

УДК 624.139:539.37

В. Ю. УЛЬЯНОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Інженерна геологія і геотехніка», Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (056) 756 33 43, ел. пошта egig@pgasa.dp.ua, ORCID 0000-0002-9028-3408

Шляхи підвищення ефективності термопресіометрії

Мета. У роботі передбачено визначення шляхів підвищення ефективності інженерних досліджень, виходячи зі значного обсягу розвідувальних робіт, що необхідно під час створення сучасних техногенних об'єктів, з урахуванням недоліків наявних приладів та устаткувань, які використовують для вимірювання напруженого стану ґрунтів, та у зв'язку з потребою у вдосконаленні конструкції термопресіометрів, що мають сприятливі дослідженням різноманітних мерзлих ґрунтів. **Методика.** Порівняльно-аналітичним методом та за методом аналогії обрано шляхи вдосконалення лопатевого термопресіометра для дослідження мерзлих ґрунтів із різноманітними заповнювачами. Теплотехнічними розрахунками визначено глибину відтавання, абсолютне осідання ґрунту, модуль деформації та ін. **Результати.** Визначені проблемні питання застосування наявних термопресіометрів (обмеженість досліджень ґрунтів певного типу, трудомісткість та недостатня точність показань) можуть бути подолані завдяки запропонованій удосконаленій конструкції лопатевого термопресіометра для випробувань мерзлих піщано-глинистих ґрунтів, що базується на поліпшеній схемі нагрівання, застосуванні якісних матеріалів та змінюванні форми лопатей і корпусу. Прилад призначений для застосування на багатолітньомерзлих і природних мерзлих ґрунтах світу, зокрема й України. **Наукова новизна.** Для вивчення деформаційних характеристик ґрунтів, їх теплотехнічних показників, у тому числі вимірювання чаші відтавання багатолітньомерзлих і сезонномерзлих ґрунтів уперше запропоновано модель удосконаленого термопресіометра з поліпшеною формою корпусу з якісних корозійостійких матеріалів, зокрема й неметалевих; зі скороченням кількості його лопатей до однієї висувної секторної лопаті-штампа (квадратної або округлої) та використанням однієї нагрівальної лопаті-штампа; спеціальну конструкцію щупа з механічним/гідролічним приводом датчика з термopарою (або з двома щупами-«вилкою» – для поліпшення вимірювань). Також рекомендовано впровадження електричної провідної системи, призначеної для відталених ґрунтів, зі штоком для вимірювання висувної лопаті-штампа. З'ясовано можливість застосування термопресіометра під час дослідження сезонномерзлих ґрунтів. **Практична значимість.** Удосконалення моделі приладу повинно сприяти його застосуванню в інженерно-геологічних дослідженнях під час різноманітних видів будівництва, зокрема транспортного й гідротехнічного, де використовують методи глибинного заморожування слабких і нестійких ґрунтів.

Ключові слова: лопаті-штампи; термопресіометр; деформаційні властивості ґрунтів; чаша відтавання; метод «гарячого штампа»

Вступ

Господарське освоєння територій супроводжується формуванням промислових, містобудівельних, транспортних та інших геосистем, кожна з яких потребує відповідних інженерно-геологічних досліджень, спрямованих на комплексне вивчення природних і техногенних умов району. Попри численність праць з інженерно-геологічних вишукувань неодноразово виникало питання про їхню ефективність і про відсутність у нормах обґрунтованої методики оцінювання достатності та якості отриманої інженерно-геологічної інформації, що дає великий простір для суб'єктивного підходу до планування й проведення дослідницьких робіт.

Багаторічний досвід роботи проектних організацій показує, що в практиці інженерно-геологічних досліджень деякі польові методи визначення деформаційних властивостей ґрунтів є малопридатними через їхню трудомісткість, довготривалість і недостатню точність. Проте вони доцільні й представляють значний інтерес із точки зору застосування в умовах усе більшого ускладнення будівельних робіт (через різноманітність типів ґрунтів і кліматичних умов, техногенний вплив на ґрунти в минулому та сьогодні, наявність у межах територій ґрунтів зі специфічними властивостями) [6]. Однією з таких причин, які становлять складність будівництва, є процеси змерзання ґрунту, що і стало основою

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

цієї роботи, у якій розглянемо термопресіометри – пристрої для вимірювання деформаційних характеристик і властивостей мерзлих ґрунтів у польових умовах [1–3, 11–12, 14].

