УДК 624.138.2:624.131.4: 624.131.38

ВПЛИВ ФАЗОВИХ КОМПОНЕНТІВ НА ДЕФОРМУВАННЯ ЛЕСОВИХ ГРУНТІВ В ОСНОВІ ШТАМПІВ

Тугаєнко Ю. Ф., Марченко М. В., Логінова Л. О., Абуладзе Л. Г.

Осадка є наслідком зміни фазових компонентів під впливом зовнішнього навантаження.

У статті виконано оцінку тієї частині осідання, яка обумовлена ущільненням статичним навантаженням. За результатами досліджень деформацій в основах дослідних штампів,що складені лесовими ґрунтами, показано перерозподіл фазових компонентів при їх ущільненні.

Ключові слова: *штамп; навантаження; осаду; зона деформації; фазові компоненти*

ВЛИЯНИЕ ФАЗОВЫХ КОМПОНЕНТОВ НА ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ В ОСНОВАНИЯХ ШТАМПОВ

Тугаенко Ю. Ф., Марченко М. В., Логинова Л. А., Абуладзе Л. Г.

Осадка является следствием изменения фазовых компонентов под влиянием внешней нагрузки.

В статье выполнена оценка той части осадки, которая обусловлена уплотнением статической нагрузкой.По результатам исследований деформаций в основаниях опытных штампов, сложенных лессовыми грунтами, показано перераспределение фазовых компонентов при их уплотнении.

Ключевые слова:*штамп; нагрузка; осадка; зона деформации; фазовые компоненты*

INFLUENCE OF PHASE COMPONENTS ON DEFORMATION LOESS SOILS IN THE BASE OF THE STAMP

Tugaenko Y., Marchenko M., Loginova L., Abuladze L.

Soil settlement is the result of changes in the components of the phase under the influence of the external load.

The paper estimated that part of the draft, which is due to seal static load. According to the research of deformations experienced in the grounds of stamps, folded loess soils show a redistribution of phase components during compaction.

Keywords: *stamp; load; sediment; zone of deformation; phase components*

Вступ

Залишкова частина осідання фундаменту (штампу), що виникає під впливом зовнішнього навантаження є наслідком двох процесів: ущільнення і поперечного розширення. Обидва процеси проходять одночасно в межах стиснутого об’єму, який обмежено площею підошви фундаменту та вертикальною поверхнею по його периметру до глибини нижньої межі зони залишкових деформацій. Наслідком ущільнення є зменшення об’єму пор, а поперечного розширення – зміна форми стиснутого об’єму.

Пори заповнені водою і газом. Вода знаходиться в двох станах: молекулярної і гравітаційної вологоємності. Молекулярна вологоємність зберігається в порах при дуже великих тисках і в процесі ущільнення невитискується з пор. Її максимальне значення в лесових ґрунтах досягає16% вагової вологості. У процесі ущільнення відбувається витіснення гравітаційної частини води. Деяка її кількість залишається затисненою при досягненні капілярно–стикового стану [1, 2, 3].

Стан газу в процесі ущільнення змінюється. У початковій стадії при наявності газопроникності відбувається ефузія газу. Після досягнення газонепроникності затиснений газ стискається. У процесі стиснення відбувається його дифузія. Частина розчиненого у воді газу витискується за межі пор в об’ємі зони деформації.

Постановка проблеми у загальному вигляді і її практичне значення. Існуюча теорія

© Тугаєнко Ю. Ф., Марченко М. В., Логінова Л. О., Абуладзе Л. Г.

ущільнення ґрунтів (К. Терцаги, 1942…1961 р.р.) обмежена рядом припущень, які не відповідають результатам експериментальних досліджень процесів ущільнення, тому вона практично не застосовується.

Стаття присвячена пошукам нових методів оцінки деформацій в основах дослідних штампів, складених лесовими ґрунтами з використанням досліджень виконаних А.В. Лебедевим, Н.М. Герсевановим, А.В. Приклонським і інш. На їх основі розглянутіпроцеси ущільнення з урахуванням фізичних характеристик властивостей компонентів ґрунтів.Одержані результати дозволили підвищити вірогідність характеристик ущільнення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У великій кількості опублікованих робіт ущільнення ґрунтів розглядаєтьсяз точки зору підвищення щільності їх скелету, без урахування фізичних явищ. Немає відповіді на багато запитань. Наприклад, чому в умовах однієї ділянки з підвищенням вологості знижується максимальне значення щільності або середнє в межах зони ущільнення. Також, на процеси ущільнення впливає багато факторів складу та стану ґрунтів, які не розглядаються в опублікованих матеріалах.В статті розглянуті властивості і взаємодія фазових компонентів, які впливають на процеси і результати ущільнення.

