

УДК 550.82:550.8.04

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.260422.81.855

## СПЕЦІАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЛИНИСТИХ ҐРУНТІВ, ЩО НЕ РЕГЛАМЕНТУЮТЬСЯ НА МАЙДАНЧИКАХ АЕС

СЄДІН В. Л.<sup>1</sup>, *докт. техн. наук, проф.*,  
УЛЪЯНОВ В. Ю.<sup>2</sup>, *асист.*,  
КОВБА В. В.<sup>3\*</sup>, *канд. техн. наук, доц.*,  
ВОЛНІАНСЬКИЙ Ю. Ю.<sup>4</sup>, *навч. майстер*

<sup>1</sup>. Кафедра інженерної геології і геотехніки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: [sedin.volodymyr@pgasa.dp.ua](mailto:sedin.volodymyr@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

<sup>2</sup>. Кафедра інженерної геології і геотехніки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: [uluanov.vasily@pgasa.dp.ua](mailto:uluanov.vasily@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0002-9028-3408

<sup>3\*</sup>. Кафедра інженерної геології і геотехніки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (096) 588-46-71, e-mail: [kovba.vladyslav@pgasa.dp.ua](mailto:kovba.vladyslav@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0002-5140-8140

<sup>4</sup>. Кафедра основ і фундаментів, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, ORCID ID: 0000-0001-7888-4393

**Анотація. Постановка проблеми.** Наведено результати спеціальних ненормованих досліджень засолених глинистих ґрунтів, відібраних із котлованів під час будівництва АЕС у різний час і в різних країнах. Із майданчиків АЕС, розташованих в аридній кліматичній зоні, значно близькі до інженерно-геологічних умов щодо майданчика описуваної АЕС лише незавершена будівництвом Кримська АЕС, АЕС в Узбекистані, що проектується і, можливо, АЕС в Єгипті. **Мета статті** – оцінення ступеня впливу витоків із технологічних трубопроводів виробничої води різного складу і температури, які впливають на властивості ґрунтів основ відповідальних будівель і споруд АЕС, а також інших особливо важливих енергетичних об'єктів. Необхідність у проведенні подібних досліджень для забезпечення безпечної експлуатації АЕС очевидна, особливо за їх розташування в складних сейсмотектонічних і геологічних умовах. **Висновки.** Пропонований у статті нерегламентований метод дослідження пластичних властивостей глинистих ґрунтів – це поєднання декількох уже апробованих методів. Сутність і відмінність непрямого методу полягає в дослідженні пластичних властивостей ґрунтів тільки після їх попередньої різночасної обробки ґрунтовою водою різної температури. Процес випробувань частково моделює вплив на ґрунтові основи можливих короточасних (миттєвих) або тривалих витоків із технологічних теплових водогінних комунікацій, результатом яких став би значний прогрів ґрунтових вод. У результаті роботи були схильні до замочування верхні горизонти ґрунтів майданчиків деяких АЕС, у тому числі й за підвищених температур, однак принципових відмінностей від таких впливів поки не виявлено. Результати досліджень досить добре корелюються з раніше виконаними дослідженнями з вилуговування ґрунтів у верхній частині геологічного розрізу майданчиків АЕС.

**Ключові слова:** АЕС; вилуговування; прилад Віка; глинистий ґрунт; пенетрометр бітумний

## SPECIAL RESEARCHES OF CLAY SOILS WHICH ARE NOT REGULATED ON NPP SITES

SEDIN V. L.<sup>1</sup> *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
ULYANOV V. Yu.<sup>2\*</sup>, *assistant.*,  
KOVBA V.V.<sup>3\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assos. prof.*,  
VOLNIANSKYI Yu. Yu.<sup>4</sup>, *training master.*

<sup>1</sup> Department of Engineering geology and geotechnics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24A, Chernishevskogo str., Dnipro, Ukraine, e-mail: [sedin.volodymyr@pgasa.dp.ua](mailto:sedin.volodymyr@pgasa.dp.ua) ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

<sup>2\*</sup> Department of Engineering geology and geotechnics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24A, Chernishevskogo str., Dnipro, Ukraine, e-mail: [uluanov.vasily@pgasa.dp.ua](mailto:uluanov.vasily@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0002-9028-3408

<sup>3\*</sup> Department of Engineering geology and geotechnics Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24A, Chernishevskogo str., Dnipro, Ukraine, +38(096)588-46-71, e-mail: kovba.vladyslav@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-5140-8140

<sup>4</sup> Department of Engineering geology and geotechnics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24A, Chernishevskogo str., Dnipro, Ukraine, ORCID ID: 0000-0001-7888-4393

