

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.2.205927>  
УДК 504.055:624.131(477)

**М.Г. ДЕМЧИШИН**, **Т.В. КРІЛЬ** \*

Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна  
E-mail: kotkotmag@gmail.com

\* Автор для кореспонденції

## ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ТА ГЕОЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ НА МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЯХ

Вплив теплоенергетичних комплексів на геологічне середовище полягає в зміні фізико-механічних властивостей ґрунтів основ, хімічному забрудненні ґрунтових вод та ґрунтів, виникненні теплового, вібраційного, електромагнітного полів у ньому. Метою досліджень є визначення геологічних загроз на територіях великих міст, де розташовані теплові електростанції та електроцентралі. Об'єктами досліджень виступали ґрунтові основи, споруди ТЕС та ТЕЦ промислово-міських агломерацій Києва, Харкова, Дніпра та Одеси. В складі теплових електростанцій, що розташовуються в межах населених пунктів, виділено такі небезпечні об'єкти з їх негативними впливами: димові труби (статичне навантаження, динамічні впливи при значних вітрових навантаженнях, вплив на екологічний стан довкілля); градирні та охолоджувальні басейни (витоки вод різної температури, додаткове зволоження ґрунту); машинні зали (статичне привантаження та вібраційні впливи від роботи обладнання); магістральні трубопроводи (витоки, утворення термонапруг у ґрунтах); золівідвали (екологічний вплив на ґрунти та ґрунтові води). Проаналізовано положення об'єктів теплоенергетики відносно функціональних зон міста. Подано характеристику ґрунтових основ. В основах споруд ТЕЦ переважно залягають дисперсні незв'язні (піщані) та слабозв'язні (лесоподібні) ґрунти. Розглянуто зміни інженерно-геологічних умов при експлуатації ТЕЦ, визначені геологічні загрози, що можуть спричинити виникнення небезпечних подій та надзвичайних ситуацій. Запропоновано показники критеріїв для врахування геологічних загроз при оцінюванні ризиків під час експлуатації ТЕЦ та ТЕС на основі інженерно-геологічних процесів, спричинених техногенними чинниками.

**Ключові слова:** об'єкти теплоенергетики; геологічне середовище; геологічні загрози; зонінг міста; надзвичайні ситуації; техногенні чинники.

### Вступ

Об'єкти у сфері теплопостачання для виробництва тепла та/або електроенергії відносяться до першої категорії об'єктів, які можуть мати значний вплив на довкілля і підлягають його оцінці відповідно до Закону України «Про

оцінку впливу на довкілля» та Директиви 2011/92/EU при новому будівництві або реконструкції. До лютого 2019 р. статус цих об'єктів визначала Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку» № 808 від 28 серпня

Цитування: Демчишин М.Г., Кріль Т.В. Інженерно-геологічні та геоecологічні проблеми теплоенергетики на міських територіях. *Геологічний журнал*. 2021. № 2 (375). С. 03—23. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.2.205927>

Citation: Demchyshyn, M.G., Kril, T.V. (2021). Engineering-geological and geocological problems of heat power complexes on urban areas. *Geologičnij žurnal*, 2 (375), 03-23. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.2.205927>

2013 р. На територіях міст України знаходяться ТЕС та ТЕЦ потужністю від 68 до 700 МВт, займаючи площі від 20 до 200 га. Найпотужнішими серед них є Київська ТЕЦ-6, Харківська ТЕЦ-5, Одеська ТЕЦ та ін. На цих станціях за рахунок паралельного виробництва тепла та електроенергії значно підвищується ефективність виробництва і раціональніше використовується паливо. Проте, знаходячись на території міста, вони межують з його сельбищними та рекреаційними функціональними зонами, надаючи негативним впливам компоненти довкілля та знижуючи комфортність життєдіяльності населення.

Об'єкти теплоенергетичного комплексу за чинними нормативно-правовими документами в сфері будівництва (Визначення..., 2013; Про затвердження..., 2018) можуть бути віднесені до СС2 або СС3 класів відповідальності та відповідно III, IV і V категорій складності об'єктів будівництва. Для них, згідно з будівельними нормами (Настанова..., 2013; Інженерні..., 2014), виконуються додаткові спостереження за небезпечними природними або техногенними процесами, інженерно-геодезичні вишукування на стадії розроблення проекту.

Інженерно-геологічні дослідження, що здійснюються на стадії проектування таких об'єктів, встановлюють властивості (фізико-механічні, хімічні, водні та ін.) ґрунтів основ на момент проектування та зведення промислових споруд. Після тривалої експлуатації (40—80 років), яка включає не тільки відповідне функціонування (що передбачає статичні та динамічні впливи), але й різного роду аварійні ситуації (зокрема витіки вод підвищеної температури, хімічних рідин та ін.), відбуваються зміни стану та властивостей верхніх ґрунтових шарів, створюючи *геологічні загрози* для самих інженерних об'єктів, провокуючи їх наступні аварії і навіть надзвичайні ситуації.

Складне становище у секторі теплопостачання, що знаходиться останнім часом у край поганому стані та потребує реорганізаційних рішень, не дозволяє виконувати досконалий та постійний моніторинг змін у геологічному середовищі (ГС) територій об'єктів теплоенергетики, що відбуваються за тривалий період їх експлуатації. Більшість ТЕС та ТЕЦ побудовані у 1950—1960 рр., працюють далеко поза своїм проектним ресурсом і мають одні з найниж-

чих техніко-економічних та екологічних показників у світі. Значну зношеність обладнання мають Харківська ТЕЦ-3 (Льсак, Рудич, 2012) та Придніпровська ТЕС. В Києві ТЕЦ-5 не має механізмів утилізації тепла та шлакових сумішей.

Відповідно до пріоритетів третього етапу стратегії забезпечення сталого розвитку енергетики України до 2035 р. (Енергетична..., 2017), заплановано реконструкцію багатьох ТЕЦ у відповідності до вимог екологічних нормативів. При оновленні Генеральних планів міст виконується перепрофілювання окремих промислових та комунально-складських територій під громадську або житлову забудову, паркові зони. Так, у Києві 50 % промислового району Теличка, до якого відноситься ТЕЦ-5, планується реструктурувати під сельбищну та рекреаційну зони відповідно до проекту (Генеральний..., 2020). Також у зв'язку з поширенням відновлюваних джерел енергетики з часом постануть питання про видалення об'єктів теплоенергетики та ремедіацію їх територій.

Тому встановлення змін у ГС та визначення геологічних загроз у результаті тривалої експлуатації теплоенергетичних комплексів є актуальним питанням для реалізації наступної діяльності на цих територіях (реконструкція, зміна функціонального призначення цих територій та ін.).

## Аналіз сучасних досліджень

Сучасні дослідження у галузі теплоенергетики спрямовані на підвищення та удосконалення ефективності теплових електростанцій, їх надійності, екологічної безпеки, встановлення забруднення складових довкілля (Mandal, Sengupta, 2006; International..., 2016; Kuma, Bishtoi, 2020 та ін.), розроблення проектів будівництва нових та реконструкції існуючих у відповідності до сучасних екологічних вимог (Саввин, 2013, 2016; Грибков, 2016; Бедов, Габитов, 2017).

Головними питаннями, що розглядаються при реконструкції ТЕЦ, є скорочення та очищення технологічних шкідливих викидів у повітря (нові технології очищення палива для ТЕС, створення спеціальних очисних фільтрів), оцінка екологічних впливів на довкілля, попередження забруднення природних вод-

них об'єктів стічними технологічними водами (Звіт..., 2018; Wenjing et al., 2020). Для встановлення строків подальшої експлуатації теплоенергетичних комплексів застосовуються методи візуальних обстежень пошкоджень градірень та димових труб із використанням безпілотних літальних апаратів, моделювання напружень та деформацій в їх конструкціях методами скінченних елементів (Castiglioni et al., 2017). Розробляються питання щодо рекультивативної та використання територій золовідвалів для розміщення на них легких та важких конструкцій, а також використання золи та шлаку як будівельних матеріалів (Parhi et al., 2019, 2020; Marjanović et al., 2020). Жорсткісні властивості цих відкладів визначаються методами сейсмічної розвідки.

Оцінка екологічних ризиків будівництва та експлуатації об'єктів теплоенергетики проводиться на основі порівняльно-географічного аналізу їх розміщення, зокрема у дослідженнях (Саввин, 2013, 2016). Факторами геоекологічних ризиків при новому будівництві приймаються тип палива, зміна структури землекористування, несприятливі природні процеси, а саме сейсмічність району. Дослідження аварій та катастроф на об'єктах ТЕС показують відсутність досконалого моніторингу за станом конструкцій надійною експлуатацією обладнання станцій (Резинских, 2008; Белов, Пергаменщик, 2014). Встановлення екологічних, економічних та соціальних ризиків на об'єктах промисловості проводять за ідентифікацією природних (землетруси, повені, селі та ін.) та техногенних факторів (умови праці, об'ємно-планувальні рішення розміщення обладнання головних корпусів та ін.) (Про схвалення..., 2014; Белов, Пергаменщик, 2014; Про затвердження..., 2018; Демчишин та ін., 2019; Kuma, Bishnoi, 2020).

Вплив на ГС різних споруд паливно-енергетичного комплексу, які знаходяться безпосередньо в межах населених пунктів або межують з ними, оцінка активізації небезпечних геологічних процесів і виникнення геологічних загроз, що можуть призводити до небезпечних подій (аварій) та спричиняти ризики соціальних та економічних втрат, залишаються нез'ясованими.

Метою досліджень було встановлення системних закономірностей змін у ґрунтах основ

об'єктів енергетичного комплексу на урбанізованих територіях для визначення геологічних загроз, що можуть призвести до небезпечних подій (аварій) та надзвичайних ситуацій. Були вирішені такі завдання:

- встановлено особливості інженерно-геологічних умов об'єктів теплоенергетики, розташованих у великих містах України, проаналізовано їх положення відносно функціонального зонування міста;
- виділено найбільш небезпечні об'єкти у складі ТЕЦ та ТЕС на основі технологічних процесів вироблення енергії і тепла та негативних впливів їх пошкоджень (аварій) на компоненти ГС;
- охарактеризовано зміни у ГС при експлуатації об'єктів теплоенергетики;
- визначено геологічні загрози виникнення небезпечних подій та надзвичайних ситуацій на територіях об'єктів теплоенергетики.

## Матеріали та методи

Об'єктом досліджень є комплекс об'єктів ТЕЦ та ТЕС промислово-міських агломерацій Києва, Харкова, Дніпра та Одеси (табл. 1). Предмет досліджень — зміни властивостей компонентів ГС при експлуатації об'єктів теплоенергетики. Вихідними даними для вивчення інженерно-геологічних, гідрогеологічних умов були матеріали геологічної зйомки та інженерно-геологічних розвідувань: карта розвитку екзогенних геологічних процесів, Державні геологічні карти М 1:200 000 та геологічні карти М 1:50 000 для Києва, Харкова, Дніпра та Одеси (Геологическая..., 1973, 1984; Карта..., 1997; Державна..., 2006, 2008 та ін.). Аналіз положення об'єктів досліджень відносно функціонального зонування міст виконано із використанням планувальних схем, генеральних планів та інтерактивних карт міст України (Генеральний..., 2020; МЕТА..., 2020). Візуальні обстеження проведені на території м. Київ (ТЕЦ-5, ТЕЦ-6), при цьому особлива увага приділена димовим трубам та градірням.