Наукова новизна полягає у використанні фізичних властивостей фазових компонентів для оцінки ущільнення лесових ґрунтів.

Мета роботи полягає в досягненні наступних цілей:

– визначення фазових компонентів і їх властивостей;
– використання результатів натурних досліджень для визначення впливу фазових компонентів на процеси ущільнення;
– оцінити можливе значення максимального ущільнення за результатами змін співвідношень між фазовими компонентами під впливом зовнішнього навантаження.

*Методика випробувань.*Зміни фазових компонентів ґрунту воснові фундаментів визначені за результатами проведених досліджень. Експериментальні роботи проведені в Ізмаїльському районі Одеської області в долині р. Дунай. У малому котловані виконано контрольне ущільнення ґрунту важкоютрамбівкою, масою 2,2 т по трьох суміжних «слідах»з розмірами ущільненої поверхні 1,2х3,6 м. Випробування ґрунтів проведені дослідними штампами площею 0,1 м^2: два – на ґрунтах з непорушеною структурою і два – в межах ущільненої зони. Схема випробувань, графіки щільності скелета і вологості наведені на рис.1.

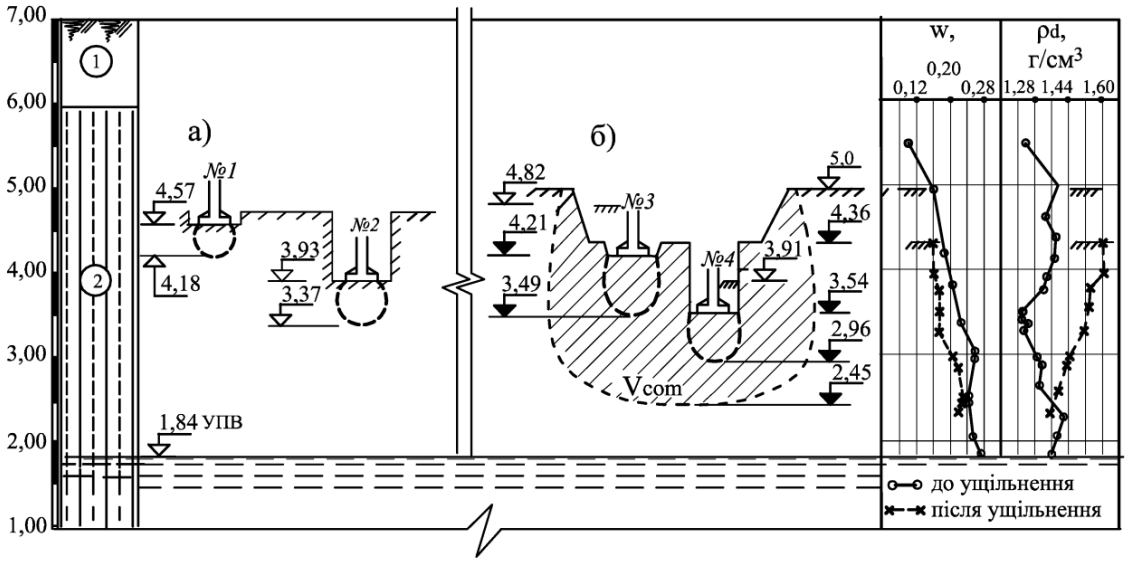

Рисунок 1 – Схема установки дослідних штампів і характеристики зміни стану ґрунтів основи: а) на природній основі; б) в межах зони ущільнення; V_{com} - об’єм зони ущільнення

Пошарові деформації визначені по переміщенням фіксаторів деформацій, закладених у вертикальній осьовій площини дослідних штампів [6]. Завантаження штампів виконано на повну величину до тиску 240 кПа на штампах, встановлених на ґрунтах з непорушеною структурою і 260 кПа– в межах ущільненого ґрунту. Після стабілізації осідання проведено замочування основ. Вода

для замочування подавалася з колодязя, обладнаного в межах дослідного котловану. Після закінчення випробувань вздовж площини установки фіксаторів пройдені шурфи, з яких виміряні переміщення фіксаторів і відібрано зразки для визначення вологості і щільності скелета ґрунту.

Методика оцінки характеристик ґрунтів і параметрів фазових компонентів до і після ущільнення. Під впливом зовнішнього навантаження відбувається ущільнення ґрунту і його поперечне розширення. Наслідком ущільнення є підвищення щільності скелету в результаті зниження пористості. Скорочення обсягу пор супроводжується витисненням води і газу, а також стисненням його защемленої частини.

