

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ БУРОВИХ ПАЛЬ**

Маєвська І.В., Блащук Н.В.

Вінницький національний технічний університет  
м. Вінниця, Україна

Романов С.В.

Науково-дослідний інститут будівельного виробництва  
м. Київ, Україна

**АНОТАЦІЯ:** Порівняння результатів статичних випробувань бурових палей з результатами визначення їх несучої здатності за аналітичними формулами норм показало значний резерв фактичної несучої здатності. Проведено дослідження впливу коефіцієнту пористості ґрунтів різних типів на несучу здатність бурових палей.

**АННОТАЦИЯ:** Сравнение результатов статических испытаний буровых свай с результатами определения их несущей способности по аналитическим формулам норм показало значительный резерв фактической несущей способности. Проведено исследование влияния коэффициента пористости грунтов разных типов на несущую способность буровых свай.

**ABSTRACT:** Comparison of static tests of piles drilling results determine their bearing capacity standards for analytical formulas showed significant reserve of actual load capacity. The influence study of soil porosity ratio of different types on the carrying capacity of the drilling piles is provided.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** бурова паля, несуча здатність палі, статичні випробування палей, коефіцієнт пористості ґрунту.

У зв'язку з забудовою малозручних природних будівельних майданчиків і територій з існуючими будівлями і спорудами, що не допускають динамічних впливів, спостерігаються тенденції до збільшення обсягу застосування бурових палей. Найважливішим резервом підвищення ефек-

тивності бурових паль є вдосконалення методів визначення їх несучої здатності на стадії проектування.

Накопичений досвід випробувань таких паль свідчить про те, що несуча здатність паль, розрахована за формулами і таблицями ДБН В.2.1-10-2009 «Основи та фундаменти споруд» [1], виявляється нижчою фактичної несучої здатності, визначеної за результатами статичних випробувань, причому іноді до 2...3 разів. Отже, методика визначення несучої здатності бурових паль потребує удосконалення.

Питання про резерв несучої здатності бурових паль стало актуальним коли їх стали широко застосовувати. Це насамперед великі міста: такі як Київ, Москва, Санкт-Петербург та інші. Саме тому у цих містах найбільше займаються даним питанням та шукають відповіді на нього. Так у статті [2] розглянуто досвід влаштування бурових паль у м. Санкт-Петербург. В даних дослідженнях зазначено, що бурові палі мають майже двократний резерв у несучій здатності. Дослідники рекомендують визначати несучу здатність під нижнім кінцем палі не за методикою норм для паль, а як для глибокої опори з одиничними коефіцієнтами форми фундаменту.

У статі [3] виконаний аналіз несучої здатності бурюін'єкційних паль, визначеної статичними випробуваннями, для різних майданчиків України (м. Київ, м. Бровари, м. Одеса, м. Феодосія, м. Хмельницький). Виконаний аналіз свідчить, що у 90 % випадках бурюін'єкційні палі мають резерв фактичної несучої здатності у порівнянні із розрахованою за методикою норм величиною від 6 до 180%.

В українських [1] та російських нормах для визначення несучої здатності паль малої довжини (до 3,0 м) вихідним параметром для таблиць і формул крім показника текучості для глинистих ґрунтів і крупності піщаних ґрунтів є їх коефіцієнт пористості.

У білоруських нормах [4] коефіцієнт пористості внесений як вихідний параметр для таблиць і формул з визначення несучої здатності і паль великої довжини.

В таблицях [1] наведені значення опору під нижнім кінцем ( $R$ ) і по боковій поверхні ( $f$ ) для різних пісків середньої щільності. Але середня щільність ґрунтів визначається коефіцієнтом пористості, який може змінюватися від 0,55 до 0,7 (для пісків середньої крупності), 0,6...0,75 (пісків дрібних) і 0,6...0,8 (пісків пилюватих). Для глинистих ґрунтів також діапазон зміни коефіцієнту пористості є досить широким.

