



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 146361

(13) U

(51) МПК

G01N 3/08 (2006.01)

G01N 3/02 (2006.01)

G01N 33/38 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ"

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2020 03099**

(22) Дата подання заявки: **25.05.2020**

(24) Дата, з якої є чинними  
права інтелектуальної  
власності: **18.02.2021**

(46) Публікація відомостей  
про державну  
реєстрацію: **17.02.2021, Бюл.№ 7**

(72) Винахідник(и):

**Астахов Валентин Іванович (UA),  
Бабенко Андрій Миколайович (UA),  
Кияшко Володимир Тимофійович (UA),  
Кульбовський Іван Іванович (UA),  
Салій Ігор Вячеславович (UA)**

(73) Володілець (володільці):

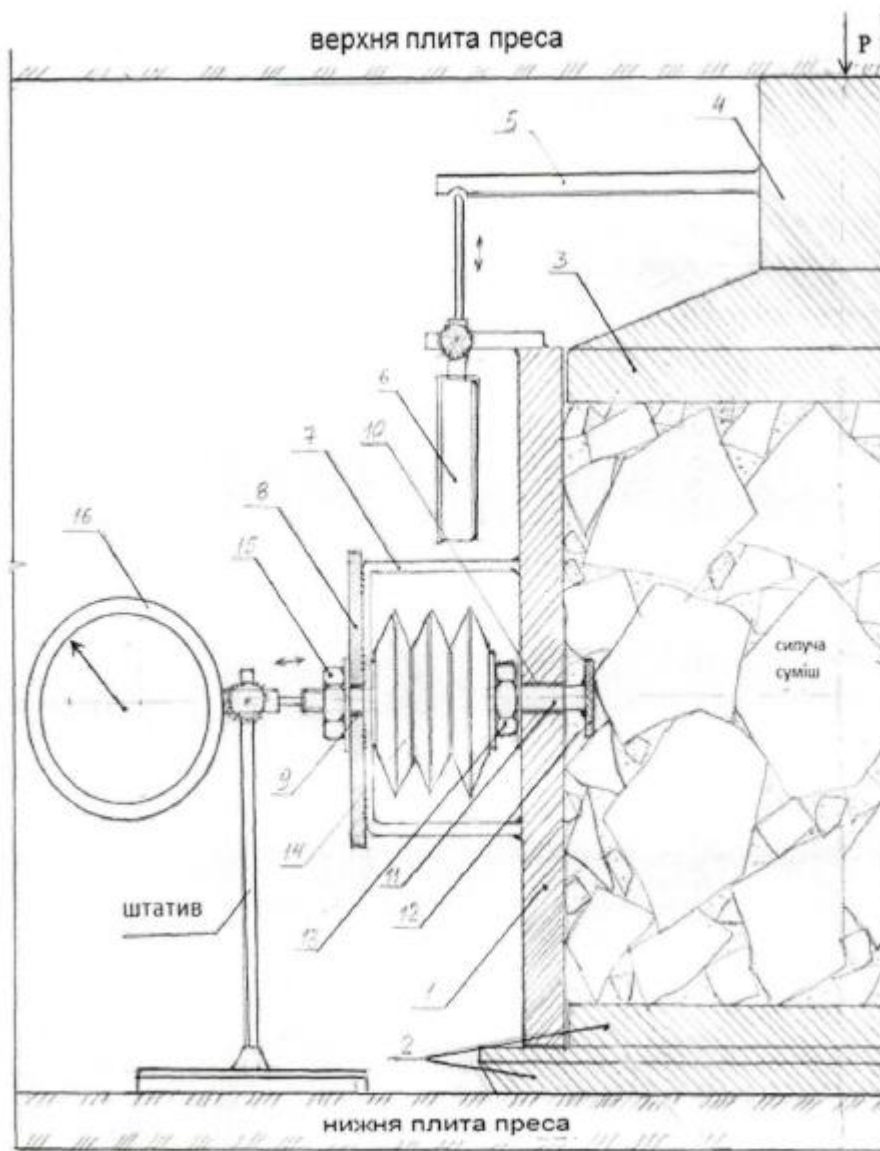
**ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД "ДЕРЖАВНА  
ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ  
ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА  
УПРАВЛІННЯ",  
вул. Митрополита Василя Липківського, м.  
Київ-35, 03035 (UA)**