Стан ґрунтів оцінюється за результатами вимірювань пошарових деформацій і визначення щільності скелета і вологості до і після випробування. Їх значення визначають зміни параметрів фазових компонентів ґрунту.

Щільність скелету і вологість. Частина осідання поверхні під завантаженою площею є наслідком ущільнення ґрунту. Для оцінки стану ущільненого ґрунту визначаються значення щільності його скелета і вологості в природному стані і після ущільнення.Щільність скелету природного ґрунту визначається за межами зони ущільнення, а ущільненого– по осі ущільненої площі, з інтервалом по глибині 0,2...0,25 від її поперечного розміру. За середнє приймається середньоарифметичне значення з отриманих визначень в межах глибини зони ущільнення.

Іншим методом, результати якого узгоджуються з попереднім, є визначення середнього значення щільності природного ґрунту, а для ущільненого приймається як полусумма максимального значення на позначці підошви штампа або трамбівки і середнього значення природного ґрунту. Достовірність цього методу підтверджується порівнянням визначень в основах дослідних фундаментів і ущільнених важкими трамбівками. Розбіжність не перевищує 8% [4, 6]. У виконаних дослідженнях середнє значення щільності скелету в межах зони ущільнення визначено з іншим методом.

Методика оцінки зміни параметрів фазових компонентів ґрунту під впливом навантаження. Параметри фазових компонентів ґрунту трансформуються під впливом зовнішнього навантаження. Для їх оцінки необхідно виміряти пошарові переміщення в основі і визначити характеристики ґрунту до і після його ущільнення.

У процесі ущільнення відбувається зниження ґрунту з позначки $z_н$до позначкиz_i. Величину пониження $-\Delta z_i = z_i - z_н$ можна визначити по епюрі деформацій, поєднаної з графіком зниження початкових відміток в межах глибини зони ущільнення. Принцип побудови графіків наведений на рис. 2.

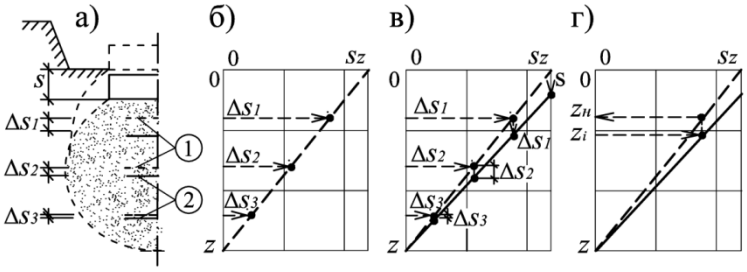

Рисунок 2 – Схема послідовності побудови графіків кінцевих деформацій: а) переріз основи дослідного фундаменту: 1; 2 - положення фундаменту і ґрунтових марок до завантаження і після закінчення випробування; s, Δs_i– осідання фундаменту і ґрунтових марок; б) епюра пошарових переміщень; в) суміщені графіки деформацій; г) визначення $z_н$– початкового положення позначки z_i в межах зони деформації

В осьовому перерізі основи нижче підошви штампа до початку випробувань встановлюються ґрунтові марки, фіксатори деформацій або обидва види вимірювальних систем (рис.2, а). Наприкінці досліду по їх переміщенням будується графік пошарових переміщень - епюра осідання по глибині основи (рис. 2, б). Епюра пошарових деформацій, на якій переміщення відкладаються від початкового положення марок, поєднується з графіком кінцевих деформацій, на якому з'єднуються точки кінцевих переміщень (вниз, по вертикалі, рис. 2, в).

Графіки пошарових переміщень, побудовані в двох напрямках (горизонтальному і вертикальному) дозволяють визначити початкове положення $z_н$ будь-якої точки z_i по осі ущільненої основи. За результатами польових дослідів, графіки деформацій мають вигляд, близький до прямолінійного. Середні відхилення, викликані неоднорідністю ґрунтової товщі в

виконаних дослідах не перевищують 5 ... 10%. Тому їх можна будувати прямолінійними за даними осідання і глибини ущільненого шару.

На рис. 3 наведено приклад побудови графіків деформацій по виміряним переміщенням фіксаторів деформацій і за спрямленими графіками. Середня похибка визначень в цьому досвіді близько 4 %.

