

УДК 504,058; 504.3.054

О.Г. РОГОЖИН, Є.О. ЯКОВЛЄВ

ПОТЕНЦІЙНИЙ ПРИРІСТ СЕЙСМІЧНОСТІ В УКРАЇНІ ЯК ФАКТОР ЗРОСТАННЯ РИЗИКУ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ВІД АВАРІЙ НА ХІМІКО-НЕБЕЗПЕЧНИХ ПНО

***Анотація.** Здійснено регіональну оцінку сукупного сейсмічного ризику руйнування хіміко-небезпечних ПНО з урахуванням його приросту під впливом інженерно-геологічних умов та оцінку потенційних втрат від імовірних аварій на таких ПНО із викидом отруйних речовин.*

***Ключові слова:** сейсмічний ризик, небезпечні екзогенні геологічні процеси, хіміко-небезпечні об'єкти, летючі токсичні речовини, ризик життєдіяльності, геоінформаційні системи.*

1. Регіональний сейсмічний ризик в Україні

Імовірність виникнення надзвичайних ситуацій (НС) у хімічній галузі України є неприйнятно великою ($1,29 \cdot 10^{-3}$ станом на 2001 р.), а в нафтохімічній – на межі між прийнятно і неприйнятно великою ($9,7 \cdot 10^{-4}$) [1, с. 85–86]. Основними факторами, що викликають техногенні аварії, є (у порядку зменшення частоти реалізації): людський чинник (особливо помилки персоналу), конструктивні й організаційні недоліки, небезпечні природні процеси (атмосферні явища, повені, сейсмічні події, просадкові, зсувні та інші екзогенні геологічні процеси). Причому саме небезпечні природні процеси, зокрема сейсмо-геологічні, реалізують найбільші за масштабом та ризиками життєдіяльності аварії на потенційно небезпечних об'єктах (ПНО), зокрема на хіміко-небезпечних (ХНО).

Основними факторами подальшого зростання ризику життєдіяльності від аварій на ХНО із викидом отруйних (токсичних) речовин та ураженням ними персоналу і населення, на нашу думку, в Україні є: загроза воєнних дій і тероризму; висока зношеність технологічного обладнання та конструкцій; природно-антропогенна активізація небезпечних екзогенних геологічних процесів (НЕГП), спричинена техногенезом.

Вплив першого з цих факторів може бути відносно швидко знівельовано комплексом політичних і адміністративних заходів. На жаль, останні два фактори набагато стійкіші у просторово-часовому вимірі. Вони зумовлюють не лише довготривалий приріст імовірності і тяжкості наслідків аварій на ХНО внаслідок сейсмічних подій (власне сейсмічного ризику), а й зменшення стійкості їх технологічного обладнання та будівельних конструкцій до військових і терористичних атак. При цьому виникає загроза ланцюгового розвитку НС, збільшення зони їх територіального прояву, провокування нових аварій на ХНО, тобто виникнення «каскадного ефекту» реалізації негативних наслідків.

Поняття *сейсмічна безпека* і *сейсмічний ризик* принципово відмінні. Сейсмічна безпека є природним явищем інтенсивності струшувань, тоді як сейсмічний ризик описує взаємодію між сейсмічною безпекою і уразливістю людей або споруд.

Між ризиком і уразливістю спостерігається складна фізична залежність. Для певних типів будівель існує зв'язок між інтенсивністю струшування ґрунту і рівнем ушкодження (крива крихкості). Сейсмічний ризик може бути також виражений як вірогідність того, що будівля може бути пошкоджена в певний період часу, наприклад, за 50 років. Тому сейсмічний ризик кількісно визначається чотирма параметрами: *імовірність, рівень загрози* (фізична або грошова оцінка втрат), *просторовий* вимір і вимір в *часі* [2].

В Україні сейсмонебезпечні райони з прогнозованою інтенсивністю сейсмічних впливів від 6 до 9 балів за шкалою MSK-64 займають близько 20% території (майже 120 тис. км²), на якій мешкає понад 10 млн населення. Райони з інтенсивністю 7–9 балів за шкалою MSK-64 охоплюють близько 12% території України, де мешкає понад 7 млн населення [3].

Як зазначає С.В. Буднік, сукупний *регіональний сейсмічний ризик* для певної території відображається моделлю [4]:

$$R_R = (I_3 + G_H) \times V_C \times D_P \times E_A, \quad (1)$$

де: I_3 – зональна сейсмічна небезпека; G_H – приріст сейсмічності; V_C – уразливість споруд; D_P – соціальний фактор уразливості; E_A – економічний фактор уразливості.

Зональна (регіональна) сейсмічна небезпека (I_3) вимірюється в балах або піковому прискоренні землетрусів для різних періодів повторюваності. *Середня сейсмічна інтенсивність* землетрусів як індикатор зональної сейсмічної небезпеки може бути розрахована за формулою:

$$I = 1,5M - 4,5 \lg(\sqrt{H^2 + R^2} + 7,0) \quad (2)$$

де: M – магнітуда за Ріхтером; H – глибина осередку, км; R – епіцентрально відстань, км.

Приріст сейсмічності (G_H) відбувається за рахунок посилюючих фізико-механічних властивостей ґрунтів (пуккість, пластичність, водонасиченість, поровий тиск), впливу рельєфу, гідрогеологічних умов та небезпечних геологічних процесів (зсуви, просадки, розжиження, розриви).

