

Корисна модель належить до сучасної аналітичної практики екологічного моніторингу, діагностики та випробування властивостей ґрунтів і різноманітних субстратів, а також до екологічної безпеки, і може бути використана в поєднанні з відомими аналітичними методами аналізу складних аналітичних матриць, при розробці та валідації нових аналітичних процедур з використанням прийомів і принципів зеленої аналітичної хімії, а також тоді, коли важливим є збереження природної структури і властивостей зразків ґрунту для наближення результатів аналізу до процесів, що відбуваються в природних умовах екосистем.

Проблема аналізу ґрунтів та інших субстратів з дотриманням вимог екологічної безпеки є ключовим етапом в екологічних, агрохімічних, геоекологічних та гідроекологічних дослідженнях. Сучасні вимоги до екологічних і наукових досліджень передбачають використання екологічно безпечних та економічних підходів, які забезпечують швидкість та точність результатів. Крім того, науковці стикаються з необхідністю розробки універсальних методів, які могли б ефективно застосовуватися для аналізу ґрунтів та інших природних та штучних субстратів, при цьому забезпечуючи мінімальне втручання в структуру зразка. Оскільки екологічні дослідження мають критичне значення для оцінки впливу антропогенної діяльності на довкілля, існує потреба у розвитку нових засобів та методів, що поєднують швидкість, точність, простоту використання, економічність та екологічну безпеку.

Відомий пристрій для відбору проб ґрунту (патент України на корисну модель № 88990, МПК G01N1/04) [1], що містить циліндр-накопичувач з пилкоподібними зубцями в нижній частині, рукоятку, штангу із знімним руків'ям, бічну щілину, а у розкладній штанзі міститься додатково шток із знімним шаровим руків'ям. Пристрій працює таким чином, що його встановлюють на вибрану ділянку ґрунту вертикально і обертають рукоятку за годинниковою стрілкою, прикладаючи зусилля. Пилковий наконечник вривається в ґрунт, підрізаючи коріння, яке трапляється на його шляху. Завдяки бічній щілині відбувається ущільнення ґрунту, що забезпечує його утримання всередині циліндра під час виймання та бічне підрізання коріння. Занурення пробовідбірника на 10 см та заповнення його ґрунтом можна прослідкувати за шкалою на штанзі. Відібраний монолітний зразок ґрунту видаляється з циліндра за допомогою штока. Пристрій дозволяє отримати цілісний ґрунтовий моноліт з непорушеним пошаровим розміщенням коріння.

Головним недоліком заявленого пристрою є його обмежена придатність для сучасних екологічних досліджень, зокрема необхідність вилучення ґрунтового моноліту з циліндра-накопичувача призводить до його руйнування, порушення природної структури та зміни гідрофізичних та інших властивостей. Це унеможливорює безпосередню інтеграцію зразка моноліту в експериментальні системи для дослідження процесів перколяції, екстракції, фільтрації та міграції забруднювальних речовин без додаткових маніпуляцій, які можуть впливати на репрезентативність результатів.

Відомий бур ґрунтовий для агрохімічних (патент України на корисну модель № 130682, МПК E21B49/02) [2], який містить порожнистий корпус, на зовнішній стороні якого закріплена шнекова спіраль, та який має твердосплавні леза, пробоприймальну гільзу, індикаторний отвір, п'яту виштовхувача, різьбове з'єднання пробоприймальної гільзи та штанги, виштовхувач, різьбу фіксатора, фіксатор, вороток, пружину виштовхувача, кнопку виштовхувача, восьмигранний корпус-штанги, фіксатор опори, втулку ковзання, шарніри опори, дециметрову шкалу, опору. Корисна модель належить до пристроїв, призначених для відбору зразків ґрунту з непорушеною структурою, а завдяки наявності різьбового з'єднання пробоприймальної гільзи та штанги, можна використовувати пробоприймальні гільзи різних діаметрів для зміни діаметра буріння, що дозволяє перевозити бур у розібраному транспортному положенні, що зменшує його габарити.

Недоліком відомого пристрою є те, що знімна пробовідбірна гільза з відібраним ґрунтовим керном після від'єднання не може використовуватись як циліндрична пустотіла колона, заповнена ґрунтом із збереженою структурою для експериментів з вимиванням, оскільки вона має поздовжній оглядовий отвір, та не містить модулів інтеграції для лабораторних випробувань.