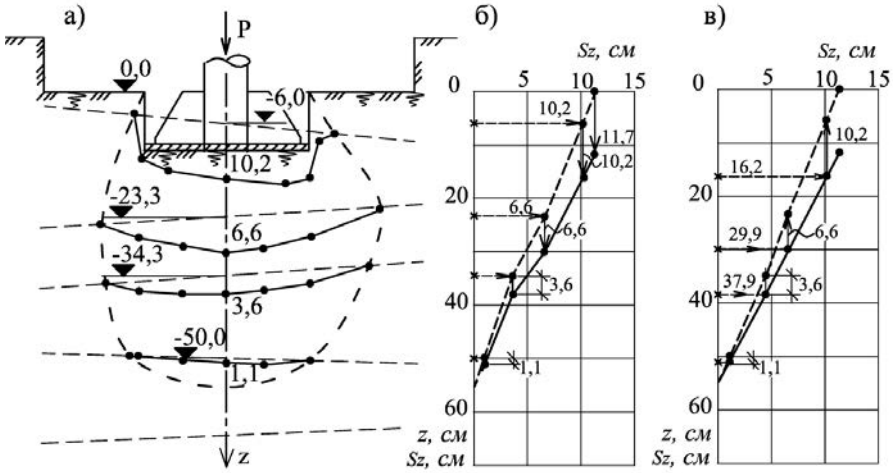

Рисунок 3 – Епюри деформацій у досліді №3: а) виміряні значення фіксаторів деформацій; б, в) графіки пошарових переміщень за фактичними вимірами уздовж осі штампа і за спрощеною схемою

Визначення фазових компонентів. На рис.4 наведена принципова схема розподілу основних фазових компонентів в одиниці об'єму ґрунту, а в табл. 1 – їх найменування та методика визначення.

Тверда фаза це обсяг мінеральних часток. Рідка - частково або повністю заповнює пори ґрунту. Газоподібна фаза може бути вільною, сполученої з атмосферним повітрям і затисненою, ізольованою від атмосфери.

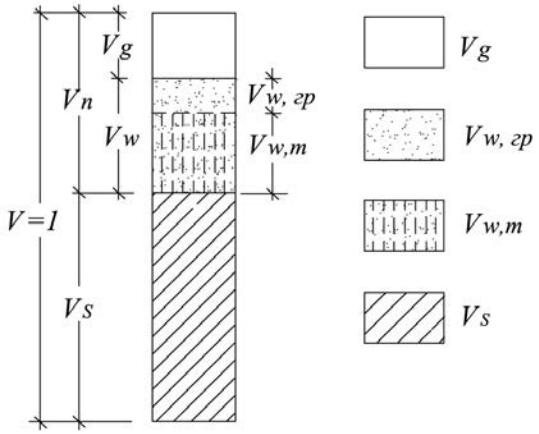

Рисунок 4 – Схема основних фазових компонентів в одиниці об'єму ґрунту, які обчислені у співвідношенні з табл.1

Під впливом статичного навантаження відбувається скорочення об’єму пор, заповнених водою і газом. Вода в порах знаходиться в двох станах - молекулярно-зв'язному і гравітаційному. Скорочення об’єму пор супроводжується витисненням гравітаційної частини води із збільшенням кількості молекулярно-зв'язної в результаті підвищення щільності скелету.

Скорочення об’єму пор, зайнятих газом, може відбуватися кількома шляхами. При наявності газопроникності він витискається в атмосферу. В процесі скорочення обсягу пор відбувається защемлення частини газу, його стиснення і дифузія. Згідно закону Бойля–Маріоттаоб’єм зменшення затисненого газу обернено пропорційний тиску. Їх добуток є величиною постійною при даній температурі. Стиснений газ чинить додатковий тиск на

гравітаційну частину води, сприяючи її витісненнюіз пор ґрунту. При підвищеному поровому тиску вода, якавитісняється з розчиненим в ній газом. Розчинність газу у воді оцінюється коефіцієнтом розчинності, значення якого залежить від температури і тиску. При температурі близько 10° і атмосферному тиску коефіцієнт розчинності становить 0,02 [7]. З підвищенням тиску при даній температурі його значення збільшується.