Вплив гідрогеологічних умов за рівня ґрунтових вод понад 5–10 м (від поверхні) припустимо не враховувати. *Вплив рельєфу* на амплітудно-частотні характеристики землетрусів стає відчутним за стрімкості схилів $\kappa = h/l = 0,08(4^\circ)$. Вважається, що за $0,08 \leq \kappa < 0,2$ – амплітудно-частотні характеристики посилюються в 1,5 разу, а за $\kappa \geq 0,2$ – в 2 рази. Вплив рельєфу істотно залежить від *потужності та обводненості осадових пухких відкладів*. За потужності осадової товщі до 125 м вплив рельєфу відчутний, за потужності у 150 м і більше – він не відчувається.

Однак загальний внесок НЕГП у формування сейсмічного ризику традиційно оцінюють у межах 3–5% і зазвичай не враховують, незважаючи на те, що за оцінками фахівців [5–8] територія України в останні десятиліття перетворилася в показовий полігон для вивчення всебічного впливу господарської діяльності на водо-енергообмін у верхній зоні геологічного середовища (ГС), порушення рівноваги якого негативно впливає на геомеханічну стійкість породного масиву.

Інтенсивний комплексний вплив на ГС відбувається в районах атомних електростанцій, де відзначається підвищення температури підземних вод і гірських порід до 10°C і більше, *підйом рівня підземних вод до критичної глибини (2–3 м)*, активізація карстових та карстово-суфозійних процесів (Рівненська, Чорнобильська, Південно-Українська та інші АЕС). Критичні глибини залягання ґрунтових вод відзначаються на зрошуваних землях, де переважають площі з глибиною залягання до 3 м від поверхні землі (рівнинний Крим, Херсонщина). Загалом *всі техногенні зміни ГС призводять до порушення балансу вод у верхній частині літосфери і змінюють її міцність та густину у розрахунку на одиницю площі*. Тільки в межах рівнинного Криму (Північно-Кримський прогин) за період зрошення водами Північно-Кримського каналу *запаси потенційної енергії за рахунок водної складової збільшилися до $7,4 \times 10^9$ Дж*. Все це не тільки змінило стан ГС, але й призвело до збільшення інтенсивності сейсмічних струшувань земної поверхні, викликало активізацію сучасних геологічних процесів та *технічні порушення споруд, не характерні для сейсмічності, що затверджена нормативними документами* [5, с. 134].

Проблема уточнення сукупного сейсмічного ризику шляхом врахування його інженерно-геологічної складової на регіональному, місцевому і об'єктовому рівнях потребує спеціальних досліджень у відповідному масштабі. На регіональному рівні такі дослідження в Україні виконані колективом під керівництвом проф. А.В. Лущика у 1990-х рр. Ними були розроблені макети і складені карти *регіональної оцінки (районування) інженерно-сейсмологічного ризику*, відображеного показниками *приросту сейсмічної бальності* щодо зональних нормативів ОСР-78. Загалом була охоплена територія 14 областей України, її Південного (Одеська, Миколаївська, Херсонська обл., АР Крим), Донецько-Криворізького (Дніпропетровська, Запорізька, Донецька, південна частина Луганської обл.) та Карпатського (Закарпатська, Івано-Франківська, Чернівецька, південні частини Львівської, Хмельницької та Вінницької обл.) регіонів [9].

2. Постановка задачі

В Україні всі хіміко-небезпечні ПНО (ХНО), як і інші індустриальні об'єкти, проектувалися із стійкістю до руйнування згідно з максимальною зональною сейсмічністю (інтенсивністю землетрусів) плюс 3 бали. Абсолютна більшість з них, у відповідності з картою ОСР-78, перебуває у 4–5 бальній зоні (крім Закарпаття, Карпат, Прикарпаття, Придністров'я, Подунав'я та Центрального, Південного і Східного Криму). Відповідно, межею технічної стійкості їх конструкцій є струшування з інтенсивністю 7–8 балів (за незначного рівня їх фізичної зношеності, умовно оціненого нами величиною до 50%). Стійкість значної частини технологічного обладнання і інфраструктури ХНО ще нижча, вони (зокрема трубопроводи) пошкоджуються за інтенсивності струшувань у 6–7 балів.

Якщо взяти до уваги, що величина горизонтального прискорення (провідного руйнівного фактора) зростає вдвічі кожного разу при збільшенні сейсмопоштовху на 1 бал, то вплив зношеності обладнання і конструкцій на рівні понад 50% може бути еквівалентом зростання руйнівної сили землетрусу (для такого об'єкта) на 1 бал.

На нашу думку, імовірність виникнення струшувань інтенсивністю 6–7 балів і більше є провідним природно-антропогенним фактором формування загрози виникнення різного масштабу аварій (НС) із викидом токсичних речовин, що часто ускладнюються вибухами та пожежами. Частота виникнення таких сейсмічних подій задає мінімальну оцінку імовірності зазначених аварій. Якщо для визначення сейсмічної загрози використати карти ЗСР-2004«А», то мінімальна повторюваність в часі таких аварій у зоні максимальної інтенсивності струшувань понад 6 балів становитиме $2 \cdot 10^{-3}$ на рік (1 раз за 500 років). З іншого боку, НС із викидом токсичних речовин є додатковим фактором ураження персоналу і населення під час сейсмічних подій з інтенсивністю понад 6 балів. Вони спричиняють додатковий ризик життєдіяльності в разі землетрусів такої інтенсивності (в ареалах потенційного хімічного ураження).