**Abstract. Problem statement.** The article presents the results of special non-normative research for saline clay soils sampled from excavations during the nuclear power plants' construction at different times and in different countries. Of the NPP sites located in the arid climate zone, only the Crimean NPP, which is not yet under construction, the planned NPP in Uzbekistan and possibly the NPP in Egypt are close to the engineering and geological conditions relative to the described NPP site to a large extent. **The purpose of the article.** The researchers' purpose is to estimate the degree of leakages impact from technological pipelines for production water of different composition and temperature, which affect the soil properties of the foundations for responsible buildings and structures of NPPs and other critical energy facilities. The need for such research is obvious to ensure the safe operation of nuclear power plants, especially when NPP are located in difficult seismotectonic and geological conditions. **Conclusions.** The non-regulated method for investigating the plastic properties of clay soils proposed in this article is a combination of several already tested research methods. The essence and difference of this indirect method is to investigate the soils plastic properties only after their pretreatment at different times with ground water of different temperatures. The test process partially simulates the impact on soil bases of possible short-term (instantaneous) or long-term leakages from technological thermal water supply communications, which would result in significant ground water warming. As a work result, the upper horizons of the soils for some NPP sites were prone to soaking, including at elevated temperatures, but no fundamental differences from these impacts have yet been found. The results of these researches correlate quite well with the previously performed investigations on soils leaching in the upper part of the geological section of the NPP sites. As a result, the upper soil horizons of some NPP sites were prone to soaking, including at elevated temperatures, but no fundamental differences from these effects have yet been identified. The results of the conducted research correlate quite well with the previously performed studies on soil leaching in the upper part of the NPP sites geological section.

**Keywords:** NPP, leaching, Vicat apparatus, clay soil, bitumen penetrometer

**Постановка проблеми.** З майданчиків АЕС, розташованих в аридній кліматичній зоні, значно близькі до інженерно-геологічних умов щодо майданчика описуваної АЕС лише незавершена будівництвом Кримська АЕС, АЕС в Узбекистані, що проектується і, можливо, АЕС в Єгипті. Ґрунти майданчиків в аридній зоні, складені пухкими ґрунтами осадового комплексу, часто містять у своєму складі значні кількості різних солей.

Для споруд АЕС, побудованих на засолених ґрунтах, найбільш імовірну небезпеку становлять нерівномірні осідання ґрунтів основи, що виникли внаслідок розвитку процесу вилуговування водорозчинних солей під час витоків техногенних виробничих і господарсько-побутових вод. Вилуговування або хімічна суфозія передбачає винесення водорозчинних солей із ґрунту і пов'язану з наявністю в них легко- і середньорозчинних солей, які перебувають у твердому стані і є або цементом, або заповнювачем парового простору.

Винесення легкорозчинних солей у супіщаних ґрунтах відбувається досить швидко. Вилуговування середньо- і важкорозчинних солей (гіпс, карбонати) більш тривале. З цієї ж причини суфозійні осідання, що розвиваються досить повільно в силу невеликої розчинності солей і значно меншої водопроникності ґрунтів, іноді досягають великих значень.

Для прогнозу можливої хімічної суфозії на майданчиках АЕС необхідно знати характер і обсяги втрати води, фільтраційні характеристики ґрунтового масиву, хімічний склад і концентрацію техногенних вод, що циркулюють у різних технологічних системах. Дослідження на майданчику споруджуваної Кримської АЕС, за оцінкою впливу вилуговування глинистих ґрунтів на деформацію основ, виконувалися колективом фахівців різного профілю під керівництвом Р. С. Зангіарова.

Відомо, що великий вплив на розсолення ґрунтів чинить наявність у воді тих чи інших мінеральних сполук. Крім того, інтенсивність вилуговування суттєво

залежить від хімічного складу й концентрації рідини що контактує з ґрунтом. Тому основним інструментарієм у проведених дослідженнях було чисельне моделювання, що дозволило оцінити залежність розчинності присутніх у ґрунтах мінералів і, насамперед, гіпсу від складу контактуючих розчинів, з яких, крім ґрунтових вод, у технологічному циклі АЕС найчастіше використовуються  $\text{HCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{HCO}_3$  ( $\text{CO}_2$ ).

Найперше в ході виконуваних робіт була оцінена розчинна здатність води, що містить  $\text{NaCl}$ . Відомо, що наявність хлористого натрію у воді значною мірою збільшує розчинність гіпсу. Наступним етапом досліджень стало оцінення впливу вуглекислого газу  $\text{CO}_2$ , який, як відомо, впливає на розчинність присутніх у ґрунтах карбонатів  $\text{CaCO}_3$ . Однак розчинення карбонатів можливе тільки після розчинення гіпсу, тому було оцінено вплив  $\text{CO}_2$  саме на розчинність гіпсу.

Також оцінювали вплив на розчинність гіпсу соляної кислоти  $\text{HCl}$ , яка найчастіше використовується в технологічних процесах на АЕС. А оскільки  $\text{HCl}$  ще й підвищує розчинність карбонатів, вплив витоків цих кислот буде істотно більшим за інші хімічні сполуки. Додатково, зміна складу і концентрації води що контактує, із засоленим ґрунтом, викликає і зміни інших параметрів вилуговування.

Таким чином, проведений комплекс досліджень, що включає як лабораторні роботи, так і моделювання, дозволив досить повно вивчити процес хімічної суфозії глинистих ґрунтів в основі Кримської АЕС.

Доведено, що в інженерно-геологічних умовах ділянки вилуговування засолених ґрунтів не могло спричинити істотні зміни деформаційних характеристик ґрунтів основ відповідальних споруд АЕС. Ступінь вилуговування ґрунтів зони аерації на прогнозний період становив менше 0,07, а водовмісних ґрунтів – 0,02, що зумовлює зменшення модуля деформації не більше ніж на 16 % [1].

Вищеописані дослідження були б більш представницькими, якби повною мірою

враховувався і вплив температур на вивчені на майданчику Кримської АЕС процеси. Однак відомостей про врахування температурного впливу у моделюванні процесів у ґрунтовому масиві згаданого майданчика АЕС немає.