Як відомо, за конструкцією та характером впливу на стінки бурових свердловин пресіометри поділяють на радіальні, лопатеві та із секторним прикладанням навантаження. Лопатеві пресіометри звичайної конструкції (наприклад, ЛПМ–14 та ін.) впливають на ґрунти горизонтальним навантаженням, яке передається плоскими вертикальними сталевими пластинами-штампами: штампи зрізають стінки лінійної свердловини з мінімальним порушенням ґрунту. Але такі прилади застосовують не для всіх типів ґрунтів (винятком є, наприклад, великоуламкові). Пресіометри із секторним горизонтальним прикладанням навантаження, яке передається двома сталевими, циліндрично вгнутими плитами (штампами), розташованими на протилежних сторонах свердловини, кожна з яких охоплює сектор від 45 до 90°, є різновидами звичайних лопатевих пресіометрів, але з більшим ступенем урахування роботи приладу у свердловині.

Менш відомі такі ж прилади тільки з одним висувним штампом, із розташованим на протилежному боці секторним виступом такої ж форми, як і висувний штамп (навантаження стінок свердловини від цього не змінюється, оскільки обидва сектори тиснуть на стінки з однаковою силою), а ось конструкція їх дещо спрощена: циліндричні штампи секторних пресіометрів розкриваються горизонтально, навантажуючи стінки свердловини. До цього ж типу належить і свердловинний лопатевий пресіометр гідравлічний ЛПП–42 діаметром 273 мм, сконструйований Л. С. Амаряном (Виробничий і науково-дослідний інститут інженерних вишукувань в будівництві (ВНДІВБ)) для дослідження широко розповсюджених грубоуламкових ґрунтів із різноманітними заповнювачами [4]. Значного поширення цей тип пресіометра не отримав, але відомий досвід успішної експлуатації таких пресіометрів, виготовлених за оригінальними кресленнями відділом дослідних робіт «ПівСхідТІБВ» (м. Магадан, 1986–1989 рр.), за участю автора цієї статті [14].

Через складність виконання та трудомісткість проведення випробувань до серійного виробництва прилади цього типу не дійшли, хоча поодинокі спроби відтворення та застосування на об'єктах будівництва підтверджені авторськими свідоцтвами [11, 12], у яких указано, що термопресіометри сприяють відтаванню ґрунту, яке виконують пропусканням струму вздовж приладу, оснащеного еластичною оболонкою, а змінювання радіуса відталої зони визначається за змінюванням електричного опору ґрунту. У модифікаціях цього приладу для прогрівання були застосовані пружинячі пластини, розташовані по торцях корпусу [2]. За [14], неодноразовими були спроби поліпшення показників визначення деформаційних властивостей багатолітньомерзлих ґрунтів, зокрема і великоуламкових, із метою зниження трудовитрат і часу виконання дослідів, що відображено в авторських свідоцтвах № 1240826 (1985), № 1079749 (1981), SU 1573088 A1 (1990). Як з'ясувалося в результаті практичних досліджень, характеристики стисливості ґрунтів, які визначають термопресіометрами радіального типу на основі лінійно-деформованого простору, постійно відрізнялися від характеристик, отриманих під час випробування ґрунтів методом так званого «гарячого штампа».

Окрім питання точності термопресіометричного методу, багато не з'ясовано щодо параметрів перехідного шару між мерзлим і відталим ґрунтом, які вимірюють під час роботи радіальних термопресіометрів, а також виникає необхідність урахування форми конуса відталої ґрунту, яка впливає на розрахунки стисливості. Із таких та інших причин розроблені моделі й досі мало вживають у практиці інженерних досліджень.

Про спроби здійснення термопресіометричних досліджень на практиці свідчать як відомчі нормативні документи, так і матеріали профільних науково-практичних конференцій та збережені науково-технічні звіти [7, 13, 14]. Однак і після 1991 р. інформація про випробування мерзлих ґрунтів термопресіометрами здається неповною, хоча зрідка про них і згадують в окремих виданнях. Зокрема, у своїй книзі М. А. Мінкін, очевидно, у довідкових цілях [8], окремо вказує, що вже під час досліджень ґрунтів та-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

кими приладами відзначена похибка, яка досягає 30–40 % і більше (у зв'язку з неточністю визначення обсягів і форми конуса відталого ґрунту, а також через анізотропію самих відкладів). Як було зазначено, вживання термопресіометрів тісно пов'язане з проблемами вивчення багатолітньомерзлих ґрунтів [1–3, 10–12, 14, 16–20]. Але і в Україні виникають проблеми під час робіт із мерзлим ґрунтом. Тут корисні й доречні дослідження Б. В. Моркляника й П. О. Проценка з вивчення морозного здимання ґрунтів у процесі використання теплових насосів, зокрема, із розподілення вологи в мерзлих ґрунтах і змінювання щільності та деяких властивостей ґрунтів (випинання ґрунту), що важливо й у випадку прикладання так званого «гарячого» привантаження до штампів, і під час вибору його габаритів [9].

