

Укрепване с микропилоти на фундаменти върху преовлажнен лъос

Петър Карачоров

Карачоров, П., 1997. Strengthening of Foundations on Moistened Loess by Micropiles. — *Eng. Geol. and Hydrogeol.*, 24, 67-76.

The loess ground moistening very often provokes considerable deformations of buildings and equipments as a result of irregular settlement of their foundations. A method for strengthening of the system ground base-foundations by micropiles is proposed. Their application leads to overcoming of the moistened zone and transferring the loading to the undisturbed part of the loess base. The bearing capacity of the micropiles is determined by calculation method and than verified by in situ static loading test for every specific case of application. The use of this method has proved its qualities in buildings' and equipments' foundation strengthening of loess collapsible under additional load.

Address: Bulgarian Academy of Sciences, Geological Institute, 1113 Sofia

Преовлажняване на лъосовата земна основа се наблюдава във всички по-големи градове на Дунавската равнина. Само в град Русе са регистрирани повече от 250 сгради и съоръжения, деформирани от неравномерно слягане вследствие на преовлажняване. Това са главно два типа сгради — архитектурни паметници от края на миналия и началото на настоящия век в старата част на града и по-нови сгради в по-късно застроени квартали.

Сградите са фундаирани най-често чрез ивични или единични фундаменти в средната или долната част на първи лъосов хоризонт, който се характеризира с добре изразена пропадъчност при навлажняване и допълнителен товар. Надолу в геоложкия разрез следва по-слабо деформируемата първа погребана почва, а под нея е мощният и силно пропадъчен втори лъосов хоризонт. Следват други лъосови хоризонти, значително по-плътни и неучастващи в деформирането на системата земна основа — фундамент. Водопроводните и канализационните инсталации за сградите са заложени в близост с основната плоскост на фундаментите. Водопроводните инсталации са често на възраст 70—80 години от началното водоснабдяване на града и е естествено да са напълно физически амортизирани. Това предизвиква аварии по водопровеждащите комуникации, вследствие на което се преовлажнява земната основа. Преовлажняването пък предизвиква пропадане на лъосовата основа, особено значимо там, където е приложен допълнителен вертикален товар от фундаментите. Те претърпяват вертикално преместване, което за цялата сграда или съоръжение се проявява като неравномерно слягане. При по-старите по-

стройки с носещи зидове и без цялостен скелет ефектът на деформациите засяга само част от сградата. При по-новите сгради със стоманобетонен скелет деформациите се отразяват много често на цялата сграда.

От зачестилите напоследък аварии на улични водопровеждащи комуникации се преовлажняват и по-големи градски площи, което засяга едновременно няколко сгради. Такъв е случаят с един микрорайон в старата част на град Русе, който е обезлюден.

Състояние на проблема

Доскоро при установяване на деформации по сгради и съоръжения, причинени от пропадане на преовлажнен лъос, се извършваше единствено ремонт на авариралите водопроводни съоръжения. Изследванията се насочваха единствено за откриване на евентуалния източник на навлажняването, а в земната основа не се изпълняваха укрепителни работи. Деформациите по сградите, причинени от неравномерно слягане, продължаваха да се развиват. Те от своя страна предизвикваха нови нарушения на водопровеждащите системи, имащи за последствие течове. Следва ново проявяване на слягане от допълнително преовлажнен лъос. Така неблагоприятията се развиваха на нови нива във вид на спирала и като че ли не се виждаше изход от аварийната ситуация.