Перші повноцінні дослідження термодинаміки глинистих ґрунтів в основі будівель і споруд АЕС проводилися на майданчику Південно-Української АЕС силами НДІ термогідрогеодинаміки Київського державного університету під керівництвом А. І. Фіалка [2]. Особливості випробуваного в лабораторії термогідрогеодинаміки глинистого ґрунту сарматського ярусу були такими:

- відсутність гіпсу;
- вміст карбонатів у ґрунті в межах 10 %;
- середня засоленість.

За результатами проведених досліджень визнано, що в температурному діапазоні 20...60 °С вплив температури на характеристики міцності й деформативності ущільнених глинистих ґрунтів майданчика АЕС в цілому несуттєвий. Зокрема, не помічено впливу зміни температури на значення кута внутрішнього тертя  $\phi$ , а відхилення коливань значень питомого зчеплення  $c$  відбувалося в межах не більше 10 %. При цьому, за збільшення температури до 60 °С відмічено деяке зниження коефіцієнта пористості  $e$  і збільшення коефіцієнта фільтрації  $k_f$ .

Також зафіксовано, що у разі збільшення температури ґрунту до 60 °С коефіцієнт консолідації  $C_v$  збільшується в 1,6 раза. За такої умови збільшення температури при одночасному підвищенні навантаження  $P$  викликає збільшення розчинності  $\text{CaCO}_3$  у складі ґрунту. Але оскільки глинисті ґрунти майданчика Південно-Української АЕС не містять гіпсу, величина додаткового суфозійного осідання дуже мала і не перевищує 1–5 % від загальної деформації ґрунтів навіть після 65 діб експерименту.

Вплив суфозійної складової на  $C$  і  $\phi$  також визнано несуттєвим. Однак проведені дослідження враховували тільки геологічні

умови майданчика Південно-Української АЕС і були мало застосовні на інших майданчиках АЕС, зокрема, і на майданчику Кримської АЕС, до того ж, мали різко відмінну геологію.

Поза майданчиками АЕС термодинамічними дослідженнями глинистих ґрунтів тривалий час займалися низка відомих вітчизняних учених, що публікували свої праці у профільних виданнях [3–11]. Так, зокрема, В. Н. Жіленкова в лабораторних умовах установила, що за нагрівання до температури, близької до 100°C, водопроникність зразків глинистих ґрунтів не збільшувалася, як передбачалося, а в деяких випадках, навпаки, різко зменшувалася [12]. Дані, отримані А. Г. Кошелевою та ін., з дослідження зміни властивостей глинистих ґрунтів за техногенних впливів дозволили зробити висновки про теплові впливи на їх склад, структуру й властивості.

Залежно від геологічної будови було виділено кілька схем теплового техногенного впливу, а саме: а) висушування ґрунтів у разі можливості вільного випаровування парової вологи і внаслідок цього розвиток осідання, зменшення вологості й підвищення міцності ґрунтів; б) за неможливості вільного випаровування парової вологи (асфальтові або багатошарові бетонні покриття, всілякі насипи тощо) відбувається погіршення властивостей ґрунтів, що супроводжується зниженням їх міцності, величини зчеплення й підвищення вологості [13]. Відомо й про широке проведення подібних досліджень зарубіжними вченими [14–18].

**Мета досліджень** – оцінення ступеня впливу витоків з технологічних трубопроводів виробничої води різного складу й температури, які впливають на властивості ґрунтових основ будівель із підвищеною категорією відповідальності (зокрема, будівлі АЕС). Необхідність проведення подібних досліджень пояснюється необхідністю забезпечення надійної та безпечної експлуатації будівель АЕС, особливо у разі їх розташування в

складних сейсмотектонічних і геологічних умовах.

**Методи.** Для дослідження властивостей глинистих ґрунтів на майданчику описуваної АЕС, розташованої в південній посушливій зоні, використовувалися окремі елементи вже існуючих методів, які застосовуються в науці, в різних галузях промисловості та гірничої справи.

Досить широко в промисловості будівельних матеріалів відомий такий метод випробувань глинистої сировини, а фактично його пластичних властивостей, як визначення формувальної вологості, що проводиться відповідно до вимог ГОСТ 21216-2014 [19]. Метод заснований на визначенні вологості, за якої глиниста маса, проявляючи пластичні і формувальні властивості, зберігає без деформацій надану їй форму і при розкачуванні не прилипає до рук і металу. Основним засобом проведення випробувань став прилад Віка [20].

Також досить широко відомий в нафтовій промисловості метод визначення глибини проникнення голки для випробувань нафтових бітумів, що проводиться відповідно до вимог стандарту [21]. Основа методу полягає у вимірюванні глибини, на яку занурюється голка пенетрометра у випробуваний зразок бітуму за заданих навантаження, температури і часу.

Відомі деякі лабораторні методи оцінювання структурної міцності й ущільненості ґрунтів, зокрема, метод випробувань кульовими і конічними штампами, а також спосіб визначень коефіцієнта структурної зв'язності методом конуса, запропонований П. О. Бойченком. Для визначень структурної водоміцності ґрунтів відомий метод В. М. Алексеєва і Г. А. Ліпсона [22].

Таким чином, запропонований у статті нерегламентований (непрямий) метод дослідження пластичних властивостей глинистих ґрунтів поєднує декілька вже апробованих методів. Основний його задум полягає в дослідженні пластичних властивостей ґрунтів одразу після їх попередньої обробки ґрунтовою водою різної температури в різний час.