З огляду на те, що серйозні проблеми випробування мерзлих ґрунтів у польових умовах ще й досі залишилися, можливе розширення меж вживання термопресіометрів.

Слід відзначити, що в Україні багатолітньомерзлі ґрунти як такі повністю відсутні, проте подібні дослідження цілком доречні під час виконання геотехнічного контролю в транспортному будівництві (зокрема, під час будівництва метро в Дніпрі та інших містах), а також у гідротехнічному будівництві, де використовують методи глибинного заморожування слабких ґрунтів. Наукова компетентність у цій галузі може виявитися корисною під час розширення поля діяльності українських проектних та будівельних організацій і за межами країни.

Мета

З огляду на викладене мета роботи полягає в пошуку шляхів підвищення якості інженерно-геологічних випробувань та поліпшення визначення деформаційних властивостей мерзлих ґрунтів різних типів, із використанням досвіду проведення таких досліджень для оцінювання представленого варіанта термопресіометра.

Методика

У роботі використані такі аналітичні методи досліджень, як порівняльно-історичний та метод аналогії. Узагалі питання методології тісно

пов'язані з методами проведення випробувань та обробки інформації.

Головною відмінністю у проведенні дослідів із мерзлими ґрунтами за допомогою «гарячих» штампів є необхідність попереднього утворення під ними зони відталого ґрунту глибиною не менше ніж 0,5 діаметра штампа. Зі спорядженням для якісного проведення початкового етапу подібних випробувань і пов'язана більшість технічних проблем та правильне визначення глибини відталого ґрунту. Ураховуючи, що термопресіометри здебільшого використовують для визначення механічних властивостей мерзлих ґрунтів, а отримані дані залежать від льодистості й швидкості промерзання/відтавання ґрунту, дослідження морозного стану ґрунтів і суміжні з ними досі залишаються проблемними питаннями, зокрема щодо: наявності та ширини обігрівального кільця, глибини відтавання порід під ним, тиску, за якого відбувається відтавання ґрунту, а також способів обробки результатів та оцінювання величини осідання, які залежать від типів ґрунтів. За результатами досліджень була розроблена методика обробки даних, заснована вже на пружно-пластинчатому підході, що більш цілковито враховує особливості напружено-деформованого стану ґрунту навколо відталої свердловини. Для виконання термопресіометрії, як правило, рекомендують, проходячи гірничі виробки (котловани, шурфи, дудки та бурові свердловини), забезпечувати непорушену будову ґрунтів та уникати просякання поверхневими водами та опадами. Для досліджень обирають мінімальну товщину шару ґрунту (не менше ніж 1,5 довжини лопаті пресіометра), а зразки ґрунту відбирають не ближче ніж за 3 м від осі виробки. Сутність дослідів полягає в східчастому додаванні навантаження (по 0,01... 0,1 МПа); наконечник зі штоком тарують (площу лопаті обирають залежно від типу ґрунту). Наконечник установлюють методом вдавлювання, після чого вимірюють тиск; після кожного ступеня навантаження витримують час до умовної стабілізації деформації ґрунту. За критерій умовної стабілізації випробуваного обсягу ґрунту обирають переміщення лопаті-штампа. Для розрахунку коефіцієнтів стисливості a та відтавання A запропоновані залежності:

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

$$a = \frac{\frac{Ka\Delta U}{\Delta P} + (1-\nu)\left(\frac{R}{ro}\right)^2}{(1-\nu)\left(\frac{R^2}{ro^2} - 1\right)}; \quad (1)$$

$$A = \frac{KA \Delta V}{V - aPn}, \quad (2)$$

де ΔU – переміщення стінки свердловини під тиском ΔP ; ro і R – радіуси свердловини та відталої зони відповідно; ν – коефіцієнт Пуассона для відталоного ґрунту; V і ΔV – початковий обсяг чаші відтавання і його приріст унаслідок відтавання відповідно; Pn – побутовий тиск у мерзлому ґрунті на відмітці випробувань; K_a та K_A – розрахункові коефіцієнти, які визначають під час розв’язання відповідних крайових задач (через міцнісні характеристики ґрунту і радіус чаші відтавання) [14].