## (54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИПУЧИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

(57) Реферат:

Пристрій для дослідження властивостей сипучих будівельних матеріалів складається із порожнистого сталевго циліндра, сталевго днища, що знімається, плунжера зі штоком, що виконані як одне ціле, сталевих стержнів, що жорстко приєднані до штока в перпендикулярному до нього напрямі, та індикаторів вимірювання вертикальних деформацій, вимірювальні стержні яких вільно контактують із вказаними сталевими стержнями. До зовнішньої поверхні порожнистого сталевго циліндра в геометричній середині його висоти з використанням П-подібних деталей жорстко приєднана кругова вертикальна сталева стрічка, в якій виконані отвори, співвісно яким виконані отвори в стінці порожнистого сталевго циліндра. Через вказані отвори вільно проходять сталеві болти, до кінцевих ділянок яких зі сторони внутрішньої поверхні стінки порожнистого сталевго циліндра жорстко приєднані кругові вертикальні сегментні сталеві смуги. В проміжку між зовнішньою поверхнею стінки порожнистого сталевго циліндра та круговою вертикальною сталевою стрічкою встановлені регулюючі гайки з шайбами, пакети тарілчастих пружин. На протилежній стороні сталевих болтів, що виходять за поверхню кругової вертикальної сталевго смуги, встановлені фіксуючі гайки з шайбами. При цьому на торцях сталевих болтів виконані сферичні заглиблення для шарнірного спірання на них вимірювальних стержнів приладів визначення горизонтальних деформацій матеріалу, що досліджують.

UA 146361 U



Фіг. 1

Корисна модель належить до області дослідження будівельних матеріалів у лабораторних умовах.

У будівельній індустрії широко використовують дорожньо-будівельні нерудні матеріали з природного каменю та відходів промисловості: щебінь, гравій, щебінь з гравію, пісок та суміші з цих матеріалів, які мають різноманітні фізико-механічні властивості. Такі матеріали використовують як наповнювачі для бетонів при виготовленні будівельних конструкцій, а також як конструктивні шари під фундаменти будівель та споруд, як основ під час зведення насипів залізничних та автомобільних доріг [2].

Ці матеріали в незв'язаному стані - сипучі (без в'язучого, наприклад, цементу) здатні сприймати тільки стискуючі зусилля, на розтяг вони не "працюють". При цьому в напрямку дії стискуючого зусилля виникають вертикальні деформації та напруження, а в горизонтальній площині - деформації вільного бокового розширення [3], визначити значення яких для таких матеріалів неможливо. Якщо обмежити можливість вільного бокового розширення, то виникає боковий розпір, який буде характеризуватися вже не тільки деформаціями, а і напруженнями. У такому стані матеріал, що досліджують, буде використовуватися максимально ефективно з точки зору врахування його фізико-механічних властивостей під час проектування та експлуатації.

Взагалі, при стиску з вільним боковим розширенням повздовжні, поперечні (горизонтальні) деформації та міцність матеріалу визначають дослідженням зразків циліндричної або призматичної форми з використанням тензометрів, тензометричних датчиків або індикаторів вимірювання деформацій. Зразки матеріалу або виготовляють, наприклад, з бетону, або вирізають (випилюють) з масивної глиби матеріалу. Такі доступні та прості методи та прилади досліджень неможливо використати під час дослідження сипучих матеріалів.

Відомі прилади - одометри компресійної дії, де зразок матеріалу поміщають у камеру з еластичними стінками [3, 5], у яких при дії стискуючого зусилля горизонтальні деформації і, відповідно, горизонтальне зусилля діє на еластичну стінку, яка знаходиться під гідростатичним тиском. По зміні гідростатичного тиску визначають поперечні деформації матеріалу.