Таблиця 1 – Визначення часткового співвідношення фазових компонентів в одиниці об'єму ґрунту

Найменування фазових компонентів		Позна-чення	Формула для визначення
Коефіцієнт водонасичення		S_r	$S_r = \rho_s \cdot w / (\rho_s / \rho_d - 1) \cdot \rho_w$
Молекулярна вологоємність		$S_{r,m}$	$S_{r,m} = \rho_s \cdot w_m / (\rho_s / \rho_d - 1) \cdot \rho_w$
Об'єм	пор	V_n	$V_n = 1 - \rho_d / \rho_s$
	частинок	V_s	$V_s = \rho_d / \rho_s$
Вологоємність	загальна	V_w	$V_w = S_r \cdot n$
	молекулярна	$V_{w,\,m}$	$V_{w,m} = S_{r,m} \cdot n$
	гравітаційна	$V_{w,\,гр.}$	$V_{w,гр} = V_w - V_{w,\,m}$
Газоємність	-	V_g	$V_g = V_n - V_w$

Примітки: 1) схема фазових компонентів наведена на рис.4; 2) ρ_s; ρ_d; w - щільність скелета ґрунту, частинок ґрунту і вологість; 3) максимальної молекулярної вологоємності для лесових ґрунтів відповідає вагова вологість $w=0,16$[1, 2]. При $w<0,16$ в порах лесових ґрунтів знаходиться тільки молекулярна вода.

Викладені аргументи підтверджуються фактами, отриманими в результаті досліджень.

Аналіз результатів досліджень виконаних дослідними штампами. Висотне положення дослідних штампів та графіки характеристик ґрунтів наведені на рис.1, а графіки наростання осідання у часі на рис.5.

Межі зон залишкових деформацій виміряні за переміщеннями фіксаторів після закінчення випробувань. Результати вимірювань представлені на рис. 6.

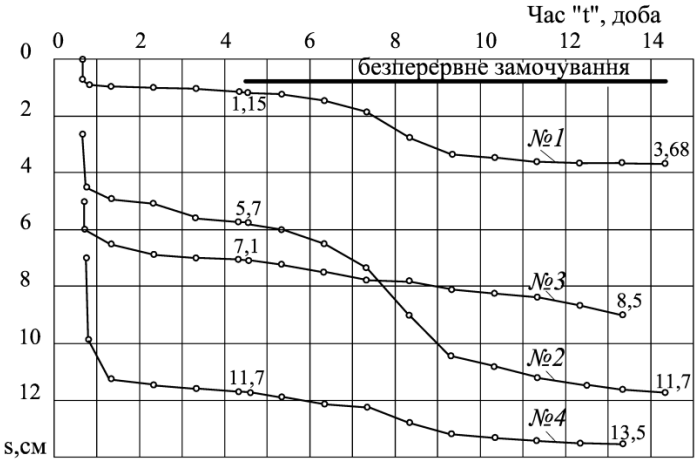

Рисунок 5 – Графіки наростання осідань у часі

За переміщеннями фіксаторів уздовж центральної осі побудовані епюри деформацій та графіки зміни пошарових переміщень по глибині. Епюра деформацій для однорідних ґрунтів має вигляд, близький до лінійного.

Характерним у цих дослідах є наявність осадової «воронки» навколо площі штампів, випробування якими проведені в межах глибини ущільнення важкою трамбівкою. Ці факти можна пояснити руйнуванням структурних зв'язків при ущільненні ґрунтів з вологістю, що перевищує

максимальну молекулярну вологоємність. В результаті збільшується частина загального осідання, яка обумовлена поперечним розширенням. Так в дослідах № 3 і 4 частина осідання, що виникла внаслідок ущільнення, склала відповідно 30 і 10 %, а поперечне розширення – 70 і 90 % від виміряної (див. табл. 2).