У дослідженнях використано порівняльно-аналітичний метод, механіко-математичні основи інженерної геології в комплексі із підходами системного аналізу, теоретичні основи інженерно-геологічної подібності. Для побудови графічних матеріалів застосовані статис-

Таблиця 1. Характеристика ТЕЦ на територіях міських агломерацій України

Table 1. Characteristics of the TPP on the urban territories of Ukraine

Назва (встановлена потужність електрична/теплова), тип палива	Місце розташування (рік введення в експлуатацію)	Площа промислового майданчика, га/ АВП, м	Особливості оснащення	Геоморфологічні умови; ґрунти основ споруд
<i>Київ</i>				
*ТЕЦ-5 (700 МВт/1874 Гкал/год.), природний газ	Голосіївський р-н, вул. Промислова (1971)	62 / 96—98	Дві димові труби (175 м), ставки-відстійники (5,8 га)	Придніпровська низина, заплава р. Дніпро; піски з лінзами супісків, суглинків (аН)
*ТЕЦ-6 (500 МВт/1740 Гкал/год.), природний газ	Деснянський р-н, Троєщина (1981)	125 / 100—107	Димова труба (270 м), дві градирні (90 м), охолоджувальний басейн (9 га) та відстійники (23,7 га)	Придніпровська низина, I надзаплавна тераса, піски, мули та суглинки (a <sup>1</sup> P <sub>III</sub> Р <sub>ж</sub> , lb P <sub>III</sub> -H), піски та супіски (v P <sub>III</sub> -H)
Дарницька ТЕЦ (160 МВт/1080 Гкал/год.), вугілля	Дніпровський р-н, вул. Червоногвардійська, 20 (1954, 1965)	32 / 102—105	Дві димові труби, три градирні (54,6 м)	Придніпровська низина, I надзаплавна тераса, заплава р. Дарниця; піски, супіски, суглинки (аН, a <sup>1</sup> P <sub>III</sub> Р <sub>с</sub> ), піски та супіски (vP <sub>III</sub> -H)
<i>Харків</i>				
ТЕЦ-3 (86 МВт/1090 Гкал/год.), природний газ	Слобідський р-н, вул. Енергетична, 3 (1934)	19,5 / 152—158	Градирня, мала димова труба (до 100 м)	Південнополтавська низовина, VIII надзаплавна тераса; піски з прошарками супісків, глин (a <sup>8</sup> P <sub>I</sub> bk), лесоподібні суглинки (vd,eP <sub>III</sub> )
*ТЕЦ-5 (540 МВт/1420 Гкал/год.), природний газ	с. Подвірки, Дергачівський р-н Харківської обл., 0,5 км від Харкова (1979)	218 / 100—106	Димова труба (330 м), мала димова труба (100 м), дві градирні (81 м), три резервуари технічного водопостачання (12,7 га)	Південнополтавська низовина, заплава р. Уда, III-I надзаплавна тераса; дрібнозернисті піски, глинисті з прошарками супісків (аН, a <sup>3-1</sup> P <sub>III</sub> tb-ds), глинисто-суглинисті ґрунти з прошарками грубозернистих пісків (adP <sub>III</sub> -H)
<i>Дніпро</i>				
*Придніпровська ТЕС (1765 МВт / 845 Гкал/год.), вугілля, газ, мазут	Самарський р-н, вул. Гаванська, 1 (1951, 1959)	80,3 / 56—65	Сім труб (120—250 м), серед них труба № 6 — 180 м, шлакові відстійники (27,5 га)	Запорізька рівнина, I та III надзаплавні тераси; піски, піски з прошарками мулуватих супісків і мулів (аН, a <sup>1</sup> P <sub>III</sub> ds, a <sup>3</sup> P <sub>III</sub> tb), глинисто-суглинисті ґрунти (adP <sub>III</sub> -H)
<i>Одеса</i>				
*Одеська ТЕЦ (68 МВт / 505 + 274 Гкал/год), газ, мазут	Одеса, вул. Церковна, 29 (1950)	24,5 / 2—7	Три димові труби (100 м)	Пересип Хаджибейського лиману; піски з домішками детриту, муло-глинистими прошарками (m, lmH)

Примітки: \* ТЕС та ТЕЦ, внесені до переліку особливо важливих об'єктів електроенергетики (Про внесення..., 2017). АВП — абсолютні відмітки поверхні.

Notes: \* Power stations included to the list of electrical energy objects of special significance (Про внесення..., 2017). АВП — absolute elevations.

тичні, картографічні методи із використанням геоінформаційних технологій та технологій цифрового моделювання.

У роботі під *геологічними загрозами* розуміється можливість виникнення геологічних явищ та процесів або зміни стану деякого об'єму ГС, що можуть становити небезпеку для інженерних об'єктів та людей, спричинити небезпечну подію або надзвичайну ситуацію. Ці явища та процеси можуть мати природне або техногенне походження. У роботі розглянуто геологічні загрози як результат техногенної діяльності, а саме експлуатації об'єктів теплоенергетичного комплексу. Додатково висвітлені екологічні впливи на такі складові довкілля, як атмосферне повітря та поверхневі водні об'єкти.

Небезпечна подія (аварія) — це подія, що створює на об'єкті чи на окремій території загрозу життю та здоров'ю людей, призводить до руйнування будівель, споруд, устаткування і транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу, завдає шкоди довкіллю та є джерелом можливого виникнення надзвичайної ситуації. Відповідно до нормативних документів та публікації (Класифікатор..., 2010), надзвичайна ситуація являє собою порушення нормальних умов життя і діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом чи іншою небезпечною подією, що призвело (може призвести) до виникнення великої кількості постраждалих, загрози життю та здоров'ю людей, їх загибелі та значних матеріальних втрат. У випадках надзвичайних ситуацій та небезпечних подій на ТЕЦ та ТЕС припиняється постачання електроенергії та тепла, що навіть на короткі періоди може спричинити аварійні ситуації на підприємствах безперервного циклу, на транспорті (зупинка поїздів метро), системах водопостачання. Тому необхідно мати уявлення про ризик настання небезпечних подій та надзвичайних ситуацій від виникнення геологічних загроз при експлуатації ТЕЦ та ТЕС.

Ризик від провадження господарської діяльності відповідно до Постанови (Про затвердження..., 2018) оцінюється на основі низки критеріїв, що розробляються органом державного нагляду (контролю) у відповідній сфері.

Для галузі електроенергетики контролюючим органом є Державна інспекція енергетичного нагляду України, у сфері «Охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання, відтворення і охорона природних ресурсів» — Державна екологічна інспекція України, у сфері «Техногенна та пожежна безпека, цивільний захист і діяльність аварійно-рятувальних служб» — Державна служба України з надзвичайних ситуацій. За сумарним значенням балів для виділених критеріїв суб'єкт господарювання, що підлягає нагляду (контролю), відносять до одного з трьох ступенів ризику: високий (41—100), середній (21—40) або незначний (0—20). За даними «Інспекційного порталу», Харківська ТЕЦ-5 відповідно до перерахованих сфер оцінена такими балами: 45, 82, 56. Одеська ТЕЦ у сфері контролю «Техногенна та пожежна безпека...» має високий ступінь ризику — 50 балів.

Згідно із сучасною концепцією ризик-орієнтованого підходу щодо управління безпекою життєдіяльності людини чи функціонування будь-якого об'єкта та з рекомендаціями світових товариств Всесвітньої організації охорони здоров'я та Міжнародної організації охорони праці, ризик визначається як кількісна міра небезпеки, що враховує ймовірність виникнення негативних наслідків від здійснення господарської діяльності та можливий розмір втрат. Тоді для промислового майданчика ТЕЦ або ТЕС ступінь ризику можна оцінити так:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i \cdot S_i \cdot U_i, \quad (1)$$

де  $P_i$  — ймовірність настання  $i$ -ї геологічної загрози;  $S_i$  — відношення площі матеріальних цінностей, уражених  $i$ -ю загрозою, до площі її поширення;  $U_i$  — збитки.

Відповідно до Концепції (Про схвалення..., 2014), ризик є інтегральною величиною, яка повинна визначатися з урахуванням усіх загроз виникнення аварій та/або надзвичайних ситуацій. У цьому дослідженні авторами на основі якісного аналізу техногенних чинників (експлуатації об'єктів теплоенергетичних комплексів) та природних умов виділено інженерно-геологічні процеси, що формують геологічні загрози виникнення небезпечних подій та надзвичайних ситуацій. Запропоновано також показники критеріїв характеристики розвитку небезпечних інженерно-геологічних процесів,

необхідні для врахування геологічних загроз у ході оцінювання ризиків під час експлуатації ТЕЦ та ТЕС.

## Результати досліджень та їх обговорення

### Особливості ґрунтових основ ділянок теплоенергетики та їх положення відносно функціонального зонування міст

**Київська агломерація.** ТЕЦ-6 розташована на північно-східній околиці м. Київ в урочищі Ковпито, за 2 км від сельбищної зони району Троєщина. На відстані 0,5—0,9 км на південний захід знаходяться оз. Алмазне та болота. Дарницька ТЕЦ лежить у промисловому районі Дніпровський поряд з територією колишнього заводу «Радикал». Найближча сельбищна зона починається за 400 м на південь. Обидві станції знаходяться на лівобережжі Києва.

В основах інженерних споруд ділянок ТЕЦ-6 та Дарницької ТЕЦ залягають переважно алювіальні відклади I надзаплавної тераси причорноморського горизонту ( $a^1P_{III}p\check{c}$ ) р. Дніпро (піски, супіски) потужністю 10—20 м, еолові відклади ( $vP_{III}-H$ ) — піски, супіски товщиною до 2—5 м (рис. 1). Згідно з картою (Геологическая..., 1984), частина території Дарницької ТЕЦ припадає на русловий алювій ( $aH$ ) потужністю 5—10 м р. Дарниця. Майже третина території ТЕЦ-6, зокрема мазутне господарство, шлаковідстійники, висохлий ставок стічних вод та промислова залізнична станція, розміщені на озерно-болотних відкладах ( $l\check{b}P_{III}-H$ ) — торфах, мулах, суглинках, супісках. Перші водоносні горизонти заходяться на глибинах 2—10 м.

ТЕЦ-5 розташована в промисловій функціональній зоні на півдні м. Київ, на правому березі р. Дніпро, біля затоки Будіндустрія. На захід на відстані 700 м вона межує з рекреаційною зоною — урочищем Лиса гора, поряд (приблизно 500 м) ведуться будівельні роботи житлового комплексу «Світло Парк». На відстані 700 м у північному напрямку знаходиться велика транспортна розв'язка з виїздом на Південний міст. ТЕЦ-5 розташована на техногенних намивних ґрунтах ( $tH$ ) товщиною 5—10 м та алювіальних відкладах ( $aH$ ) потужністю 10—20 м (піски з прошарками та лінзами супісків і суглинків) заплави р. Дніпро.

ТЕЦ-6 в Києві знаходиться на акумулятивній рівнині-низині Київського Полісся. Дарницька ТЕЦ та ТЕЦ-5 попадають у денудаційно-аккумулятивну рівнину Київсько-Канівської височини (Карта..., 1997). На цих територіях переважають процеси підтоплення.

**Харківська агломерація.** ТЕЦ-3 розташована безпосередньо в центральній-східній частині міста в межах промислової зони (поряд розташовані ПАТ «Турбоатом» та Завод залізобетонних конструкцій № 5), проте з правого боку ділянка межує з рекреаційною зоною (Парк машинобудівників, пустир) та житловою забудовою. За 2 км від майданчика ТЕЦ-3 протікає Немишля — притока р. Харків (див. рис. 1). В основах споруд ТЕЦ-3 залягають алювіальні відклади УІІ надзаплавної будацької тераси ( $a^8P_{II}bk$ ), представлені пісками з прошарками супісків та глин потужністю 7,5—24 м. Над ними залягають нерозчленовані еолово-делювіальні та ґрунтові відклади ( $vd, eP_{III}$ ), середньосуглинисті, суглинки, лесоподібні легкі, потужністю до 10 м (Державна..., 2008).

ТЕЦ-5 знаходиться на березі запруды р. Уда, на відстані 0,5 км на захід від границі м. Харків у с. Подвірки. З півночі територія межує з лісовою зоною, на північний захід та південь знаходяться житлові споруди. Геологічна основа представлена таким: алювіально-делювіальними відкладами деснянської ступені ( $ad P_{III}-H ds$ ), складеними глинисто-суглинистими ґрунтами заплав потужністю до 5 м, і прошарками грубозернистих пісків алювіальними відкладами I надзаплавної тераси, відкладами деснянської ступені ( $a^1P_{III}ds$ ) — кварцовими пісками тонко- та дрібнозернистими, глинистими з прошарками супісків потужністю від 4 до 24 м; алювіальними відкладами заплави ( $aH$ ), представленими пісками дрібнозернистими, іноді глинистими пісками товщиною 5—15 м (Державна..., 2008). Відповідно до карти інженерно-геологічного районування України (Карта..., 1997), Харківські ТЕЦ-3 та ТЕЦ-5 розташовані в межах акумулятивно-денудаційної рівнини Середньоруської височини. Дані промислові території знаходяться під впливом процесів підтоплення та просідання лесоподібних ґрунтів.