За таким же принципом запроєктовані, виготовлені і реалізуються сучасні машини для дослідження властивостей матеріалів при одновісному і тривісному стиску [4]. Вони призначені для дослідження гравійних, гравійно-пісчастих, крупновідламкових матеріалів в умовах тривісного напруженого стану, по конструктивному рішення вони технічно складні, мають високу вартість та розраховані на максимальне стискуюче навантаження в 50-100 кН, а відповідно до діючих в Україні норм міцність (дробильність) щебеневих і гравійних матеріалів визначають при дії стискуючого зусилля не менше 200 кН. Установка ДЗ00 × 600 ГТ1.3.7 цього ж виробника здатна розвивати стискуюче зусилля до 500 кН, але також має високу вартість, технічно складна та при тому, що досліджувальний матеріал знаходиться у неприродному для нього стані, максимальна крупність повинна не перевищувати 50 мм, а за [2] щебінь може мати крупність до 120 (150) мм включно. Крім цього, час дослідження однієї проби матеріалу на установці перевищує 9 годин.

Відомий також пристрій для спостереження зміни деформацій бокового розпору сипучих матеріалів, що досліджують, який являє собою металеву форму квадратного перерізу, в бокові стінки якої вмонтовані чотири мембранні динамометри, два з яких своїми мембранами контактують безпосередньо з матеріалом, що досліджують, для визначення горизонтальних деформацій, а два інші відділені від матеріалу жорсткою сіткою і ними вимірюють тиск порової вологи [3].

Одним з недоліків такого пристрою є, по-перше, значна вартість мембранних динамометрів, а по-друге, деформації бокового розпору визначаються в окремих точках, обмежених розміром мембран.

Найбільш близьким за технічною суттю пристроєм до корисної моделі, що заявляється, є стандартний сталевий циліндр, обладнаний сталевим днищем, що знімається, і плунжером зі штоком, який використовують для визначення міцності (дробильності) та пустотності щебеневих будівельних матеріалів [1]. Додаткове оснащення цього пристрою приладами для визначення вертикальних та горизонтальних деформацій будівельного сипучого матеріалу дасть змогу визначати значення вертикальних та горизонтальних деформацій, коефіцієнтів поперечної деформації, бокового, розпору і відповідно напружень та зусиль у вертикальній та горизонтальній площинах.

У зв'язку з вищевикладеним технічною задачею цієї корисної моделі є розробка відносно дешевого і, відповідно, доступного та простого з технічної точки зору пристрою для визначення міцності, деформативності як щебеневих матеріалів, так і сипучих сумішей з використанням

простих і доступних приладів з дотриманням вимог діючих стандартів до фізико-механічних випробувань та розширення можливостей досліджень.

Для вирішення поставленої задачі комплект із стандартного сталевго циліндра з днищем, що знімається, та плунжером зі штоком додатково обладнують індикаторами вимірювань вертикальних деформацій переміщеннями штока плунжера (відповідно і матеріалу, що досліджують), круговими вертикальними сегментними сталевими стрічками, до яких жорстко прикріплені сталеві болти, що вільно проходять через отвори в стінці сталевго циліндра та в отворах вертикальної кругової сталевго стрічки, що жорстко прикріплена до зовнішньої поверхні порожнистого сталевго циліндра з використанням П-подібних деталей; у проміжку між зовнішньою поверхнею порожнистого сталевго циліндра та вертикальною круговою сталевго стрічкою на болтах улаштовані регулюючі гайки з шайбами, пакет тарілчастих пружин з шайбами та фіксуючі гайки з шайбами з протилежної сторони вертикальної кругової сталевго стрічки; на торці сталевих болтів виконані сферичні заглиблення для шарнірного контакту із вимірювальними стержнями індикаторів вимірювань горизонтальних деформацій матеріалу, що досліджують; для вільного переміщення сталевих болтів у площині вертикальної кругової сталевго стрічки та в стінці порожнистого сталевго циліндра використане еластичне змащення.