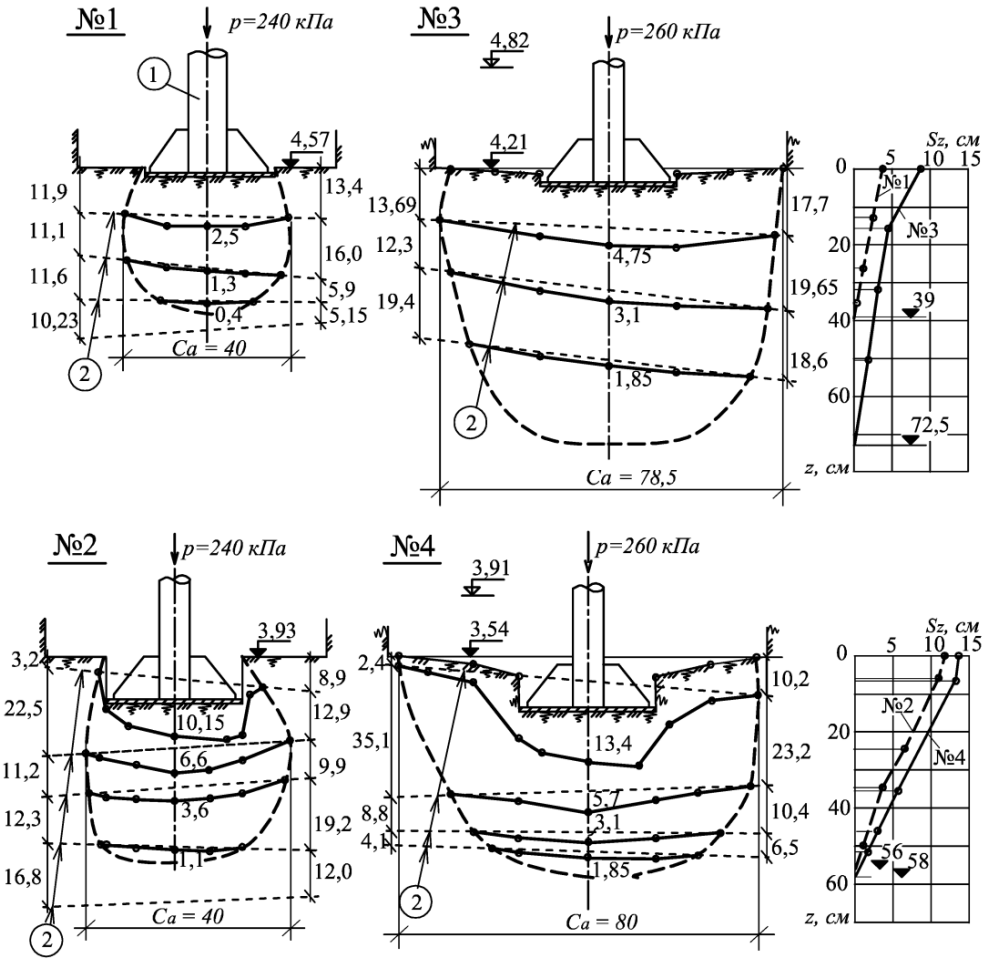

Рисунок 6 – Результати вимірюваннь деформацій в дослідах №1...4;
1– дослідні штампи;2 – фіксатори деформацій

Таблиця 2 – Основні параметри НДС ґрунтів в основі дослідних штампів площею 0,1 м^2

№ досліду	p кПа	s см	H_a см	$\rho_{d,\,cp}$ г/см^3	$\rho_{d,\,com,\,cp}$ г/см^3	ε -	ε_n -	s_n см	s_n/s -
1	240	3,67	39	1,42	1,55	0,094	0,084	3,27	0,89
2	240	11,7	56	1,36	1,47	0,208	0,078	4,37	0,37
3	260	8,53	72,5	1,66	1,72	0,118	0,035	2,54	0,30
4	260	13,5	58	1,60	1,64	0,23	0,024	1,41	0,10

Примітки: p – тиск; s –осідання штампу;H_a – глибина зони деформації; $\rho_{d,\,cp}$ –середнє значення щільності скелета природного ґрунту в межах глибини зони деформації; ε – відносна деформація $\varepsilon= s/H_a$; ε_n – відносна деформація ущільнення $\varepsilon_n=1-\rho_{d,\,cp}/\rho_{d,\,com,\,cp}$.

Зміна фазових компонентів після ущільнення статичним навантаженням. Підвищення щільності скелета ґрунту під впливом навантаження від штампів відбувається в результаті скорочення об’єму пор. До ущільнення пори заповнені водою і газом. Вода знаходиться в двох станах: молекулярно-зв'язаному і гравітаційному. Молекулярна вологоємність підвищується в процесі ущільнення. Скорочення пор відбувається в результаті витиснення гравітаційної частини води і газу.

У таблиці 3 наведені результати визначення фазових компонентів на позначці підошви штампів до випробування і після закінчення дослідів. Зразки відібрані в верхній частині зони деформації, що примикає до підошви штампів. На рис.7 приведені схематичні колонки одиничних об’ємів із зазначенням ємностей компонентів.