Відомі аналоги відповідно до додатку 2 документу OECD 312: "Керівні настанови щодо тестування хімічних речовин Вимивання у ґрунтових колонках" [3], що включає секційні або нерозбірні колони із внутрішнім діаметром не менше 4 см і мінімальною висотою 35 см, виготовлені з відповідного інертного матеріалу, наприклад скла, нержавіючої сталі, алюмінію, тефлону, ПВХ тощо, які набивають ґрунтом, а потім насичують і врівноважують розчином "штучного дощу" і дають стекти перед подальшою обробкою хімічними речовинами та випробуванням на вимивання. Крім цього, відоме технічне рішення відповідно до міжнародного стандарту ISO 21268-3:2019 Якість ґрунту - Процедури вилуговування для подальших хімічних та екотоксикологічних випробувань ґрунту та ґрунтоподібних матеріалів Частина 3: Випробування на перколяцію потоком вгору [4], прийнятий в Україні (ДСТУ-П ISO/TS 21268-3:2015), для реалізації якого використовується лабораторне устаткування, що включає перистальтичний насос із регульованою продуктивністю в діапазоні від 0 до 60 мл/год., скляну або пластикову колонку з внутрішнім діаметром 5 або 10 см і висотою заповнення приблизно (30±5) см, оснащену фільтрами в основі та кришці з розміром пор від 1,5 до 20 мкм, які виготовляються із скловолок

наприклад поліхлоротрифторетилен (PCTFE), а в основі та кришці колонки розміщено фільтраційну пластину або тонкий шар хімічно інертного матеріалу з дрібною гранулометриєю (наприклад, дрібний кремнеземний пісок), що забезпечує рівномірний розподіл потоку води по всій ширині колонки.

Визначальними недоліками описаних відомих систем випробування ґрунтів на перколяцію потоком вниз в першому варіанті, та вгору із створенням зовнішнього тиску є те, що в обох варіантах випробуванню піддається не цілісний ґрунтовий моноліт, вилучений в полі, а висушений перетертий ґрунтовий порошок, який щільно набивається в пустотілу колону за допомогою плунжера або вібраційних апаратів, що не відповідає сучасному екосистемному підходу та відповідним вимогам до стану об'єкта випробування, ускладнює або унеможливорює апроксимацію результатів на реальні природні умови, не забезпечує адекватного уявлення про дійсну динаміку ґрунтових процесів у польових (екосистемних) умовах, де водно-фізичні процеси та процеси трансферу хімічних речовин та їхня інтенсивність визначаються польовими характеристиками, поровою структурою, наявністю коренів рослин та органічних включень, і де ґрунт функціонує як парабіотична, майже жива система.

Найближчим аналогом є пристрій з механізмом попереднього вилучення ґрунтового керну для дослідження та випробування модельних наземних екосистем (Terrestrial Model Ecosystem, TME, розроблений ECT Oekotoxikologie GmbH і виготовлений Університетом Уельсу, Школа сільськогосподарських та лісових наук [5], в якому кернотримач інтегрований зі стаціонарною модульною системою, що слугує також інструментом для тестування поведінки потенційно шкідливих речовин у ґрунтах.

Конструкція пристрою включає сталеву циліндричну колону з гострою ріжучою кромкою, верхню кришку та нижню плиту, призначену для фіксації та маркування керну. Пристрій обладнаний гідравлічним механізмом підйому, з'єднаним із кернотримачем із поліетилену високої щільності, який слугує для розміщення вилученого ґрунтового моноліту, і який конструктивно поєднаний із пересувним лабораторним стендом, що містить пустотілі циліндричні камери відповідного розміру, модуль підтримання заданої температури всередині камер, систему подачі рідини у вигляді дощувальних головок, виготовлених з оргскла з дванадцятьма рівномірно розташованими отворами та вставленими мікропіпетками для імітації природного дощу, а також систему збору фільтрату з кожного ґрунтового моноліту, розташовану в нижній частині стенду та виконану у вигляді полівінілхлоридних трубок, що з'єднують камери монолітів із пляшками для збору фільтрату.

Спільними ознаками найближчого аналога і корисної моделі, що пропонується, є те, що для вилучення ґрунтового керну використовується пустотіла циліндрична колона з гострою ріжучою кромкою, а ґрунтовий моноліт у природному непорушеному стані інтегрований в лабораторний стенд, що містить систему подачі рідини та систему збору фільтрату.