Сукупність істотних ознак у порівнянні з найближчим аналогом з незначним технічним переоснащенням дозволяє в короткі терміни провести дослідження матеріалу в його стані, близькому до природного, та відповідно до вимог діючих будівельних норм і отримати фізико-механічні характеристики, необхідні при проектуванні, у першу чергу, основ автомобільних доріг.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями, де на Фіг. 1 зображений фрагмент вертикального розрізу пристрою, а на Фіг. 2 - схематичний план поперечного (горизонтального) розрізу.

Пристрій для дослідження властивостей сипучих будівельних матеріалів складається із порожнистого сталевго циліндра 1, сталевго днища, що знімається, 2, плунжера 3 зі штоком 4, що виконані як одне ціле, сталевих стержнів 5, що жорстко приєднані до штока 4 та контактують із вимірювальними стержнями індикаторів вертикальних переміщень 6, що, в свою чергу, шарнірно (з можливістю монтажу-демонтажу, регулювання) з'єднаний з верхньою частиною зовнішньої поверхні порожнистого сталевго циліндра 1. До зовнішньої поверхні порожнистого сталевго циліндра 1 в її геометричній середині висоти жорстко з використанням П-подібних деталей 7 прикріплена суцільна вертикальна кругова сталева стрічка 8, в якій виконані наскрізні отвори 9, і співвісно їм у горизонтальній площині в геометричній середині висоти стінки сталевго циліндра 1 виконані отвори 10. Через отвори 10 та 9 вільно проходять з можливістю горизонтального переміщення сталеві болти 11, до кінцевих ділянок яких зі сторони внутрішньої поверхні порожнистого сталевго циліндра 1 жорстко прикріплена вертикальна сегментна сталева стрічка 12, а в проміжку між зовнішньою поверхнею порожнистого сталевго циліндра 1 та ближньою поверхнею суцільної вертикальної кругової сталевго стрічки 8 на поверхні сталевих болтів 11 встановлені регулюючі гайки з шайбами 13, пакет тарілчастих пружин з шайбами 14 та фіксуючі гайки з шайбами 15 - за зовнішньою поверхнею суцільної вертикальної кругової сталевго стрічки 8. На вільних торцевих кінцях сталевих болтів 11 виконані сферичні заглиблення для фіксації точки контакту із вимірювальними стержнями індикаторів горизонтальних переміщень 16.

Пристрій для дослідження властивостей сипучих будівельних матеріалів працює таким чином. Попередньо матеріал, що досліджують, розділяють на фракції за крупністю відповідно до діючих будівельних норм та підбирають суміші із матеріалу різних фракцій за умови отримання мінімальної пустотності.

Для лабораторних досліджень використовують два порожнистих сталевих циліндри, перший, що відповідає [1], другий - з системою деталей поз. 7-15 (Фіг. 1). Перший циліндр використовують для визначення міцності (дробильності)  $P_{\max}$  та пустотності матеріалу, що досліджують. По отриманому значенню  $P_{\max}$  формують пакет тарілчастих пружин відповідно до їх технічних характеристик та рівня стискуючого зусилля, що складає  $0,5 P_{\max}$ . Попередньо пакет тарілчастих пружин тарують з визначенням співвідношення "навантаження-деформація" " $P - \varepsilon$ ".

Після цього в другий сталевий циліндр 1 з отворами 10 вставляють кругові вертикальні сегментні сталеві стрічки 12 із сталевими болтами 11. На сталеві болти 11 накручують фіксуючі гайки з шайбами 13, встановлюють пакет тарілчастих пружин із шайбами 14, сталеві болти 11 проходять через отвори 9 у вертикальній круговій сталевій смузі 8 і на них накручують

регулюючі гайки з шайбами 15. Закручуванням фіксуючих гайок з шайбами 13 встановлюють відстань між внутрішньою поверхнею порожнистого сталевго циліндра 1 та круговою вертикальною сегментною сталевго стрічкою 12. Відповідно до тарування "Р-ε" закручуванням гайок з шайбами 15 встановлюють початковий стиск пакета тарілчастих пружин 14.

