



УКРАЇНА

(19) UA (11) 35879 (13) A

(51) 6 E02D1/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

### ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

#### (54) СПОСІБ ВИПРОБУВАННЯ ҐРУНТІВ НА ЗРІЗУВАННЯ

(21) 99020578

(22) 02.02.1999

(24) 16.04.2001

(33) UA

(46) 16.04.2001, Бюл. № 3, 2001 р.

(72) Винников Юрій Леонідович, Яковлев Аркадій Вікторович

(73) Полтавський державний технічний університет ім. Ю. Кондратюка (ПДТУ)

(57) Спосіб випробування ґрунтів на зрізування, що включає розміщення зразка ґрунту в металевому кільці, розташування його в приладі для випробування на пряме зрізування, нижня половина якого нерухома, а верхня може переміщуватися під дією горизонтального навантаження, прикладення до зразка ґрунту вертикального наванта-

ження, прикладення до верхньої частини приладу зростаючого горизонтального навантаження ступеннями, який відрізняється тим, що до зразка ґрунту послідовно прикладається не менше двох значень вертикального навантаження, причому кожне наступне більше попереднього, а горизонтальне навантаження, яке прикладається на кожному із значень вертикального, доводиться до величини, при якій приріст горизонтальної деформації зразка на кожному із значень вертикального навантаження досягає величини, що дорівнює відношенню граничного значення горизонтальної деформації зразка до кількості значень вертикального навантаження на зразок, після чого вертикальне навантаження доводиться до наступного значення.

Винахід відноситься до будівництва, а саме, - до способів випробування ґрунтів на зрізування, за результатами яких визначають їх характеристики міцності.

Відомий спосіб випробування ґрунтів на зрізування [1, с. 310 та рис. 90], що вміщує в себе відривання шурфу, обрізання з усіх боків крім нижньої площини цілику ґрунту природної структури циліндричної чи призматичної форми, взяття його до вертикальної обійми, встановлення на цілик ґрунту зверху штамп, встановлення на цей штамп вертикального домкрату з динамометром, який упирається в упорну балку анкерної системи чи вантажної платформи, встановлення горизонтального домкрату з динамометром між вертикальною обіймою цілику ґрунту та розподільним вертикальним щитом, що спирається на стінку шурфу, прикладення через вертикальний домкрат і штамп до цілику ґрунту постійного вертикального навантаження  $P_i$ , прикладення через горизонтальний домкрат і вертикальну обійму до цілику ґрунту зростаючого горизонтального навантаження  $T_i$  ступеннями до моменту зрізування цілику ґрунту за фіксованою горизонтальною поверхнею при граничному горизонтальному навантаженні  $T_{im}$ . Випробування проводять не менше трьох раз при різних значеннях вертикального навантаження. Опір зрізуванню для кожного з випробувань  $\tau_{im}$  визначають з виразу

$$\tau_{im} = T_{im} / A,$$

де  $A$  - площа поперечного перерізу цілику ґрунту.

Після цього визначають залежність опора зрізуванню від вертикального навантаження

$\tau_{im} = f(P_i)$ , наприклад, графічним шляхом.

Недоліками цього способу є високі трудомісткість і вартість польових випробувань, а також тривалість підготовчих робіт.

Найбільш близьким технічним рішенням є спосіб випробування ґрунтів на зрізування [2, с. 92-93 та рис. 5.4-5.6], що включає розміщення зразка ґрунту в металевому кільці, розташування його в приладі для випробування на пряме зрізування, нижня половина якого нерухома, а верхня може переміщуватися під дією горизонтального навантаження  $T_i$ , прикладення до зразка ґрунту вертикального навантаження  $P$ , постійного на протязі одного випробування, прикладення до верхньої частини приладу зростаючого горизонтального навантаження  $T_i$  ступеннями, поки не відбудеться зрізування зразка ґрунту за фіксованою горизонтальною площиною між верхньою та нижньою частинами приладу. Після випробування будують графік у координатах: опір зрізуванню  $\tau$  - горизонтальна деформація зразка  $\Delta l$ . Опір зрізуванню визначають з виразу

$$\tau = P / A,$$

де  $A$  - площа поперечного перерізу зразка ґрунту.

Цей графік дозволяє визначити граничний опір зрізуванню  $\tau_{im}$ .