Результати

Після багаторічної перерви в подібних дослідженнях запропонована відносно нова концептуальна модель приладу, яка позбавлена більшої частини недоліків пресіометрів, розроблених раніше.

Для проведення досліджень мерзлих ґрунтів слід конструктивно змінити базову модель термомпресіометра Л. С. Амаряна ЛПГ–42 (рис. 1).

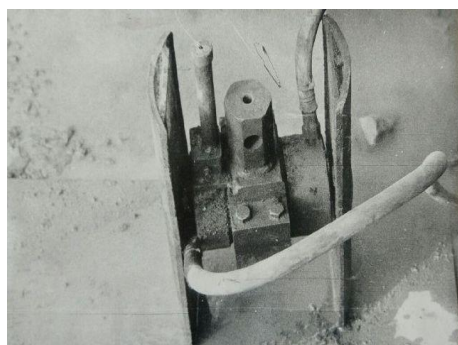


Рис. 1. Пресіометр ЛПГ–42 конструкції Л. С. Амаряна

Fig. 1. Blade pressiometer LPG–42 designed by L. S. Amarian

У новій моделі передбачена суттєво поліпшена система нагрівання лопаті, що може здійснюватися такими способами:

а) ТЕНОм, змонтованим в об’ємні маслонаповнені лопаті-штампи, оснащені запобіжним клапаном, із живленням його струмом по кабелю

від малогабаритного бензинового агрегата-генератора на поверхні з тепло- й електроізоляцією для забезпечення мінімального нагрівання самого корпусу приладу (щоб запобігти «коксованню» масла в циліндрі гідросистеми);

б) теплим повітрям із поверхні від газового пальника із системою шлангів – за аналогією з гарячим штампом типу ШП5000Т конструкції АТ «ГЕОТЕСТ»;

в) за допомогою інших нагрівальних елементів, наприклад, розробки ТОВ «КрасГеоТехніка».

Удосконалення приладу можливе шляхом улаштування закритого циліндричного корпусу, звуженого по краях (овальної форми); застосування більш якісних матеріалів, стійких до корозії та спрацювання, зокрема й неметалевих; використання тільки однієї висувної лопаті-штампа секторного типу квадратної або округлої форми в плані й тільки однієї нагрівальної лопаті-штампа. Для вимірювання температур і контролю глибини чаші відтавання пропонуємо щуп із механічним/гідравлічним приводом датчика з термопарою (можливий і не один щуп, і з іншим його розміщенням, наприклад, у вигляді «вилки» – для зручності проведення вимірювань). Також пропонуємо впровадження електричної провідної системи, призначеної для відталених ґрунтів, зі штоком для вимірювань довжини висування лопаті-штампа.

Можливі й більш складні (й витратні) варіанти контролю утворення чаші відтавання, наприклад:

а) під час розробки 2-х свердловин в одній із них (діаметром 273 мм) розташовують сам прилад, а в іншій (діаметром до 76 мм, на відстані не більше ніж 0,3 м від свердловини 273 мм) навпроти осі висування лопаті-штампа розташовують саму термокосу, призначену для вимірювання температур у межах нагрівальної лопаті-штампа;

б) радіохвильовими датчиками або датчиками, заснованими на ядерно і теплофізичних принципах (їх застосування потребує проведення спеціальних, більш дорогих досліджень, що впливає на вартість приладу);

в) для утворення й підтримання тиску можливе замінування гідравлічної (масляної) системи на електрогідравлічну або електричну.

Зазначимо, що проведення випробувань таким типом гарячого пресіометра, крім початкового етапу, не відрізняється від звичайної пресіометрії, але залежно від типів ґрунтів можуть бути внесені деякі зміни. Наприклад, для вільного стікання відталої води в місці торкання гарячої лопаті-штампа не потрібно розмішувати сам прилад на усті свердловини, його підвішують на штангах або тросі вище за забій і не менше ніж на 0,5 м (не виключено й використання висувного/нерухомого штока-обмежувача в днищі приладу). Ураховуючи можливість приладу, його рекомендують для досліджування ґрунтів без грубоуламкових включень (або з їх мінімальною кількістю), так само необхідно виключити випробування сильноольодистих ґрунтів (для запобігання катастрофічного опливання стінок свердловини) навіть у зимовий період, підбираючи режим нагрівання дослідним шляхом – залежно від температури ґрунту на відмітці випробувань, яку визначають в суміжній термосвердловині малого діаметра або на підставі теплофізичних розрахунків.