Перед завантаженням будівельного матеріалу (суміші) у другий порожнистий сталевий циліндр 1 одностороннім скотчем закривають кругові вертикальні сегментні сталеві стрічки 12 для попередження просипання мілких фракцій в отвори 10. Завантажений у порожнистий сталевий циліндр 1 будівельний матеріал (суміш) ущільнюють (вимірювальні прилади не встановлені) і підсипають до рівня на 15 мм нижче верхньої грані стінки порожнистого сталевго циліндра 1.

Після цього встановлюють всі вимірювальні прилади (індикатори вимірювання вертикальних 6 та горизонтальних деформацій 16), фіксують їх показники при нульовому значенні навантаження і в подальшому через шток 4 і плунжер 3 прикладають стискує зусилля ступенями в 1-2 кН/сек. На кожному ступені підйому навантаження фіксують значення показників росту деформацій.

При дії стискує зусилля Р плунжер 3 зі штоком 4 переміщується вниз у вертикальній площині, будівельний матеріал, що досліджують, відповідно стискується, і це переміщення фіксує індикатор вимірювання вертикальних деформацій 6. Одночасно з ростом стискує зусилля будівельний матеріал, що досліджують, деформується у горизонтальній площині, і ці деформації при певному рівні стискує зусилля Р мають мінімальне значення в площині нижче рівня робочої поверхні плунжера 3 та в площині вище поверхні сталевго днища 2 у зв'язку з наявністю сил тертя. Максимальне значення горизонтальних деформацій спостерігають у середині висоти стінки порожнистого сталевго циліндра 1, де встановлені кругові вертикальні сегментні сталеві стрічки 12. При дії на них горизонтального зусилля вони переміщуються у горизонтальній площині, простір між ними і внутрішньою поверхнею стінки порожнистого сталевго циліндра 1 зменшується, одночасно переміщуються у горизонтальній площині сталеві болти 11, стискується пакет тарілчастих пружин з шайбами 14 та переміщуються у горизонтальній площині вимірювальні стержні індикаторів вимірювання горизонтальних деформацій 16, які шарнірно контактують із торцевими кінцями сталевих болтів 11. Конкретне значення горизонтальної деформації матеріалу, що досліджують, визначають як середнє арифметичне значення з 12 показників.

Обробка отриманих даних, побудова графіків зміни середніх значень абсолютних деформацій (окремо вертикальних і горизонтальних) з ростом стискує зусилля Р дає змогу визначити, по-перше, межу пружної роботи будівельного сипучого матеріалу, а по-друге, визначити (спрогнозувати) зусилля поперечного розпору, так як його значення може бути використане при проектуванні несучої здатності опор, що забезпечують пружну роботу сипучого будівельного матеріалу в об'ємному напруженому стані.

Доведено, що величина зусилля бокового розпору сипучих матеріалів при обмеженні їх горизонтального (поперечного) деформування складає певну частку від вертикального стискує зусилля. Тоді горизонтальні напруження бокового розпору ( $\sigma_{\text{зоп}}$ ) складають частку від вертикальних напружень стиску ( $\sigma_{\text{вер}}$ ):

$$\sigma_{\text{зоп}} = \xi \cdot \sigma_{\text{вер}};$$

де:  $\xi$  - коефіцієнт бокового розпору.