Це означає, що величини  $R$  і  $f$  повинні мати конкретні значення у всіх діапазонах зміни коефіцієнта пористості. Тим більше, ніяких сумнівів про взаємозв'язок щільності ґрунту з його деформаційними і характеристиками міцності не виникає.

Дослідження впливу коефіцієнту пористості ґрунтів різних типів на несучу здатність бурових паль.

Для оцінки резервів несучої здатності бурових паль був виконаний аналіз результатів статичних випробувань таких паль з визначенням ступіню зниження несучої здатності, визначеної за нормами. Були використані результати статичних випробувань бурових паль, виконаних у Науково-дослідному інституті будівельного виробництва м. Київ. Проаналізовані результати натурних випробувань 17-ти бурових паль з 10-ти різних майданчиків України. Дані райони випробувань знаходяться в таких містах: м. Київ, м. Рівне, м. Новий Розділ, м. Бровари та м. Запоріжжя.

Для розгляду в даній роботі були використані палі різної довжини та конфігурації. Довжини паль знаходяться в діапазоні від 2 до 19,7 м. Серед них дві малої довжини, шість коротких, шість середньої довжини та три великої довжини. Три палі мають незмінний переріз, дев'ять паль мають розширену п'яту, утворену розбурюванням ґрунту, одна паля з камуфлетним розширенням, утвореним вибухом. Діаметр ствола паль знаходиться в межах від 0,4 м до 0,83 м. Діаметр п'яти варіюється від 0,4 м до 2,05 м.

На площадках з умовною назвою  $O_i$  бурові палі були влаштовані за допомогою обсадних інвентарних труб, а на площадках з умовною назвою  $P_i$  палі влаштовувались свердловинах, пробурених під захистом глинистого розчину, є палі, утворені бурінням насухо.

Навантаження, яке може витримати конкретна бурова паля, визначалося при досягненні осідання  $S = 40$  мм. У випадках з палями малої довжини ( $l = 2,0$  м), навантаження вважалося максимально допустимим при досягненні осідання  $S = 20$  мм.

Для розгляду обирались майданчики, де були визначені фізико-механічні характеристики ґрунтів, які наведені в табл. 1. В даній таблиці наведені: потужність шару ґрунту по довжині палі та відомі характеристики ґрунтів (на жаль у протоколах з випробування паль часто відомості про характеристики ґрунтів є дуже обмеженими).

Результати порівняння несучої здатності бурових паль, визначеної за формулою норм [1] і за результатами статичних випробувань наведені в табл. 2 і на графіку рис. 1.

На горизонтальній осі графіку показана несуча здатність палі  $F$ , визначена за результатами статичних випробувань, а по вертикальній осі - несуча здатність  $F_1$ , розрахована за нормами. Діагональна лінія на графіку відповідає ідеальному збігу результатів розрахунку і випробувань.