Для виключення примерзання приладу в зимовий період після етапу утворення чаші відтавання необхідно підтримувати плюсову температуру висувної лопаті пресіометра, а захисний кожух приладу (крім висувної лопаті), зокрема й неметалевий (за достатньої конструкційної міцності), у разі необхідності слід покривати синтетичним мастилом проти обледеніння.

Для постійного візуального контролю за станом стінок свердловини та запобігання їх обвалення, щоб уникнути заклинювання приладу в стволі, передбачено освітлювальне обладнання в самій свердловині (з розміщенням його на корпусі самого приладу).

Послідовність виконання випробувань обирають залежить від теплофізичних властивостей ґрунтів, отже, інтервал між ними в одній свердловині з урахуванням можливого порушення суцільності середовища повинен складати не менше ніж 2–3 м.

Зазначимо також, що сучасні вимоги до проведення робіт із використанням горючих матеріалів передбачають належну протипожежну безпеку (наявність додаткового міцного вогнегасника, окрім штатного на буровій установці).

Наукова новизна та практична значимість

Уперше запропоновано концептуальну модель удосконаленого термопресіометра, з поліпшеною формою корпусу з якісних корозійостійких матеріалів, зокрема й неметалевих; зі скороченням кількості його лопатей до однієї висувної секторної лопаті-штампа (квадратної або округлої) та використанням однієї нагрівальної лопаті-штампа; зі спеціальною конструкцією щупа з механічним/гідравлічним приводом датчика з термопарою; також рекомендовано впровадження електричної провідної системи. Передбачено розширення меж застосування приладу, оскільки він придатний не тільки для багатолітньомерзлих ґрунтів, а й для сезонно-мерзлих (що мають мінусову температуру та містять у своєму складі лід).

Відзначимо, що вдосконалення роботи термопресіометра, яке припускає контроль за утворенням чаші відтавання, по-новому ставить перед дослідниками питання вивчення напруженого стану не тільки багатолітньомерзлих, а й мерзлих ґрунтів, потребує уваги до ретельності вимірів ширини обігрівального кільця під час роботи приладів, визначення глибини відтавання і розрахункового тиску, за якого відбувається відтавання, що, своєю чергою, висвітлює численні дискусійні проблеми ґрунтознавства й механіки ґрунтів.

Упровадження цієї моделі приладу в практику геотехнічного контролю під час будівництва в ґрунтах, які потребують заморожування, а також у роботах з природними сезонно-мерзлими ґрунтами, узагалі застосування термопресіометрів у нашій країні сприяло би набуттю необхідної компетенції в цій галузі.

Висновки

У результаті досліджень та аналізу наявних розробок представлені шляхи розв'язання істотної інженерної проблеми в будівництві на мерзлих ґрунтах – поліпшення визначення їх деформаційних характеристик за допомогою термопресіометра. Запропонована модель приладу має сприяти отриманню вірогідних деформаційних характеристик (коефіцієнтів відтавання, стисливості, модуля деформації). Дискусійним

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

питанням залишається перспектива застосування термопресіометра для різних типів природних мерзлих ґрунтів, оскільки прилад первісно створений для випробувань багатолітньомерзлих, талих грубоуламкових ґрунтів. Представлені у статті пропозиції є ефективним досвідом пошуків та досліджень не тільки для будівництва на мерзлих ґрунтах. Рекомендовано застосовувати прилад у транспорт-