Особливість АЕС, що розглядається в статті – це велика кількість водогірних комунікацій, заглиблених у ґрунт. З цієї причини проведені випробування фактично моделюють вплив на ґрунтові основи будівель із підвищеною категорією відповідальності (зокрема, будівлі АЕС) можливих короткочасних або тривалих витоків із численних водогірних комунікацій рідини з температурою до 80 °С. Такий процес сприяє значному прогріванню ґрунтових вод і зміні властивостей водовмісних ґрунтів. Зміна пластичності (консистенції) глинистих ґрунтів після температурного впливу імовірно також прямо пов'язана з їх деформаційними і властивостями міцності.

**Результати досліджень.** Дослідження виконувалися ще на початку століття, в ініціативному порядку для відпрацювання питань контролю стану ґрунтової основи споруджуваних об'єктів АЕС, за різних впливів і являють собою повністю власну оригінальну методику. Зразки ґрунтів для досліджень були відібрані з котловану додаткового спецкорпусу, що будується, а також із котловану під напірні циркуляційні трубопроводи поблизу берегової блокової насосної станції в інтервалі глибин 3,0...3,5 м. Обробку проб здійснювали в будівельній лабораторії безпосередньо на майданчику АЕС.

Основу зазначених споруд складають типові для регіону зв'язні ґрунти, що залягають у верхній частині місцевої формації дочетвертинного віку й представлені засоленими коричневими легкими глинами, а також важкими суглинками від твердої до тугопластичної консистенції з одиничними дрібними гніздами пилюватого піску й озалізненних супісків. Ґрунти карбонатні, з характерним раковистим зломом, в окремих інтервалах із дрібними точковими включеннями органіки. Потужність ґрунтів змінюється від 1,0 м до 18,2 м. Середня потужність – 11,2 м. Частина ґрунтів у процесі будівництва була видалена.

Ґрунти даного шару досить добре вивчені в ході досліджень і були розкриті

багатьма будівельними котлованами. Коефіцієнт фільтрації ґрунтів визначали в лабораторних умовах. Аналіз даних показує, що коефіцієнти фільтрації для суглинків і глин шару мають близькі значення  $1,3E-08$  –  $2,7E-08$  см/с.

Під час досліджень для суглинків і глин даного шару проводилися досліді на горизонтальну фільтрацію. В однорідних ґрунтах зміна напрямку потоку незначно збільшила коефіцієнт фільтрації –  $5E-98$  см/с. Мінералізація вод ґрунтового водоносного горизонту становила 38,7 г/л (джерело у береговій блокової насосної станції), але в міру віддалення від берегової лінії істотно знижувалася з попутною зміною хімічного складу.

Ґрунти майданчика містять легко- і середньорозчинні солі. За результатами аналізів уміст карбонатів кальцію в ґрунтах змінюється від 46 до 85 %. Залежність вмісту карбонатів від глибини взяття проби не відмічається. До глибини 22...24 м вміст слабо- і середньорозчинних солей (ступінь засоленості) змінюється від 0,2 до 0,85 %. В аніонному складі переважають сульфати і хлориди, в катіонному м кальцій і магній.

Випробування на тривале вилуговування ґрунтів ставилися з метою визначення зміни міцності й деформаційних властивостей ґрунтів у результаті винесення легко- і середньорозчинних солей (хлориди, сульфати натрію й кальцію). Встановлено, що за тривалий термін (20...35 діб) циклу випробування відбувається винесення легкорозчинних солей і зниження загальної засоленості зразків. При цьому починають розвиватися додаткові осідання ґрунту, які складають 0,15...0,75 % від початкової висоти зразка. Під час додаткових осідань у процесі тривалої фільтрації відбувається зменшення модуля деформації в 1,2...3,1 раза.

Дослідженнями впливу вилуговування на властивості міцності встановлено, що загальним для досліджених зразків є зниження зчеплення з 63...77 до 35...53 кПа, і так само збільшення кута внутрішнього тертя з 23 до 33°.

На ранніх етапах досліджень водонасичення ґрунтів проводили тільки дистильованою водою. На пізніх етапах уточнювали характер набухання ґрунтів водонасиченням як дистильованою, так і ґрунтовою водою. За фільтрації ґрунтовою водою відбувається перерозподіл солей у системі ґрунт–вода, що не викликає принципової зміни засоленості ґрунту, а в разі фільтрації високомінералізованою морською водою відбувається збільшення засоленості ґрунту.

При цьому додаткова деформація ґрунтів відбувається тільки за рахунок їх зволоження. Згідно з діючим на момент проведення досліджень ГОСТ 25100-95, до набухаючих належать ґрунти, в яких величина відносного набухання без навантаження перевищує 4%. Аналіз результатів проведених досліджень дозволяє зробити такі висновки:

а) ступінь набухання ґрунтів за їх насичення ґрунтовою водою на 1...2% менший, ніж у разі водонасичення дистильованою водою;

б) ґрунти досліджуваного шару слабо набухають;

в) значення тиску набухання змінюються від 0,1 до 0,16 МПа.

Ґрунти досліджуваного шару в цілому мало стискувані, нормативні значення модуля деформації змінюються в інтервалі 32...26 МПа. Але в ході польових і лабораторних досліджень встановлено, що окремі прошарки суглинків (на контакт з водонасиченими піщано-супіщаними прошарками) мають підвищену стисливість. Нормативне значення модуля деформації для цих ґрунтів становить  $E_0 = 6,0$  МПа. Значення модуля деформації ґрунтів були уточнені за даними статичного зондування, а також – за результатами пресіометричних випробувань.