Тому масштаб аварій, виникнення вибухів і пожеж, негативні соціально-економічні наслідки НС на ХНО безпосередньо залежатимуть від інтенсивності струшувань на їх промайданчиках та рівня зношеності основних фондів. Для великих ХНО (хімічних виробництв із токсичними речовинами) та незначним рівнем зношеності основних фондів залежність між інтенсивністю сейсмічних струшувань і характером аварійних ситуацій очікується нами близькою до наведеної у табл. 1.

Таблиця 1. Імовірні масштаби аварій на ХНО України за певних рівнів сейсмічної небезпеки (за зношеності основних фондів до 50%)

Сумарна I_s балів	Опис аварійної ситуації	Масштаб НС	Соціальні наслідки НС
6–7	Одиничні розриви стиків технологічних трубопроводів, відмови обладнання	Локальні, в межах промайданчика	Персонал: постраждали, окремі жертви
7–8	Масові розриви стиків трубопроводів (продуктопроводів), відмови запорної арматури, пожежі	Вихід за межі промайданчика	Персонал: багато постраждалих, десятки жертв Населення: постраждали на прилеглих територіях, окремі жертви
8–9	Розвиток проникних тріщин у резервуарах з хімікатами та викиди токсичних сполук, руйнування несучих конструкцій, пожежі і вибухи	Ураження прилеглих територій і населення	Персонал: багато постраждалих і жертв Населення: багато постраждалих, десятки жертв
понад 9	Руйнування наземних і підземних трубопроводів, резервуарів, просторові викиди токсичних сполук, обвалення конструкцій, пожежі і вибухи	Максимальна розрахункова аварія	Персонал і населення: тисячі постраждалих, сотні жертв

За фізичної зношеності основних фондів у 50–80% – максимальна розрахункова аварія стає імовірною за 8–9 бальних землетрусів. За зношеності у понад 80% – за 7–8 бальних землетрусів. Згідно із даними Держстата у 2010 р. ступінь зношеності основних засобів всього по промисловості в Україні становив 63%, по переробній промисловості, до якої належать найбільші ХНО, ще більше – 66,8% [8, с. 91]. Виходячи з цього, припускаємо, що *максимальна розрахункова аварія на ХНО* в умовах сучасної України в середньому має відбуватися в разі реалізації понад 8-бальних струшувань на їх промислових майданчиках.

Нашою метою було здійснення регіональної оцінки сукупного сейсмічного ризику руйнування хіміко-небезпечних ПНО (ХНО) з урахуванням його приросту (понад зональний) під впливом інженерно-сейсмогеологічних умов та оцінки потенційних втрат від імовірних аварій на таких ПНО внаслідок вибухів, пожеж та викидів отруйних речовин.

3. Регіональна оцінка сукупного сейсмічного ризику в Україні

У якості інформаційних першоджерел для регіональної оцінки сукупного сейсмічного ризику в процесі нашого дослідження були оцифровані тематичні карти зональної сейсмічності (ЗСР 2004«А») [11], карти інженерно-геологічних чинників приросту сейсмічності за версією проф. А.В. Лущика [9], топооснова 1:200000, прив'язані до неї бази даних: кількості населення по населених пунктах України (згідно з переписом 2001 р.), ПНО (всі категорії, 2004 р.), списку ХНО (підготованого нами станом на початок 2014 р.).

Основний метод дослідження – ГІС аналіз. Для його здійснення у середовищі ГІС ESRI ArcMap 9.3(10.0) на топооснові 1:200000 нами було *створено картографічні моделі*: ареалів *фонового сейсмічного ризику* за різні періоди спостереження (у зоні понад 5 балів); ареалів *загального приросту сейсмічного ризику* через місцеві інженерно-геологічні умови з урахуванням антропогенного фактору їх активізації; ареалів *антропогенної складової приросту* цього ризику. На основі поєднання цих картографічних моделей та картометричного аналізу визначено:

1) *максимальну оцінку сукупного сейсмічного ризику* – зональна сейсмічність плюс розрахунковий загальний приріст сейсмічності за версією проф. А.В. Лущика (за нижньою межею градацій шкали приросту);

2) *мінімальну оцінку сукупного сейсмічного ризику* – зональна сейсмічність плюс її розрахунковий антропогенний приріст за версією проф. А.В. Лущика (за нижньою межею градацій шкали приросту), імовірність відповідних землетрусів на рік – $2,0 \cdot 10^{-3}$; із визначенням відповідних ареалів, населених пунктів, населення та ПНО, що туди потрапляють.