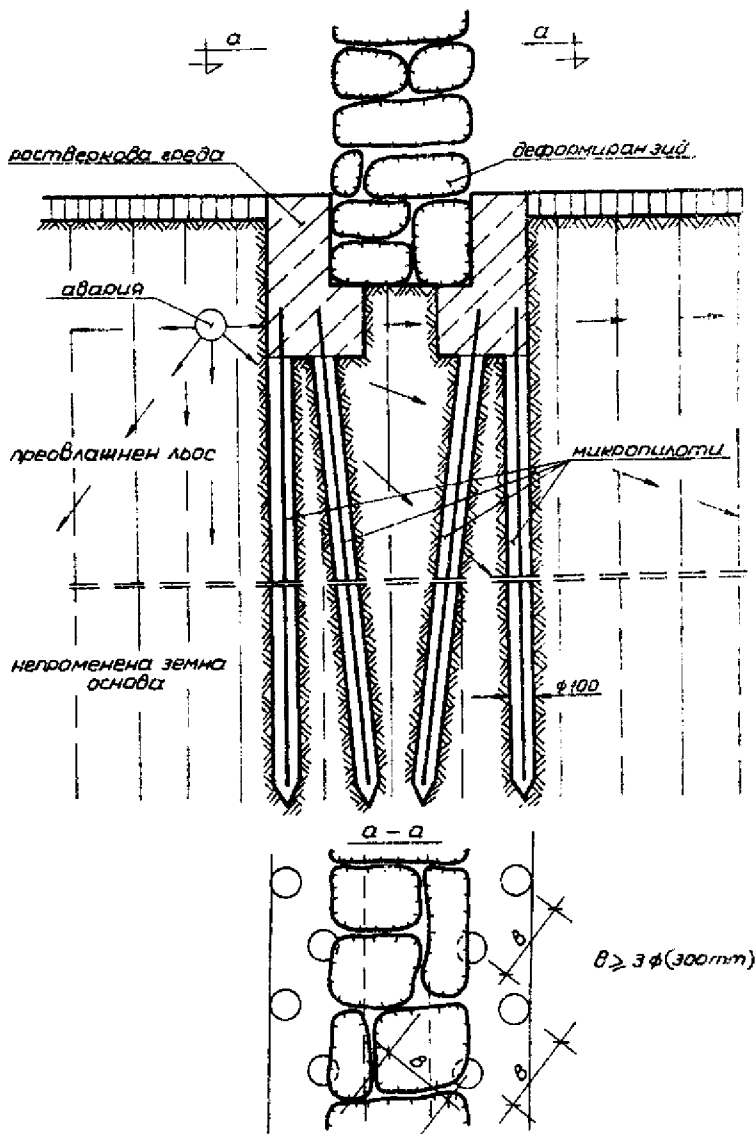
Пропадането на преовлажнения лъос, изразяващо се в слягане, се дължи на рязко влошаване на якостно-деформационните му свойства при постъпване на вода. Така например при нормално естествено водно съдържание $W=16-19\%$ модулът на обща деформация за лъоса е $E=12-15$ МПа, а когато W се увеличи до $23-25\%$, E намалява до $3-4$ МПа. Възможностите на лъоса за слягане достигат до $8-9$ cm за всеки линеен метър от преовлажнената зона.

Напоследък у нас за укрепване на деформирани сгради и съоръжения с успех се експериментират няколко метода. Първата група методи целят укрепване на земна основа и фундаменти, а втората — осушаване на преовлажнения лъос и възстановяване на якостните му свойства, характерни за естествено ненарушено състояние.

В настоящия материал се разглежда един от първата група методи, а именно методът за укрепване на преовлажнена лъосова основа и деформирани фундаменти чрез прилагане на система от микропилоти. Описват се основните принципи и изчислителната схема на метода и съвсем накратко резултатите от досегашните приложения.

Същност на предлагания метод, област на приложение

При аварийна ситуация за сградата чрез микропилоти се цели спиране на процеса на слягане на фундаментите, заложи в преовлажнената лъосова земна основа. Ефектът се постига чрез поемане на определена част от натоварването в основната фуга и предаване в дълбочина. Обикновено се търси преминаване на дебелината на преовлажнената зона и достигане на ненарушен, в естествено състояние лъосов хоризонт. Част от натоварването на фундамента се поема от микропилотите чрез околното триене и върховото съпротивление. Горната част (главите) на микропилотите се обединява в роствер-