**Дніпропетровська агломерація.** Придніпровська ТЕС знаходиться в межах промислової функціональної зони м. Дніпро, на лівому його березі. На захід у радіусі 0,5 км розташовані

житлові квартали, перед якими знаходяться дачні кооперативи та садівниче товариство, на заході та півдні — акваторія р. Дніпро. Територія розташована в межах лівобережної ерозійно-аккумулятивної низинної рівнини в інженерно-геоморфологічному підрайоні, що складається з комплексу надзаплавних терас (Державна..., 2006; Инженерная..., 2012). У геологічному відношенні вони представлені відкладами III надзаплавної тераси ( $a^3P_{III}tb$ ) — кварцовими пісками потужністю 8—8,6 м (частково глинистими пісками потужністю 1,5—2,5 м) та товщею алювіальних відкладів I надзаплавної тераси, складеною дрібнозернистими пісками з прошарками мулуватих супісків і мулів потужністю 20—25 м ( $a^1P_{III}ds$ ). Частина залізничних колій та трубопроводів знаходиться на алювіально-делювіальних відкладах ( $adP_{III}-H$ ) — неоднорідних глинисто-супіщано-суглинистих потужністю до 0,5—3 м. Комплекс підстилається палеогеновими пісками та глинами. На території поширені процеси підтоплення.

Одеська ТЕЦ знаходиться в північній частині м. Одеса у промисловій зоні. Територія ділянки межує на схід з Одеським автоскладальним заводом, на захід — із залізничними коліями, Сталепрокатним заводом ім. Держинського та ПАО «Одесанафтопродукт». На відстані 800 м на схід від об'єктів Одеської ТЕЦ знаходяться портові споруди та Хлібна гавань.

Положення Одеської ТЕЦ відповідає акумулятивно-денудаційній рівнині Дністер-Дніпровської низини (Карта..., 1997). Поширені процеси переміщення наносів та їх акумуляції, площинна ерозія, підтоплення, карст. Промисловий майданчик знаходиться на піщаному пересипі, який відокремлює Хаджибейський лиман від Чорного моря, на відстані 6,5 км від нього. Територія ТЕЦ складена четвертинними відкладами морського та лиманно-морського генезису чорноморського горизонту ( $m, lmH$ ), які представлені різнозернистими кварцовими сірими та жовто-сірими пісками з домішками дрібного детриту та окремих стулок раковин сучасних молюсків, з прошарками муло-глинистих утворень. Потужність змінюється від 2 до 7 м (Геологическая..., 1973). Також у складі товщі є утворення техногенного характеру ( $tH$ ), складені переважно мулами і черепашниками, меншою мірою — пісками і

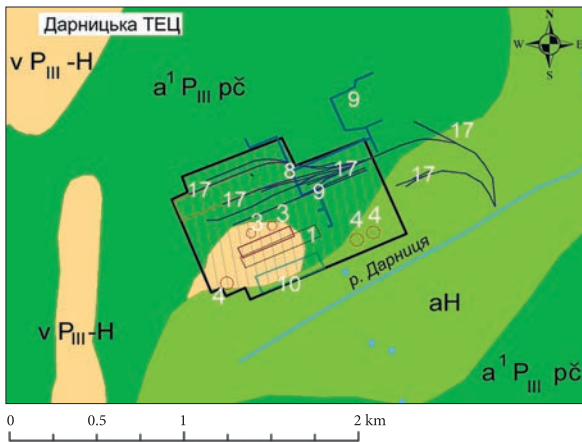
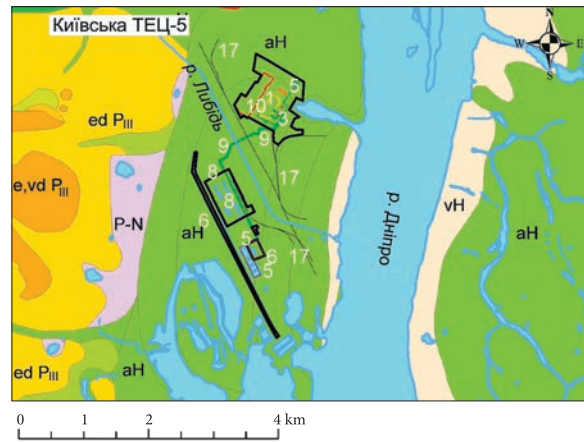
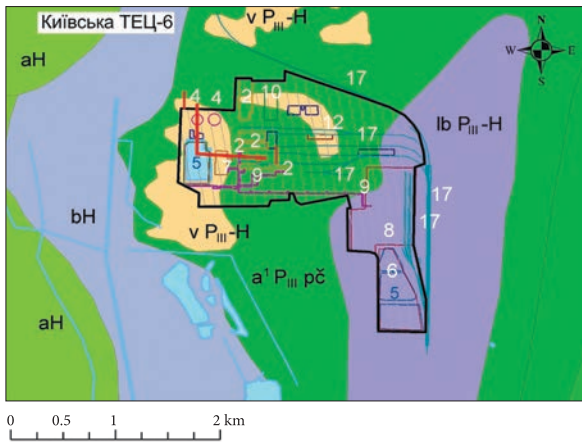
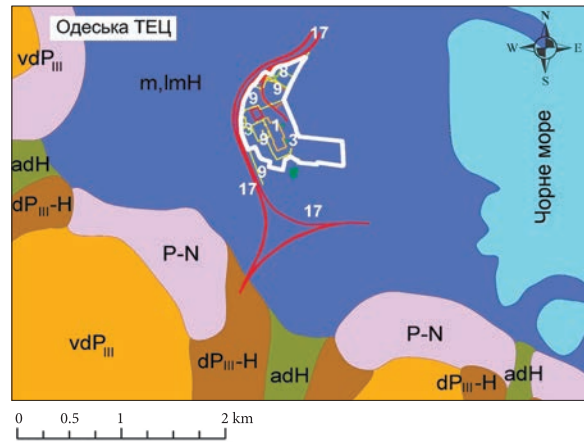
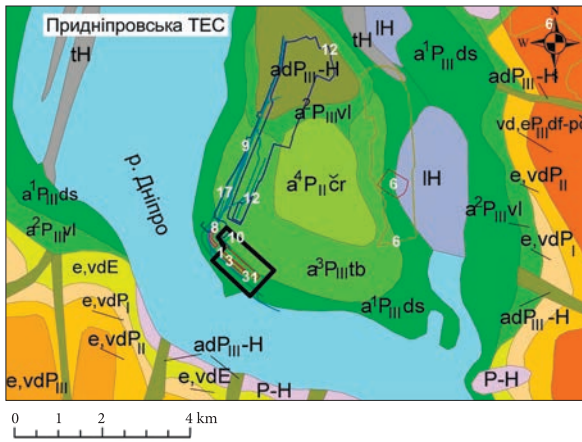
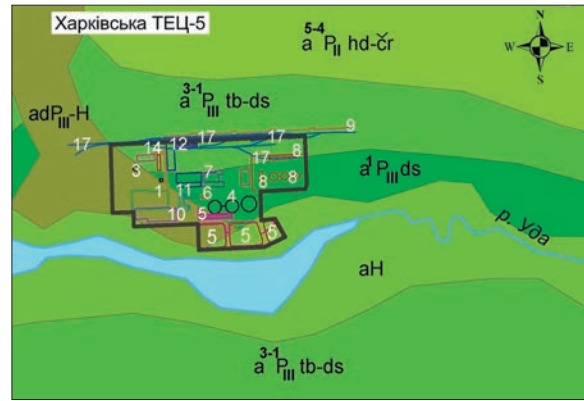
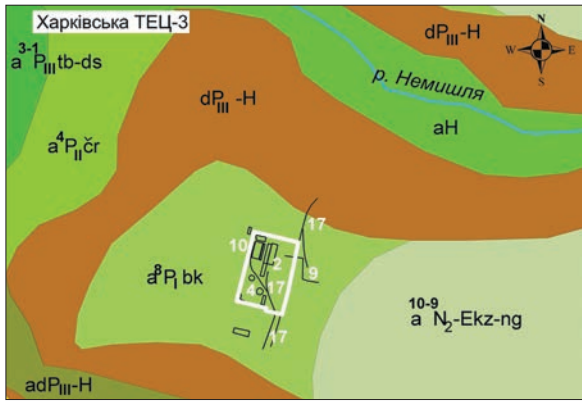
дуже незначною — гравієм і галечником. У лютому 2020 р. внаслідок шторму була пошкоджена дамба Хаджибейського лиману (В Одессе..., 2020). Інженерна захисна споруда знаходиться в незадовільному стані понад 20 років. Існує вірогідність затоплення одеського Пересипу разом з житловими та промисловими кварталами через відсутність ремонту дамби та підняття рівня лиману.

### Об'єкти ТЕЦ і ТЕС та їх негативні впливи на ГС

ТЕЦ і ТЕС — це комплекс об'єктів, що пов'язані між собою технологічними процесами та функціональним призначенням. Вони компонується на одній спільній території — промислово-му майданчику (рис. 2) у такому складі: машинний зал, котельні, енергоблоки, технологічне обладнання, необхідне для отримання теплової та електричної енергії, місця прийому та розвантаження пального, охолоджувальні басейни, градирні, димові труби, місця складування відходів (Белов, Пергаменщик, 2014; Демчишин та ін., 2019). Всі вони з'єднані між собою інженерними та транспортними комунікаціями. Основною виробничою будівлею є головний корпус. Паливом слугує вугілля, мазут, газ, горючі сланці і торф.

У складі теплових електростанцій, що розташовуються в межах населених пунктів та впливають на ГС, виділено такі небезпечні об'єкти: димові труби (статичне навантаження, динамічні впливи при значних вітрових навантаженнях, вплив на екологічний стан довкілля); градирні та охолоджувальні басейни (витоки, додаткове зволоження ґрунту, термонапруги у ґрунтах); машинні зали (статичне привантаження та вібраційне навантаження від роботи обладнання); магістральні трубопроводи (витоки, утворення термонапруг у ґрунтах); золівдвали (екологічний вплив на довкілля). На рис. 2, а штрихуванням та кольором показані наведені впливи.

Димова труба — це інженерна споруда для відведення продуктів згоряння в атмосферу, вертикальні розміри значно перевищують розміри в плані. При проектуванні враховується навантаження від власної ваги, вітрове і температурне навантаження та агресивність впливу газів. У міському середовищі висота труби має значення для більш ефективного відведен-



tH	1	a <sup>3</sup> P <sub>III</sub> tb	11	edP <sub>III</sub>	21
IH	2	a <sup>3-1</sup> P <sub>III</sub> tb-ds	12	vdP <sub>III</sub>	22
bH	3	a <sup>4</sup> P <sub>II</sub> čr	13	vd,eP <sub>III</sub> df-pč	23
lbP <sub>III</sub> -H	4	5-4 a P <sub>III</sub> hd-čr	14	vP <sub>III</sub> -H	24
m,lmH	5	a <sup>2</sup> P <sub>I</sub> bk	15	dP <sub>III</sub> -H	25
vH	6	10-9 a N <sub>2</sub> -Ekz-ng	16	adP <sub>III</sub> -H	26
aH	7	e,vdE	17	adH	27
a <sup>1</sup> P <sub>III</sub> pč	8	e,vdP <sub>I</sub>	18	P-N	28
a <sup>1</sup> P <sub>III</sub> ds	9	e,vdP <sub>II</sub>	19		29
a <sup>2</sup> P <sub>III</sub> vl	10	e,vdP <sub>I</sub>	20	17	30



