot tg\varphi_3 + C_3$ , а после определения сил трения на боковую поверхность ствола сваи или подземного сооружения  $f = \tau = \sigma_{zq} \cdot tg\varphi_3 + C_3$  рассчитывают составляющую несущей способности сваи или подземного сооружения по боковой поверхности:

$$R_f = U \sum f_3 h = U \sum_1^{hi} (\sigma_{zq} tg\varphi + C) h_i.$$

Составляющая несущей способности забивной сваи по острию  $R_o$  практически не зависит от изменения гидрогеологических условий эксплуатируемой строительной площадки, т. к. в процессе забивки железобетонных свай до проектной отметки в плоскости острия свай формируется уплотненное ядро, плотность которого очень высокая, стремится к плотности частиц грунта  $\rho_d \rightarrow \rho_s$ , а коэффициент пористости  $e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} \rightarrow e_{min}$ ;

$$\rho_{d.я} = \frac{2(l-z) \left\{ \left[ (l-z) tg^{\varphi} / 4 \right]^2 \right\} + (l-z) dtg^{\varphi} / 4 + d^2}{\pi \cdot (l-z) \cdot tg^{\varphi} / 4} \rho_{d.m} \quad (4)$$

При такой плотности ядра влажность грунта будет минимальной и всегда меньше влажности на границе раскатывания ( $W > W_p$ ) – грунт находится в твердом состоянии и при подтоплении территории не может превысить  $W_{sat} \leq W_p$ . Для увеличения влажности при подтоплении необходимо, чтобы поровое давление в грунте не превышало напорный градиент и не могло выдвинуть воду из пор грунта. Так как напорный градиент  $-H$  определяется произведением  $H = \gamma_w \cdot h$ ; а давление в грунте  $P = \gamma_{zp} \cdot h$ , ( $\gamma_{zp} > \gamma_w$ ), то  $P$  всегда больше  $H$ :  $P > H$  ( $\gamma_{zp} \cdot h > \gamma_w \cdot h$ ) и увеличение влажности грунта в уплотненном ядре невозможно.

Для набивных, буронабивных и буринъекционных свай, устраиваемых непосредственно на строительной площадке, расчетное значение плотности грунта в плоскости нижних концов будет соответствовать плотности:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1+W}; e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}; W_{sat} = \frac{e}{\rho_s} \rho_w \quad \text{и}$$

учитывая, что за основание нижних концов свай принимаются плотные грунты, влажность которых при полном водонасыщении  $W_{sat} < W_p$ , изменение гидрогеологических условий (подтопление территорий) на изменение составляющей несущей способности свай по нижнему концу не изменяется (не уменьшается).

Изменение гидрогеологических условий эксплуатируемой площадки (подтопление территорий) приводит к снижению деформативных и прочностных характеристик подстилающего уплотненную платформу слоя грунта и требует безотлагательного выполнения проверки несущей способности подстилающего платформу слоя грунта по формуле:  $\sigma_{zpi} + \sigma_{zqi} \leq R_z$  и расчета осадки свайного фундамента согласно действующим нормативным документам (ДБН В2.1-10-2009).

Сформированное уплотненное ядро (уплотненная платформа) служит противодиффузионным экраном, препятствующим замачиванию подстилающего платформу слоя грунта при замачивании сверху и является препятствием для зама-