Коефіцієнт поперечної деформації (коефіцієнт Пуассона) при відомих значеннях вертикальних  $\varepsilon_{\text{вер}}$  і горизонтальних  $\varepsilon_{\text{зоп}}$  (поперечних) деформацій визначається:

$$\mu = \frac{\varepsilon_{\text{зоп}}}{\varepsilon_{\text{вер}}}.$$

Між коефіцієнтами  $\xi$  і  $\mu$  існує відома залежність [3]:

$$\xi = \frac{\mu}{1 - \mu} \quad \mu = \frac{\xi}{1 + \xi}.$$

Напруження у вертикальній площині:

$$\sigma_{\text{вер}} = E \cdot \varepsilon_{\text{вер}};$$

напруження у горизонтальній площині:

$$\sigma_{\text{гор}} = \xi \cdot E \cdot \varepsilon_{\text{вер}} = \frac{\mu}{(1-\mu)} \cdot E \cdot \varepsilon_{\text{вер}},$$

де:  $E$  - модуль пружності матеріалу.

Умова рівноваги діючих зусиль при пружній роботі сипучого матеріалу:

$$P_{\text{вер}} = P_{\text{гор}}; \quad (1)$$

$$P_{\text{вер}} = \sigma_{\text{вер}} \cdot A = E \cdot \varepsilon_{\text{вер}} \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4},$$

де:  $A$  - площа робочої поверхні плунжера 3;

$d_1$  - діаметр робочої поверхні плунжера 3.

$$P_{\text{гор}} = \frac{\mu}{(1-\mu)} E \cdot \varepsilon_{\text{вер}} \cdot \pi \cdot d_2,$$

де:  $d_2$  - діаметр окружності кругових вертикальних сегментних сталевих стрічок 12.

Із умови (1):

$$(1-\mu)d_1^2 = 4\mu d_2. \quad (2)$$

Вираз (2) дає змогу прогнозувати, наприклад, діаметр  $d_2$  кола розповсюдження пружних напружень при фіксованому значенні діаметра штампа  $d_1$  та певному значенні коефіцієнта  $\mu$ , яке може теоретично коливатися у межах 0÷5. Наприклад, при  $\mu = 0,25$  та  $d_1 = 15$  см значення  $d_2$  складає 168,75 см, а для матеріалу з коефіцієнтом  $\mu = 0,5$  відповідно  $d_2 = 26,25$  см.

Таке прогнозування може бути використане при проектуванні основ автомобільних доріг залежно від властивостей матеріалів дорожнього одягу, тиску від коліс автомобільного транспортного засобу та схеми розміщення автомобіля на проїзній частині.

Джерела інформації:

1 ДСТУ Б В.2.7-71-98 Будівельні матеріали. Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-математичних випробувань.

2 ДСТУ Б В.2.7-30:2013 Матеріали нерудні для щебеневих і гравійних основ та покриттів автомобільних доріг. Загальні технічні умови.

3 Н.В. Орнантський Механика грунтов, Изд-во Московського університета, 1962 г.

4 Установка трехосного сжатия Д 300 × 600 ГТ 1.3.7 про-во НПП "ГЕОТЕК", (Россия), интернет ресурс - режим доступа <http://www.npp-geotek.ru/podbor/?configMain=1&ground=disperse&method> 1 %5B%5D=%D0 %94 %D0 %B8 %D0 %BD%D0 %B0 %D0 %BC%D0 %B8 %D 1 %87 %D0 %B5 %D 1 %81 %D0 %B A%D0 %BE%D0 %B5+%D 1 %82 %D 1 %80 %D0 %B5 %D 1 %85 %D0 %BE %D 1 %81 %D0 %BD%D0 %BE%D0 %B5+%D 1 %81 %D0 %B6 %D0 %B0 %D 1 %82 %DQ%B8 %D0 %B5.