Визначення коефіцієнта консолідації ґрунтів проводилось методом тривісного стиску. В цілому, для даних ґрунтів характерні низькі значення. Зокрема, коефіцієнти консолідації мають значення  $1,1E-03 - 1,8E-03$  см<sup>2</sup>/с.

Характеристики міцності досліджували лабораторними (тривісні випробування на зсув), польовими методами (зрушення ціликів) і за результатами статичного зондування. Для отримання показників зчеплення  $C$  і кута внутрішнього тертя  $\varphi^\circ$  проводили консолидовано-недреновані випробування. Для визначення анізотропії характеристик міцності ґрунту проводили випробування на зсув уздовж поверхні нашарування. Нормативне значення зчеплення  $C$  відповідало значенню 69 кПа.

Слід зазначити про відсутність даних, які свідчать, що досліджувані зразки ґрунтів у лабораторних умовах випробовувалися і в широкому діапазоні температурних впливів.

Для проведення досліджень глинистих ґрунтів у бортах будівельних котлованів у період виконання робіт нульового циклу відбирали зразки глини кубічної форми з розмірами  $5 \times 5 \times 5$  см і  $4 \times 4 \times 4$  см, які негайно доставляли до лабораторії.

Ґрунтову воду для замочування зразків відбирали з дренажного колодязя турбінної будівлі. За хімічним складом вода, відібрана з цього колодязя на момент досліджень, була сульфатно-хлоридною натрієво-кальцієвою з мінералізацією 6,5 г/л і температурою 24,5 °С.



Рис. Пенетрометр бітумний

Крім лабораторного бітумного пенетрометра типу B056 KIT (рис.) фірми «MATEST» (Італія), використовували лабораторне нагрівальне обладнання, термостійкий скляний посуд і водяні термометри типу ТБ-3-М.

Проведення досліджень складалося з декількох паралельно виконуваних попередніх серій дослідів, а саме:

- короткочасне (до 45 хв.) замочування зразків;
- короткочасне (до 45 хв.) нагрівання у воді зразків до температури 60 та 80°C;
- тривале (до 24 год.) замочування зразків.

Після закінчення цих серій дослідів, строго орієнтованих ще на стадії відбору, зразки поміщали на предметний столик приладу. Потім фіксувалася максимальна глибина проникнення в ґрунт голки рухомої вільно падаючої частини приладу (в градусах круглої шкали) в декількох точках верхньої межі, умовно званого в даному конкретному випадку пенетрацією за аналогією з відомим методом

дослідження ґрунтів. Для з'ясування впливу можливої анізотропії на визначальні характеристики ґрунтів на декількох зразках ґрунту кубічної форми випробовували по три суміжні грані.

Під час короткочасного замочування ґрунтовою водою природної температури (24,5 °C) водоносного горизонту зразки випробовували відповідно через 15, 30, 45 хв. Динаміка результатів випробувань окремих зразків на пенетрацію відображена в таблиці 1.

За короткочасних температурних впливів 24,5, 60 та 80 °C зразки випробовували через 30 і 45 хв. відповідно. Результати випробувань наведені в таблиці 2.

У разі тривалого замочування та за природної (24,5°C) температури ґрунтових вод зразки випробовували через 24 год. Відібрані зразки ґрунтів випробовували після різних температур лише одноразово.

Типові результати досліджень одного із зразків ґрунтів за тривалого замочування наведені в таблиці 3.

Таблиця 1

**Результати випробувань ґрунтів, вибитих із котлованів будівлі додаткового спецкорпусу, що будується, і напірних циркуляційних трубопроводів після короткочасного замочування за природної температури ґрунтових вод**

Час замочування зразка	Стан зразка	Результати пенетрації в град. шкали приладу					Середнє $\Sigma$
15 хв.	Після замочування	54	51	53	–	–	$\Sigma$ 52,7
30 хв.	Після замочування	63	58	66	63	68	$\Sigma$ 63,6
45 хв.	Після замочування	76	80	71	76	71	$\Sigma$ 74,8

Таблиця 2

**Результати випробувань окремих зразків ґрунту з котловану будівлі додаткового спецкорпусу, що будується, до і після температурного впливу**

Час нагрівання замочених зразків	Стан зразків	Температура води під час замочування, °C	Результати пенетрації в град. шкали приладу					Середнє $\Sigma$
30 хв. (без нагріву)	до замочування	24,5	47	52	51	–	–	50
	після замочування		72	81	78	–	–	77
30 хв.	до замочування	60	41	30	32	48	46	39,4
	після замочування і нагрівання		71	68	63	54	59	63
	до замочування	80	41	42	37	42	36	39,6
	після замочування і нагрівання		65	50	51	56	54	55,2
45 хв.	до замочування	60	33	20	44	44	42	36,6
	після замочування і нагрівання		54	55	51	49	66	55
	до замочування	80	45	46	46	43	40	44
	після замочування і нагрівання		51	58	68	66	72	63

Таблиця 3

**Результати penetрації одного із зразків ґрунту, виїнятого з котловану будівлі додаткового спецкорпусу, що будується, після тривалого замочування в умовах природної температури ґрунтових вод (24,5 °C)**

Стан зразків	Результати penetрації в град. шкали приладу					Середнє $\Sigma$
до замочування	69	60	52	54	53	57,6
до замочування	88	96	91	83	88	89,2

### **Результати та основні висновки проведених дослідів**

1. Після короточасного нагрівання зразків ґрунту до 45 хв. за температури 60 і 80 °C або за короточасного замочування до 45 хв. у ґрунтовій воді природної температури значення penetрації збільшувалися в 1,4–1,6 раза в порівняно із зразками природної вологості.