ному й гідротехнічному будівництві для глибинного заморожування слабких і нестійких ґрунтів, щоб сприяти скороченню трудовитрат та часу проведення випробувань перед початком будівництва або у випадках перебудови, аварій та інших незапланованих дій, у тому числі й на залізницях – усюди, де проводять випробування мерзлих порід у зимовий період.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алейников А. С., Петрова А. Г. Численное решение задачи протаивания мерзлого грунта с учетом инфильтрации осадков. *Известия Алтайского Государственного Университета*. № 4 (96). 2017. С.72–77. DOI: [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2017\)4-12](https://doi.org/10.14258/izvasu(2017)4-12)
2. Амарян Л. С. Лопастная прессиометрия и ее применимость в инженерной геологии. *Технология и техника полевых испытаний грунтов*. Сб. науч. трудов ПНИИИС. 1986. С. 14–20.
3. Амарян Л. С., Васильев А. В., Цинский Б. В. *Руководство по испытанию грунтов лопастными прессиометрами и прессиометрами-сдвигомерами*. ПНИИИС, 1981. 42 с.
4. *ГОСТ 20276-2012. Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости*. Москва : Стандарт-информ, 2013. С. 10–13.
5. Ефимов В. М., Кравцова О. Н., Степанов А. В., Тимофеев А. В., Васильчук Ю. К., Таппырова Н. И. Исследование влияния поверхностно-активных веществ на прочность мерзлых грунтов криолитозоны Республики Саха (Якутия). *Арктика и Антарктика*. 2017. № 4. С. 80–85. DOI: <https://doi.org/10.7256/2453-8922.2017.4.25035>
6. Ефимов В. М., Степанов А. В., Таппырова Н. И., Кравцова О. Н., Степанов А. А. Влияние циклов промерзания – протаивания на тепло-массообменные свойства техногенных криогенных грунтов северо-восточных районов криолитозоны. *Арктика и Антарктика*. 2017. № 4. С. 73–79. DOI: <https://doi.org/10.7256/2453-8922.2017.4.25027>
7. Исаев В. С., Тюрин А. И., Сергеев Д. О., Горшков Е. И., Волков Н. Г., Стефанов С. М. Новые методы и подходы в полевых геокриологических исследованиях в рамках Дня науки и инноваций. *Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология*. 2016. № 1. С. 98–102. DOI: <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2016-1-98-102>
8. Минкин М. А. *Методика и методы инженерно-геокриологических изысканий*. Ухта : Ин-т управ. информ. и бизнесом, 2005. 252 с.
9. Моркляник Б. В., Проценко П. О. Вплив морозного здимання ґрунтів на фундаменти споруд за експлуатації теплових насосів. *Вісник ЛНАУ*. 2018. № 19. С. 74–78. DOI: <https://doi.org/10.31734/architecture2018.19.074>
10. Нерадовский Л. Г. К вопросу изучения мерзлых грунтов в условиях экранирующего влияния первичного поля высокочастотного магнитного диполя. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018. № 4. С. 139–148. DOI: <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-4-0-139-148>
11. *Способ испытания оттаивающих грунтов и прессиометр для его осуществления* : пат. 1446236 СССР. № 4243684/31-33 ; заявл. 11.05.1987 ; опубл. 23.12.88, Бюл. № 47. 3 с.
12. *Способ испытания оттаивающих грунтов прессиометром* : пат. 1573088 СССР. № 4463705/23-33 ; заявл. 19.07.1988 ; опубл. 23.06.90, Бюл. № 23. 3 с.
13. Тарасов Б. Л., Лушников В. В., Павлов В. В. *Отчёт о научно-исследовательской работе по теме № 02487 «Исследование и внедрение рационального устройства оснований и фундаментов в слабых водонасыщенных грунтах»*. Свердловск, 1976. Ч. 1–2. 210 с.
14. Ульянов В. Ю. Возможная конструкция прессиометра для испытаний мёрзлых песчано-глинистых грунтов. *Наука як рушійна антикризова сила* : зб. стат. за матеріалами VII міжнародної науково-практичної конференції. 2020. С. 5–10.
15. Юшков Б. С., Третьякова О. В. Влияние анизотропии глинистых грунтовых массивов на напряженно-деформированное состояние транспортных тоннелей. *Транспортные сооружения*. 2014. Т. 1, № 3. С. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.15862/01ts314>

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

16. Li G., Yu Q., Ma W., Mu Y., Li X., Chen Z. Laboratory testing on heat transfer of frozen soil blocks used as backfills of pile foundation in permafrost along Qinghai-Tibet electrical trans-mission line. *Arabian Journal of Geosciences*. 2014. Vol. 8. P. 2527–2535. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1432-9>
17. Schwarz H., Bertermann D. Mediate relation between electrical and thermal conductivity of soil. *Geomech. Geophys. Geo-energ. Geo-resour.* 2020. Vol. 6. Iss. 50. P. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40948-020-00173-x>
18. Still B., Yang Z., Ge X. *Sampling, Machining and Testing of Naturally Frozen Soils*. Mechanical Properties of Frozen Soil / ed. H. Zubeck and Z. Yang. West Conshohocken, PA : ASTM International, 2013. P. 49–61. DOI: <https://doi.org/10.1520/STP156820130003>
19. Still B., Proskin S., Zubeck H., Yang Z. *Frozen-Soil Classification With Index Testing*. Mechanical Properties of Frozen Soil / ed. H. Zubeck and Z. Yang. West Conshohocken, PA : ASTM International, 2013. P. 169–179. DOI: <https://DOI.org/10.1520/STP156820130017>
20. Zhengchao T., Tusheng R., Joshua L., Heitman R. Horton Estimating thermal conductivity of frozen soils from air-filled porosity. *Soil Science Society of America Journal*. 2020. Vol. 84. Iss. 5. P. 1650–1657. DOI: <https://DOI.org/10.1002/saj2.20102>