(19) UA (11) 35879 (13) A

Випробування проводять не менше трьох раз при різних значеннях вертикального навантаження  $P_i$ . За їх результатами будують другий графік – у координатах: граничний опір зрізуванню  $\tau_{im}$  - вертикальна напруга  $\sigma$ , який, як показали численні дослідження [2], являє собою пряму. При цьому вертикальну напругу визначають з виразу

$$\sigma = P / A.$$

Ознаками, загальними з даним об'єктом, є: розміщення зразка ґрунту в металеве кільце, розташування його в приладі для випробування на пряме зрізування, нижня половина якого нерухома, а верхня може переміщуватися під дією горизонтального навантаження, прикладення до зразка ґрунту вертикального навантаження, прикладення до верхньої частини приладу зростаючого горизонтального навантаження ступенями.

Недоліками прототипу є висока трудомісткість цього способу випробування ґрунтів на зрізування, внаслідок необхідності проведення не менше трьох дослідів при різних значеннях вертикального навантаження  $P_i$  та складність підготовчих робіт до нього, що зумовлене необхідністю випробувань кількох зразків ґрунту, які б знаходились в однаковому стані, так звані "зразки-близнюки".

В основу винаходу поставлена задача удосконалення способу випробування ґрунтів на зрізування, в якому новим режимом прикладення до зразка ґрунту вертикального та горизонтального навантажень забезпечується можливість визначення граничного опору зрізуванню  $\tau_{im}$  при різних значеннях вертикального навантаження  $P_i$  та побудови графіку в координатах "граничний опір зрізуванню  $\tau_{im}$  - вертикальна напруга  $\sigma$ " у межах одного випробування й за рахунок цього кількість дослідів обмежується одним і відповідає необхідності підготовки кількох зразків ґрунту, які б знаходились в однаковому стані.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі випробування ґрунтів на зрізування, який включає розміщення зразка ґрунту в металевому кільці, розташування його в приладі для випробування на пряме зрізування, нижня половина якого нерухома, а верхня може переміщуватися під дією горизонтального навантаження, прикладення до зразка ґрунту вертикального навантаження, прикладення до верхньої частини приладу зростаючого горизонтального навантаження ступенями, згідно винаходу, до зразка ґрунту послідовно прикладається не менше двох значень вертикального навантаження, причому кожне наступне більше попереднього, а горизонтальне навантаження, яке прикладається на кожному із значень вертикального, доводиться до величини, при якій приріст горизонтальної деформації зразка на кожному із значень вертикального навантаження досягає величини, що дорівнює відношенню граничного значення горизонтальної деформації зразка, наприклад, 5 мм до кількості значень вертикального навантаження на зразок, після чого вертикальне навантаження доводиться до наступного значення.

На фіг. 1 зображено приклад графіку результатів випробування ґрунту на зрізування в координатах: опір зрізуванню  $\tau$  - горизонтальна деформація зразка  $\Delta l$ ; на фіг. 2 - графік результатів цих

випробувань ґрунту на зрізування в координатах: граничний опір зрізуванню  $\tau_{im}$  - вертикальна напруга  $\sigma$ ; на фіг. 3 подано ще один приклад графіку результатів випробування ґрунту на зрізування в координатах: опір зрізуванню  $\tau$  - горизонтальна деформація зразка  $\Delta l$ ; на фіг. 4 - графік результатів цих випробувань ґрунту на зрізування в координатах: граничний опір зрізуванню  $\tau_{im}$  - вертикальна напруга  $\sigma$ .

Суть винаходу полягає в тому, що кожному значенню вертикального навантаження на зразок ґрунту  $P_i$  відповідає граничний опір зрізуванню  $\tau_{im}$ , який приймають як відношення граничного горизонтального навантаження  $T_{im}$  до площі поперечного перерізу зразка  $A$ :

$$\tau_{im} = T_{im} / A.$$

Тому на кожному значенні вертикального навантаження на зразок ґрунту  $P_i$  горизонтальне навантаження ступенями доводиться до величини, при якій приріст горизонтальної деформації зразка  $\Delta l_{im}$  досягає величини, що дорівнює:

$$\Delta l_{im} = \Delta l_m / n,$$

де  $\Delta l_m$  - граничного значення горизонтальної деформації зразка, яке за ДСТУ Б В.2.1-4-96 [3, с. 11], може бути прийняте  $\Delta l_m = 5$  мм;

$n$  - кількість значень вертикального навантаження на зразок, яке звичайно складає 2-3.