Недоліками вибраного найближчого аналога є надмірна складність обслуговування, та очистки від накопиченого в процесі експериментів хімічного забруднення, високоїмовірне потрапляння води під час дощування в проміжок між кернотримачем з поліетилену високої щільності та пустотілою циліндричною камерою, а польові роботи з вилучення зразків потребують значної кількості додаткового устаткування, декількох операторів та гідравлічного механізму. Хоча прототип забезпечує виконання модельних експериментів з ґрунтовими монолітами непорушеної структури, однак має низьку лабораторну придатність для швидких діагностичних та моніторингових повторних екологічних та фізико-хімічних тестів, досліджень ґрунтових монолітів менших об'ємів перколяцією за типом "колонкових експериментів", випробувань екстракції забруднювальних речовин, та не передбачає можливості аналізу властивостей інших природних чи штучних субстратів різного морфогенетичного складу та їхніх сумішей способом простої засипки у пустотілу циліндричну колону.

В основу корисної моделі поставлено задачу забезпечити можливість впровадження ефективних швидких способів неінтрузивного відбору зразків ґрунту непорушеної структури достатнього об'єму та можливість дослідження інших природних і штучних субстратів різного морфогенетичного складу способом насипного завантаження, а також забезпечити багатофункціональність та придатність для багатосторонніх екологічних аналізів, експериментів та випробувань ґрунтів, природних і штучних субстратів різного морфогенетичного складу. Крім того, корисна модель покликана забезпечити можливість створення та валідації нових сучасних аналітичних процедур аналізу забруднення широким спектром забруднювальних хімічних речовин з використанням спрощених прийомів та принципів зеленої аналітичної хімії у пробопідготовці складних аналітичних матриць, таких як ґрунт, ґрунтово-рослинні субстрати, з подальшим аналізом методами газової, рідинної хроматографії, мас-спектрометрії, спектрометрії ІЧ-діапазону чи іншими відомими методами.

Поставлена задача вирішується тим, що розроблено пристрій, згідно з корисною моделлю, що містить пустотілу циліндричну колону з гострою ріжучою кромкою та лабораторний стенд, згідно з корисною моделлю, пустотіла циліндрична колона виготовлена з нержавіючої сталі, через зовнішнє різьбове з'єднання з'єднана з руків'ям, що виконане знімним, та інтегрована в лабораторний стенд, причому нижня частина колони через зовнішнє різьбове з'єднання по

для промивної рідини, у горловину якої запресована пробка з отворами для краплинної подачі рідини, при цьому лабораторний стенд виконаний у вигляді основи з отворами, узгодженими з геометричними розмірами пустотілої циліндричної насадки, та має регульовану за висотою полицю, на якій розміщена ємність для збору фільтрату.

Наявність різбових з'єднань та виготовлення пустотілої циліндричної колони з нержавіючої сталі дозволяє додатково використовувати її як модуль для неінтрузивного вилучення ґрунтових монолітів шляхом приєднання руків'я, а виконання руків'я знімним дозволяє інтегрувати колону з ґрунтовим монолітом в лабораторний стенд шляхом приєднання додаткових технічних елементів згідно із заявленою конструкцією пристрою - пустотілої циліндричної насадки та резервуарної лійки для промивної рідини.

Конструкція пристрою (фігура 1) складається з: окремої пустотілої циліндричної колони 1, яка виготовлена з нержавіючої сталі, на верхньому кінці якої нарізана зовнішня циліндрична різьба 2, а на нижньому - зовнішня циліндрична різьба 3. Додатково на нижньому кінці є гостра ріжуча кромка 4, що забезпечує використання пустотілої циліндричної колони 1 з нержавіючої сталі як модуля для ефективного неінтрузивного відбирання та утримання ґрунтового моноліту. Для цього на зовнішню циліндричну різьбу 2 приєднано знімне руків'я 5, що складається з глухого наконечника 6 з внутрішньою циліндричною різьбою 7 та нероз'ємно прикріпленою осьовою трубкою 8, що має наскрізний круглий отвір на верхньому кінці 9, крізь який перпендикулярно рухомо вставлена трубка 10 з капролоновими заглушками 11 на кінцях, що забезпечує ефективне й зручне прокручування та вдавлювання циліндричної пустотілої колони ріжучою кромкою в верхній ґрунтовий шар, позначений умовно позицією 12.