чивания грунта межсвайного пространства (вокруг ствола сваи) при подтоплении территории, что препятствует снижению несущей способности по боковой поверхности ствола сваи.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Научно-технический отчет об инженерно-геологических для проектируемого строительства юношеско-спортивной школы и многофункционального жилого комплекса по ул. Плеханова, 15 в г. Днепропетровск, ноябрь 2008 г. : 7790 / УкрЭКОГЕОСтройДнепроГИИНТИЗ. – [Днепропетровск], 2008. –85 с. : граф. : прилож.
2. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на площадке строительства жилого дома по ул. Радостной,106 в г. Днепропетровске, август 2003 г. : 1722 / НПП ГИИНТИЗ. – Днепропетровск, 2003. – 45 с.
3. Інженерно-геологічні вишукування по вул. Героїв Сталінграда, 29а, м. Дніпропетровськ : звіт про наук.-дослід. роботу / Проек.-строит. фирма «Стройкомплекс» LTD. – [Дніпропетровськ], 2013. – 96 с. : граф. дод.
4. Технічний звіт про інженерно-геологічні вишукування на ділянці міжнародного автомобільного пункту пропуску «Устилуг» Ягодинської митниці Волинської області. – Львів, 2010. – Інв . № 33845.
5. Научно-технический отчет об инженерно-геологических изыскательных работах (бурение двух скважин) для определения перечня возможных мероприятий по ликвидации деформаций, просадочности и поврежденных конструкций здания по ул. Симферопольской, 11 в г. Днепропетровске : 8103/83 / ДнепроГИИНТИЗ, Укр. Гос. Гл. науч.-произв. Ин-т инж.-техн. и эколог изысканий «УКРНИИИТИЗ». – [Днепропетровск], 2010. – 105 с. : прилож.
6. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на площадке строительства по ул. Леваневского в г. Днепропетровске : Н.Г. 15-01 / ГЭОЗОНД. – Днепропетровск, 2001. – 27 с. : прилож.
7. Визначення ґрунтів котлованів складських будівель, допоміжних будівель та під'їзних доріг по вул. Кутузова, 134, м. Бравори. Київської обл. : техн. звіт / Укрбурдрозвідування. – Київ, 2008. – 12 с.
8. Площадка придорожного комплекса в конце ул. Мостовой в с.Песчанка, Новомосковского района Днепропетровской области. Объект П-17.08 : инж.-геол. заключение / Проек.-строит. фирма «Стройкомплекс» LTD. – Днепропетровск, 2008. – 28 с.
9. Отчет по полевым испытаниям опытных свай статическими нагрузками, на площадке строительства многофункционального комплекса гражданского назначения по ул. Симферопольской, 2к в г. Днепропетровске. Объект №269.03 / Гидростройпроект. – Днепропетровск, 2009. – 45 с. : прилож.
10. Отчет по полевым испытаниям опытных свай статическими нагрузками, на площадке строительства общественно-торгового комплекса многофункционального назначения по ул. Артема 21а в г. Днепропетровске. Объект №323.03 / Гидростройпроект. – Днепропетровск 2012. – 34 с. : прилож.
11. Отчет по полевым испытаниям опытных буронабивных свай статическими нагрузками на площадке строительства жилого дома по ул. Симферопольской в г. Днепропетровске. Объект 8813.03 / Проек.-изыскат. ин-т Укрспецстройпроект. –Днепропетровск, 2001. – 23 с. : прилож.
12. Технический отчет по полевым испытаниям грунтов сваями методом статических вдавливающих и выдергивающих нагрузок на строительстве здания многофункционального назначения по ул. Жуковского, в районе домов №16-24 в г. Днепропетровске. Объект 351.03-0И / Гидростройпроект. – Днепропетровск, 2015. – 45 с.
13. Моторный А. Н. Современные представления несущей способности забивных свай (по результатам погружения и работе, свай в грунте) / А. Н. Моторный, Н. А. Моторный // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2014. – № 8. – С. 32-42
14. Моторный Н. А. Обоснование работы свай в грунте и формирование несущей способности свай в процессе ее погружения и эксплуатации / Н. А. Моторный, А. Н. Моторный // Theoretical foundations of civil engineering : Polish-Ukrainian Transactions (conference), Warsaw, May, 2013 / ed. by W. Szczesniak. – Warsaw, 2013. – Vol. 21. – P. 501-508.
15. Моторный А. Н. Напряженно-деформированное состояние основания свайных фундаментов на лёссовых просадочных грунтах при замачивании просадочной толщи снизу вверх (подтопление территорий) / А. Н. Моторный, Н. А. Моторный // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2014. – № 2. – С. 20-29.