Отже, приріст горизонтальної деформації зразка  $\Delta l_{im}$  на кожному із значень вертикального навантаження при кількості вертикальних навантажень на зразок  $n = 2$  складає  $\Delta l_{im} = 5/2 = 2.5$  мм, а при  $n = 3$   $\Delta l_{im} = 5/3 = 1.67$  мм.

Величину ступеня горизонтального навантаження, що відповідає кожному значенню вертикального навантаження на зразок ґрунту  $P_i$ , приймають рівною:

$$\Delta T_i = 0.05 \sigma_i A,$$

де  $\sigma_i$  - вертикальна напруга в зразку ґрунту від дії вертикального навантаження  $P_i$ , яку визначають з виразу:

$$\sigma_i = P_i / A.$$

Значення горизонтальної деформації зразка  $\Delta l$  фіксують індикатором, наприклад, годинникового типу із точністю до 0.01 мм. При цьому значення горизонтальної деформації зразка  $\Delta l$  з початку випробування і до його закінчення фіксують наростаючим підсумком.

Значення граничного опору зрізуванню  $\tau_{im}$ , що відповідає кожному значенню вертикального навантаження на зразок ґрунту  $P_i$  визначаються шляхом апроксимації експериментальних даних залежності опору зрізуванню  $\tau$  від горизонтальної деформації зразка  $\Delta l$  з подальшою екстраполяції їх до величини граничного опору зрізуванню  $\tau_{im}$ , що відповідає горизонтальній деформації зразка  $\Delta l = 5$  мм, наприклад за логарифмічною функцією. На останньому значенні вертикального навантаження  $P_n$  коли горизонтальна деформація зразка  $\Delta l$  доводиться до значення  $\Delta l_m = 5$  мм, апроксимація та екстраполяція експериментальних даних залежності опору зрізуванню  $\tau$  від горизонтальної деформації зразка  $\Delta l$  не виконується. За граничний опір зрізуванню приймається опір зрізуванню  $\tau$ , що

відповідає горизонтальній деформації зразка  $\Delta l = 5$  мм.

Після визначення всіх (звичайно їх два-три) значень  $\tau_{lm}$  для одного зразка ґрунту встановлюють залежність граничного опору зрізуванню  $\tau_{lm}$  від вертикальної напруги  $\sigma_l$ , наприклад, графічним шляхом.

За залежністю граничного опору зрізуванню  $\tau_{lm}$  від вертикальної напруги  $\sigma_l$ , яка звичайно лінійна, визначають характеристики міцності ґрунту, а саме, - кут внутрішнього тертя  $\varphi$  та питоме зчеплення  $c$ .

Прикладом 1 реалізації способу може служити визначення характеристик міцності важкого пилюватого суглинку, зразок якого об'ємом  $140 \text{ см}^3$  було розміщено в металевому кільці площею поперечного перерізу  $40 \text{ см}^2$ , в приладі для випробовування на пряме зрізування і випробовано при трьох послідовних значеннях вертикального навантаження на зразок ґрунту  $P_1 : P_1 = 0.4 \text{ кН}; P_2 = 0.8 \text{ кН}; P_3 = 1.2 \text{ кН}$ , що відповідає значенням вертикальної напруги  $\sigma_l : \sigma_1 = 0.1 \text{ МПа}; \sigma_2 = 0.2 \text{ МПа}; \sigma_3 = 0.3 \text{ МПа}$ .

Після прикладення до зразка ґрунту першого значення вертикального навантаження  $P_1 = 0.4 \text{ кН}$  горизонтальне навантаження до верхньої частини приладу прикладалося ступенями по  $\Delta T_1 = 20 \text{ Н}$ . При значенні горизонтальної деформації зразка  $\Delta l = 1.67 \text{ мм}$  горизонтальне навантаження склало  $T_1 = 290 \text{ Н}$ , що відповідає опору зрізування  $\tau = 0.0727 \text{ МПа}$ . Після апроксимації дослідних даних логарифмічною функцією отримана залежність опору зрізуванню  $\tau$  від горизонтальної деформації зразка  $\Delta l$  у такому вигляді:

$$\tau = 0.04547 \lg \Delta l + 0.06262,$$

при коефіцієнті кореляції  $r = 0.994$ . При екстраполяції цієї залежності до  $\Delta l = 5 \text{ мм}$  значення граничного опору зрізуванню склало  $\tau_{lm} = 0.095 \text{ МПа}$ . Тому при першому значенні вертикального навантаження  $P_1 = 0.4 \text{ кН}$  граничний опір зрізуванню дорівнює  $\tau_{lm} = 0.095 \text{ МПа}$ .