Таблиця 1 - Фізико – механічні характеристики ґрунтів

№, місто	Супісок						Суглинок						Глина						Пісок					
	h, м	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	I <sub>L</sub>	c, кПа	$\varphi^0$	E, МПа	h, м	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	I <sub>L</sub>	c, кПа	$\varphi^0$	E, МПа	h, м	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	I <sub>L</sub>	c, кПа	$\varphi^0$	E, МПа	h, м	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	e	c, кПа	$\varphi^0$	E, МПа
Р-1, м. Київ	-	-	-	-	-	-	2,0	26,2	0,4	18	32	107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
О-2', м. Київ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0	17,3	0,69	0	35	283
Р-2, м. Київ	8,0	19,0	0,7	5	20	100	2,4	17,0	0,8	25	28	200	1,9	18,5	0,3	25	22	250	1,0	18,0	-	2	36	300
	-	-	-	-	-	-	2,4	18,0	0,6	15	26	250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
О-2'', м. Київ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,5	17,3	0,69	0	35	283
О-3, м. Київ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,0	17,9	0,65	0	37	265
О-4', м. Київ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,0	17,9	0,65	0	37	265
ОС-1, м. Рівне	-	-	-	-	-	-	6	17,4	0,25	13	24	110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	1,8	19,8	0,3	14	20	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ОС-2, м. Київ	9,1	19,0	<0	10	26	125	0,8	19,0	<0	35	23	240	-	-	-	-	-	-	2,9	16,2	0,73	1	28	300
ОС-7, м. Бровари	5,0	15,3	0,2	20	23	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	16,5	0,65	2	32	240
U-1, м. Запоріжжя	-	-	-	-	-	-	4,0	18,9	<0	20	21	125	2,3	19,5	<0	46	18	190	-	-	-	-	-	-
ОС-8, м. Бровари	5,0	15,3	0,2	20	23	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	16,5	0,65	2	32	240
ОС-9, м. Бровари	5,1	15,3	0,2	20	23	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>	16,5	0,65	2	32	240
Р-7, м. Н. Розділ	-	-	-	-	-	-	4,9	19,8	0,6	13	23	90	6,6	18,8	0,3	25	18	150	-	-	-	-	-	-
С-1, м. Рівне	20,0	17,1	0,35	30	26	103	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
С-2, м. Рівне	20,0	17,1	0,35	30	26	103	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
СВО-8/2, м. Київ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,2	19,6	<0	49	17	250	2,5	17,5	0,65	1,2	31	250
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,65	20,3	<0	52	17	300	1,5	18,5	0,6	1,2	30	400
СВО10/2, м. Київ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,2	19,6	<0	49	17	250	2,5	17,5	0,65	1,2	31	250
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,65	20,3	<0	52	17	300	1,5	18,5	0,6	1,2	30	400

Таблиця 2 -Результати порівняння несучої здатності бурових паль, визначеної за формулою норм [1]  $F_d$ , і за результатами статичних випробувань  $F$

№, місто	l, м	d <sub>ст</sub> , м	D <sub>розц</sub> , м	F <sub>d</sub> , кН	F, кН	Грунт під нижнім кінцем	Резерв несучої здатності
120а, м. Київ	10,5	0,5	1,2	1110,54	1700	г	1,53
О-2', м. Київ	4,0	0,5	0,5	385,15	570	п	1,48
м. Київ	19,7	0,6	1,8	4469,06	4750	п	1,06
О-2'', м. Київ	3,5	0,5	0,5	254,07	400	п	1,57
О-3, м. Київ	6,0	0,5	0,5	517,15	900	п	1,74
О-4', м. Київ	8,0	0,5	0,5	689,57	1360	п	1,97
ОС-1, м. Рівне	7,8	0,5	1,2	1268,49	1380	г	1,09
ОС-2, м. Київ	10,7	0,8	1,6	2787,05	2780	п	1
ОС-7, м. Бровари	5,06	0,8	1,9	2226,72	4000	п	1,79
U-1, м. Запоріжжя	6,3	0,6	1,1	1207,6	900	г	-
ОС-8, м. Бровари	5,3	0,8	2,05	3299,44	4500	п	1,36
ОС-9, м. Бровари	4,5	0,42	0,8	542,29	700	п	1,29
м. Н. Розділ	11,5	0,5	1,2	1349,4	750	г	-
С-1, м. Рівне	2,0	0,4	0,4	77,37	125	г	1,62
С-2, м. Рівне	2,0	0,4	0,4	77,37	150	г	1,95
СВО-8/2, м. Київ	12,35	0,64	0,64	1273,34	3250	п	3,55
СВО10/2, м. Київ	12,35	0,83	0,83	1846,85	5000	п	2,70

г – грунт глинистий

п – грунт піщаний

Результати розрахунку і статичних випробувань практично співпали в п'яти з випадків (29% розглянутих випадків). Середньоквадратичне відхилення результатів розрахунку від фактичного значення несучої здатності для даної вибірки склало 686 кН. Для двох випадків несуча здатність, визначена за нормами, виявилась завищеною.