Максимальна оцінка сукупного сейсмічного ризику відносить до ареалу сукупної сейсмічності ≥ 7 балів понад 88% усіх ПНО і понад 90% всього населення дослідженої території (ще більше в Південному та Західному регіонах і в Криму). Це у понад 5 разів більше зонального ризику для такого рівня сейсмічності. На нашу думку, це є ознакою *завищення поширеності і рівня загального приросту* сейсмічності в регіональних оцінках А.В. Лущика. Мінімальна оцінка сукупного сейсмічного ризику відносить до ареалу сукупної сейсмічності ≥ 7 балів до 30% усіх ПНО та всього населення дослідженої території. Це у 1,5–1,9 разу більше зонального ризику для такого рівня

сейсмічності і становить 1/3 від максимальної оцінки. Мінімальна оцінка демонструє значно більші регіональні відмінності розрахункового ризику, ніж максимальна.

Як зазначається зокрема у ДБН В.1.1-12:2006 [11], *місцева руйнівна сила землетрусу* залежить, крім енергії поштовху, від *рельєфу* місцевості, *властивостей гірських порід*, які її складають (літологічного складу ґрунтів), та *водного режиму*. На ділянках, складених крихкотілими водонасиченими ґрунтами, сейсмічне прискорення може бути у 1,5–2 рази більшим, ніж на тих ділянках, де залягають щільніші ґрунти. Тому сейсмічну інтенсивність майданчика будівництва рекомендується визначати з урахуванням сейсмічного мікрорайонування, що виконується для районів із сейсмічністю понад 6 балів.

Однак наведене не вичерпує усіх факторів, що формують сейсмічний ризик для хіміко-небезпечних ПНО. Необхідність аналізу особливостей сучасних природних гідрогеологічних, інженерно-геологічних та сейсмологічних умов обумовлена тим, що після регіональної активізації підтоплення земель (починаючи з 1979–1981 рр.), значною мірою пов'язаною з масштабним регулюванням поверхневого стоку в Україні, відбулося 3–5-кратне збільшення кількості зсувних, карстово-провальних, просадкових та інших небезпечних екзогенних геологічних об'єктів (проявів) [12], в першу чергу в межах промислово-міських агломерацій (ПМА) та гірничо-видобувних районів (ГВР).

Аналіз результатів досліджень регіональних змін геосистем у більшості регіонів України свідчить про великі неоднорідності ґрунтових умов ГС (інженерно-геологічних, гідрогеологічних, ландшафтно-геохімічних та ін.). Верхня частина геологічного розрізу більшої частини території, охопленої нашим дослідженням, складена товщею пухких осадових переважно лесових та лесово-суглинистих просадкових порід, які в сучасних умовах відзначаються активними змінами фізико-механічних властивостей. Причому для *типових* інженерно-геологічних ділянок розрахункові прирости сейсмічної інтенсивності дорівнюють $\Delta I = 0$ балів (приріст щодо зональної сейсмічності згідно з ЗСР-2004).

Винятком є підтоплені ділянки. Для них методом інженерно-гідрогеологічних аналогій Є.О. Яковлевим обґрунтована залежність часу існування напружено-деформованого стану водонасичених порід підґрунтя (підвищеного порового тиску t_{nop}) при проходженні сейсмопоштовху (швидкість 1,0–1,5 км/сек) за умов підтоплення фундаментів споруд. Значно більший час існування підвищеного порового тиску порівняно з часом проходження сейсмопоштовху (частка секунди) формує небезпеку виникнення додаткових гідрогеомеханічних напруг при афтершоках, внаслідок чого можливе локальне розрідження порід підґрунтя і розвиток критичних деформацій споруд ХНО.

Час існування первинного підвищення порового тиску в підґрунті з урахуванням геометрії фундаменту в цілому оцінюється за наступною залежністю:

$$t_{nop} \approx 0,2 b^2 / a_p, \quad (3)$$

де: b – мінімальний розмір фундаменту в плані, м;

a_p – коефіцієнт рівнепроводності водонасичених порід підґрунтя.

$$a_p = k h / \mu; \quad (4)$$

де: k – коефіцієнт фільтрації порід підґрунтя, м/добу;

h – товщина шару ґрунтових вод, м;

μ – коефіцієнт водовіддачі (пористість) порід ґрунтового горизонту.

Для супісчано-суглинистих різностей $t_{пор}$ становить 1–10 діб.

4. Сейсмічний ризик для ХНО в Україні та імовірні наслідки його реалізації для життя і здоров'я населення

Сукупний сейсмічний ризик розглядається нами як *основний природно-антропогенний фактор виникнення крупномасштабних техногенних аварій* із викидом токсичних речовин в умовах регіонального погіршення інженерно-геологічних умов експлуатації будівель і лінійно-напружених інженерних мереж в Україні (нафто-газопроводи, залізниці, мости та інше).

Ареали сукупної сейсмічності у 7–8, 8–9 і понад 9 балів в умовах понад 60% зношеності основних фондів можуть інтерпретуватися, відповідно, як: зони імовірних розривів стиків трубопроводів, відмов запорної арматури та пожеж; руйнування конструкцій, тріщин в резервуарах, пожеж і вибухів; руйнування резервуарів, обрушення конструкцій, пожеж і вибухів (максимальна розрахункова аварія на ПНО).

Узагальнені напівкількісні співвідношення руйнівних землетрусів та значень критичної зношеності обладнання ПНО наведені у табл. 2. З неї та рис. 1 випливає, що зв'язок між ними може бути апроксимований лінійною залежністю вигляду:

$$S = 170 - 13,3 I, \quad (5 \leq S \leq 9),$$

де: S – критична (щодо руйнування) фізична зношеність обладнання, %;

I – значення сумарної бальності, бали МСК-64.