2. Після тривалого замочування (до 24 годин) за природної температури ґрунтових вод (24,5 °C) значення penetрації для глин збільшувалися в 1,2–1,6 раза.

3. Отримані значення penetрації після короточасних нагрівання і замочування в ґрунтовій воді принципово не відрізняються.

4. Для отримання повноцінних даних потрібне проведення додаткових дослідів із впливу тривалого нагрівання зразків глин, у тому числі і в більш мінералізованій воді.

5. Зразки глинистих ґрунтів за наявності численних лінзочок, гнізд або дрібних прошарків супіщаного матеріалу менш водостійкі, ніж зразки без включень.

6. У зразків глин без гнізд, лінзочок і дрібних прошарків об'єм і форма (лінійні розміри) в ході дослідів практично не змінюються.

7. Набухання зразків глин у видимих межах у ході проведення дослідів не спостерігалось у зразків як із включеннями, так і без них.

8. Явно вираженої анізотропії значень penetрації в різних граней зразків ґрунту кубічної форми в ході випробувань не фіксувалося, що свідчить про відносну однорідність природного матеріалу.

Отже, результати проведених досліджень досить добре корелюються з раніше виконаними дослідженнями із вилуговування ґрунтів верхньої частини геологічного розрізу майданчика даної АЕС. Додаткову інформацію свого часу могли б дати ґрунтові марки, встановлені в зоні

циркуляційних водоводів, а також марки, встановлені на оглядових колодязях самих водоводів. Однак капітальні осадові марки були встановлені, та й то через тривалий час після закінчення будівництва, тільки на будівлі додаткового спецкорпусу (до цього використовувалися лише тимчасові марки, а це спричинювало значні похибки у вимірах).

За результатами досліджень припущено, що ґрунтова основа напірних циркуляційних трубопроводів і будівлі додаткового спецкорпусу значною мірою піддається впливу як ґрунтових вод за природної температури в разі підтоплення майданчика, так і техногенних вод підвищеної температури під час виробничих витоків.

### **Висновки**

Запропонований у цій статті нерегламентований метод дослідження пластичних властивостей глинистих ґрунтів являє собою поєднання декількох уже апробованих методів досліджень. Сутність і відмінність цього непрямого методу полягає в дослідженні пластичних властивостей ґрунтів тільки після їх попередньої обробки ґрунтовою водою (в різний час) різною температурою. Зміна пластичності глинистих ґрунтів після температурного впливу ймовірно пов'язана з їх деформаційними властивостями та властивостями міцності.

Процес випробувань частково моделює вплив на ґрунти основ відповідальних будівель і споруд АЕС можливих короточасних (миттєвих) або тривалих витоків із технологічних теплових водогінних комунікацій, результатом яких став би значний прогрів ґрунтових вод.

Результати досліджень досить добре корелюються з раніше виконаними дослідженнями із вилуговування ґрунтів верхньої частини геологічного розрізу майданчика АЕС. Додаткову інформацію могли б дати ґрунтові марки, встановлені в



зоні розташування циркуляційних водоводів, а також марки, встановлені на оглядових колодязях самих водоводів, а також результати високоточних геодезичних спостережень за осіданням будівлі додаткового спецкорпусу АЕС.