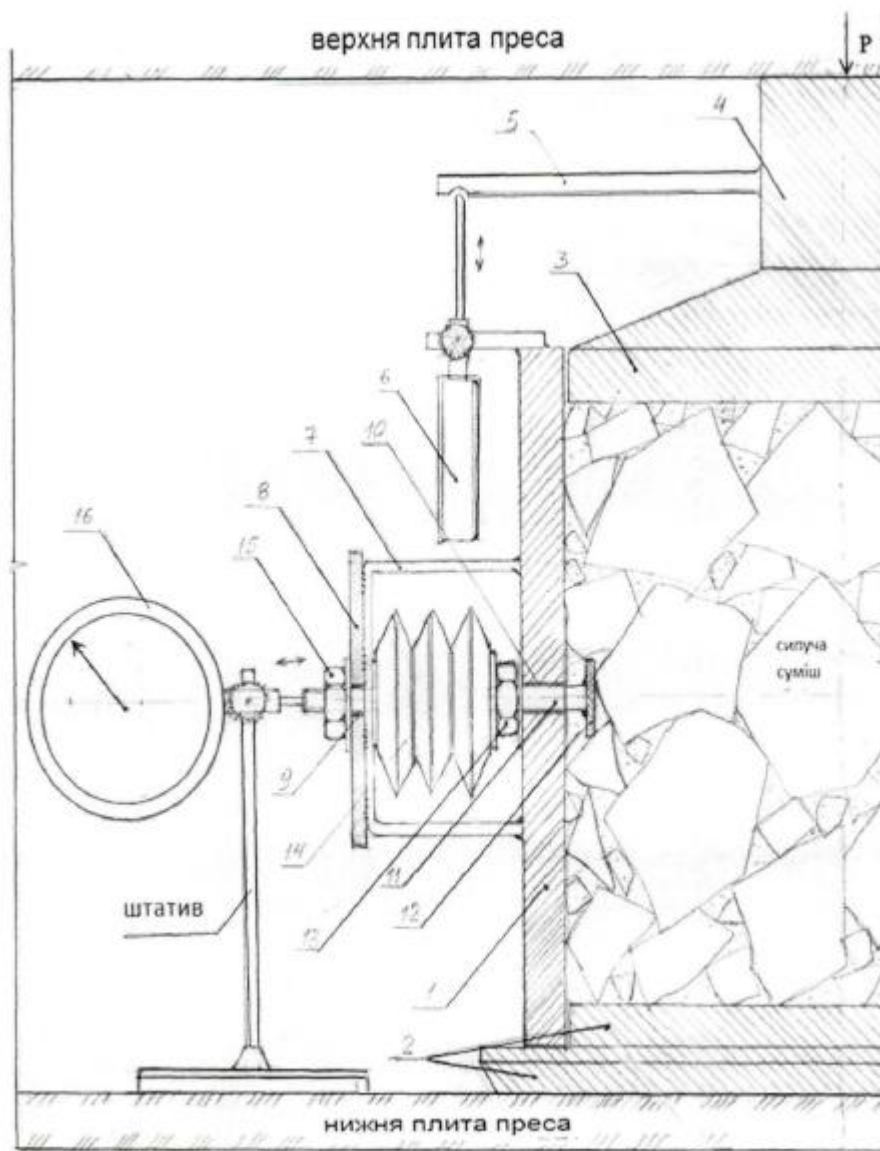
5 Ухов С.Б. Семенов В.В., Знаменский С.Н. Механика грунтов, основания и фундаменты, М., Высшая школа, 2007.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Пристрій для дослідження властивостей сипучих будівельних матеріалів, що складається із порожнистого сталевго циліндра, сталевго днища, що знімається, плунжера зі штоком, що виконані як одне ціле, сталевих стержнів, що жорстко приєднані до штока в перпендикулярному до нього напрямі, та індикаторів вимірювання вертикальних деформацій, вимірювальні стержні яких вільно контактують із вказаними сталевими стержнями, який відрізняється тим, що до зовнішньої поверхні порожнистого сталевго циліндра в геометричній середині його висоти з використанням П-подібних деталей жорстко приєднана кругова вертикальна стальва стрічка, в якій виконані отвори, співвісно яким виконані отвори в стінці порожнистого сталевго циліндра,