Відповідно, у досліджених регіонах нами ідентифіковані хіміко-небезпечні ПНО (ХНО), що потрапляють у зони загального сейсмічного ризику 7–8, 8–9 і понад 9 балів (у двох варіантах: мінімальна і максимальна оцінки).

Таблиця 2. Орієнтовні оцінки руйнівної здатності землетрусів в залежності від фізичної зношеності обладнання ПНО

№№ п/п	Значення сумарної бальності I , бали (МСК-64)	Критична фізична зношеність обладнання S , %	Граничні умови інженерно- сейсмогеологічного впливу
1	5–6	80–90	Сумарний вплив фонових землетрусів та НЕГП (підтоплення, просадковості, зсувоутворення, карст)
2	6–7	70–80	
3	7–8	60–70	
4	8–9	50–60	

Зношеність S , %				
90				
80				
70				
60				
50				
Інтенсивність землетрусу бали, I	6	7	8	9

Рис. 1 – Можлива форма залежності між зношеністю обладнання ПНО та руйнівною здатністю землетрусу

Критеріями віднесення до категорії ХНО в нашому дослідженні, крім характеристики галузі та виду основної небезпеки, зазначених у паспорті об'єкта [13, с. 7–8], є фізична наявність на його території запасів токсичних речовин.

Нами виділена окрема категорія *найбільш небезпечних для населення хіміко-небезпечних ПНО* (ННН ХНО) в разі максимальної розрахункової аварії із викидом отруйних речовин. На нашу думку, до цієї категорії належать ті ХНО, де зберігаються значні запаси летючих токсичних речовин (хлору, аміаку, фтору, СО тощо) або в разі вибухів і пожеж імовірно утворення значних обсягів токсичних чи їдучих аерозолів (зокрема сумішей концентрованих кислот). Зазначені *сильнодійні отруйні речовини* (СДОР) швидко поширюються в повітрі і отруюють переважно через органи дихання (респіраторно). Залежно від обсягів зберігання летючих токсикантів ННН ХНО поділені нами на дві групи: більш небезпечні (десятки і більше тонн зберігання) і менш небезпечні (кілька тонн зберігання). Для першої групи умовно приймається, що смертельне ураження імовірно у 1-км радіусі від центра викиду, для другої групи – у 0,2-км радіусі.

У досліджених регіонах нами попередньо ідентифіковано 473 ХНО (11,5% від усіх ПНО за списком 2004 р.), з них: 240 ННН ХНО (5,9%), у т.ч. першої групи – 101 (2,5%), другої групи – 138 (3,4%). Засобами ГІС визначена кількість населення, що потрапляє, відповідно, у 1-км та 0,2-км зони навколо них.

Абсолютна більшість ХНО розміщена у найменш сейсмічно активному з досліджених Східному регіоні (понад 72% від усіх врахованих). Там же розміщено майже дві третини (60,8%) ННН ХНО і більше третини (37,6%) найнебезпечніших з них (віднесених нами до першої групи). 28,7% найнебезпечніших ХНО розташовано в Західному регіоні і 25,7% – в Криму. Найменше ХНО у Південному регіоні, однак це благополуччя уявне, там розміщені такі небезпечні гіганти, як Одеський припортовий завод (м. Южне) та магістральний аміакопровід до нього, який, крім іншого, перетинає р. Дніпро – головне джерело питно-господарського постачання в Україні.

Згідно з *максимальною оцінкою сукупного сейсмічного ризику* більшість врахованих в нашому аналізі ХНО потрапляє у небезпечні щодо їх руйнування

зони: понад 7 балів – 70%, понад 8 балів – 60%, понад 9 балів – 40%. Частка локалізації ХНО в цих зонах зростає із зростанням рівня їх небезпечності. Так, для найнебезпечніших ХНО, відповідно на: 87%, 80% і 61%. Зазначена тенденція стосується всіх досліджених регіонів, причому найбільшою часткою локалізації ХНО у сейсмічно небезпечних щодо руйнування зонах відзначаються Південний регіон та Крим (найменшою часткою – Східний регіон). Однак саме у Східному регіоні опинилася найбільша кількість ХНО, що за максимальною оцінкою потрапляє у сейсмічно-небезпечні зони: понад 7 балів – 202 (43%), 8 балів – 167 (35%), 9 балів – 109 (23%).

Слід зауважити, що значне підвищення інженерно-сейсмогеологічного ризику у Східному регіоні може мати місце в першу чергу при знятті з експлуатації шахт, внаслідок різкої активізації природно-техногенних чинників у зонах підйому рівнів підземних вод. Як свідчить виконаний аналіз, при цьому відбуватиметься комплекс небезпечних процесів: осідання поверхні, сейсмогідрогеодинамічні поштовхи (техногенні землетруси), формування ділянок підтоплення та затоплення.

За максимальною оцінкою до зони *імовірного хімічного ураження респіраторним шляхом* через сейсмічно обумовлені аварії на ХНО (тих, де зберігаються летючі токсиканти) потрапляє понад 608 тис. осіб (156 населених пунктів), переважна більшість – у Західному і Східному регіонах (населення – 38 і 36%, населених пунктів – 23 і 41%, відповідно). Для максимальної оцінки характерне відносно незначне зменшення імовірної кількості ураженого населення із зростанням сейсмічного ризику. У понад 8-бальній зоні (гарантованого руйнування) зменшення лише на 3,4%, а у понад 9-бальній (максимальної аварії) – на 26,5%. На нашу думку, це є свідченням завищеності максимальної оцінки.