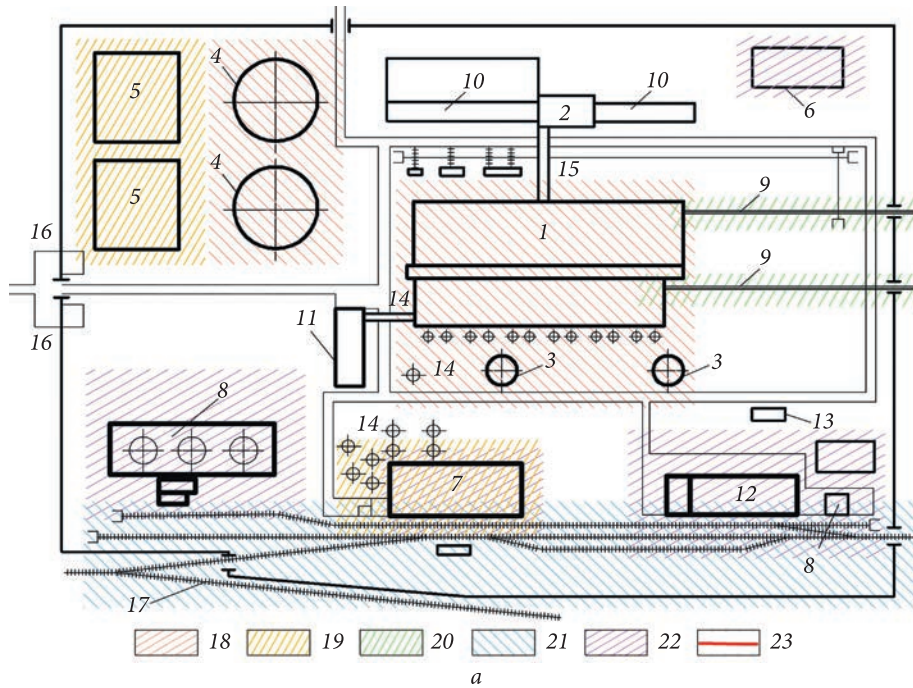
**Рис. 1.** (Див. с. 10). Схеми четвертинних відкладів в основах територій ТЕЦ та ТЕС за картографічними матеріалами (Державна..., 2006, 2008; Геологическая..., 1973, 1984): 1 — техногенні відклади (тН); 2 — озерні відклади та малих штучних водойм (ІН); 3 — болотяні відклади русел річок і балок, низьких заплавної терас, торф, гітія, супіски (bН); 4 — озерно-болотяні відклади, торф, мули, суглинки, супіски (Ib P<sub>III</sub>-H); 5 — морські, лиманно-морські відклади, піски, піщано-черепашкові, мулисті та глинисті відклади (m,lmH); 6 — еолові відклади, піски, супіски (vH); 7 — алювіальні відклади заплави рік, піски, супіски, суглинки (aH); 8 — алювіальні відклади I надзаплавної тераси високого і низького рівнів річок Дніпро і Десна, причорноморський горизонт, піски, супіски (a<sup>1</sup>P<sub>III</sub>-рč); 9 — алювіальні відклади I надзаплавної тераси, деснянський ступінь (a<sup>1</sup>P<sub>III</sub>ds); 10 — алювіальні відклади II надзаплавної тераси, вільшанської (a<sup>2</sup>P<sub>III</sub>vl); 11 — алювіальні відклади III надзаплавної тераси, трубізької (a<sup>3</sup>P<sub>III</sub>tb); 12 — алювіальні відклади III-I надзаплавної тераси, нерозчленовані, руслові піски, супіски з прошарками суглинків, 4—24 м, трубізький-деснянський ступінь (a<sup>3-1</sup>P<sub>III</sub>tb-ds); 13 — алювіальні відклади IV надзаплавної тераси, черкаської (a<sup>4</sup>P<sub>III</sub>čr); 14 — алювіальні відклади IV та V надзаплавної терас, хаджибейський та черкаський ступінь, піски, супіски з прошарками суглинків, 3,5—11,5 м (a<sup>5-4</sup>P<sub>III</sub>hd-čr); 15 — алювіальні відклади VIII надзаплавної тераси, будацький ступінь, піски з прошарками супісків, глин, 7,5—24,5 м (a<sup>8</sup>P<sub>III</sub>bk); 16 — нерозчленовані алювіальні відклади IX та X надзаплавної терас, кизилджарський та нагайський ступені, піски, супіски з прошарками суглинків, 4—24 м (a<sup>10-9</sup>N<sub>2</sub>Ekz-ng); 17 — елювіальні та еолово-делювіальні відклади еоплейстоцену (e,vdE); 18 — елювіальні та еолово-делювіальні відклади, нерозчленовані, верхньої ланки (e,vdP<sub>III</sub>); 19 — елювіальні та еолово-делювіальні відклади, нерозчленовані середньої ланки (e,vdP<sub>II</sub>); 20 — елювіальні та еолово-делювіальні відклади, нерозчленовані нижньої ланки (e,vdP<sub>I</sub>); 21 — елювіально-делювіальні відклади, лесоподібні суглинки, супіски, викопні ґрунти, леси (ed P<sub>III</sub>); 22 — еолово-делювіальні відклади вододільних рівнин плато (vdP<sub>III</sub>); 23 — еолово-делювіальні та елювіальні відклади дофінського та причорноморського кліматолітів (vd,eP<sub>III</sub>df-pč); 24 — еолові відклади, кварцові піски, до 15 м (vP<sub>III</sub>-H); 25 — делювіальні відклади, суглинки, супіски, лесоподібні суглинки схилів, 0,5—1,5 м (dP<sub>III</sub>-H); 26 — алювіально-делювіальні відклади днищ балок та ярів, суглинки, супіски, піски (adP<sub>III</sub>-H); 27 — алювіально-делювіальні відклади днищ балок та ярів, суглинки, супіски, піски (adH); 28 — дочетвертинні відклади (P-N); 29 — акваторія; 30 — нумерація об'єктів ТЕС та ТЕЦ (див. умов. позначення до рис. 2)

**Fig. 1.** Schemes of Quaternary deposits in the bases of TPP territories according to cartographic materials (Державна..., 2006, 2008; Геологическая..., 1973, 1984): 1 — technogenic deposits (tH); 2 — lake sediments and small artificial reservoirs (IH); 3 — swamp deposits of riverbeds and gullies, low floodplain terraces, peat, gyttija peat, sandy loam (bH); 4 — lake and swamp deposits, peat, silt, loam, sandy loam (Ib P<sub>III</sub>-H); 5 — marine, estuarine sediments, sands, sand-shell, silty and clay sediments (m,lmH); 6 — eolian deposits, sands, sandy loams (vH); 7 — alluvial deposits of floodplains, sands, sandy loams, loams (aH); 8 — alluvial deposits of the 1st floodplain terrace of the high and low levels of the Dnieper and Desna rivers, the prychornomorskyi horizon, sands, sandy loam (a<sup>1</sup>P<sub>III</sub>-pč); 9 — alluvial deposits of the 1st floodplain terrace, the Desnianskyi step (a<sup>1</sup>P<sub>III</sub>ds); 10 — alluvial deposits of the 2th floodplain terrace, the Vilshanskyi step (a<sup>2</sup>P<sub>III</sub>vl); 11 — alluvial deposits of the 3th floodplain terrace, the Trubizkyi step (a<sup>3</sup>P<sub>III</sub>tb); 12 — alluvial deposits of the 3-1th floodplain terrace, unseparated, channel sands, sandy loams with layers of loam, 4-24 m, the Trubizkyi-Desnianskyi steps (a<sup>3-1</sup>P<sub>III</sub>tb-ds); 13 — alluvial deposits of the 4th floodplain terrace, the Cherkaskyi step (a<sup>4</sup>P<sub>III</sub>čr); 14 — alluvial deposits of the 5th and 4th floodplain terraces, the Khadzhybeyskyi and Cherkaskyi steps, sands, sandy loams with layers of loam, 3.5-11.5 m (a<sup>5-4</sup>P<sub>III</sub>hd-čr); 15 — alluvial deposits of the 8th floodplain terrace, the Budatskyi step, sands with layers of sandy loam, clay, 7.5-24.5 m (a<sup>8</sup>P<sub>III</sub>bk); 16 — unseparated alluvial deposits of the 9th and 10th floodplain terraces, Kyzylzharskyi and Nahaiskyi steps, sands, sandy loams with layers of loam, 4-24 m (a<sup>10-9</sup>N<sub>2</sub>Ekz-ng); 17 — eluvial and eolian-deluvial deposits of Eopleistocene (e,vdE); 18 — eluvial and eolian-deluvial deposits, unseparated, upper unit (e,vdP<sub>III</sub>); 19 — eluvial and eolian-deluvial deposits, unseparated, middle link (e,vdP<sub>II</sub>); 20 — eluvial and eolian-deluvial deposits, unseparated, lower link (e,vdP<sub>I</sub>); 21 — eluvial-deluvial deposits, loess-like loams, sandstones, fossil soils, loess soils (ed P<sub>III</sub>); 22 — eolian-deluvial deposits of watershed plains of the plateau, sands, sandy loams (vdP<sub>III</sub>); 23 — eolian-deluvial and eluvial deposits, the dofin'skyi and the prychornomorskyi climatolites (vd,eP<sub>III</sub>df-pč); 24 — eolian deposits, fine-grained quartz sands up to 15 m (vP<sub>III</sub>-H); 25 — deluvial deposits, loams, sandy loam, loess-like loams of slopes, 0.5-1.5 m (dP<sub>III</sub>-H); 26 — alluvial deluvial formations of the ravine bottoms, loams, sandy loams, sands (adP<sub>III</sub>-H); 27 — alluvial deluvial formations of the ravine bottoms, loams, sandy loams, sands (adH); 28 — pre-Quaternary formations (P-N); 29 — water area; 30 — numbering of thermal power plant objects (see symbols in Fig. 2)

ня та розсіювання шкідливих викидів димових газів. Висота промислових димових труб розраховується на основі як теплотехнічних (температура викидів), так і екологічних вимог, що виходять з рівня граничної концентрації шкідливих речовин в атмосфері населених пунктів.

Найвищою в Україні є димова труба Харківської ТЕЦ-5 — 330 м, серед розглянутих — Київської ТЕЦ-6 — 270 м.

Фундамент промислових димових труб являє собою залізобетонну плиту із «стаканом» на природній або пальної основі. Паля із «ста-



**Рис. 2.** Об'єкти ТЕЦ на типовому генеральному плані-схемі (а) та на загальному вигляді ТЕЦ-6 Києва (б), ТЕЦ-5 Харкова (в): 1 — головний корпус (котельня, турбінне відділення); 2 — головний щит управління; 3 — димові труби; 4 — градирні; 5 — резервуари технічного водопостачання; 6 — ставок стічних вод — золівідстійник, відстійник вапняного шламу; 7 — хімічне водоочищення; 8 — масло-мазудо-дизельні господарства; 9 — магістральні трубопроводи; 10 — розподільчі електротехнічні пристрої; 11 — адміністративно-битові та лабораторні корпуси; 12 — об'єднані та допоміжні корпуси; 13 — ресивери; 14 — баки конденсату; 15 — перехідні галереї; 16 — прохідна; 17 — залізниця для постачання та вивезення палива, обладнання та ін.; 18 — статичні та динамічні впливи; 19 — зони можливих витоків; 20 — виточки, утворення термонапруг у ґрунтах; 21 — динамічні впливи; 22 — забруднення; 23 — лінія розрізу І—І

**Fig. 2.** Objects of TPP on the standard master scheme (a) and on the general view of TPP-6 in Kyiv (b), TPP-5 in Kharkiv (v): 1 — main building (boiler room, turbine room); 2 — main control panel; 3 — flue-gas stacks; 4 — cooling tower; 5 — technical water supply tanks; 6 — sewage pond ash settler, settling tank of lime sludge; 7 — chemical water treatment; 8 — oil-fuel-diesel sectors; 9 — pipelines; 10 — electrical switchgear; 11 — administrative, household and laboratory buildings; 12 — combined and auxiliary buildings; 13 — receivers; 14 — condensate tanks; 15 — transitional galleries; 16 — entrance; 17 — railway for supply and export of fuel, equipment, etc.; 18 — static and dynamic effects; 19 — possible leaks; 20 — leaks, formation of thermal stresses in soils; 21 — dynamic effects; 22 — contamination; 23 — cutting line I—I

каном» для високих труб може досягати 30—35 м у глибину (Котельні..., 2015). Найбільшого поширення набули конструкції залізобетонних фундаментів під димові труби, що складаються зі «стакану» в вигляді порожнього усіченого конуса і круглої в плані плити. Пливу фундаменту армують, як правило, звареними сітками і каркасами.