Отже, результати аналізу свідчать про те, що введення додаткового фактора, яким може бути коефіцієнт пористості, призведе до удосконалення результатів теоретичного визначення несучої здатності бурових паль.

Для наближення до реальної поведінки ґрунтового середовища виконано чисельне дослідження НДС взаємодії ґрунтової основи і вертикально навантаженої бурової палі з урахуванням утворення та розвитку зон пластичних деформацій у всьому діапазоні зміни навантаження. При вирішенні поставлених завдань використовувався геотехнічний розрахунковий комплекс Plaxis 3D Foundation, який реалізує метод скінчених елементів.

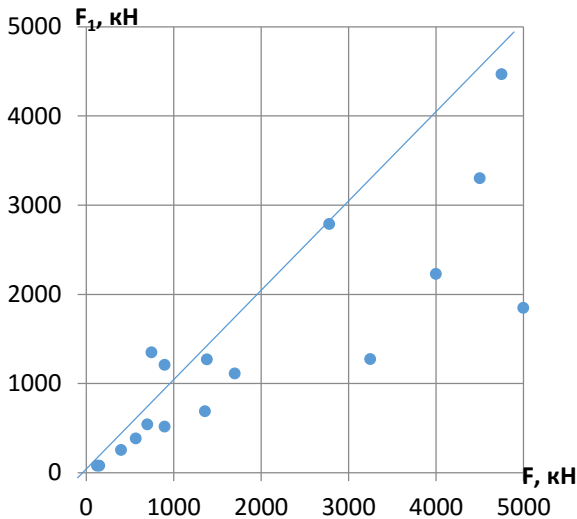


Рис. 1. Графік відповідності розрахованої несучої здатності палі,  $F_1$  і несучої здатності, визначеної на підставі результатів статичних випробувань,  $F$

Як модель матеріалу бурової палі застосовувалася пружно-лінійна модель, яка підпорядковується закону Гука. Для моделювання ґрунтової основи використовувалася модель Мора-Кулона.

Розрахунок виконувався для палі з незмінним перерізом довжиною 10 м та діаметром 0,6 м. Гранично допустиме навантаження на палю визначалось при осіданні в 40 мм.

Статичне випробування моделювалось в програмному комплексі Plaxis. Також був виконаний розрахунок аналогічних палі за методикою, запропонованою в ДБН В.2.1-10-2009. За результатами даних розрахунків був виведений коефіцієнт  $k$ , який показує перевищення фактичної несучої здатності бурової палі (за результатами моделювання в Plaxis 3D) над результатами визначення за нормами.

Результатом розрахунку в програмному комплексі Plaxis є графік «навантаження-осідання». Приклад одного з варіантів розрахунку бурової палі в програмному комплексі Plaxis наведений на рис. 2. На даному рисунку зображено осідання палі з площадки ОС-9. Суцільною лінією те, що було визначено статичним випробуванням, а штриховою те, що розраховане в програмному комплексі Plaxis. Згідно з даним графіком можна зробити висновок, що результати статичного випробування майже не відрізняються від результатів розрахунку в програмному комплексі.

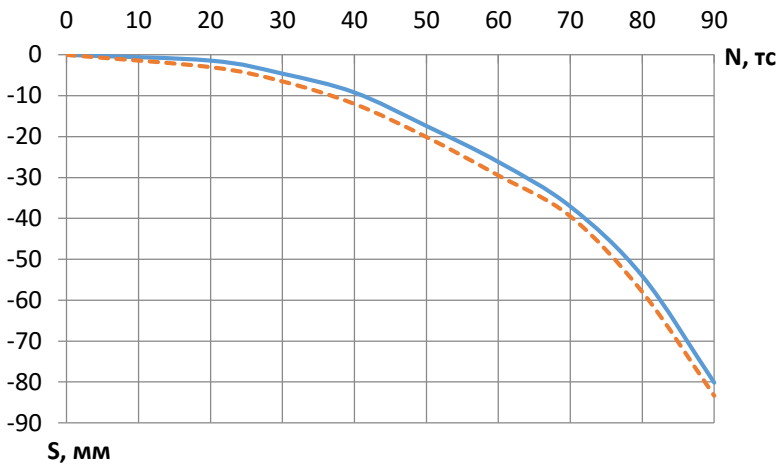


Рис. 2. Графік «навантаження-осідання», отриманий з програмного комплексу Plaxis та статичних випробувань