Згідно з *мінімальною оцінкою сукупного сейсмічного ризику* у небезпечні щодо руйнування зони потрапляє абсолютна меншість врахованих в нашому аналізі ХНО: понад 7 балів – до 18%, понад 8 балів – до 6%, понад 9 балів – до 1%. Це у 4, 10 і 40 разів менше, ніж згідно з максимальною оцінкою, відповідно. За мінімальною оцінкою частка локалізації ХНО у зонах сейсмічної небезпеки зростає із зростанням рівня їх небезпечності значно менше, ніж за максимальною оцінкою (для найнебезпечніших ХНО, відповідно на: 45%, 17% і 3%). Найбільшою часткою локалізації ХНО у сейсмічно небезпечних щодо руйнування зонах за мінімальною оцінкою відзначаються Крим (до 85%) та Західний регіон (69%). У цих регіонах розміщена найбільша кількість ХНО, що потрапляє у зону понад 7 балів – 71 (84%). Всі ХНО, що потрапляють у зону понад 9 балів, розміщені на півдні: 3 – в Криму та 1 – в Південному регіоні. У Криму також розміщено 81% тих ХНО, що потрапляють у зону понад 8 балів. Показово, що за мінімальною оцінкою в Східному регіоні немає жодного ХНО, який потрапляє до зон небезпеки руйнування через сейсмічний фактор (в умовах України з урахуванням понад 60% зношеності основних фондів це – понад 7 балів).

За мінімальною оцінкою до зони *імовірного хімічного ураження респіраторним шляхом* через сейсмічно обумовлені аварії на ХНО (тих, де зберігаються летючі токсиканти) потрапляє до 280 тис. осіб (65 населених пунктів), більшість цього населення – у Західному регіоні (59%), тоді як населених пунктів – у Криму (до 51%). Для мінімальної оцінки характерне експоненційне зменшення імовірної кількості ураженого населення із зростанням сейсмічного

ризик. У понад 8-бальній зоні (гарантованого руйнування) спостерігається зменшення (порівняно із 7-бальною зоною) – у майже 5 разів, а у понад 9-бальній (максимальної аварії) – у понад 68 разів. На нашу думку, така нелінійність є аргументом на користь адекватного відображення саме мінімальною оцінкою природних тенденцій розподілу сукупного сейсмічного ризику у часі і просторі (нелінійних за визначенням). Водночас отримані у цьому варіанті кількісні значення сукупного сейсмічного ризику руйнування ХНО та наслідків спричинених цим аварій із викидом летючих токсичних речовин, на нашу думку, є заниженими.

На нашу думку, вищезазначені відмінності площ ареалів сейсмічного ризику обумовлені значною невизначеністю інженерно-геологічного стану та геодинамічного режиму верхньої зони літосфери, а також недосконалістю сучасного моніторингу НЕГП.

Зрозуміло, що в ареали зонального сейсмічного ризику згідно з ЗСР 2004«А» потрапило менше ПНО та ХНО, ніж у однакові за бальністю ареали сукупного сейсмічного ризику. Так, у понад 8-бальному ареалі в усіх досліджених регіонах згідно з максимальною оцінкою сукупного ризику кількість ХНО більше у 15 разів, згідно з мінімальною оцінкою – на 50%. У понад 7-бальному ареалі – більше у 5,7 разу і на 47%, відповідно. Кількість найнебезпечніших ХНО у понад 8-бальному ареалі за максимальною оцінкою більше в 7,5 разів, а за мінімальною – на 64% (у понад 7-бальному ареалі – більше в 2,3 разу і на 15%, відповідно).

За максимальною оцінкою сукупного ризику імовірна кількість ураженого населення внаслідок аварій на ННН ХНО із викидом токсичних речовин в атмосферу в понад 8-бальному ареалі збільшилася щодо зонального ризику у 16 разів, за мінімальною оцінкою – на 63% (у понад 7-бальному ареалі – у 2,8 разу та на 30%, відповідно).

За мінімальною оцінкою найбільші прирости імовірної кількості ураженого населення внаслідок аварій на ННН ХНО із викидом токсичних речовин в атмосферу очікуються у Південному регіоні в понад 8-бальному ареалі (у 30 разів більше щодо зонального сейсмічного ризику). У понад 7-бальному ареалі – у Західному регіоні (на 46% більше).

За мінімальною оцінкою у зону максимальної аварії (понад 9 балів) потрапило лише 3 ННН ХНО із невеликою кількістю потенційно ураженого населення (склад отрутохімікатів, аміачна холодильна установка та склад хлору, розміщені у сільській місцевості Криму). У зону гарантованого руйнування (понад 8 балів) – 21 об'єкт, розташований в Південному регіоні та Криму. Але все це – так само склади отрутохімікатів, аміачні холодильні установки та склади хлору із відносно невеликими запасами летючих отруйних речовин (кілька тонн). Тому й населення, потенційно уражене від аварій на всіх таких ХНО, не досягає 50 тис. Більш небезпечні хімічні гіганти із великими запасами летючих токсикантів (інколи десятки і сотні тисяч тонн), такі як Одеський припортовий завод (Південний регіон), Армянський ДАК «Титан», Красноперекоське ВАТ «Бром» (Крим), ТОВ «Карпатнафтохім» та інші хімзаводи Західного регіону потрапили у 7-бальну зону можливого руйнування.