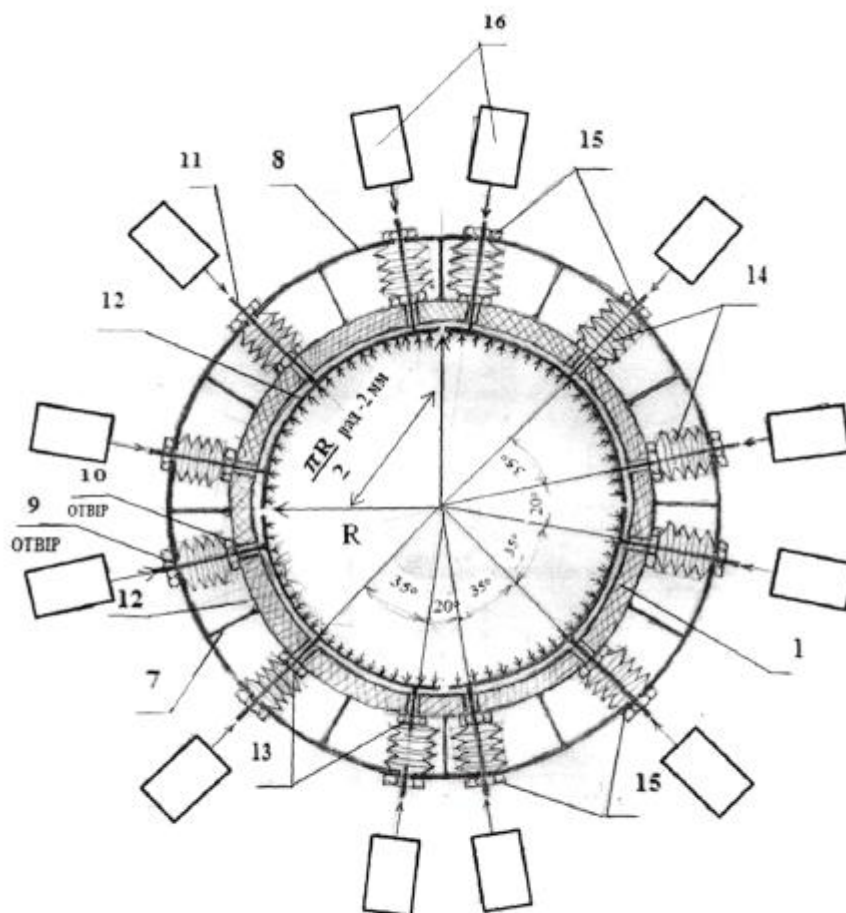
- а через вказані отвори вільно проходять сталеві болти, до кінцевих ділянок яких зі сторони внутрішньої поверхні стінки порожнистого сталевго циліндра жорстко приєднані кругові вертикальні сегментні сталеві стрічки, а в проміжку між зовнішньою поверхнею стінки порожнистого сталевго циліндра та круговою вертикальною сталевго стрічкою встановлені
- 5 регулюючі гайки з шайбами, пакети тарілчастих пружин, а на протилежній стороні сталевих болтів, що виходять за поверхню кругової вертикальної сталевго стрічки, встановлені фіксуючі гайки з шайбами, при цьому на торцях сталевих болтів виконані сферичні заглиблення для шарнірного спираання на них вимірювальних стержнів приладів визначення горизонтальних деформацій матеріалу, що досліджують.
- 10 2. Пристрій для дослідження властивостей сипучих будівельних матеріалів за п. 1, який **відрізняється** тим, що при виконанні аналітичних досліджень та проектуванні рекомендується користуватися виразом:  

$$(1 - \mu)d_1^2 = 4\mu d_2$$
,
- що характеризує зв'язок деформаційних властивостей сипучих будівельних матеріалів з геометричними розмірами прикладеного навантаження та колом розповсюдження дії пружних деформацій, де:
- 15  $\mu$  - коефіцієнт поперечної деформації (коефіцієнт Пуассона);  
 $d_1$  - діаметр робочої поверхні плунжера;  
 $d_2$  - діаметр окружності кругових вертикальних сегментних сталевих стрічок.



Фіг. 1





Фиг. 2