Для різних варіантів ґрунтових умов були побудовані графічні залежності зміни несучої здатності бурової палі залежно від коефіцієнта пористості. Для прикладу окремі такі залежності наведені на рис. 3 та 4. Суцільна лінія відповідає розрахунку в програмному комплексі Plaxis 3D Foundation, штрихова розрахунку згідно з методикою ДБН В.2.1-10-2009.

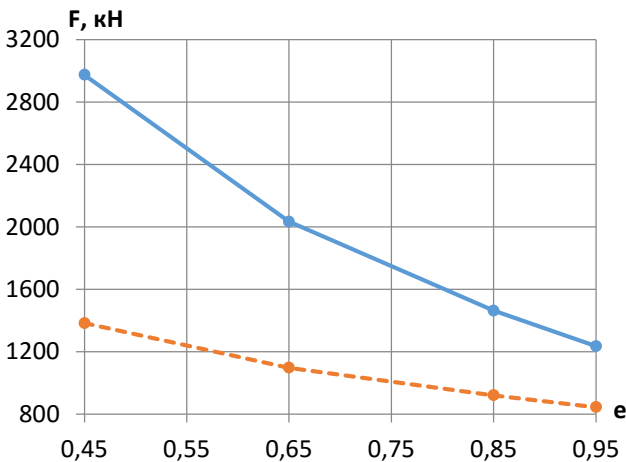


Рис. 3. Залежність несучої здатності бурових паль від коефіцієнта пористості, для суглинку з  $0 \leq I_L \leq 0,25$

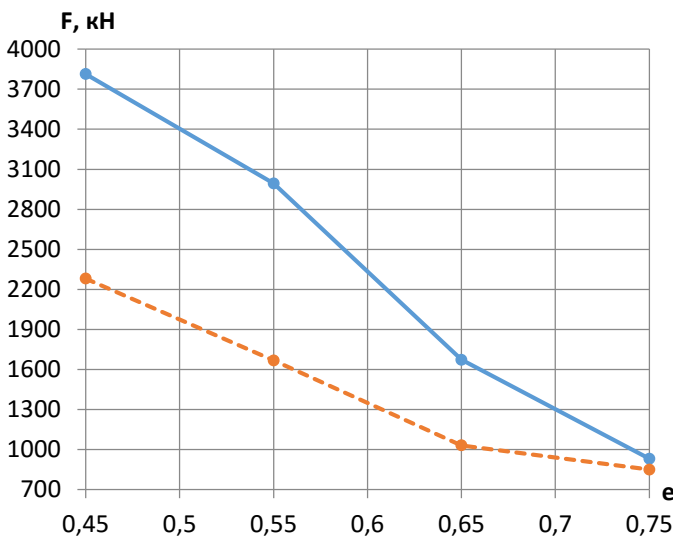


Рис. 4. Залежність несучої здатності бурових паль від коефіцієнта пористості для пісків мілких

За результатами були складені таблиці коефіцієнтів  $k$ , який показує перевищення фактичної несучої здатності бурової палі (за результатами моделювання в Plaxis 3D) над результатами визначення за нормами від коефіцієнта пористості. В табл. 3 даний коефіцієнт наведений для глинистих ґрунтів, а в табл. 4 для ґрунтів піщаних.