Димова труба у складі Київської ТЕЦ-6 має висоту 270 м, внутрішній діаметр оболонки — 13,5 м, зовнішній верхній — 14,7 м, нижній — 35,0 м, висота фундаменту — 8 м, діаметр — 47,5 м. За таких габаритних розмірів геометричний центр мас буде знаходитись на висоті 61 м по відношенню до всієї висоти баштової споруди 270 м, що забезпечує споруду від перевертання. Розподілене статичне навантаження від власної ваги баштової споруди, фундаментів (сталеві арматури та бетону) на ґрунти досягає 92—98 кПа. Для димових труб малої висоти 100—120 м статичне навантаження змінюється від 57 до 68 кПа.

На об'єктах теплоенергетики використовуються і відводяться значні обсяги води (1,5—2 млрд м<sup>3</sup>/рік), призначені для охолодження теплообмінного обладнання, температура нагрівання яких сягає 300 °С. При експлуатації ТЕЦ та ТЕС утворюються такі типи стічних вод: теплообмінні води, транспортні води від системи гідрозолошлаковидалення, промивні та регенераційні води після хімічного водоочищення, а також господарсько-побутові та дощові води з території промислового майданчика.

Після проходження головних етапів технологічного процесу перетворення енергії температура відпрацьованої води перевищує природну на 15—20 °С. Скидання такої води у водойми призводить до температурних навантажень на водойми, канали, ґрунти та порушення екологічної рівноваги. Для уникнення цих наслідків застосовується замкнена зворотна система промислового водопостачання, що реалізується за допомогою градирень.

*Градирні* (охолоджувальні башти) — це спеціальні споруди для охолодження великої кількості води за допомогою направленої потоку повітря. В цілому градирні застосовують, коли поряд з територією ТЕЦ нема озер чи інших водойм. Їх конструкції включають такі основні частини: витяжну вежу; водоохолоджувальний пристрій; підземні конструкції; водозбір-

ний басейн (Бедов, Габитов, 2017). Висота градирні може досягати 80—90 м (Харківська ТЕЦ-5, Київська ТЕЦ-6). Градирні на розглянутих ТЕЦ відносяться до середнього типу за продуктивністю до 50 м<sup>3</sup>/год і площею зрошення від 1100 до 2300 м<sup>2</sup> (Дарницька ТЕЦ та Харківська ТЕЦ-3) та великих з продуктивністю понад 50 м<sup>3</sup>/год і площею зрошення від 3200 м<sup>2</sup> (Харківська ТЕЦ-5, Київська ТЕЦ-6). У спорудах, які «несуть» воду (градирні, відстійники і т.д.), доцільно передбачається пластовий дренаж з випуском води з нього в зливову каналізацію. Градирні створюють температурні впливи на ґрунти основ та є джерелом додаткового їх зволоження через витіки з днищ водозбірних басейнів, тим більших, чим більша площа зрошення (басейну).

У *машинних залах* ТЕЦ розташовуються турбогенератори, парові турбіни, конденсатори, теплообмінники, системи регенерації, живильні, циркуляційні, конденсаційні і дренажні насоси, обладнання для власних потреб електростанції. Крім того, тут встановлюються мережеві підігрівачі та їх насоси. На площі машинного залу розташовується обладнання різної ваги та з різними вібраційними навантаженнями, що може спричинити нерівномірне осідання ґрунтових основ. Вібраційний та шумовий вплив визначаються рівнем вібрації за віброприскоренням, який оцінюється від 40 до 85 дБ.

Джерелами вібрації на майданчиках ТЕС та ТЕЦ є турбіни, обертові механізми (насоси, вентилятори і т.д), магістральні трубопроводи води і пари, залізниця для постачання та вивезення палива (табл. 2). Вібраційний вплив доповнюється шумом. Рівень звуку тягодуттєвих машин ТЕС досягає максимальних значень 100 дБ в октавних смугах частот від 31,5 до 250 Гц. Додатковим джерелом механічних вібраційних коливань є підвідні та внутрішні залізничні шляхи для транспортування палива, будівельних конструкцій та обладнання для теплових електростанцій. В інтервалі експлуатаційної швидкості руху потягів від 30 до 110 км/год. спектр вібрації, що передається у ґрунт, зосереджений у частотному діапазоні 10—250 Гц, віброшвидкість частинок ґрунту — 110—120 дБ, віброприскорення — 70—97 дБ.

*Золовідстійники* (шламовідстійники) — це спеціальні бетонні басейни, в які для зберіган-

Таблиця 2. Фактори геологічних загроз на територіях теплоенергетичних комплексів  
Table 2. Factors of geological hazards on the territory of heat and power complexes

№ з/п	Техногенні чинники геологічних загроз	Геологічні загрози (наслідки)	Критерії	Показник критерію для встановлення ризиків від геологічної загрози	Заходи щодо зниження загроз
1	Статичне привантаження від споруд	Зміна напруженого стану у ґрунтах, ущільнення верхніх шарів ґрунту	Розрахунковий опір ґрунту, кПа	>300 200—300 150—200 <150	Укріплення конструкцій споруд
			Потужність техногенних відкладів, м	Відсутні <1 1—3 >3	
2	Вібраційні впливи в основах машинних залів, а також від руху залізничного транспорту на територіях ТЕЦ та ТЕС	Зниження міцнісних властивостей ґрунтів. Розвиток процесів осідання, просідання	Рівень вібрації (швидкості переміщення частинок) (Кріль, 2015)	46—53 дБ $((6,3—22,3) \cdot 10^{-6} \text{ м/с})$ 53—73 дБ $((22,3—56,1) \cdot 10^{-6} \text{ м/с})$ 73—96 дБ $((56,1—200) \cdot 10^{-6} \text{ м/с})$ <96 дБ $(<200 \cdot 10^{-6} \text{ м/с})$	Заміна застарілого обладнання, улаштування демпферних подушок в основах споруд
			Зони геодинамічної активності	Відсутні У близькості до розломів або вузлів Збіг із зоною розлому Збіг із вузлами перетину розломів	
3	Витоки з охолоджувальних басейнів, магістральних трубопроводів	Додаткове зволоження, що в залежності від типу ґрунту може призвести до просідань	Водоносні горизонти, верховодка	Водоносні горизонти у Р-Н <3 м, напірні <10 м <3 м, напірні >10 м Найвні підтоплені ділянки з РГВ до 1 м	Моніторинг, своєчасні ремонтні роботи
			Хімічний склад витоків	н. р.	
4	Витоки високо-температурних вод з мереж водогону, басейнів градирень	Зміни температурного режиму. Зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів у залежності від літологічного складу. Розвиток процесів осідання, просідання, суфозії	Генетичний тип відкладів та літологічний склад	Невивітрилі глини та піски середньої щільності, алювіальні необводнені відклади, представлені різнозернистими пісками Техногенні відклади (намивні та насипні ущільнені відміни) Делювіальні глинисті ґрунти (водонасичені), обводнені надзаплавні піски долини р. Дніпро та його приток Просідні ґрунти, ґрунти з особливими властивостями (торфи, мул)	Улаштування вимірювальної спостережної апаратури
			Температура витоків, °С	<20 20—40 40—60 >60	
5	Складування відпрацьованих продуктів — золи, шлаків	Зміна ландшафтів. Зміни показників хімічного, газового складу вод та ґрунтів, теплове забруднення	Площа золовідвалу, га	<20 20—60 60—100 >100	Зменшення об'ємів золовідвалів, використання в якості вторинної сировини
			Концентрація забруднюючих речовин	н. р.	

Примітка: н. р. — показники даного критерію у дослідженнях не розглядались.

Note: н. р. — not considered.

ня зливаються відпрацьовані відходи роботи ТЕЦ у вигляді розпеченої вугільної суміші. Там суміш відстоюється, важкі компоненти осідають, у подальшому воду фільтрують і після екологічного контролю зливають в зливову каналізацію. На ТЕЦ-3 у м. Харків стік відходів відбувався понад 50 років у розташовані поряд озера, що тепер являють собою засипаний ґрунтом майданчик. Подібна ситуація на Дарницькій ТЕЦ у Києві, золівдвал якої з роками перетворився на технічну водойму — оз. Гарячка з підвищеною у порівнянні з природними озерами температурою води.

Розглянуті ТЕЦ та ТЕС у міському середовищі працюють на устаткуванні, введеному в експлуатацію понад півстоліття тому і яке фізично і морально застаріло (Харківська ТЕЦ-3, Одеська ТЕЦ, Придніпровська ТЕС). Це спричиняє не тільки ріст питомої витрати умовного палива на вироблення теплової та електричної енергії, а й підвищує ризик виникнення аварій та надзвичайних ситуацій. Згідно зі статистикою, близько 90 % великих аварій спричинені відмовами в роботі обладнання і супроводжуються пожежею, 10 % є наслідком ушкоджень будівельних конструкцій. На частку аварій, що сталися в машинних відділеннях, припадає 72 % від загального їх числа, в котельних відділеннях — 23 % і в кабельних тунелях — близько 5 % (Класифікатор..., 2010; Белов, Пергаменик, 2014). Активізація несприятливих геологічних процесів здебільшого є наслідками аварій при експлуатації об'єктів теплоенергетики.

### Геологічні загрози при функціонуванні ТЕЦ (якісний аналіз)

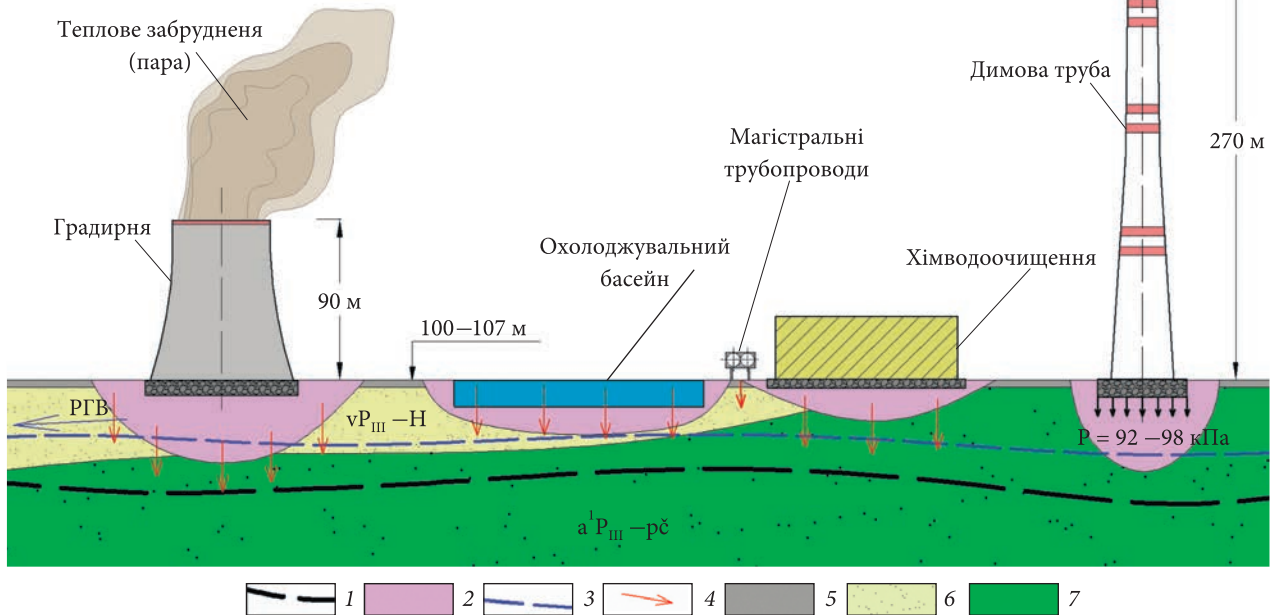
ГС територій теплоенергетичних комплексів охоплює частину простору, зайнятого геологічними тілами, яке зверху обмежується денною поверхнею, а знизу — поверхнею, що відділяє породи, змінені за будь-яким параметром складу, фізико-механічних, хімічних та інших властивостей в результаті прямих або опосередкованих впливів при функціонуванні ТЕЦ та ТЕС, від таких, що не зазнали цих змін (Демчишин та ін., 2017). На рис. 3 показано схему формування нижньої межі ГС під впливом об'єктів теплоенергетики на прикладі Київської ТЕЦ-6. Зміни у ГС відбуваються за такими техногенними чинниками: статичним та