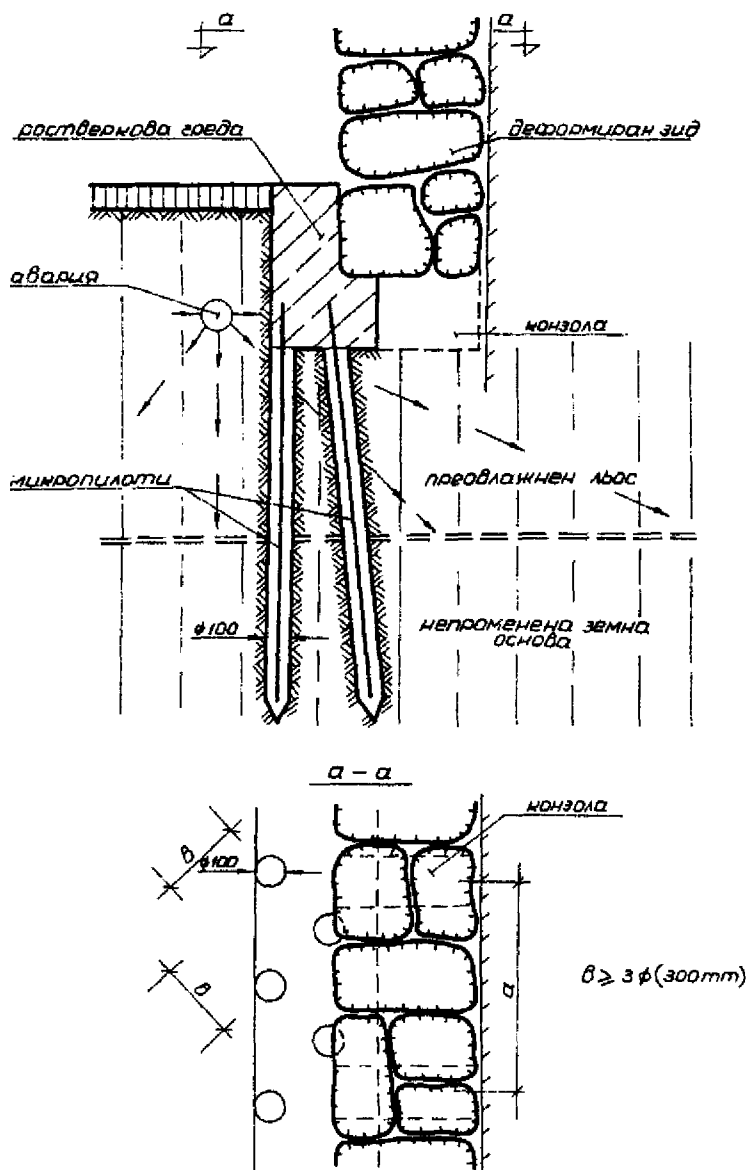
Фиг. 1. Укрепване на земна основа и фундаменти посредством система от микропилоти при двустранно третиране

Fig. 1. Underpinning of ground and foundations by micropiles system — bilateral treatment

кова греда, чрез която се постига равномерно предаване на натоварването посредством сигурна връзка с фундамента. Освен това самата ростверкова греда предава усилия върху преовлажнения лъос, разтоварвайки допълнително фундамента (фиг. 1—3).

Освен при преовлажнен лъос този метод се прилага и при неуплътнени насипни почви. Микропилотите преминават през цялата дебелина на насипа и достигат до естествена земна основа, където предават част от натоварването си.

Във връзка със сеизмично осигуряване на сгради често се налага усилване

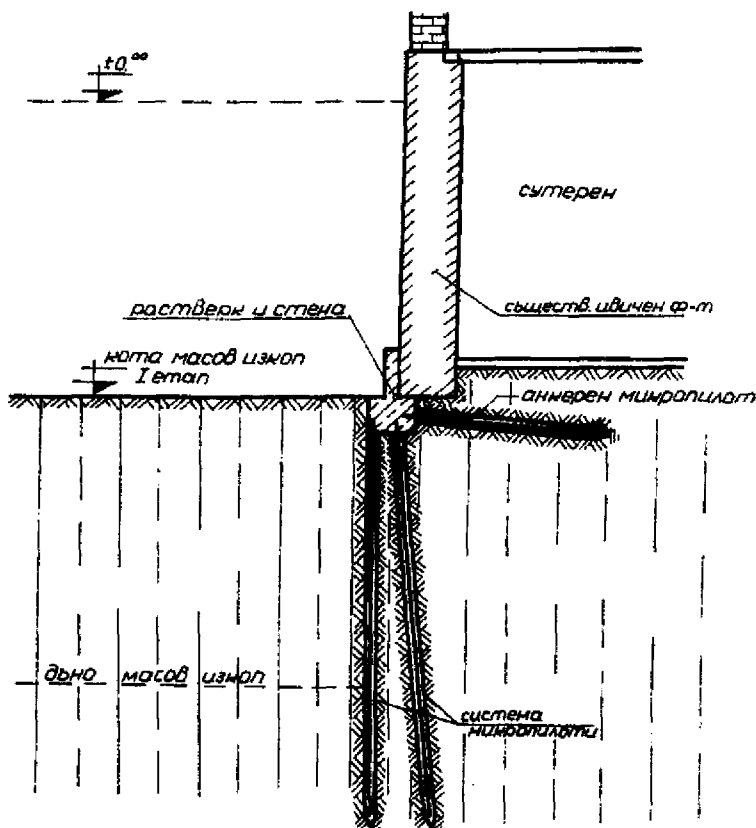


Фиг. 2. Укрепване на земна основа и фундаменти посредством система от микропилоти при едностранно третиране