V. Y. ULYANOV^{1*}

^{1*}Dep. «Engineering Geology and Geotechnics», Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Chernyshevskoho St., 24-a, Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (056) 756 33 43, e-mail egig@pgasa.dp.ua, ORCID 0000-0002-9028-3408

Ways to Increase the Efficiency of Thermopressiometry

Purpose. The purpose of the work is to identify the ways to increase the efficiency of engineering research, based on the significant amount of exploration work required in the creation of modern man-made objects, taking into account the shortcomings of existing instruments and equipment used to measure soil stress, and in relation to the need to improve the design of thermopressimeters, which are aimed to facilitate the study of frozen soils. **Methodology.** The ways to improve the blade thermopressimeter for the study of frozen soils with different aggregates were selected by the comparative-analytical method and the method of analogy. Thawing depth, absolute soil sediment, deformation modulus etc. were determined by thermal-technical calculations. **Findings.** The application issues of concern of the existing thermopressimeters (limited research of soils of a certain type, complexity and insufficient accuracy of readings) identified can be overcome by the proposed improved design of a blade thermopressimeter for testing frozen sandy-clay soils. It is based on the improved heating circuit, the application of quality materials and changing the form of the blades and body. The device is intended for use on permafrost and natural frozen soils of the world, including Ukraine. **Originality.** For the first time we offered a model of an advanced thermopressimeter with an improved body shape made of high-quality corrosion-resistant materials, including non-metallic ones. It has the reduced number of blades to one retractable sector blade-stamp (square or round) and one heating blade-stamp. A special probe design with mechanical/hydraulic sensor drive with a thermocouple (or with two fork probes to improve the measurements) was proposed. It was also recommended to introduce an electric conductive system designed for thawed soils, with a rod for measuring the retractable blade-stamp. The possibility of using a thermopressimeter during the study of seasonally frozen soils is established. **Practical value.** Improving the device model should facilitate its application in engineering and geological research for various types of construction, including transport, hydraulic engineering, which use the methods of deep freezing of weak and unstable soils.

Keywords: blades-stamps; thermopressimeter; deformation properties; thawing bowl; hot stamping method

REFERENCES

1. Aleinikov, A. S., & Petrova, A. G. (2017). Numerical Analysis of Frozen Soil Thawing under the Influence of Rainwater Infiltration. *Izvestiya of Altai State University*, 4(96), 72–77. DOI: [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2017\)4–12](https://doi.org/10.14258/izvasu(2017)4–12) (in Russian)
2. Amaryan, L. C. (1986). *Lopastnaya pressiometriya i ee primenimost v inzhenernoy geologii. Tekhnologiya i tekhnika polevykh ispytaniy gruntov: sbornik nauchnykh trudov PNIIS*, 14–20. (in Russian)
3. Amaryan, L. S., Vasilev, A. B., & Tsinskiy, B. V. (1981). *Rukovodstvo po ispytaniyu gruntov lopastnymi pressiometrami i pressiometrami-sdvigomerami*. PNIIS. (in Russian)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