Таблиця 3 – Кількісні величини фазових компонентів ґрунту
на позначці підошви штампів № 1–4до і після ущільнення

№	Абс. отм., м	w д.е.	ρ_d г/см^3	S_r д.е.	$S_{r,\,m}$ д.е.	V_s д.е.	V_n д.е.	V_w д.е.	$V_{w,\,m}$ д.е.	$V_{w,\,гр.}$ д.е.	V_g д.е.
1	4.57	0,22	1,44	0,72	0,52	0,56	0,44	0,32	0,23	0,09	0,12
		0,17	1,70	0,85	0,80	0,66	0,34	0,29	0,27	0,02	0,05
2	3,93	0,24	1,39	0,72	0,48	0,54	0,46	0,33	0,22	0,11	0,13
		0,21	1,61	0,85	0,68	0,62	0,38	0,32	0,26	0,06	0,06
3	4,21	0,19	1,69	0,93	0,78	0,66	0,34	0,31	0,27	0,04	0,03
		0,17	1,76	0,94	0,89	0,68	0,32	0,30	0,28	0,02	0,02
4	3,54	0,20	1,62	0,87	0,70	0,63	0,37	0,32	0,26	0,06	0,05
		0,17	1,76	0,34	0,89	0,68	0,32	0,30	0,28	0,02	0,02

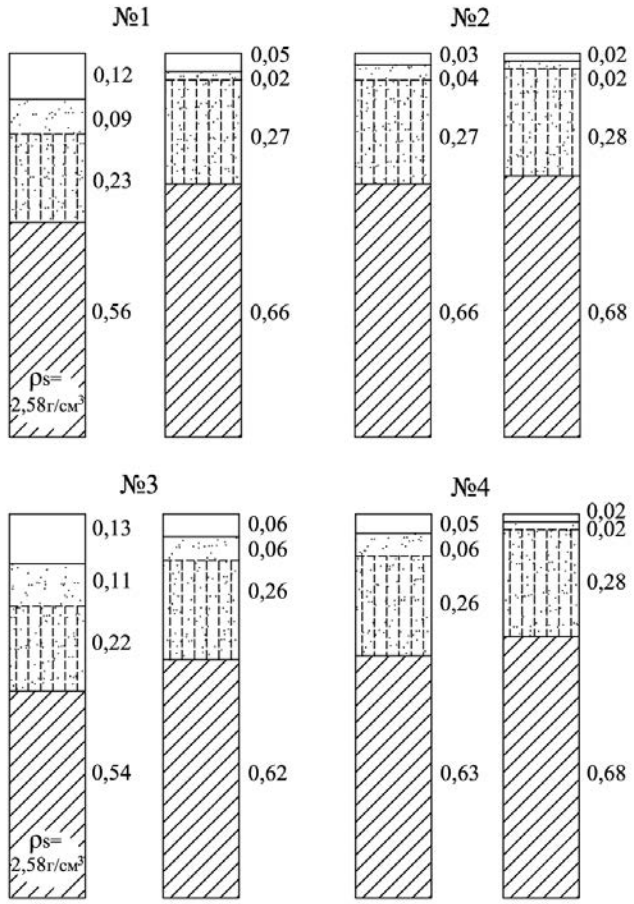

Рисунок 7 – Співвідношенняфазових компонентів у ґрунтах
на позначці підошви штампів до і після випробувань

Скорочення об’єму пор при ущільненні є наслідком збільшення об’єму мінеральних часток з плівками молекулярно-зв'язаної води. Підвищення щільності супроводжується витисненням гравітаційної частини води і газу. Результати зміни співвідношень фазових компонентів наведені в табл. 4.

Так, в основі дослідного штампу №1 на позначці примикання зони деформації до підошви штампа об’єм пор, під впливом прикладеного навантаження, знизився на 10 %. При цьому в

порах, які залишились, ємність молекулярно–зв'язаної води збільшилася на 4 %, а ємність гравітаційної частини води і газу, по кожному компоненту, знизилися на 7 %.

Таблиця 4 – Стан фазових компонентів на позначці підошви дослідних штампів до і після ущільнення статичним навантаженням

№ досліду	Стан ґрунтів до і після ущільнення	Об'єм, д.о.					
		V_s	V_n	V_w	$V_{w,m}$	$V_{w,гр}$	V_g
1	до	0,56	0,4	0,32	0,23	0,09	0,12
	після	0,66	0,34	0,29	0,27	0,02	0,05
	зміни	+0,1	-0,1	-0,03	+0,04	-0,07	-0,07
2	до	0,54	0,46	0,33	0,22	0,11	0,13
	після	0,62	0,38	0,32	0,26	0,06	0,06
	зміни	+0,08	-0,08	-0,01	+0,04	-0,05	-0,07
3	до	0,66	0,34	0,31	0,27	0,04	0,03
	після	0,68	0,32	0,30	0,28	0,02	0,02
	зміни	+0,02	-0,02	-0,01	+0,01	-0,02	-0,01
4	до	0,63	0,37	0,32	0,26	0,06	0,05
	після	0,68	0,32	030	0,28	0,02	0,02
	зміни	+0,05	-0,05	-0,02	+0,02	-0,04	-0,03

Примітка: зміни фазових компонентів: "+" – збільшення, "–" – зменшення

Під впливом тиску стисненого газу відбувається витиснення гравітаційної частини води. Об'єм газу збільшується в результаті витиснення води зі зниженням порового тиску. У цей період (стабілізації деформацій) спостерігаються додаткові деформації ущільнення, швидкість яких знижується в часі.