Грунтова основа напірних циркуляційних трубопроводів і будівлі

додаткового спецкорпусу значною мірою схильні до впливу як ґрунтових вод за природної температури в разі підтоплення майданчика, так і техногенних вод підвищеної температури під час виробничих витоків.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зангиаров Р. С., Аслибекян О. В., Самарин Е. Н., Кутергин В. Н., Рахманов Б. Оценка влияния выщелачивания глинистых грунтов на деформацию основания Крымской АЭС. *Инженерная геология*. № 1. Москва, 1992. С. 23–39.
2. Шостак А. В., Фиалко А. И. Отчёт по теме 3-90.11 «Лабораторные исследования грунтов промплощадки ЮУАЭС в условиях температурного, динамического и суффозионного воздействия». Киев : Киевский университет им. Т. Г. Шевченко, 1991. Т. 1.
3. Злочевская Р. И., Дивисилова В. И. Зависимость набухаемости глин от температуры. Связанная вода в дисперсных системах. Москва : Изд-во Моск. ун-та, 1977. С. 59–68.
4. Андреичев М. В., Горбунов Б. П., Котов А. И., Мотузов Я. Я. Термоконсолидация илов. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве. Киев : Будівельник, 1974. 121 с.
5. Галстян Р. Р., Месчан С. Р. Исследование компрессионной ползучести глинистого грунта с учетом температурных воздействий. *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 1972. № 4.
6. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. 2-е изд. перераб. и доп. Ленинград : Недра, 1984. 511 с.
7. Королёв В. А. Влияние температуры на адсорбцию влаги в глинистых грунтах : учеб. пособ. Москва : Изд-во МГУ, 1997. 168 с.
8. Злочевская Р. И., Королёв В. А. Общие закономерности изменения физико-механических свойств глинистых грунтов под действием положительной температуры. *Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека*. Москва : Наука, 1982. С. 55–60.
9. Карпенко Ф. С., Кутергин В. Н., Фролов С. И., Собин Р. В. Влияние на прочность глинистых грунтов изменений свойств гидратных плёнок при температурных воздействиях. *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. Москва, 2021. № 1. С. 69–78.
10. Королёв В. А., Осипов В. И., Резниченко А. П., Хуихи Ф. Влияние температуры на длительную прочность водонасыщенных глин при трёхосном сжатии. *Поверхностные плёнки воды в дисперсных структурах*. Москва : Изд-во МГУ, 1988. С. 266–277.
11. Сницарь М. А., Самедов А. М. О расчете фундаментов на набухающих грунтах при увлажнении горячей водой. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. Москва : Изд-во ООО «Горная книга», 2015. № 12. С. 221–225.
12. Жиленков В. Н. Влияние температур глинистого грунта на его водопроницаемость. *Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева*. 1999. Т. 235. С. 39–46.
13. Кошелев А. Г., Королев В. А., Соколов В. Н. Изменение свойств глинистых грунтов при техногенных тепловых воздействиях. *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриологи*. Москва : Наука, 2001. № 6. С. 519–530.
14. Török Á., Hajpál M. Effect of Temperature Changes on the Mineralogy and Physical Properties of Sandstones. A Laboratory Study. *Restoration of Buildings and Monuments Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege*. 2005. Vol. 11, № 4. Pp. 1–8.
15. De Bruyn D., Thimus J. F. The influence of temperature on mechanical characteristics of Boom clay : The results of an initial laboratory programme. *Engineering Geology*. 1996. Vol. 41, issues 1–4. Pp. 117–126.
16. Goodman C., Latifi N., Vahedifard F. Effects of Temperature on Microstructural Properties of Unsaturated Clay. Conference : IFCEE 2018. DOI: 10.1061/9780784481585.034.
17. Zihms S. G., Switzer C., Karstunen M., Tarantino A. Understanding the effects of high temperature processes on the engineering properties of soils. *Comprendre les effets des procédés a haute température sur les propriétés des sols. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Paris, 2013. Pp. 3427–3430.
18. Gadzama E. W., Nuhu I., Yohanna P. Influence of Temperature on the Engineering Properties of Selected Tropical Black Clays. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2017. Vol. 42. Pp. 3829–3838.
19. ГОСТ 21216-2014. Сырьё глинистое. Методы испытаний. Москва : Стандартинформ, 2015. 43 с.

20. Семенов В. С., Сканава Н. А., Ефимов Б. А. Неорганические вяжущие вещества : методические указания к выполнению лабораторных работ и домашнего задания для студентов всех направлений и уровней подготовки, реализуемых МГСУ; под ред. Д. В. Орешкина. Москва : МГСУ, 2015. 56 с.
21. ГОСТ 11501-78. Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы. Москва : Стандартиформ, 2008. 7 с.
22. Ларионов А. М. Методы исследований структуры грунтов. Москва : Изд-во «Недра», 1971. 200 с.