До пустотілої циліндричної колони з ґрунтовим монолітом та від'єднаним знімним руків'ям 5 (фігура 2) по зовнішній циліндричній різьбі 3 на нижньому краю базується циліндрична пустотіла насадка 13, виготовлена з нержавіючої сталі, верхній край 14 якої має виступ, що служить опорою для утримання пристрою шляхом закладання у отвір підставки, яка умовно позначена позицією 15. Герметичне з'єднання пустотілої циліндричної колони з пустотілою циліндричною насадкою забезпечується конструкцією насадки, яка має внутрішній виступ 16, призначений для розміщення вільним закладанням гніздоподібного ситечка 17, виготовленого з нержавіючої сталі, поверх якого закладається силіконове ущільнювальне кільце 18. Така конструкція забезпечує утримання ґрунту 19 чи іншого субстрату та шару сорбційного матеріалу, умовно позначеного позицією 20, а також фільтрувального матеріалу, умовно позначеного позицією 21.

До верхнього краю пустотілої циліндричної колони, через хімічно нейтральний силіконовий перехідник 22 герметично під'єднується ємність 23 для промивної рідини, яку позначено позицією 24. Ця ємність являє собою резервуарну лійку, яка виготовлена з прозорого скла, поліпропілену або іншого хімічно стійкого та інертного матеріалу з горловиною 25, в яку запресовується хімічно інертна пробка 26 з дрібними отворами для ненасиченого краплинного пропускання розчину.

Підставка 15 є основою, яка забезпечує надійне розміщення заповненої збірки пристрою, а також має регульовану за висотою полицю, яка умовно позначена позицією 27, що дозволяє адаптувати її для розміщення лабораторної посудини 28, в якій накопичуватиметься фільтрат 29.

Пристрій для досліджень природних і штучних субстратів різного морфогенетичного складу з інтегрованим модулем неінтрузивного відбору ґрунту працює таким чином: попередньо очищені та висушені в лабораторії пустотілі циліндричні колони 1 з нержавіючої сталі, служать кернотримачами (пробовідбірними гільзами), для яких попередньо встановлюється точна маса, які використовуються в комплексі з руків'ям 5, яке нагвинчується в польових умовах. Вилучення ґрунтового зразка здійснюється шляхом механічного проникнення пустотілої циліндричної колони гострою ріжучою кромкою в ґрунт вдавлюванням та прокручуванням. Відбір зразка здійснюється із збереженням природної структури ґрунту в середині керну - неінтрузивний відбір. Після виймання з ґрунту ґрунтового зразка різбове з'єднання пустотілої циліндричної колони очищується на місці польовою щіткою, циліндрична колона з ґрунтом від'єднується від руків'я та упаковується для транспортування. Процес забезпечує вилучення зразка в обсязі відповідно до ефективного об'єму циліндра шляхом проникнення на потрібну глибину, а остаточна маса встановлюється шляхом повторного зважування в лабораторії.

В лабораторії пустотіла циліндрична колона з відібраним зразком ґрунту використовується в збірці пристрою показаній на фіг. 2. У разі дослідження інших видів субстратів, їхнє завантаження в пустотілу циліндричну колону 1 виконується насипом в лабораторних умовах після під'єднання насадки 13, з попереднім її заповнення фільтрувальним матеріалом, сорбентом чи іншим матеріалом залежно від цілі та виду експериментальних досліджень. Після встановлення пристрою на підставці 15, промивна рідина 24 подається разово, чи порціями без обмеження в режимі насиченої перколяції, або краплинно через пробку з отворами 26, яка запресовується у горловину резервуарної лійки 25. Фільтрат 29, що проходить через зразок, збирається в посудині 28, що розміщується на регульованій за висотою полиці 27. Висота полиці регулюється для досягнення оптимальних умов збору фільтрату у посудину, та уникнення розпр

хімічних властивостей зразка або для оцінки ефективності процесів вимивання, сорбційних та іммобілізаційних властивостей субстратів. Крім того, в режимі колонкового експерименту пристрій використовують також для випробування водно-фізичних властивостей, вимірювання проникності ґрунту та інших субстратів для води та інших рідин, при цьому фіксується параметри швидкості та часу проходження рідини через певний об'єм матеріалу. Режим колонкового аналізу, при якому рідина проходить через матеріал під впливом власної ваги, забезпечує реалістичні умови, наближені до природних, що важливо для екологічних досліджень, аналізу ґрунтів та прогнозування поведінки матеріалів в умовах навколишнього середовища. Крім того, визначення коефіцієнта фільтрації води через ґрунт, зокрема коефіцієнта насиченої водної фільтрації, дозволяє більш точно оцінити здатність ґрунту пропускати воду, що є важливим параметром для аналізу гідрологічних процесів та управління водними ресурсами.