Тривалість процесу витиснення стисненим газом води визначає тривалість стабілізації деформацій, яка залежить від об'єму зони деформації. В основах штампів площею 0,03...0,1м^2 з малим об'ємом зони ущільнення процес стабілізації деформацій до умовної величини швидкості її наростання триває в лесових ґрунтах кілька діб [5]. В основах фундаментних плит площею більше 400 м^2 її тривалість становить кілька десятиліть [6].

Висновки

- Процес ущільнення супроводжується зниженням об'єму пор в результаті збільшенняоб'єму мінеральних часток і молекулярно–зв'язаної води в одиниці об'єму ґрунту.
- Скорочення об'єму пор викликає зниження гравітаційної вологоємності і газоємності. При цьому скорочення гравітаційної частини води відбувається в результаті її витиснення з пор ґрунту, а скорочення газоємності є наслідком його ефузії, стиснення і дифузії.
- У період стабілізації деформацій ущільнення під впливом постійного навантаження в результаті витиснення води відбувається збільшення об'єму газу і зниження його тиску.
- В період стабілізації деформацій ущільнення під впливом постійного навантаження відбувається дуже повільне зниження порового тиску в результаті витиснення порової води стисненим газом. Тиск газу знижується та викликає незначне додаткове ущільнення.

Використана література

1. Герсеванов Н. М. Теоретические основы механики грунтов и их практические применения / Н. М. Герсеванов, Д. Е. Польшин.–М.: Стройиздат,1948. –274 с.
2. Лебедев А. Ф. Почвенные и грунтовые воды / А. Ф. Лебедев // Издание четвертое. – Изд-во Академии Наук СССР. – М. – Л. – 1936. – 314 с.
3. Приклонский В. А. Грунтоведение / В.А. Приклонский, Издание третье. – Ч.1. – М. –: Госгеолиздат, 1955. – 430 с.
4. Тугаенко Ю. Ф. Некоторые особенности уплотнения просадочных грунтов тяжелыми трамбовками / Ю. Ф. Тугаенко, Основания и фундаменты. – К.: Будівельник, 1969. – Вып. 2. – С. 99-103.

5. Тугаенко Ю. Ф. Методика определения параметров деформаций глинистых грунтов / Ю. Ф. Тугаенко, М. В. Марченко // Инженерная геология. – 1984. – №1. С.86 – 94.
6. Тугаенко Ю. Ф. Развитие деформаций в основаниях фундаментов, способы их ограничения и методы оценки / Ю. Ф. Тугаенко – Одесса: Астропринт, 2003. – 224 с.
7. Гольдштейн М. Н. Механические свойства грунтов / М. Н. Гольдштейн. – М: Стройиздат, 1973. – 375 с.

Тугаєнко Юрій Федорович **–** д-р техн. наук, професор, професор кафедри основ і фундаментівОдеської державної академії будівництва та архітектури.
Марченко Михайло Васильович **–** канд. техн. наук, доцент,доценткафедри основ і фундаментів Одеської державної академії будівництва та архітектури.
Логінова Людмила Олександрівна **–** канд. техн. наук, інженер, доцент кафедри основ і фундаментів
Одеської державної академії будівництва та архітектури.
Абуладзе Людмила Григорівна – інженер кафедри основ і фундаментів Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Тугаенко Юрий Федорович – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры оснований и фундаментов Одесской государственной академии строительства архитектуры.
Марченко Михаил Васильевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры оснований и фундаментов Одесской государственной академии строительства архитектуры.
Логинова Людмила Александровна – канд. техн. наук, инженер, доцент кафедры оснований и фундаментовОдесской государственной академии строительства архитектуры.
Абуладзе Людмила Григорьевна **–** инженер кафедры оснований и фундаментов Одесской государственной академии строительства архитектуры.

Tugaenko Yuri – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Bases and foundations Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture.
Marchenko Michael. – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Bases and foundations Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture.
Loginova Lyudmila **–** Cand. Sc. (Eng.), Engineer, Assistant Professor of the Department of Bases and foundations Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture.
Abuladze Lyudmila – engineer of the Department of bases and foundationsOdessa State Academy of Civil Engineering and Architecture.