## REFERENCES

1. Zangiarov R.S., Aslibekyan O.V., Samarin Ye.N., Kutergin V.N. and Rakhmanov B. *Otsenka vliyaniya vyshchelachivaniya glinistyykh gruntov na deformatsiyu osnovaniya Krymskoy AES* [Assessment of the influence of leaching of clay soils on the deformation of the foundation of the Crimean NPP]. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering Geology]. No. 1, Moscow, 1992, pp. 23–39. (in Russian).
2. Shostak A.V. and Fialko A.I. *Otchet po teme 3-90.11 "Laboratornyye issledovaniya hruntov prompleshchadky YuUAES v usloviyakh temperaturnogo, dynamicheskogo y suffozyonnoho vozdeistviya"* [Report on topic 3-90.11 "Laboratory studies of soils at the industrial site of the South Ukraine NPP under conditions of temperature, dynamic and suffusion effects"]. Kyiv : Kyiv University after T.G. Shevchenko, 1991, vol. 1. (in Russian).
3. Zlochevskaia R.I. and Dyvysylova V.I. *Zavysymost nabukhaemosti hlyn ot temperaturi. Sviazannaia voda v dyspersnykh systemakh* [Dependence of clay swelling on temperature. Bound water in dispersed systems]. Moscow : Moscow University Publ., 1977, pp. 59–68. (in Russian).
4. Andreichev M.V., Gorbunov B.P., Kotov A.I. and Motuzov Ya.Ya. *Termokonsolidatsiya ilov. Zakrepleniye i uplotneniye gruntov v stroitel'stve* [Thermal consolidation of silts. Fixing and compaction of soils in construction]. Kyiv: Budivelnik Publ., 1974, 121 p. (in Russian).
5. Galstyan R.R. and Meschan S.R. *Issledovaniye kompressionnoy polzuchesti glinistogo grunta s uchetom temperaturnykh vozdeystviy* [Study of compressive creep of clay soil taking into account temperature effects]. *Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov* [Foundations, Foundations and Soil Mechanics]. 1972, no. 4. (in Russian).
6. Lomtadze V.D. *Inzhenernaya geologiya. Inzhenernaya geodinamika* [Engineering geology. Engineering geodynamics]. Leningrad : Nedra Publ., 1984, 511 p. (in Russian).
7. Korolov V.A. *Vliyaniye temperatury na adsorbtsiyu vlagi v glinistyykh gruntakh : ucheb. Posob.* [Effect of Temperature on Moisture Adsorption in Clay Soils : tutorial]. Moscow : MSU Publ., 1997, 168 p. (in Russian).
8. Zlochevskaya R.I. and Koroliov V.A. *Obshchiye zakonomernosti izmeneniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv glinistyykh gruntov pod deystviyem polozhitel'noy temperatury* [General patterns of changes in the physical and mechanical properties of clay soils under the influence of a positive temperature]. *Izmeneniye geologicheskoy sredy pod vliyaniem deyatel'nosti cheloveka* [Changes in the geological environment under the influence of human activities]. Moscow : Nauka Publ., 1982, pp. 55–60. (in Russian).
9. Karpenko F.S., Kutergin V.N., Frolov S.I. and Sobin R.V. *Vliyaniye na prochnost' glinistyykh gruntov izmeneniya svoystv gidratnykh plonok pri temperaturnykh vozdeystviyakh* [Influence on the strength of clay soils of changes in the properties of hydrated films under temperature effects]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* [Geoecology. Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology]. Moscow, 2021, no. 1, pp. 69–78. (in Russian).
10. Koroliov V.A., Osipov V.I., Reznichenko A.P. and Khuikhi F. *Vliyaniye temperatury na dlitel'nuyu prochnost' vodonasyshchennykh glin pri trokhosnom szhatii* [The influence of temperature on the long-term strength of water-saturated clays under triaxial compression]. *Poverkhnostnyye plonki vody v dispersnykh strukturakh* [Surface water films in dispersed structures]. Moscow : MSU Publ., 1988, pp. 266–277. (in Russian).
11. Snitsar' M.A. and Samedov A.M. *O raschete fundamentov na nabukhayushchikh gruntakh pri uvlazhnenii goryachey vodoy* [On the calculation of foundations on swelling soils when moistened with hot water]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining Information and Analytical Bulletin]. Moscow : Publ. OLR "Gornaya Kniga", 2015, no. 12, pp. 221–225. (in Russian).
12. Zhilenkov V.N. *Vliyaniye temperatur glinistogo grunta na yego vodopronitsayemost'* [Influence of clay soil temperatures on its water permeability]. *Izvestiya VNIIG im. B. Ye. Vedeneyeva* [News of RSRIG named B.Yev. Vedeneyev]. 1999, vol. 235, pp. 39–46. (in Russian).
13. Koshelev A.G., Korolev V.A. and Sokolov V.N. *Izmeneniye svoystv glinistyykh gruntov pri tekhnogennykh teplovykh vozdeystviyakh* [Changes in the properties of clay soils under technogenic thermal]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya effects* [Geoecology. Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryologists]. No. 6, Moscow : Nauka Publ., 2001, pp. 519–530. (in Russian).
14. Török Á. and Hajpál M. Effect of Temperature Changes on the Mineralogy and Physical Properties of Sandstones. A Laboratory Study. *Restoration of Buildings and Monuments Bauinstandsetzen und Baudenkmalspflege*. 2005, vol. 11, no. 4, pp. 1–8.
15. De Bruyn D. and Thimus J.F. The influence of temperature on mechanical characteristics of Boom clay : the results of an initial laboratory programme. *Engineering Geology*. 1996, vol. 41, iss. 1–4, pp. 117–126.

16. Goodman C., Latifi N. and Vahedifard F. Effects of Temperature on Microstructural Properties of Unsaturated Clay. Conference : IFCEE 2018. DOI: 10.1061/9780784481585.034.
17. Zihms S.G., Switzer C., Karstunen M. and Tarantino A. Understanding the effects of high temperature processes on the engineering properties of soils Comprendre les effets des procédés a haute température sur les propriétés des sols. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Paris, 2013, pp. 3427–3430.
18. Gadzama E.W., Nuhu I. and Yohanna P. Influence of Temperature on the Engineering Properties of Selected Tropical Black Clays. Arabian Journal for Science and Engineering. 2017, vol. 42, pp. 3829–3838.
19. GOST 21216-2014. *Syr'yo glinistoye. Metody ispytaniy* [Clay material. Test Methods]. Moscow : Standartinform Publ., 2015, 43 p. (in Russian).
20. Semenov V.S., Skanavi N.A. and Yefimov B.A. *Neorganicheskiye vyazhushchiye veshchestva : metodicheskiye ukazaniya k vypolneniyu laboratornykh rabot i domashnego zadaniya dlya studentov vseh napravleniy i urovney podgotovki, realizuyemykh MGSU* [Inorganic binders : guidelines for laboratory work and homework for students of all areas and levels of training, implemented by MSSU]. Ed. by D.V. Oreshkin. Moscow : MSU Publ., 2015, 56 p. (in Russian).
21. GOST 11501-78. *Bitumy neftyanyye. Metod opredeleniya glubiny pronikaniya igly* [Oil bitumen. Method for determining the depth of penetration of the needle]. Moscow : Standartinform Publ., 2008, 7 p. (in Russian).
22. Larionov A.M. *Metody issledovaniy struktury gruntov* [Soil structure research methods]. Moscow : Nedra Publ., 1971, 200 p. (in Russian).

Надійшла до редакції: 19.03.2022.