Fig. 2. Underpinning of ground and foundations by micropiles system — unilateral treatment

на съществуващи фундаменти. Микропилотите и в този случай могат да се използват с успех (Г р и г о р я н, 1984).

След подходяща обосновка микропилотите могат да се прилагат като армировка при плитки свлачища в лъсови терени (К е з д и, 1978).



Фиг. 3. Укрепване на калканни стени до дълбоки изкопи посредством микропилоти
 Fig. 3. Underpinning of blank wall to deep excavations by micropiles

Изчислителна схема

При определяне на геометричните размери и носещата способност на микропилотите се изхожда от:

- разположението на почвените слоеве в геоложкия разрез;
- дълбочината на преовлажената зона в земната основа под основната фуга на фундамента;
- най-неблагоприятните характеристики на земната основа.

Определянето на изчислителното натоварване N на микропилот, без да се има предвид отрицателното триене, т. е. при затихнало слягане, става по формулата:

$$(1) \quad N = \frac{m}{k_1} (m_R RA + u \sum m_{fi} f_i L_i), \text{ където}$$

- m е коефициент за условие на работа на пилота в почвата;
- $k_1 = 1,4$ — коефициент на сигурност при определяне на носещата способност на пилота чрез изчисляване;
- m_R — коефициент за условие на работа на почвата;

R — изчислително съпротивление на почвата под върха на микропилота в зависимост от консистенцията на почвата I_c и дълбочината, до която достига пилотният връх;

A — площ на опиране на върха на пилота;

u — периметър на пилота;

m — коефициент на работа на почвата по околната повърхнина на пилота;

f_i^p — изчислително съпротивление на триене в зависимост от консистенцията I и дълбочината на залягане на почвения пласт;

L_i^e — дебелина на почвените пластове, през които преминава пилотът.

Определянето на изчислителното натоварване на микропилот при наличие на отрицателно триене, т. е. при незатихнало слягане на почвата около пилота, се извършва по формула (2)

$$(2) \quad N = \frac{m}{k_1} (m_R R A + u \sum m_{fi} f_i L_i - u \sum m'_{fi} f'_i L'_i),$$

където освен известните от формула (1) коефициенти новите са:

m'_{fi} — коефициент на работа на почвата по околната повърхнина на пилота и отчитащ дебелината на преовлажнената зона;

f'_i — изчислително съпротивление на отрицателно триене според консистенцията I_c и средната дебелина на почвения пласт.

При отчитане на сеизмичното въздействие върховото съпротивление на пилота R и околното триене се намаляват с допълнителен коефициент.

Най-напред се определя дълбочината h_e от земната повърхнина, до която не се отчита околното триене (формула 3).

$$(3) \quad h_e = \frac{4}{a_D}, \text{ където}$$

$$(4) \quad a_D = 5 \sqrt{\frac{k \cdot d_{np}}{E_B I}}$$

$E = 25\,000 \text{ MPa}$ е начален модул на еластичността на бетона;

I^B — инерционен момент на напречното сечение на пилота;

d — приведен диаметър на пилота;

k_{np} — коефициент на пропорционалност.

Изчислителното натоварване на микропилот се определя по формулата

$$(5) \quad N = \frac{m}{k_1} (m_R m_c R A + u \sum m_{fi} m_c f_i L_i),$$

където освен описаните по-горе коефициенти присъства:

m_c — допълнителен коефициент за условие на работа при сеизмично въздействие за съответен сеизмичен район ($m = 0,9$ за VIII степен по MSK).

Формулите (1) до (5) са заимствани от БДС 8498-71. Пилоти стоманобетонни.

Доказване на носещата способност на микропилот

Най-сигурният начин за доказване на носещата способност на микропилот е пробното статично натоварване (Х и л о б о к, 1970). То позволява да се получи зависимост между натоварване и слягане. Провежда се съгласно БДС 2419 — 74 „Фундиране с пилоти. Пробно статично натоварване на пилоти“.