Лише за максимальною оцінкою Східний регіон потрапляє у зону імовірного ураження населення внаслідок аварій на ННН ХНО із викидом токсичних речовин в приземний шар атмосфери через активізацію сейсмічного

фактора. Однак в умовах затяжного конфлікту з Росією, що стартував у березні 2014 р., причиною зазначених аварій в цьому регіоні з на порядки більшою імовірністю, ніж така для реалізації сейсмічних подій, може бути воєнно-політичний фактор. Воєнні дії здатні спричинити значні струшування ґрунтів та руйнівні деформації конструкцій. Через концентрацію вкрай небезпечних ХНО (діючих і зупинених хімічних підприємств, полігонів токсичних відходів) в умовах наявності гірничих виробок, зон зрушень та просадок над ними, в особливій небезпеці щодо цього перебуває м. Горлівка.

Точніший розрахунок зон і наслідків ураження від імовірних аварій з викидом токсичних речовин на ННН ХНО (як ризиків життєдіяльності) можливий на об'єктовому рівні із врахуванням характеру аварії (зокрема обсягу і речовини викиду), пори року, синоптичних умов, захищеності й інформованості персоналу і населення, соціально-демографічної ситуації. Ці та інші параметри можуть бути задовільно враховані, наприклад, програмними засобами геоінформаційної системи «Хмара» [14, с. 10].

У комплексі регіональних змін інженерно-сейсмогеологічних умов на території України відзначається також зростання впливу чинників глобальних змін клімату (ГЗК): потепління, зростання кількості і нерівномірності опадів, збільшення висоти та частоти повеней і паводків. Саме з ними переважно корелює подальший розвиток НЕГП в часі. З висновків міжнародного комітету GEOCHANGE (2009 р.) випливає, що збільшення за останні 15–20 рр. кількості руйнівних землетрусів, повеней, цунамі, селе-зсувних процесів є значною мірою проявом геоенергетичних чинників ГЗК.

Подальшому зростанню площ потенційного руйнівного впливу землетрусів на території України, на наш погляд, може сприяти:

- зменшення міцності лесових та лесово-суглинистих просадкових порід, які займають до 65–70% площі держави (Східний, Центральний, Причорноморський регіони), що відбувається внаслідок активізації факторів ГЗК;
- зниження дренажного впливу річкової мережі, регіональний рівень зарегулювання якої (включно з каскадом Дніпровських водосховищ) перевищує 70%, що посилює вплив факторів ГЗК на подальше поширення підтоплення;
- прискорене старіння житлових і промислових будівель у містах і селищах, до 60% території яких підтоплені внаслідок комплексного впливу чинників ГЗК та аномальних водних втрат (до 35–45% і більше) з водопровідно-каналізаційних та теплоенергетичних мереж, внаслідок чого можливе вилуговування розчинних сполук із порід підґрунтя та формування ділянок агресивних до бетону та металу вод.

З наших попередніх оцінок випливає, що у зв'язку із триваючим збільшенням енергетики процесів, подальша активізація ГЗК та зростання сейсмічності охопить в межах України практично всі геологічні структури та річкові басейни. В особливій небезпеці щодо цього перебувають прибережно-морські території, де, крім іншого, відбуватиметься підвищення рівня моря, збільшення енергії хвиль та динаміки абразійної переробки берегів.

Такий прогноз є додатковим аргументом на користь прискорення наукового, нормативно-правового та технологічного удосконалення моніторингу довкілля як необхідної складової комплексу заходів із запобігання НС в Україні, зокрема інженерно-сейсмогідрогеологічного походження.

Висновки

1. Першим (найбільш активним) з основних факторів зростання сейсмічного ризику в Україні є техногенна активізація водо-енергообміну у верхній зоні геологічного середовища та викликане цим поширення НЕГП (зсувів, карсту, просядок, розжиження ґрунтів, розривних порушень), спричинених в першу чергу антропогенним підтопленням, що набуло регіональних масштабів в умовах глобальних змін клімату (потепління, збільшення кількості і нерівномірності опадів, висоти і частоти повеней і паводків). Для перезволожений ділянок у водочутливих, слабопроникних та просядкових лесових та лесово-суглинистих ґрунтах за глибини рівня ґрунтових вод до 2 м приріст сейсмічності за існуючими моделями становить 1 бал і більше.

2. Другим (пасивним) фактором є те, що на територіях із відносно низьким рівнем природної сейсмічної небезпеки, до яких належить переважна частина території України, більшість споруд проектують не сейсмостійкими, внаслідок чого вони є потенційно сейсмічно уразливими.

3. Третім (активним) фактором є значна і зростаюча зношеність основних фондів виробничої, комунальної та транспортної інфраструктури, що, у свою чергу, в умовах зменшення несучої здатності порід підґрунтя, зменшує сейсмостійкість більшості таких споруд в середньому до рівня сумарного сейсмострушування не вище 7–8 балів.