динамічним навантаженням, витокami з мереж водогону чи об'єктів, пов'язаних із технологічними процесами використання води, хімічним та тепловим забрудненням вод та ґрунтів. Наслідками їх впливу є зміни показників фізико-механічних та хімічних властивостей ґрунтів, що призводить до зміни стану деякого об'єму ГС, розвитку та активізації інженерно-геологічних процесів і явищ (просідання, осідання, ущільнення, підтоплення, розрідження, суфозія). Виділені явища і процеси становлять геологічні загрози, що можуть створювати небезпеку для інженерних об'єктів ТЕЦ і ТЕС та людей, спричинити небезпечну подію або надзвичайну ситуацію. Основними характеристиками, що відображають ступінь небезпеки процесів, є інтенсивність та активність їх прояву, потужність (параметри) і швидкість протікання, зумовлені значною мірою генезисом процесів. Відповідно до методики (Про затвердження..., 2018), нами виділено критерії, що характеризують геологічні загрози та за вимірюваними показниками яких може бути встановлено ступінь ризику у зв'язку із змінами у компонентах ГС при експлуатації об'єктів теплоенергетики. Якісна оцінка впливу техногенних чинників на формування геологічних загроз територій теплоенергетичних комплексів наведена у табл. 2. Визначення площ, охоплених величиною за деяким критерієм, встановлює ураженість території ТЕЦ даною геологічною загрозою. Присвоюючи кожному діапазону показників бали, встановлюється ступінь ризику відповідно до методики (Про затвердження..., 2018), із використанням формули (1) розраховується величина ризику у грошовому еквіваленті. Вірогідність настання геологічної загрози ( $P_i$ ) може бути встановлена статистичним методом за даними про аварії та витоки або при проведенні постійного моніторингу.

Статичні навантаження від інженерних конструкцій та устаткування створює у ГС під об'єктами стиснені напружені зони. Глибина активної зони деформування ґрунтів основ не перевищує ширину фундаменту  $b = \sqrt{A}$ , де  $A$  — площа підшви фундаменту; вона найчастіше знаходиться у межах (0,5 — 0,7)  $b$  (Тер-Мартіросян и др., 2006). При спорудженні котлованів для димових труб, головного корпусу, охолоджувальних басейнів тощо за їх межами та-

Нормативні значення фізико-механічних властивостей ґрунтів

Геологічний індекс	Вид ґрунту за класифікацією ДСТУ Б В 2.1-2-9	$e$	$E$ , МПа	$K_{\phi}$ , м/доба	$\rho$ , $10^3$ кг/м <sup>3</sup>	$c$ , МПа	$\phi$	$R_p$ , кПа
tH	Насичені ґрунти				1,76			
$vP_{III-H}$	Супіски	0,76	11	0,75	1,78	0,014	25	250
$a^1P_{III-pc}$	Піски	0,58–0,74	30	4–6	1,66	0,002	30	200



**Рис. 3.** Схематичний переріз ділянки Київської ТЕЦ-6 по лінії I—I (див. рис. 2, б): 1 — нижня межа геологічного середовища; 2 — активна зона; 3 — рівень ґрунтових вод; 4 — витіки; 5 — техногенні відклади, насипні (tH); 6 — еолові відклади, дрібнозерністі кварцові піски ( $vP_{III-H}$ ); 7 — алювіальні відклади I надзаплавної тераси високого і низького рівнів річок Дніпро і Десна, причорноморський горизонт, піски, супіски ( $a^1P_{III-pc}$ )

**Fig. 3.** Schematic cross-section of the area of Kyiv TPP-6 along I—I (see Fig. 2, б): 1 — lower limit of the geological environment; 2 — active zone; 3 — water-table; 4 — leaks; 5 — technogenic deposits, bulk (tH); 6 — eolian deposits, fine-grained quartz sands ( $vP_{III-H}$ ); 7 — alluvial deposits of the 1st floodplain terrace of the high and low levels of the Dnieper and Desna rivers, Prychornomorskyi horizon, sands, sandy loam ( $a^1P_{III-pc}$ )

кож формується активна зона деформування ґрунтового масиву на відстані до двох глибин котловану (див. рис. 3). Формування напружено-деформованого стану при цьому проходить три етапи: розвантаження, повторне навантаження та довантаження. При цьому під тривалим впливом статичних навантажень ґрунти основ змінюють свою структуру та деякі фізико-механічні властивості у таких напрямках:

- збільшення об'ємної ваги, ступеня щільності, показника ущільнення, модуля деформації, ступеня стиску, кута внутрішнього тертя, зчеплення;

- зменшення вологості, пористості, коефіцієнта пористості, модуля осідань, показника консистенції, коефіцієнта ущільнення.

Під впливом динамічних навантажень, що передаються від фундаментів машин із дина-

мічною дією (головний корпус), при технологічних процесах скидання води, руху залізничного транспорту на майданчиках ТЕЦ, у піщаних ґрунтах відбувається взаємне зміщення частинок ґрунту і накопичення деформацій зрушення, зміни пористості, а у недренованих умовах — зміни порового тиску. Реакція слабозв'язних, лесоподібних ґрунтів виявляється у формі часткової або повної втрати міцності аж до розрідження, основою якого є явище тиксотропії, що кількісно характеризується коефіцієнтами втрати міцності і відновлення, після чого такі ґрунти здатні до відновлення міцності (Кріль, 2015; Kril, 2017). Внаслідок цих фізичних явищ залежно від літологічного складу зменшуються кут внутрішнього тертя (на 0,5—16 % від початкової величини), зчеплення (на 3—14 %), модуль деформації (на 0,5—25 %).

На території м. Київ ТЕЦ-5, ТЕЦ-6, Дарницька ТЕЦ розташовані на заплаві та I заплавної терасі Дніпра, складених алювіальними відкладами — пісками та супісками ( $aH$ ,  $a^1P_{III}p\check{c}$ ), озерно-болотними ( $Ib P_{III}-H$ ) та еоловими ( $v P_{III}-H$ ). У Харкові ТЕЦ-5 знаходиться у заплаві р. Уда, на піщано-глинистих ґрунтах; ТЕЦ-3 — на еолово-делювіальних відкладах неоплейстоцену, представлених товщами лесоподібних суглинків ( $vd, eP_{III}$ ), що перекривають алювіальні відклади надзаплавної тераси ( $a^8P_{I}bk$ ). В основах споруд залягають дисперсні незв'язні (піщані) та слабозв'язні (лесоподібні) ґрунти.

Заплави та надзаплавні тераси річок, де здебільшого розташовані ТЕЦ, відносяться до підтоплюваних територій. Обводненість піщано-глинистих ґрунтів при додаткових динамічних навантаженнях, а також додатковому зволоженню через *витоки* може стати причиною нерівномірних осідань конструкцій окремих об'єктів теплоенергетичних комплексів. Збільшення обводненої товщі на глибинах 2—4 м у пісках та супісках призводить до приросту сейсмічної інтенсивності на 0,7—0,5 бали, відповідно (Кріль, 2015). Ефект підсилюється положенням об'єктів теплоенергетичних комплексів у зонах геодинамічної активності та високоінтенсивних сейсмічних струшувань. Одеська ТЕЦ знаходиться на території із сейсмічною активністю 7 балів за шкалою MSK-64 відповідно до карти ЗСР-2004А (Будівництво..., 2015). За такої інтенсивності, що відповідає максимальним прискоренням (0,03 – 0,06)g, переміщення частинок дисперсних ґрунтів становлять 0,045—0,09 м.

Дніпропетровська агломерація, де розташована Придніпровська ТЕС, відноситься до регіону із низьким рівнем еколого-неогеодинамічних напруг. Відповідно до схеми сучасної активності морфоструктур України (Інформаційний..., 2000), амплітудні переміщення досягають 2—5 мм/рік. Проте знайдені на її території зони розломів та тектонічних порушень є місцями активного «реагування» на сейсмічну активність. Київська ТЕЦ-5 розміщена в зоні впливу Київського розлому та розривних порушень (Геологическа..., 1984).

*Температурний режим* ґрунтової товщі впливає на низку параметрів дисперсних ґрунтів. Зміни температурного поля у ґрунтах при-

зводять до значних змін режиму вологи (зміни коефіцієнтів фільтрації) та деформаційних властивостей (зміни напружено-деформаційного стану) дрібнодисперсних ґрунтів. Теплові потоки через фундаменти споруд (градирень) або наземні та підземні теплотраси нагрівають ґрунтові води до температур 60—80 °С. Вплив градирень та теплотрас виражається не тільки в прогріванні ґрунту внаслідок теплоперенесення, але й у втратах (витоках) гарячої води, що призводить до формування теплових полів вологості навколо них та підтоплення ґрунтів водою з високою температурою.

При витоках з мереж водогону, зокрема гарячих вод (понад 60 °С), відбуваються зміни фізичного стану пористих осадових порід, що проявляється у структурних змінах характеристик породоутворюючих мінералів внаслідок їх теплового розширення (Зуєвська, 2012, 2013; Самедов, 2013). Гаряча вода розчиняє хлоридні, сульфатні та карбонатні породи, а також багато водорозчинних солей, що цементують частинки ґрунту.

Зростання температури впливає на зв'язність рідини та веде до збільшення коефіцієнта фільтрації. У незв'язних типах ґрунтів (якщо вони не мають у складі розчинних мінералів) алювіальних відкладів, що залягають в основах більшості розглянутих ТЕС та ТЕЦ, підсилення фільтраційного потоку може призвести до розвитку внутрішньої механічної суфозії та утворення суфозійних деформацій. Найнебезпечнішим є розвиток просідань у лесових та лесоподібних ґрунтах (ТЕЦ-3, м. Харків) під впливом не тільки зволоження, а й температурного чинника. Процес просідання лесоподібних ґрунтів під власною вагою починається з моменту, коли вологість буде дорівнювати вологості на початку проявів просідних властивостей ( $W_{пр}$ ) або максимальній вологості даного ґрунту. Але при замочуванні лесоподібних ґрунтів гарячою водою процес просідання починається значно раніше при  $W_{пр}T$  і більш інтенсивніше. Причина цього полягає в тому, що при замочуванні водою з підвищеною температурою значно швидше відбувається процес розчинення солей та породоутворюючих мінералів у скелеті лесових та лесоподібних ґрунтів, пластичні деформації починаються раніше, ніж вологість буде дорівнювати мак-

симальній молекулярній вологоємності ґрунту (Зуєвська, 2012, 2013).

Окрім наведених геологічних загроз, експлуатація ТЕЦ та ТЕС пов'язана із серйозними геоекологічними проблемами. Відведення продуктів згоряння через димові труби та гарячої пари з градирень призводить до забруднення атмосфери урбанізованих територій. Екологічні наслідки мають викиди з димових труб, що через метеорологічні опади потрапляють у ґрунти та поверхневі води. Золо-шламовідстійники призводять до незначних змін сформованих раніше геоморфологічних та геохімічних ландшафтів, забруднення підземних вод нафтопродуктами, фенолами, продуктами мікробної деструкції сірки та інших біогенних залишків золи. Скидання технічних та дренажних вод, витіки з мереж спричиняють хімічне забруднення ґрунтових вод та ґрунтів, порушення режиму підземних вод, що веде до заболочування окремих ділянок місцевості за межами золівдвалів та інших відстійників.

Робота виконана в рамках відомчої тематики «Інженерно-геологічне обґрунтування функціонального зонування територій промислових агломерацій (для запобігання надзвичайних ситуацій)».