4. *Soils. Field methods for determining the strength and strain characteristics*, 10-13 GOST 20276-2012. (2013). (in Russian)
5. Yefimov, V. M., Kravtsova, O. N., Stepanov, A. V., Timofeev, A. V., Vasilchuk, Yu. K., & Tappyrova, N. I. (2017). Issledovanie vliyaniya poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na prochnost merzlykh gruntov kriolitozony Respubliki Sakha (Yakutiya). *Arctic and Antarctica*, 4, 80-85. DOI: <https://doi.org/10.7256/2453-8922.2017.4.25035> (in Russian)
6. Yefimov, V. M., Stepanov, A. V., Tappyrova, N. I., Kravtsova, O. N., & Stepanov, A. A. (2017). Vliyanie tsiklov promerzaniya – protaivaniya na teplo-massobmennye svoystva tekhnogennykh kriogennykh gruntov severo-vostochnykh rayonov kriolitozony. *Arctic and Antarctica*, 4, 73-79. DOI: <https://doi.org/10.7256 / 2453-8922.2017.4.25027> (in Russian)
7. Isaev, V. S., Tyurin, A. I., Sergeev, D. O., Gorshkov, E. I., Volkov, N. G., & Stefanov, S. M. (2016). The day of science and innovation: new methods and ways of field geocryological researches. *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*, 1, 98-102. DOI: <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2016-1-98-102> (in Russian)
8. Minkin, M. A. (2005). *Metodika i metody inzhenerno-geokriologicheskikh izyskaniy*. Ukhta: Institut upravleniya informatsiy i biznesom. (in Russian)
9. Morklianyk, B., & Protsenko, P. (2018). The effect of greenhousing of soils on the building foundations function in the use of heat pumps. *Visnik L'vivs'kogo Nacional'nogo Agrarnogo Universitetu. Arhitektura i Sil's'kogospodars'ke Budivnictvo*, 19, 74-78. DOI: <https://doi.org/10.31734/architecture2018.19.074> (in Ukrainian)
10. Neradovskiy, L. G. (2018). Investigation of frozen soil under screening effect of the primary field of the high-frequency vertical magnetic dipole. *Mining informational and analytical bulletin*, 4, 139-148. DOI: <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-4-0-139-148> (in Russian)
11. Deryabin, G. N., Mareninov, I. A., Dubikov, G. I., Belov, V. S., & Moisey, O. N. (1988). *USSR Patent № 1446236 A method for testing thawing soils and a pressiometer for its implementation* (in Russian)
12. Deryabin, G. N., Martynov, A. I., Moses, O. N., Pozhidaeva, I. V., & Pronyaeva, Y. I. (1990). *USSR Patent № 1573088 Testing method of the thawing soil Pressimetra* (in Russian)
13. Tarasov, B. L., Lushnikov, V. V., & Pavlov, V. V. (1976). *Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote po teme № 02487 «Issledovanie i vnedrenie ratsionalnogo ustroystva osnovaniy i fundamentov v slabykh vodonasyschennykh gruntakh»* (Vol. 1-2). Sverdlovsk. (in Russian)
14. Ulyanov, V. Yu. (2020). Possible pressiometer design for tests of frozen sandy-clayey soils. *Nauka yak rushijna antykrizova syla: zbirnyk statej za materialamy VII mizhnarodnoyi naukovy-praktychnoyi konferenciyi* (pp. 5-10). (in Russian)
15. Yushkov, B., & Tretyakova, O. (2014). Anisotropy effect of the clay soil masses on the stress-strain state of transport tunnels. *Russian Journal of Transport Engineering*, 1(3), 1-10. DOI: <https://doi.org/10.15862/01ts314> (in Russian)
16. Li, G., Yu, Q., Ma, W., Mu, Y., Li, X., & Chen, Z. (2014). Laboratory testing on heat transfer of frozen soil blocks used as backfills of pile foundation in permafrost along Qinghai-Tibet electrical transmission line. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(5), 2527-2535. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1432-9> (in English)
17. Schwarz, H., & Bertermann, D. (2020). Mediate relation between electrical and thermal conductivity of soil. *Geomech. Geophys. Geo-energ. Geo-resour*, 6(50), 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40948-020-00173-x> (in English)
18. Still, B., Yang, Z., & Ge X. (2013). *Sampling, Machining and Testing of Naturally Frozen Soils*. In *Mechanical Properties of Frozen Soil* (H. Zubeck, Z. Yang, Eds., pp. 49-61). West Conshohocken, PA: ASTM International. DOI: <https://DOI.org/10.1520/STP156820130003> (in English)
19. Still B., Proskin S., Zubeck H., & Yang Z. (2013). *Frozen-Soil Classification With Index Testing*. In *Mechanical Properties of Frozen Soil* (H. Zubeck, Z. Yang, Eds., pp. 169-179). West Conshohocken, PA: ASTM International. DOI: <https://DOI.org/10.1520/STP156820130017>
20. Zhengchao T., Tusheng R., Joshua L., & Heitman R. (2020). Horton Estimating thermal conductivity of frozen soils from air-filled porosity. *Soil Science Society of America Journal*, 84(5), 1650-1657. DOI: <https://doi.org/10.1002/saj2.20102>

Надійшла до редколегії: 09.11.2020

Прийнята до друку: 09.03.2021