Изпитването се извършва 28 дни след изграждането на пилота. В този период от време бетоновата смес добива стандартна якост. Натоварването се осъществява на стъпала 1/10—1/15 от предполагаемото гранично натоварване на пилота Φ , като се изчаква затихване на слягането на всяко стъпало. То следва да бъде по-малко от 0,1 mm за последния половин час. След като се достигне изчислителният товар на микропилота $N_{изч}$, се изчаква затихване на деформацията. Изчислителното натоварване на микропилота се определя по формулата

$$(6) \quad N_{изч} = \frac{m\Phi}{K_1}, \text{ където}$$

Φ е носещата способност, равна на силата, при която се получава рязко потъване на пилота;

m — коефициент за условията на работа;

K_1 — коефициент на сигурност, $K_1 = 1,4$.

$N_{изч}$ се определя за слягане 20 mm.

Непосредствено след пробното статично натоварване на микропилота (фиг. 4) до него в земната основа се прокарва проучвателен сондаж за установяване на естественото водно съдържание W , при което работи земната основа заедно с микропилота.

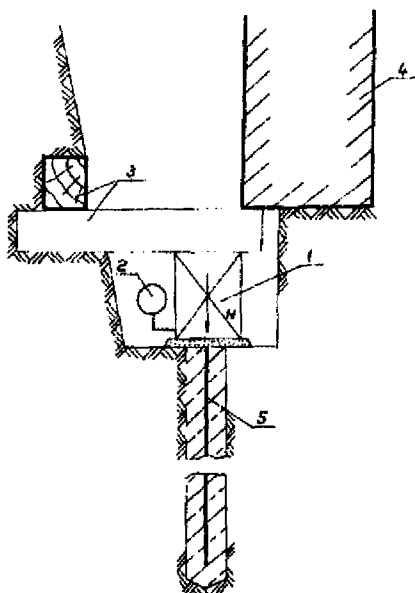
Резултатите от извършеното изпитване се оформят в протокол с окончателни данни за носещата способност $N_{изч}$ за група микропилоти. Обикновено групата се състои от 50 микропилота, от които се изпитват два.

Технология на изпълнение

Решаването на всеки конкретен случай започва с изследване на земната основа (за предпочитане непосредствено под самите фундаменти), на начина на фундиране с изясняване на вида на фундаментите и описание на евентуално получените повреди по сградата или съоръжението. Изследването на земната основа и фундаментите се извършва чрез сондажи, изпълнявани ръчно или механизирани, вертикални или под подходящ наклон. Чрез сондажите се получава информация за вида и качествата на земната основа, оконтурва се обемът на преовлажнената зона около фундаментите на сградата или съоръжението.

След определяне на вида, размерите и бройките на микропилотите по изчислителен път съобразно по-горе описаната методика се пристъпва към изпълнението им.

Изграждането на микропилоти започва с изработване на сондажен отвор. Самото сондиране се извършва с ръчна или механизирани сонда в зависимост от условията. В затворени помещения се работи с ръчен или с механизирани инструмент, но с електрозадвижване. При работа на открито или в добре вентилирано помещение се използва и високопроизводителен инструмент с



Фиг. 4. Схема на пробно статично натоварване

1 — натоварващо устройство; 2 — индикатор от часовников тип с точност 0,01 mm; 3 — опорна конструкция; 4 — фундамент; 5 — микропилот

Fig. 4. Scheme of test static loading at micropile

1 — jack; 2 — indicator; 3 — bearing construction; 4 — foundation; 5 — micropile

двигател с вътрешно горене. Ръчното сондиране се изпълнява на къси рейсове по 0,15—0,20 m с непрекъснато почистване на просондирания материал от магазина на уреда. При механизирания сондиране се използва шнеков способ. В момента съществуват възможности за изработване на отвори с диаметри $\varnothing 70$, $\varnothing 100$, $\varnothing 150$ за микропилоти и $\varnothing 250$ за пилоти. Микропилотите имат дължина обикновено $L=2,50-4,50$ m.