### REFERENCES

1. UkrEKOGEOSTrojDneproGIINTIZ. *Nauchno-tekhnicheskij otchet ob inzhenerno-geologicheskikh dlya proektiruemogo stroitel'stva yunoshesko-sportivnoj shkoly i mnogofunktsional'nogo zhilogo kompleksa po ul. Plekhanova, 15 v g. Dnepropetrovsk, noyabr' 2008 g.: 7790* [Scientific and technical report on geological and engineering for the planned construction of youth and sport school and the multifunctional residential complex

- on the street. Plekhanov, 15 in Dnepropetrovsk, November 2008: 7790]. Dnepropetrovsk, 2008, 85 p. (in Russian).
2. NPP GIINTIZ. *Otchet ob inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyakh na ploshchadke stroitel'stva zhilogo doma po ul. Radostnoj, 106 v g. Dnepropetrovske, avgust 2003 g. : 1722* [Report on engineering and geotechnical investigations at the construction ground of a residential house on the street Radostnaya, 106 in Dnepropetrovsk, August 2003: 1722]. Dnepropetrovsk, 2003, 45 p. (in Russian).
  3. Proek.-stroit. firma «Strojkompleks» LTD. *Inzhenerno-heolohichni vyshukuvannia po vul. Heroiv Stalingrada, 29a, m. Dnipropetrovsk: zvit pro nauk.-doslid. robotu* [Engineering and geological investigations on the street. Heroiv Stalingrada, 29a, Dnipropetrovsk: Report on research work]. Dnipropetrovsk, 2013, 96 p. (in Ukrainian).
  4. *Tekhnichniy zvit pro inzhenerno-heolohichni vyshukuvannja na dilianci mizhnarodnoho avtomobilnoho punktu propusku «Ustyluh» Jagodyn'koi mytnytsi Volynskoi oblasti* [Technical Report on engineering-geological investigations on the territory of the international automobile checkpoint "Ustyluh" Jagodyn customs of Volyn region]. Lviv, 2010, inventory. № 33845. (in Ukrainian).
  5. DneproGIINTIZ. *Nauchno tekhnicheskij otchet ob inzhenerno-geologicheskikh izyskatel'nykh robotakh (burenie dvukh skvazhin) dlya opredeleniya perechnya vozmoznykh meropriyatij po likvidatsii deformatsij, prosadochnosti i povrezhdenij konstruksij zdaniya po ul. Simferopol'skoj, 11 v g. Dnepropetrovske: 8103/83* [Scientific technical report on engineering and geological investigations works (drilling of two wells) to determine the list of possible measures to eliminate the strain, subsidence and damage of building structures on the street. Simferopol'skaya, 11 in Dnepropetrovsk: 8103/83]. *Ukr. Gos. Gl. nauch.-proizv. In-t inzh.-tekhn. i ekolog izyskanij «UKRNIINTIZ»* [The Main Ukrainian State Scientific and Production Institute of Engineering and Ecological Investigations «UKRNIINTIZ»]. Dnepropetrovsk, 2010, 105 p. (in Russian).
  6. GEOZOND. *Otchet ob inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyakh na ploshchadke stroitel'stva po ul. Levanevskogo v g. Dnepropetrovske: N.G. 15-01* [ Report on geological and technical investigations at the construction ground on the street Levanevskogo in Dnepropetrovsk: NG 15-01]. Dnepropetrovsk, 2001, 27 p. (in Russian).
  7. Ukrbudrozviduvannja. *Vyznachennia hruntiv kotlovaniv skladskykh budivel, dopomizhnykh budivel ta pidiznykh dorih po vul. Kutuzova, 134, m. Bravory. Kyivskoi obl. : tekhn. zvit* [Determination of soils of pits storage buildings, auxiliary buildings and driveways on the street. Kutuzova, 134, Bravory, Kiev region: technical report]. Kyiv, 2008, 12 p. (in Ukrainian).
  8. Proek.-stroit. firma «Strojkompleks» LTD. *Ploshchadka pridorozhnogo kompleksa v kontse ul. Mostovoj v s. Peshchanka, Novomoskovskogo rayona Dnepropetrovskoj oblasti. Ob'ekt P-17.08: inzh.-geol. zaklyuchenie* [Area of a roadside complex at the end of street Mostovaya in the village Peshchanka, Novomoskovsk of Dnepropetrovsk region. Object P-17.08: engineering and geological conclusion]. Dnepropetrovsk, 2008, 28 p. (in Russian).