## Висновки

Розглянуті об'єкти теплоенергетики розташовані на урбанізованих територіях у промислових функціональних зонах міст, які характеризуються невитриманістю. Найбільш небезпечними з огляду на їхній вплив при експлуатації або виникненні надзвичайних ситуацій на сельбищну та рекреаційну зони є Одеська ТЕЦ, Дарницька ТЕЦ та Харківська ТЕЦ-3. Київські ТЕЦ-5, ТЕЦ-6, Харківська ТЕЦ-5 хоч і знаходяться на відповідній відстані від житлових кварталів, але розташовані на «слабких» ґрунтах, які при виникненні надзвичайних ситуацій, пов'язаних з технологічними процесами із використанням води, потрапляють під активізацію процесів підтоплення, розрідження піщаних типів ґрунтів основ або просідання слабозв'язних (лесоподібних) ґрунтів. Ефект підсилюється вібраційними впливами від роботи машин і механізмів, залізничного тран-

спорту на майданчику або природними інтенсивними сейсмічними впливами чи повільними геодинамічними рухами. Так, Одеська ТЕЦ розташована у близькості від зони Вранча, на слабких відкладах лиманно-морського генезису. При проходженні сейсмічних хвиль інтенсивність струшування може зростати на 2 бали за шкалою МСК-64.

В складі ТЕС та ТЕЦ виділено об'єкти підвищеної небезпеки — димові труби, машинні зали, градирні, охолоджувальні басейни, магістральні трубопроводи, золівдвали. Вплив ТЕЦ на ГС полягає у забрудненні, зміні фізико-механічних властивостей ґрунтів основ, виникненні теплового, вібраційного, електромагнітного полів у ґрунтових основах. Теплові електростанції в екологічному плані призводять до забруднення атмосфери, гідросфери, літосфери (ГС). Ці об'єкти потребують строгого моніторингу стану ГС, що має проводитись з урахуванням неотектонічного режиму території, зростання техногенного навантаження (збільшення забудови навколо, зменшення площ рекреаційних зон), меж та конфігурації функціональних зон міста. Для своєчасного реагування на виникнення надзвичайних ситуацій від геологічних загроз має значення удосконалення контрольно-виміральної апаратури за визначенням деформацій, кренів, режимів вологи та температури. При вичерпанні проектного ресурсу об'єкти підлягають або виведенню з експлуатації, або перенесенню за межі сельбищних та рекреаційних функціональних зон, або заміні альтернативними джерелами енергії. При цьому має бути проведено додатковий аналіз інженерно-геологічних процесів та явищ, що набули розвитку за тривалий час експлуатації теплоенергетичних комплексів.

Проведені аналіз та узагальнення впливів, що виникають при експлуатації об'єктів енергетичних комплексів в умовах урбанізованих територій, дали змогу виділити геологічні загрози, що можуть при цьому сформуватись. Якісний аналіз геологічних загроз та їх показники пропонуються для урахування при розробленні критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від проведення даної господарської діяльності.



СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Бедов А.И., Габитов А.И. Инженерные сооружения башенного типа, технологические эстакады и опоры линий электропередачи. Москва: МГСУ, 2017. 329 с.
- Белов В.В., Пергаменишук Б.К. Компонировочные решения ТЭС как фактор снижения последствий крупных аварий. *Новости теплоснабжения*. 2014. № 5 (197). С. 32—36.
- Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2014. [Чинний від 2015-01-10]. Київ: Мінбуд України, 2014. 118 с.
- Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва: ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013. [Чинний від 2013-01-09]. Київ: Мінбуд України, 2013. 32 с.
- В Одессе сохраняется угроза разрушения Хаджибейской дамбы и затопления Пересыпи. URL: <https://uc.od.ua/news/urbanism/1224209> (Дата звернення: 10.03.2020).
- Генеральный план розвитку м. Києва та його приміської зони до 2025 року (проект) URL: <https://kga.gov.ua/generalnij-plan/> (Дата звернення: 10.06.2020).
- Геологическая карта Украинской ССР масштаба 1:50 000. Киевский промышленный район. Объяснительная записка в 2 ч. Колот Э.И., Кузишина Л.П., Кутовой В.И., Лаврик В.Ф., Мараховская И.И., Селин Ю.И., Соловицкий В.Н., Шестопалова Е.В. Киев, 1984. 142 с.
- Геологическая карта Украинской ССР масштаба 1:200 000. Серия Причерноморская. Лист L-36-XIII, XIX. Объяснительная записка. Арбузова Л.С., Сурнина П.С., Бабушкин И.А., Гладченко А.Я. Киев, 1973. 72 с.
- Грибков А.М. Выбор оптимальных размеров дымовых труб и внешних газоходов: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. 83 с.
- Демчишин М.Г., Кріль Т.В., Соковнина Н.Х., Вдовиченко С.В. Геоекологічні та інженерно-геологічні проблеми функціонування енергетичних комплексів в міському середовищі. *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: актуальні питання*. Колективна монографія за матеріалами XVII Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 1—2 жовт. 2019 р.): Довгий С.О. (ред.). Київ, 2019. С. 99—102.
- Демчишин М.Г., Кріль Т.В., Анацький О.М. Геологічне середовище урбанізованих територій. *Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво*: Матеріали IV Міжнар. геол. форуму (Одеса, 19—24 черв. 2017 р.). Київ, 2017. С. 84—87.
- Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200 000. Дніпровсько-Донецька серія. Аркуші М-36-XIII (Белгород), М-36-XIX (Харків). Борисенко Ю.А., Литвиненко Ю.О., Мирка Г.Ю., Москаленко І.О., Москаленко Л.Г., Рудий М.Г., Яковлев В.В. Київ, 2008.
- Державна геологічна карта України. Масштабу 1:200 000. Геологічна карта і карта корисних копалин четвертинних відкладів. Центральноруська серія, аркуш М-36-XXXVI (Дніпропетровськ). Шпильчак В.О., Манюк В.В., Сукач В.В., Некряч А.І. Київ, 2006.
- Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Київ, 2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf>
- Звіт з оцінки впливу на довкілля планованої діяльності «Технічне переоснащення енергоблоку № 10 ДТЕК Придніпровської ТЕС для переводу котла ТП-90 на використання вугілля газової групи». Київ, 2018. 154 с. URL: <http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/20/reports/dfe82bac5ee8dfb340b5bead2f4e863a.pdf>
- Зуєвська Н.В. Інтенсифікація процесу просідання лесових ґрунтів з урахуванням гідротермального фактора. *Вісті Дон. гірн. ін-ту*. 2012. № 1 (30)—2 (31). С. 469—474.
- Зуєвська Н.В. Аварійні явища на міських об'єктах в умовах лесових просадних ґрунтів в присутності температурного чинника. *Вісті Дон. гірн. ін-ту*. 2013. № 1 (32). С. 11—115.
- Інженерні вишукування для будівництва: ДБН А.2.1-1-2014. [Чинний від 2014-01-08]. Київ: Мінбуд України, 2014. 128 с.
- Інформаційний бюлетень про стан геологічного середовища України у 1997 р. Київ, 2000. Вип. 16. 193 с.
- Инженерная геодинамика Украины и Молдовы (оползневые геосистемы). Т. 2: Рудько Г.И., Осийук В.А. (ред.). Черновцы: Букрек, 2012. 744 с.
- Карта условий развития экзогенных геологических процессов территории Украины. М 1:500 000. Колот Э.И., Палиенко В.П., Яковлев Е.А., Ищенко Е.В., Карпенко Г.В., Лущик А.В., Негода А.Л., Романюк О.С., Бобер Е.И., Геращенко С.Г., Станкевич З.С. Киев, 1997.
- Класифікатор надзвичайних ситуацій: ДК 019:2010. [Чинний від 01.01.2011]. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 19 с. (Національний класифікатор України).
- Котельні: ДБН В.2.5-77:2014. [Чинний від 2015-01-01]. Київ: Мінбуд України, 2015. 61 с. (Держ. будів. норми України).
- Кріль Т.В. Техногенні динамічні впливи на геологічне середовище міста (на прикладі м. Києва). Київ: Наук. думка, 2015. 160 с.
- Лысак Л.В., Рудич Г.И. Харьковская ТЭЦ-3: стратегия энергосбережения и восстановления электрических мощностей. *Проблеми, перспективи та нормативно-правове забезпечення енерго-, ресурсозбереження в житлово-комунальному господарстві*. 2012. Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/32045/1/33.pdf>

МЕТА. Карти України. URL: <https://map.meta.ua/#zoom=6&lat=48.5&lon=31.2&base=B00>

Настанова з проведення спостережень за осіданням фундаментів, деформаціями конструкцій будівель і споруд та режимом підземних вод на майданчиках теплових та атомних електростанцій: СОУ-Н МЕВ 40.1-00013741-79:2012. [Чинний від 2013-03-27]. Київ: Міненерговугілля України, 2013. (Стандарт Організації України).

Про внесення зміни до переліку особливо важливих об'єктів електроенергетики, які підлягають охороні відомчою воєнізованою охороною у взаємодії із спеціалізованими підрозділами інших центральних органів виконавчої влади. Постанова Кабінету Міністрів України № 246 від 12 квітня 2017 р. Київ. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/246-2017-%D0%BF#n3>

Про затвердження методик розроблення критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність проведення планових заходів державного нагляду (контролю), а також уніфікованих форм актів, що складаються за результатами проведення планових (позапланових) заходів державного нагляду (контролю). Постанова Кабінету Міністрів України № 342 від 10 травня 2018 р. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/342-2018-%D0%BF#n13>

Про оцінку впливу на довкілля. Закон України № 29 від 23.05.2017 р. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19>

Про схвалення Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру. Розпорядження Кабінету Міністрів України № 37-р від 22 січня 2014 р. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/37-2014-%D1%80#Text>

Резинских В.Ф. Современные проблемы, связанные с обеспечением надежной и безопасной эксплуатации оборудования тепловых электростанций. *Надежность и безопасность энергетики*. 2008. № 1. С. 4—6.

Самедов А.М. Расчет и проектирование геотехнических инженерных сооружений. Киев: НТУУ «КПИ», 2013. 908 с.

Саввин М.И. Оценка воздействия объектов теплоэнергетики на окружающую среду. *Вестн. ВГУ. Сер. География. Геоэкология*. 2013. № 2. С. 121—125.

Саввин М.И. Риски строительства и эксплуатации объектов теплоэнергетики (на примере Сахалинской области). *География и природ. ресурсы*. 2016. № 1. С. 46—54.

Тер-Мартыросян З.Г., Теличенко В.И., Королев М.В. Проблемы механики грунтов, оснований и фундаментов при строительстве многофункциональных высотных зданий и комплексов. *Вестн. МГСУ*. 2006. № 1. С. 18—27.

Kiril T. Causes of some hazardous engineering geological processes on urban territories. 3rd International Conference on Applied Geophysics E3S Web of Conferences. 2017. Vol. 24. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172401009>

Kumar, M., Bishnoi, M. Assessment of socio-economic impacts of Kota super thermal power plant. *Annals of Agri Bio Research*. Vol. 25, Issue 2, December 2020. P. 295-298.

Mandal, A., Sengupta, D. An assessment of soil contamination due to heavy metals around a coal-fired thermal power plant in India. *Environmental Geology*. 2006. 51 (3). P. 409-420. URL: <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0336-8>

Marjanović, M., Pujević, V., Jocković, S. Using of ash and slag from power plants for embankments construction. In: Murgul V., Pasetti M. (Eds.) *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018*. EMMFT-2018. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 982. P. 864-871. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8\\_83](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8_83)

Castiglioni, C.A., Rabuffetti, A.S., Chiarelli, G.P., Brambilla, G., Georgi, J. Unmanned aerial vehicle (UAV) application to the structural health assessment of large civil engineering structures. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*. 2017. Vol. 10444. № 1044414. URL: <https://doi.org/10.1117/12.2277921>

International Energy Outlook 2016. With Projections to 2040. May 2016. 290 p. URL: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1296780/>

Parhi, P.S., Balunaini, U., Sravanam, S.M., Mauriyya, V.K. (2020). Site Characterization of Existing and Abandoned Coal Ash Ponds Using Shear-Wave Velocity from Multichannel Analysis of Surface Waves. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002366](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002366)

Parhi, P.S., Sravanam, S.M., Balunaini, U. Dynamic characterization of coal ash lagoons using multichannel analysis of surface waves (Masw) technique. 7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, ICEGE 2019; Rome; Italy. EID: 2-s2.0-85081170368.