Після цього вертикальне навантаження доводилося до значення  $P_2 = 0.8 \text{ кН}$ , а горизонтальне навантаження до верхньої частини приладу прикладалося ступенями по  $\Delta T_2 = 40 \text{ Н}$ . При значенні горизонтальної деформації зразка  $\Delta l = 3.33 \text{ мм}$  горизонтальне навантаження склало  $T_2 = 500 \text{ Н}$ , що відповідає опору зрізування  $\tau = 0.125 \text{ МПа}$ . Після апроксимації дослідних даних логарифмічною функцією отримана залежність опору зрізуванню  $\tau$  від горизонтальної деформації зразка  $\Delta l$  у такому вигляді:

$$\tau = 0.125 \lg \Delta l + 0.0595,$$

при коефіцієнті кореляції  $r = 0.992$ . При екстраполяції цієї залежності до  $\Delta l = 5 \text{ мм}$  значення граничного опору зрізуванню склало  $\tau_{2m} = 0.146 \text{ МПа}$ . Тому при другому значенні вертикального навантаження  $P_2 = 0.8 \text{ кН}$  граничний опір зрізуванню дорівнює  $\tau_{2m} = 0.146 \text{ МПа}$ .

Після цього вертикальне навантаження доводилося до значення  $P_3 = 1.2 \text{ кН}$ , а горизонтальне навантаження до верхньої частини приладу прикладалося ступенями по  $\Delta T_3 = 60 \text{ Н}$ . При значенні горизонтальної деформації зразка  $\Delta l = 5.0 \text{ мм}$ , що дорівнює його граничному значенню  $\Delta l_m$ , апрокси-

мація та екстраполяція експериментальних даних залежності опору зрізуванню  $\tau$  від горизонтальної деформації зразка  $\Delta l$  не виконувались. Горизонтальне навантаження склало  $T_3 = 810 \text{ Н}$ , що відповідає опору зрізування  $\tau = 0.203 \text{ МПа}$ . Тому при третьому значенні вертикального навантаження  $P_3 = 1.2 \text{ кН}$  граничний опір зрізуванню дорівнює  $\tau_{3m} = 0.203 \text{ МПа}$ .

На фіг. 1 подано графік у координатах: опір зрізуванню  $\tau$  - горизонтальна деформація зразка  $\Delta l$ , побудований за результатами дійсного випробування. На фіг. 2 подано графік у координатах: граничний опір зрізуванню  $\tau_{lm}$  - вертикальна напруга  $\sigma_l$  - також побудований за результатами дійсного випробування.

За графіком на фіг. 2 встановлені значення характеристик міцності важкого пилюватого суглинку, а саме: кут внутрішнього тертя  $\varphi = 28.3^\circ$  та питоме зчеплення  $c = 39.5 \text{ кПа}$ .

До речі, значення цих же характеристик, що були встановлені за методикою способу-прототипу [2], але з використанням трьох зразків та трьох дослідів, практично не відрізнялися.

Прикладом 2 реалізації способу є аналогічні випробування з іншим зразком суглинку природної вологості, які виконувались при двох послідовних значеннях вертикального навантаження  $P_i : P_1 = 0.4 \text{ кН}; P_2 = 1.2 \text{ кН}$ , що відповідає значенням вертикальної напруги  $\sigma_l : \sigma_1 = 0.1 \text{ МПа}; \sigma_2 = 0.3 \text{ МПа}$ .