Експериментальна, процедурно-аналітична та лабораторна придатність розробки підтверджена виготовленням пристрою з комплектом 12 циліндричних пустотілих колон, з внутрішнім діаметром 50 мм та висотою 150 мм, які інтегруються з відповідними модулями, та руків'ям, що забезпечує можливість відбору та дослідження водночас 12 зразків ґрунту чи інших субстратів та аналізів в достатній кількості аналітичних повторів з ефективним об'ємом кожного відібраного зразка ґрунту чи інших субстратів до 250 см³. Адаптовані за розмірами деталі конструкції відповідають оптимальній та ефективній конфігурації та забезпечили успішні експериментальні випробування в польових та лабораторних умовах.

Розробка сприяє зручному та оперативнішому відбиранню, обробці та підготовці зразків ґрунту до аналізу, оптимізує та спрощує пряме випробування окремих фільтраційних властивостей, через використання механізмів екстракції перколяційним потоком, інфільтрації рідин через пористі середовища, або лізиметричних ефектів в лабораторних умовах за допомогою води, водних розчинів або малотоксичних розчинників та їх сумішей, з урахуванням непорушеного (незмінного) стану ґрунтового зразка.

Розробка придатна для експериментальних досліджень та випробувань різноманітних матеріалів, зокрема ґрунтів, ґрунтово-рослинних субстратів, подрібнених матеріалів, що використовуються в агрохімії, екології, геології та гідроекології для оцінки їхніх фізико-хімічних властивостей, забрудненості, тестування поглинальних та іммобілізаційних властивостей, вивчення гідропедотрансферних функцій ґрунтів, шляхом колонкових аналізів в насиченому або краплинному режимах.

Конструкція пристрою для досліджень природних і штучних субстратів з інтегрованим модулем неінтрузивного відбору ґрунту спрощує ряд техніко-технологічних операцій з його виготовлення, транспортування та експлуатації в польових та лабораторних умовах, що дозволяє швидко реалізовувати багатогранний спектр досліджень та випробувань наукового і практичного значення, спрямованих на моніторинг та діагностику стану ґрунтів, оцінки потенціалу та ризиків міжсередовищного трансферу забруднювальних речовин в системі "ґрунт вода", підвищення ефективності моделювання, оцінювання та протистояння дифузійному забрудненню масивів поверхневих та підземних вод в межах гідрологічно-чутливих зон з високим ризиком забруднення та захисту екосистем водозборів.

Джерела інформації:

1. Патент України на корисну модель № 88990, МПК G01N1/04. Пристрій для відбору проб ґрунту/ В.М. Малюга, заявник і патентовласник

- Національний університет біоресурсів і природокористування України - № u201312213; заявл. 18.10.2013; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7/2014.

2. Патент України на корисну модель № 130682, МПК E21B49/02. Бур ґрунтового для агрохімічних аналізів /О.Б. Мелентьев, О.І. Ситник, заявник і патентовласник Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини - № u201805089; заявл. 08.05.2018; опубл. 26.12.2018, Бюл. № 24/2018.

3. OECD. (2004). OECD guidelines for the testing of chemicals: Leaching in soil columns (OECD/OCDE 312). Retrieved from: https://archive.epa.gov/scipol y/sap/meetings/web/pdf/312_soil_column_leaching.pdf

4. ISO 21268-3:2019(en) Soil quality Leaching procedures for subsequent chemical and ecotoxicological testing of soil and soil-like materials – Part 3: Up-flow percolation test.

5. Knacker, T., Van Gestel, C.A., Jones, S.E., Soares, A.M., SchallnaB, H.J., Forster, B., & Edwards, C.A. (2004). Ring-testing and field-validation of a Terrestrial Model Ecosystem (TME)-an instrument for testing potentially harmful substances: conceptual approach and study design. *Ecotoxicology*, 13, 9-27.