Wenjing Ge, Yuanbin Zhao, Shiwei Song, Wendong Li, Shasha Gao, TieFeng Chene. Thermal characteristics of dry cooling tower reconstructed from obsolete natural draft wet cooling tower and the relevant thermal system coupling optimization. *Applied Thermal Engineering*. Vol. 174. 25 June 2020, 115202. URL: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115202>

Надійшла до редакції 21.06.2020

Надійшла у ревізованій формі 14.04.2021

Прийнята 03.05.2021

REFERENCES

- About modification* of the list of especially important objects of the electric power which are subject to protection by departmental paramilitary protection in interaction with specialized divisions of other central executive bodies (2017). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 246, April 12, 2017, Kyiv. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/246-2017-%D0%BF#n3> (in Ukrainian).
- About the statement* of methods of development of criteria on which the degree of risk from carrying out economic activity is estimated and periodicity of carrying out of planned actions of the state supervision (control), and also the unified forms of the acts made as a result of carrying out planned (unscheduled) actions of the state supervision (control) (2018). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 342, May 10, 2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/342-2018-%D0%BF#n13> (in Ukrainian).
- Bedov, A.I., Gabitov, A.I. (2017). Tower-type engineering structures, overpasses and power transmission towers. Moscow: MGSU (in Russian).
- Belov, V.V., Pergamenschik, B.K. (2014). TPP layout solutions as a factor in mitigating the consequences of major accidents. *Heat News.*, 5 (165), 32-36 (in Russian).
- Boiler rooms* (2015). DBN B.2.5-77:2014 from 1th January 2015. Kyiv: Minbud Ukrainy (in Ukrainian).
- Castiglioni, C.A., Rabuffetti, A.S., Chiarelli, G.P., Brambilla, G., Georgi, J. (2017). Unmanned aerial vehicle (UAV) application to the structural health assessment of large civil engineering structures. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 10444, 1044414. URL: <https://doi.org/10.1117/12.2277921>
- Classifier of Emergencies* (2010). DK 019:2010 from 1th of January 2011. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 19 p. (in Ukrainian).
- Construction in seismic areas of Ukraine* (2014). DBN B.1.1-12:2014 from 1th of October 2015. Kyiv: Minbud Ukrainy (in Ukrainian).
- Demchyshyn, M.G., Kril, T.V., Sokovnina, N.Kh., Vdovychenko, S.V. (2019). Geocological and engineering-geological problems of functioning of energy complexes in the urban environment. In: *Modern information technologies for environmental safety management, nature management, emergency measures: current issues*. Collective monograph based on the materials of the XVII International Scientific and Practical Conference (Kyiv, October 1-2, 2019). (Ed. Dovhyi S.O.). Kyiv, p. 99-102 (in Ukrainian).
- Demchyshyn M.G., Kril T.V. Anatskyi O.M. (2017). Geological environment of urban areas. In: *Actual problems and prospects of geology development: science and production*. Proceedings of the IV International Geological Forum, June 19-24, 2017, Odesa. Kyiv, p. 84-87 (in Ukrainian).
- Determining the class of consequences (responsibilities) and the category of complexity of construction objects*. 2013. from 1th of September 2013. Kyiv: Minbud Ukrainy (in Ukrainian).
- Engineering geodynamics of Ukraine and Moldova (landslide geosystems)*. Vol. 2 (Eds. Rudko H.Y., Osiyuk V.A.) (2012). Chernovtsy: Bukrek (in Russian).
- Engineering surveys for construction* (2014). DBN A.2.1-1-2014 from 1th of August 2014. Kyiv: Minbud Ukrainy (in Ukrainian).
- General development plan of Kyiv and its suburban zone until 2025 (project)*. URL: <https://kga.gov.ua/generalnij-plan/> (Accessed: 10.06.2020)
- Geological map of Ukrainian USSR of scale 1:50 000. Kyiv industrial area* (1984). Explanatory note in 2 parts. Kolot Ye.I., Kuzyshyna L.P., Kutovoi V.Y., Lavryk V.F., Marakhovskaia Y.Y., Selyn Yu.Y., Solovytskyi V.N., Shestopalova E.V. Kyiv (in Russian).
- Geological map of Ukrainian USSR of scale 1:200 000. Black Sea series. Sheet L-36-XIII, XIX* (1973). Explanatory note. Arbuzova L.S. Surnyna P.S. Babushkyn Y.A. Hladchenko A.Ya. Kyiv (in Russian).
- Gribkov, A.M. (2016). The choice of the optimal sizes of chimneys and external flues. Kazan: Kazan. state ener. un-t (in Russian).
- Guidelines for monitoring the subsidence of foundations, deformations of structures of buildings and structures and groundwater regime at the sites of thermal and nuclear power plants*. COY-H MEB 40.1-00013741-79:2012 from 27th of March 2013. Kyiv: Minenerhovuhillia Ukrainy (in Ukrainian).
- Informative bulletin of environmental geological state of Ukraine in 1997*. (2000). Kyiv (in Ukrainian).
- In Odessa, the threat of destruction of the Hadzhibey dam and flooding of Peresyp remains*. URL: <https://uc.od.ua/news/urbanism/1224209> (Accessed: 10.03.2020) (in Russian).
- International Energy Outlook 2016* (2016). With Projections to 2040. URL: <https://www.osti.gov/servlets/purl/296780/>
- Kril, T. (2017). Causes of some hazardous engineering geological processes on urban territories. *3rd International Conference on Applied Geophysics E3S Web of Conferences*, vol. 24. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172401009>
- Kril, T.V. (2015). Technogenic dynamic influences on the geological environment of city (on an example of Kyiv). Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).
- Kumar, M., Bishnoi, M. (December 2020) Assessment of socio-economic impacts of Kota super thermal power plant *Annals of Agri Bio Research*, 25, 2, 295-298.

- Lyisak, L.V., Rudich, G.I. (2012). Kharkiv TPP-3: Strategy for Energy Saving and Restoring Electrical Capabilities. In *Problems, prospects and regulatory and legal framework for energy, resource conservation in housing*. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/32045/1/33.pdf> (in Ukrainian).
- Mandal, A., Sengupta, D. (2006). An assessment of soil contamination due to heavy metals around a coal-fired thermal power plant in India. *Environmental Geology*, 51 (3), 409-420. URL: doi: 10.1007/s00254-006-0336-8
- Map of the conditions for the development of exogenous geological processes in Ukraine M 1:500 000 (1997). Kolot E.Y., Palyenko V.P., Yakovlev E.A., Yshchenko E.V., Karpenko H.V., Lushchik A.V., Nehoda A.L., Romaniuk O.S., Bober E.Y., Herashchenko S.H., Stankevych Z.S. Kyiv (in Russian).
- Marjanović, M., Pujević, V., Jocković, S. (2020). Using of Ash and Slag from Power Plants for Embankments Construction. In Murgul V., Pasetti M. (Eds.) *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018*. EMMFT-2018 2018. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 982. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8\\_83](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8_83)
- META. Maps of Ukraine. URL: <https://map.meta.ua/#zoom=6&lat=48.5&lon=31.2&base=B00> (Accessed: 10.06.2020).
- On approval of the Concept of risk management of emergencies of man-caused and natural nature: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of January 22, 2014 № 37-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/37-2014-%D1%80#Text> (in Ukrainian).
- On Environmental Impact Assessment: Law of Ukraine of May 23, 2017 № 29. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19> (in Ukrainian).
- Parhi, P.S., Balunaini, U., Sravanam, S.M., Mauriya, V.K. (2020). Site Characterization of Existing and Abandoned Coal Ash Ponds Using Shear-Wave Velocity from Multichannel Analysis of Surface Waves. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002366](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002366).
- Parhi, P.S., Sravanam, S.M., Balunaini, U. (2019). Dynamic characterization of coal ash lagoons using multichannel analysis of surface waves (Masw) technique. *7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, ICEGE 2019*; Rome; Italy. EID: 2-s2.0-85081170368.
- Report on the Environmental Impact Assessment of the Planned Activity, 2018. Kyiv, 154 p. URL: <http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/20/reports/dfe82bac5ee8dfb340b5bead2f4e863a.pdf> (in Ukrainian).
- Rezinskikh, V.F. (2008). Modern problems associated with ensuring reliable and safe operation of equipment for thermal power plants. *Energy reliability and safety*, 1, 4-6 (in Russian).
- Samedov, A.M. (2013). Calculation and design of geotechnical engineering structures. Kyiv: NTUU «KPI» (in Russian).
- Savvin, M.I. (2013). Assessment of the impact of objects of heat power engineering on the environment. *Proceedings of Voronezh State University, series: Geography. Geoecology*, 2, 121-125 (in Russian).
- Savvin, M.I. (2016). The risks of construction and operation of heat power facilities (exemplified by Sakhalinskaya oblast). *Geography and Natural Resources*, 1, 46-54 (in Russian).
- State geological map of Ukraine of scale 1:200 000. Dniprovsko-Donetsk series. Sheets M-36-XIII (Bielhorod), M-36-XIX (Kharkiv) (2008). Borysenko Yu.A. Lytvynenko Yu.O. Myrka H.Yu. Moskalenko I.O. Moskalenko L.H. Rudyi M.H. Yakovliev V.V. Kyiv (in Ukrainian).
- State geological map of Ukraine of scale 1:200 000. Central Ukrainian series. Sheet M-36-XXXVI (Dnipropetrovsk) (2006). Shpilchak V.O., Manyuk V.V., Sukach V.V., Nekryach A.I. Kyiv (in Ukrainian).
- Ter-Martirosyan Z.G., Telichenko V.I., Korolev M.V. (2006). Problems of soil mechanics, bases and foundations in the construction of multi-functional high-rise buildings and complexes. *Bulletin of MGSU*, 1, 18-27 (in Russian).
- The Energy Strategy of Ukraine for the period till 2035. "Security, energy efficiency, competitiveness". (18.08.2017, Kyiv). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf> (in Ukrainian).
- Zuyevska, N.V. (2012). Intensification processes of settling in loess soils with present of hydrothermal factor. *Journal of Donetsk Mining Institute*, 1(30)-2(31), 469-474 (in Ukrainian).
- Zuyevska, N.V. (2013). Emergency phenomenon on urban object on loess soils in the presence of temperature factor. *Journal of Donetsk Mining Institute*, 1(32), 11-115 (in Ukrainian).
- Wenjing, Ge, Yuanbin, Zhao, Shiwei, Song, Wendong, Li, Shasha, Gao, TieFeng Chene (25 June 2020). Thermal characteristics of dry cooling tower reconstructed from obsolete natural draft wet cooling tower and the relevant thermal system coupling optimization. *Applied Thermal Engineering*, 174, 115202. URL: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115202>

Received 21.06.2020

Received in revised form 14.04.2021

Accepted 03.05.2021

M.G. Demchyshyn, T.V. Kril \*

Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

E-mail: kotkotmag@gmail.com

\* Corresponding author

#### ENGINEERING-GEOLOGICAL AND GEOECOLOGICAL PROBLEMS OF HEAT POWER COMPLEXES ON URBAN AREAS

The impacts of thermal energy plants on the geological environment include the chemical pollution of groundwater and soils, changes in their physical and mechanical properties, and the induction of thermal, vibrational, and electromagnetic fields in the soil bases. The aim of the research is to determine geological hazards in large cities, where thermal power plants and combined heat and power plants are located. The objects of research were soil foundations, buildings of thermal power plants of industrial and urban agglomerations of Kyiv, Kharkiv, Dnipro and Odesa. The following hazardous objects have been identified in the thermal power plants located within the settlements: flue-gas stacks (static load, dynamic influences at significant wind loads, impact on the ecological state); cooling towers and cooling pools (leaks, additional soil moisture); engine rooms (static loading and vibration effects from equipment operation); pipelines (leaks, formation of thermal stresses in soils); ash settlers (environmental impact). The positions of heat power plant objects in relation to the functional zones of the city are analyzed. Description of soil bases is given. It is established that the bases of the thermal power plants buildings are mainly dispersed incoherent (sandy) and weakly cohesive (loess-like) soils. Changes in engineering and geological conditions during the operation of the thermal power plants, which can cause dangerous geological processes and provoke emergency situations, have been assessed. Indicators of criteria for identification of geological hazards when assessing risks during the operation of the thermal power plants are proposed on the basis of engineering-geological processes caused by technogenic factors.

**Keywords:** *objects of thermal power plant; geological environment; geological hazards; zoning; emergencies; technogenic impacts.*