Після прикладення до зразка ґрунту першого значення вертикального навантаження  $P_1 = 0.4 \text{ кН}$  горизонтальне навантаження до верхньої частини приладу прикладалося ступенями по  $\Delta T_1 = 20 \text{ Н}$ . При значенні горизонтальної деформації зразка  $\Delta l = 2.5 \text{ мм}$  горизонтальне навантаження склало  $T_1 = 370 \text{ Н}$ , що відповідає опору зрізування  $\tau = 0.093 \text{ МПа}$ . Після апроксимації дослідних даних логарифмічною функцією отримана залежність опору зрізуванню  $\tau$  від горизонтальної деформації зразка  $\Delta l$  у такому вигляді:

$$\tau = 0.04547 \lg \Delta l + 0.075,$$

при коефіцієнті кореляції  $r = 0.994$ . При екстраполяції цієї залежності до  $\Delta l = 5 \text{ мм}$  значення граничного опору зрізуванню склало  $\tau_{lm} = 0.107 \text{ МПа}$ . Тому при першому значенні вертикального навантаження  $P_1 = 0.4 \text{ кН}$  граничний опір зрізуванню дорівнює  $\tau_{lm} = 0.107 \text{ МПа}$ .

Після цього вертикальне навантаження доводилося до значення  $P_3 = 1.2 \text{ кН}$ , а горизонтальне навантаження до верхньої частини приладу прикладалося ступенями по  $\Delta T_3 = 60 \text{ Н}$ . При значенні горизонтальної деформації зразка  $\Delta l = 5.0 \text{ мм}$ , що дорівнює його граничному значенню  $\Delta l_m$ , апроксимація та екстраполяція експериментальних даних залежності опору зрізуванню  $\tau$  від горизонтальної деформації зразка  $\Delta l$  не виконувались. Горизонтальне навантаження склало  $T_3 = 750 \text{ Н}$ , що відповідає опору зрізування  $\tau = 0.187 \text{ МПа}$ . Тому при другому значенні вертикального навантаження  $P_3 = 1.2 \text{ кН}$  граничний опір зрізуванню дорівнює  $\tau_{3m} = 0.187 \text{ МПа}$ .

На фіг. 3 подано графік у координатах: опір зрізуванню  $\tau$  - горизонтальна деформація зразка  $\Delta l$ , побудований за результатами дійсного випробування. На фіг. 4 подано графік у координатах:

граничний опір зрізуванню  $\tau_{lm}$  - вертикальна напру- га  $\sigma_i$  - також побудований за результатами дійсно- го випробування.

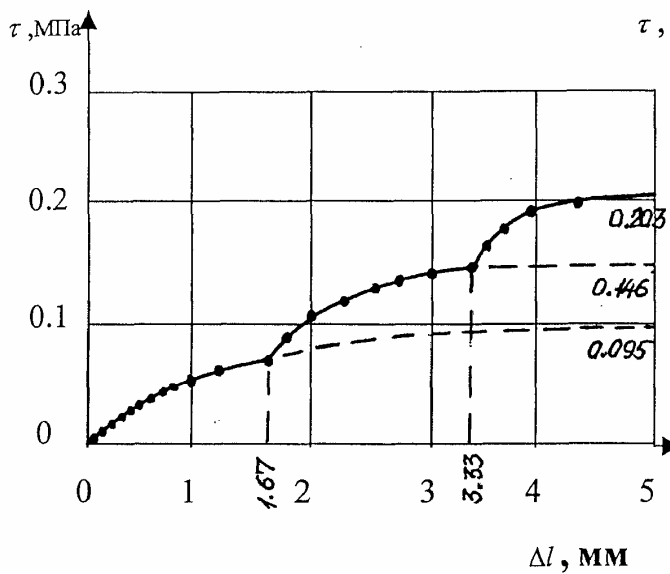
Як видно з фіг. 4, значення характеристик міц- ності суглинку склали: кут внутрішнього тертя  $\varphi = 22^\circ$  та питоме зчеплення  $c = 67$  кПа. Значення цих же характеристик, що були встановлені за ме- тодику способу-прототипу [2], але з використан- ням трьох зразків та трьох дослідів, практично не відрізнялися.