Таблиця 3

Значення коефіцієнтів  $k$  для глинистих ґрунтів

Ґрунт	Показник текучості	Коефіцієнт пористості $e$						
		0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супісок	$0 \leq I_L \leq 0,25$	1,95	1,8	1,68	1,4	-	-	-
	$0,25 < I_L \leq 0,75$	2,15	2,2	2,15	2,1	1,55	-	-
Суглинок	$0 \leq I_L \leq 0,25$	2,15	2,0	1,85	1,7	1,55	1,45	-
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	2,35	2,15	1,95	1,8	1,65	1,5	-
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	-	-	2,05	1,9	1,95	2,0	2,0
Глина	$0 \leq I_L \leq 0,25$	-	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	-	-	2,1	2,0	1,9	1,8	1,65
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	-	-	-	2,05	1,95	1,85	1,7



Значення коефіцієнтів  $k$  для піщаних ґрунтів

Найменування піщаного ґрунту	Коефіцієнт пористості $e$			
	0,45	0,55	0,65	0,75
Гравелисті та крупні	1,47	1,37	1,28	1,24
Середньої крупності	1,65	1,55	1,5	1,4
Дрібні	1,65	1,75	1,6	1,05
Пилуваті	2,0	1,9	1,55	1,55

## ВИСНОВКИ

1. Виконане моделювання статичних випробувань бурових паль в програмі Plaxis свідчить про те, що є значний резерв фактичної несучої здатності бурових паль в порівнянні з розрахунком за методикою ДБН, що підтверджується і польовими випробуваннями паль. Але цей резерв варіюється в широкому діапазоні і залежить від коефіцієнту пористості ґрунтів.

2. Збільшення коефіцієнту пористості призводить до зменшення несучої здатності палі.

3. При визначені несучої здатності бурових паль за нормами врахований найбільший коефіцієнт пористості в кожному діапазоні вхідних параметрів, тому врахування коефіцієнту пористості при проектуванні дозволить для більш щільних ґрунтів одержувати більш економічне рішення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Основи та фундаменти споруд: ДБН В.2.1-10-2009 зі зміною №1 та №2. - [Чинний від 2009-07-01]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2009. - 161 с. - (Національні стандарти України).
2. Сотников С.Н. Опыт применения буровых свай при строительстве зданий в центре Санкт-Петербурга / Сотников С.Н., Соловьева А.В., Зиновьева И.Д. // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1999. - №5. - С. 8-12.
3. Маєвська І.В. Аналіз достовірності визначення несучої здатності бурін'єкційних паль за діючими методиками СНиП / І.В. Маєвська, А. В. Романенко // Будівельні конструкції. Міжвідомчий н/т збірник. - К.: ДП НДІБК. - 2011. - вип. 75, кн.2. - С.164-169.
4. Проектирование и устройство буронабивных свай: Пособие П13-01 к СНБ 5.01.01-99. - Минск: Минстройархитектуры, 2002. - 43 с.

## REFERENCES

1. Osnovy ta fundamenty sporud [Basic and foundations of buildings]. (2009). DBN V.2.1-10-2009 with change №1 and №2 from 1<sup>st</sup> Jule 2009. Kyiv: Minregionbud Ukraine [in Ukrainian].
2. Sotnykov S. N., & Soloveva A. V., & Zynoveva I. D. (1999). Opyit primeneniya burovyyih svay pri stroitelstve zdaniy v tsentre Sankt-Peterburga [Experience of bored piles in the construction of buildings in the center of St. Petersburg]. *Grounds, foundations and soil mechanics*, 5, 8-12 [in Russian].
3. Maievskaya I. V., & Romanenko A. V. (2011). Analiz dostovirnosti vyznachennya nesuchoyi zdatnosti burinyekciynih pal za diyuchymy metodykamy SNyP [Analysis of authenticity bearing capacity determination brown piles on existing injection methods SNyP]. *Building construction*, 75, t.2, 164-169 [in Ukrainian].
4. Proektirovanie i ustroystvo buronabivnyih svay [Design and installation of bored piles] (2002). Handbook P13-01 to SNB 5.01.01-99. Minsk: Minstroyarchitecture [in Russian].

Стаття надійшла до редакції 14.07.2016 р.