  9. Gidrostrojproekt. *Otchet po polevym ispytaniyam opytnykh svaj staticheskimi nagruzkami, na ploshchadke stroitel'stva mnogofunktional'nogo kompleksa grazhdanskogo naznacheniya po ul. Simferopol'skoj, 2k v g. Dnepropetrovske. Ob'ekt №269.03* [Report on field trials of experimented piles with quicsent loads on the construction ground of a multifunctional complex of civilian designation on the street Simferopol'skaya, 2k in Dnepropetrovsk. Object №269.03]. Dnepropetrovsk, 2009, 45 p. (in Russian).
  10. Gidrostrojproekt. *Otchet po polevym ispytaniyam opytnykh svaj staticheskimi nagruzkami, na ploshchadke stroitel'stva obshhestvenno-torgovogo kompleksa mnogofunktional'nogo naznacheniya po ul. Artema 21a v g. Dnepropetrovske. Ob'ekt №323.03* [Report on field trials of experimented piles with quicsent loads on the construction ground of a multifunctional complex of civilian designation on the street Artem 21a in Dnepropetrovsk. Object №323.03]. Dnepropetrovsk, 2012, 34 p. (in Russian).
  11. Proek.-izyskat. in-t Ukrspetsstrojproekt. *Otchet po polevym ispytaniyam opytnykh buronabivnykh svaj staticheskimi nagruzkami na ploshchadke stroitel'stva zhilogo doma po ul. Simferopol'skoj v g. Dnepropetrovske. Ob'ekt 8813.03* [Report on the field trials of experimented bored piles with quicsent loads on the construction ground of a residential house on the street Simferopol'skaya in Dnepropetrovsk. Object 8813.03]. Dnepropetrovsk, 2001, 23 p. (in Russian).
  12. Gidrostrojproekt. *Tekhnicheskij otchet po polevym ispytaniyam gruntov svayami metodom staticheskikh vdavlivayushchikh i vydergivayushchikh nagruzk na stroitel'stve zdaniya mnogofunktional'nogo naznacheniya po ul. Zhukovskogo, v rayone domov №16-24 v g. Dnepropetrovske. Ob'ekt 351.03-0I* [Technical report on field trials of soils by piles with static pinch and pull out loads on the construction of multi-purpose buildings on the street Zhukovskij, in the area of houses №16-24 in Dnepropetrovsk. Object 351.03-0I]. Dnepropetrovsk, 2015, 45 p. (in Russian).
  13. Motornyj A.N. and Motornyj N.A. *Sovremennye predstavleniya nesushchej sposobnosti zabivnykh svaj (po rezul'tatam pogruzheniya i rabote, svaj v grunte)* [Modern ideas of bearing capacity of driving piles (as a result of immersion and work of piles in the ground)]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnitstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnipropetrovsk, 2014, no. 8, pp. 32-42. (in Russian).

14. Motornyj A.N. and Motornyj N.A. *Obosnovanie raboty svaj v grunte i formirovanie nesushhej sposobnosti svaj v processe ee pogruzhenija i jekspluatacii* [A validation of piles work in the soil and the formation of the bearing capacity of piles in the process of immersion and operation]. *Theoretical foundations of civil engineering: Polish-Ukrainian Transactions (conference), May, 2013*, Warsaw, vol. 21, pp. 501-508. (in Russian).
15. Motornyj A.N. and Motornyj N.A. *Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie osnovaniya svajnykh fundamentov na lessovykh prosadochnykh gruntakh pri zamachivanii prosadochnoj tolshchi snizu vverkh (podtoplenie territorii)* [Stress and strain state of the base of pile foundations on loess subsiding soils soaking subsidence column from the bottom up (areas flooding)]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnitstva ta arkhitekturi* [Bulletin of Prydniprovsk'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnipropetrovsk, 2014, no. 2, pp. 20-29. (in Russian).

*Рецензент:* д-р т. н., проф. Сєдін В. Л.

Надійшла до редколегії: 17.07.2016 р. Прийнята до друку: 19.07.2016 р.