Следващите операции са армиране и бетониране. Армировката на микропилотите до $\varnothing 100$ представлява един прът от арматурна стомана клас А II или А III, а при по-големите диаметри се предвижда армировъчен скелет, съставен от надлъжна и напречна армировка. Бетонирането се извършва с филцов бетон клас В 15 в пластична консистенция. Полагането става на слоеве от по 50 cm, а уплътняването — с иглен вибратор.

Приложение

Укрепване на земна основа и фундаменти е приложено досега на повече от 30 обекта, в това число 11 жилищни сгради в гр. Силистра, два промишлени цеха, няколко жилищни блока и училища, всички в Русе, жилищна сграда в Свищов и други.

По-долу се описва приложението на метода на промишления цех на фирмата „Оргахим“ в Русе.

Сградата е двуетажна постройка без сутерен с размери в план 30,25×6,10 m и височина 8,00 m. Изпълнена е със стоманобетонов скелет и ивични фундаменти. На разстояние 4 m от сградата преминава естакада от тежък тип за

междучехови комуникации. Фундирането на двата обекта е осъществено в льосова земна основа от I тип по пропадъчност.

По време на експлоатацията сградата е претърпяла деформации от неравномерно слягане, развиващо се главно в южната част, достигащо до стойност средно 15 cm. Слягането е провокирано от преовлажняване на земната основа от аварирани водопровеждащи комуникации. Естественото водно съдържание W достига до $W=29\%$ за южната част на сградата до дълбочина 3,70 m под кота готов под, приет за 0,00. В северната част на сградата земната основа е непроменена и $W=17-19\%$.

Деформациите се изразяват в частични нарушения на монолитността на стоманобетонните елементи — колони, греди и фундаменти, силно напукване на тухлените зидове с ограждащи функции, отваряне на фуги между монтажните панели по покрива и западната фасада. Стоманобетонните колони от естакадата са получили отклонение от вертикалата до 2° вследствие неравномерно слягане.

За установяване на качествата на земната основа на промишления цех са направени два шурфа (Ш1 и Ш2) и шест ръчни сондажа (Рс 1—6) с диаметър $\varnothing 70$.

Инструменталните измервания за установяване на развитието на деформациите са геодезическа нивелация и индикаторно-лостов тензометър с точност 0,001 mm за линейни премествания по деформирани конструктивни елементи.

Проектът предвижда изпълнение на система от микропилоти с диаметър 100 и дължина 2,50 m за деформираната и 1,50 m за недеформираната част на сградата. Главите на микропилотите се обединяват в ростверкова греда, която подпират ивичния фундамент. Укрепването се извършва от двете страни на фундаментите, от външната и вътрешната страна на сградата.

След изпълнението на микропилотите и отлежаване на бетона е проведено пробно статично натоварване за определяне на носещата способност. Установява се, че $N_{изм} = 22$ kN за вертикални микропилоти и $N_{изм} = 24$ kN за наклонени под 10° спрямо вертикалата.

Провежданите редовно измервания показват, че вертикалните премествания и деформациите по конструктивни елементи затихват много бързо след изпълнение на укрепителните работи.

Заклучение

1. Методът за укрепване на преовлажнена льосова земна основа заедно с фундаменти посредством система от микропилоти се прилага с успех при пропадъчни льосови почви от I тип.

2. Укрепване на льосова земна основа от II тип по пропадъчност не се препоръчва, освен по изключение, когато преовлажнената зона е с дебелина 2—3 m, няма условия за ново навлажняване и се простира главно в активната зона на фундаментите.

3. Методът е доказал своите възможности и преимущества за преодоляване на повреди по деформирани сгради и съоръжения вследствие преовлажняване на льоса и за подбиване на калканни зидове до дълбоки изкопи на новостроящи се сгради.

Всички внедрявания са извършени съвместно със сондажния специалист Л. Тасев, а част от пробните натоварвания — с доц. Ж. Желев. Авторът изказва благодарности на рецензента ст. н. с. I ст. д-р Димчо Евстатиев.

Л и т е р а т у р а

- Г р и г о р я н, А. А. 1984. Свайные фундаменты зданий и сооружений на просадочных грунтах. М., Стройиздат. 161 с.
- К е з д и, А. 1978. Руководство по механике грунтов. Т. IV. М. 274 с.
- Х и л о б о к, В. Г. 1970. К методике интерпретации испытаний свай статической нагрузкой. — В: Свайные фундаменты в просадочных грунтах. Киев, 53—57.

Одобрена на 12. I. 1995 г.

Accepted January 12, 1995