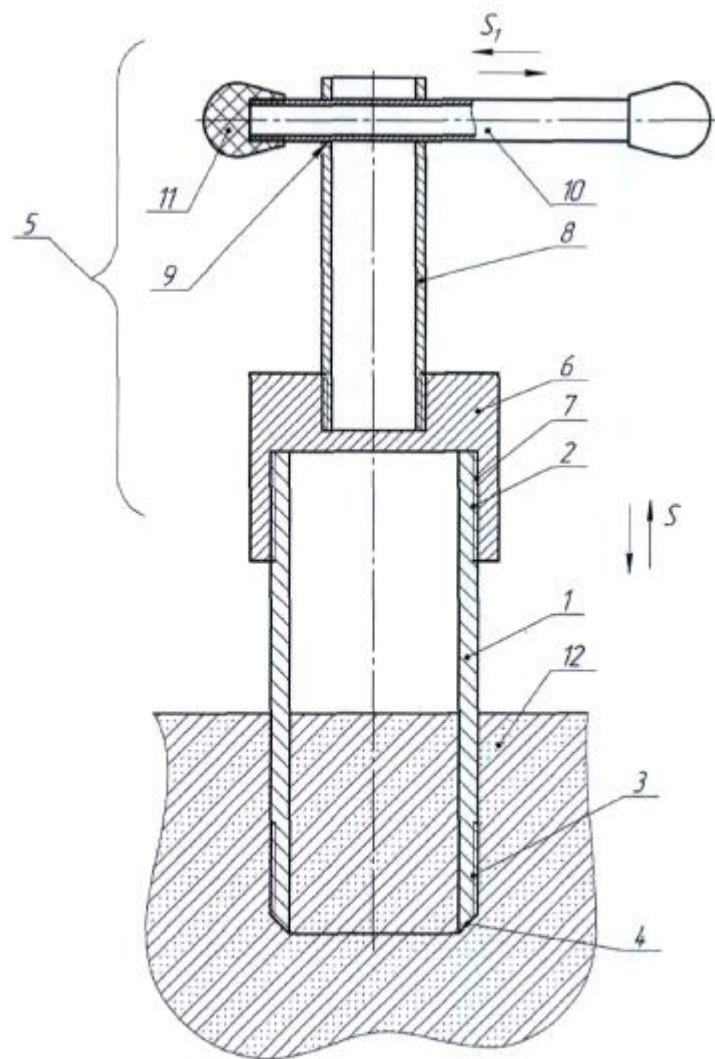


Fig. 1

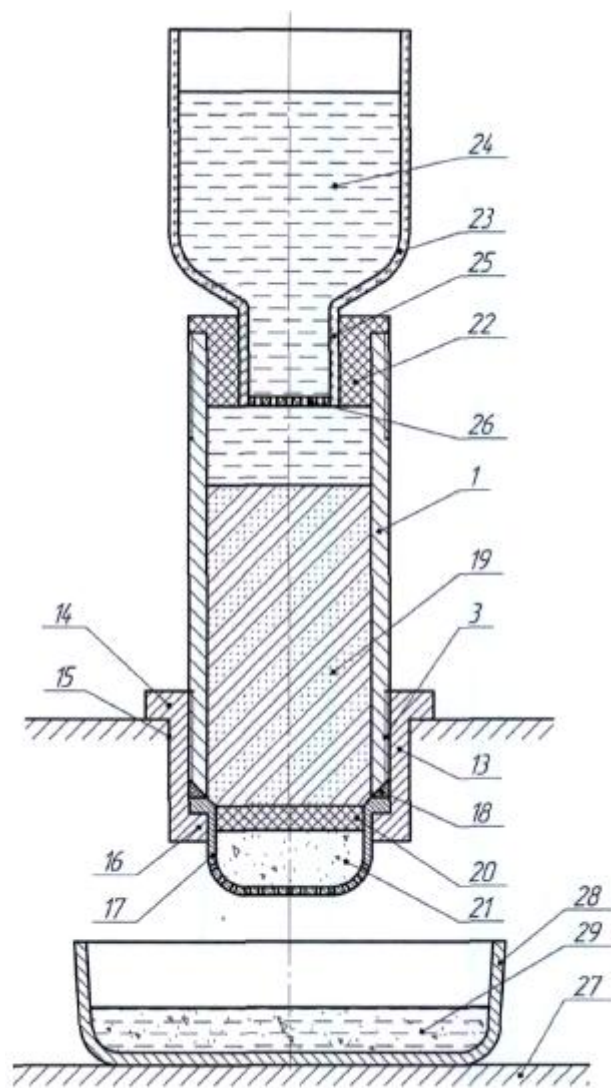


Fig. 2