Таким чином, описаний спосіб дозволяє при випробуванні ґрунтів на зрізування обмежити кіль- кість дослідів і зразків ґрунту для них одним. Ефе- ктивність способу полягає в скороченні матеріаль- них витрат і витрат часу для визначення характе-

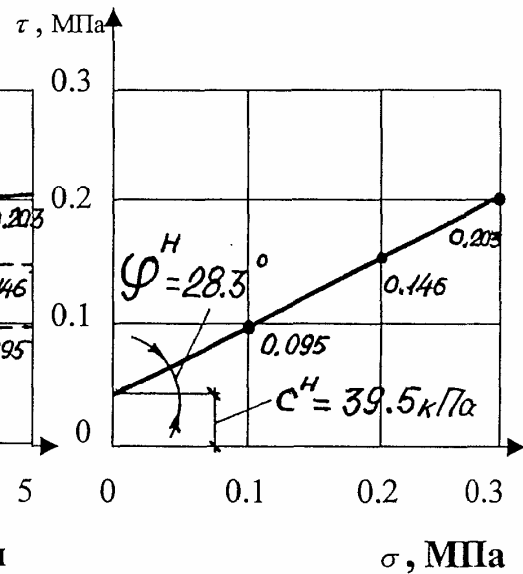
ристик міцності ґрунтів при проведенні інженерно- геологічних вишукувань для будівництва.

Джерела інформації, на які є посилання в опи- сі:

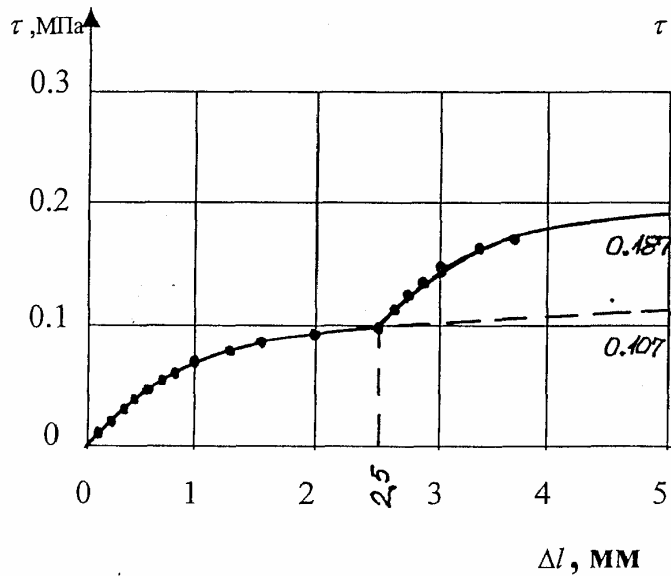
1. Справочник по инженерной геологии. - М.: Не- дра, 1968. - 540 с.
2. Инженерная геология: Механика ґрунтів, основи і фундаменти: Підручник // М.Л.Зоценко, В.І.Ко- валенко, В.Г.Хілобок, А.В.Яковлев. - К.: Вища шк., 1992. - 408 с.
3. ДСТУ Б В.2.1-4-96. Ґрунти. Методи лаборатор- ного визначення характеристик міцності і дефор- мованості. Введений з 15.05.96. - К.: Державний комітет України у справах містобудування і архі- тектури, 1997. - 101 с.



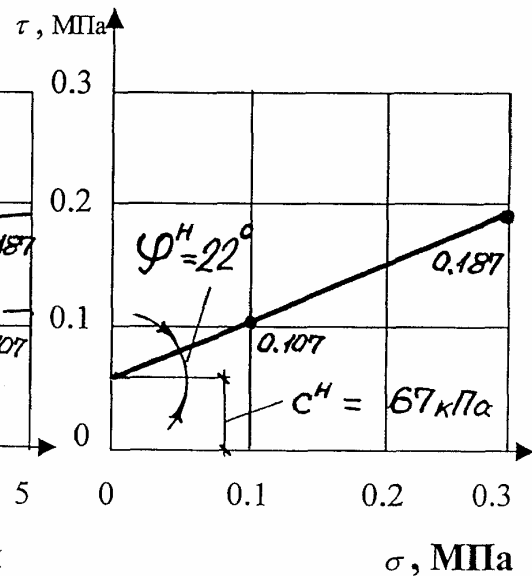
фіг. 1



фіг.2



фiг. 3



фiг. 4

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)  
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26  
(044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку \_\_\_\_\_ 2001 р. Формат 60x84 1/8.  
Обсяг \_\_\_\_\_ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. \_\_\_\_\_

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.  
(044) 268-25-22