4. У зазначених умовах навіть невеликі землетруси супроводжуються зсувами, просядками, обвалами та іншими НЕГП, що може спричинити тяжкі матеріальні і соціальні наслідки. Зокрема, підвищується імовірність виникнення аварій з викидом токсичних речовин на хіміко-небезпечних ПНО (ХНО), межею технічної стійкості конструкцій і технологічного обладнання яких є струшування з інтенсивністю 7–8 балів. Відповідно зростає рівень ризику ураження населення цим додатковим фактором.

5. Для великих ХНО (хімічних виробництв із токсичними речовинами) та незначним (до 50%) рівнем зношеності основних фондів максимальна розрахункова аварія із масштабним викидом токсичних речовин очікується за інтенсивності струшувань понад 9 балів. Збільшення зношеності понад 60% зменшує зазначену порогову інтенсивність щонайменше на 1 бал, тобто суттєво посилює руйнівні наслідки впливу інженерно-сейсмологічного фактора.

6. Антропогенна складова приросту сейсмічного ризику збільшує сукупний сейсмічний ризик понад зональний переважно у діапазоні $0,5 \div 1$ балів. Цей діапазон відповідає оцінкам приросту сейсмічної інтенсивності внаслідок впливу природно-техногенних змін інженерно-геологічних умов, здійсненим у складі робіт із сейсмічного мікрорайонування населених пунктів України. Таку мінімальну оцінку сукупного сейсмічного ризику, розраховану на основі антропогенного приросту сейсмічності, найдоцільніше використовувати на об'єктовому рівні для визначення параметрів імовірних аварій на хіміко-вибухопожежонебезпечних ПНО – особливо в разі відсутності даних сейсмічного мікрорайонування.

7. В умовах регіонального погіршення інженерно-геологічних умов експлуатації будівель і інженерних мереж в Україні сукупний сейсмічний ризик може розглядатися не лише як основний природно-антропогенний фактор виникнення крупномасштабних техногенних аварій із викидом токсичних

речовин. Він є наближеною моделлю комплексного врахування впливу природно-антропогенної активізації НЕГП на зменшення геотехнічної стійкості споруд та збільшення їх інженерно-будівельної уразливості до руйнування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Безпека життєдіяльності (забезпечення соціальної, техногенної та природної безпеки): Навч. посібник / В.В. Бегун, І.М. Науменко. – К.: 2011, – 344 с.
2. Wang Zhenming. Seismic Hazard vs. Seismic Risk // Seismological Research Letters. Vol. 80, N. 5. Opinion, September/October 2009. – P. 673–674.
3. Стефанишин Д.В. Методологія оцінки та врахування сейсмічного ризику при прийнятті рішень (імовірнісний підхід) // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) / Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Вип. 76. – К.: ДП НДІБК, 2012, ТОВ «Видавництво Сталь», 2012 – 771 с. – С. 199–204.
4. Буднік С.В. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Геоекологічний ризик». – Житомир, ДВНЗ Державний агроєкологічний університет, Екологічний факультет. 2007.
5. Лущик А.В., Яковлев Є.О. Основні методичні положення інженерно-сейсмологічного районування в умовах інтенсивної господарської діяльності // Інформаційний бюлетень про стан геологічного середовища України у 1998 році. Вип. 17 – К.: Геоінформ, 2000. – С. 134–137.
6. Трофимчук А.Н., Гомилко А.М., Савицкий А.О. Динамика пористоупругих насыщенных жидкостью сред. – К.: Наукова думка, 2003. – 230 с.
7. Старостенко В.И., Кендзера А.В. и др. Киев: геология и геофизика окружающей среды и факторы, неблагоприятно на неё влияющие // Геофизический журнал. – 2001. – № 4. – С. 3–38.
8. Лущик А.В., Лисиченко Г.В., Яковлев Е.А. Формирование режима подземных вод в районах развития активных геодинамических процессов. – К.: Наукова думка, 1988. – 163 с.
9. Звіти УкрГИМП: Провести районирование территории Украины на основе выявленных закономерностей техногенного влияния на инженерно-сейсмологические условия. Тема 198, т. 2, 1994, дод.: 1, 9, 16. Разработать методику и провести районирование по степени инженерно-сейсмологического риска интенсивно-хозяйственных территорий в м-бе 1:500000 (Донбасс, Кривбасс). Тема 291, т. 2, 1997, дод. 1.
10. Статистичний щорічник України за 2012 рік. – К.: Державна служба статистики України, 2013. – 551 с.
11. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2006. – [Чинний від 2007-01-02]. – К.: ДП “Укрархбудінформ”, 2006. – 84 с. – (Національні стандарти України).
12. Биченок М.М., Іванюта С.П., Яковлев Є.О. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі / М.М. Биченок, С.П. Іванюта, Є.О. Яковлев; Ін-т пробл. нац. безпеки Ради нац. безпеки і оборони України. – К.: ПНБ, 2008. – 160 с.
13. Класифікатор потенційно небезпечних об’єктів. Перша редакція. – К.: МНС України. – 24 с.
14. Кряжич О.О. Моделі автоматизації виконання функцій і задач управління імпульсним вибухопожежним захистом хімічного підприємства. Автореф. канд. дис. Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України. – К.: 2013. – 20 с.

Стаття надійшла до редакції 09.02.2015