

## Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE  
OPEN ACCESS

### ІНФОРМАЦІЙНО-ПРОГРАМНА ПІДТРИМКА КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НА АЗС НА ОСНОВІ СИСТЕМОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ

Т. В. Козуля<sup>1</sup>, С. Є. Коршунов<sup>1</sup><sup>1</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

УДК 681.518:658.519

DOI: 10.52363/2522-1892.2023.1.5

Отримано: 05 січня 2023

Прийнято: 27 квітня 2023

**Cite as:** Kozulia T., Korshunov S. (2023). Information software support of complex estimation based on systemological approach of petrol station technological ecological safety. Technogenic and ecological safety, 13(1/2023), 31–44. doi: 10.52363/2522-1892.2023.1.5

#### Анотація

У статті визначені переваги застосування системологічного підходу й системологічного класифікаційного аналізу для створення інформаційно-програмних систем у наукових дослідженнях системних об'єктів з розв'язання задач комплексного оцінювання впливу на довкілля техногенних об'єктів. Надано огляд використання положень системології при створенні моделей різномірних об'єктів при вирішенні завдань міждисциплінарного характеру, відзначені можливості та ефективність цих моделей.

Для прикладного дослідження обрано планову діяльність автозаправних станцій (АЗС), як потенційно небезпечного об'єкта (ПНО). Основне техногенне навантаження від планованої діяльності автозаправок припадає на атмосферне повітря через випаровування нафтопродуктів, на водні об'єкти та підземні води, джерела забезпечення питною водою населення через надходження органічних та неорганічних речовин із стічними водами, на ґрунт унаслідок накопичення органічних речовин через їх викиди та скиди. Таким чином, авторами запропоноване комплексне розв'язання задач техногенно-екологічної безпеки таких ПНО.

Об'єктом дослідження обрано системологічну модель оцінювання ступеню небезпечності ПНО «(НС – АЗС) – системи забруднення – екологічний стан АЗС на основі (АЗС – НС)» для розробки інформаційного забезпечення визначення впливу діяльності АЗС на довкілля. Предметом дослідження є визначення комплексної оцінки впливу на навколишнє середовище планованої діяльності АЗС на основі системології дослідження техногенних об'єктів та проектування інформаційно-програмної підтримки встановлення стану техногенно-екологічної безпеки на ПНО.

Результатом роботи є розробка системологічної моделі планової діяльності АЗС як техногенно-небезпечного об'єкта, надання математичного забезпечення з визначення факторів впливу на довкілля з врахуванням рівня здоров'я населення й алгоритмів із оцінки параметрів впливу, розрахунку комплексної оцінки техногенного навантаження на навколишнє середовище.

**Ключові слова:** техногенно-екологічна безпека, техногенно-небезпечний об'єкт, системологічне моделювання, систем-системне дослідження, комплексна екологічна оцінка, інформаційне забезпечення, програма контролю екологічної якості.

#### Постановка проблеми.

Складні соціально-екологічні проблеми за своєю природою є міждисциплінарними та вимагають участі різних наукових знань для надання відповідних результатів у розв'язанні поточних задач досліджуваних проблем. наукових порад. Для прийняття рішень необхідним і доцільним є розробка відповідних моделей, які безпосередньо впливають на життя людей, як у випадку багатьох дій з управління природними ресурсами та охороною навколишнього середовища (НС). Підходи, які дозволяють кінцевим користувачам маніпулювати параметрами моделі, є потужним інструментом навчання, оскільки навіть якщо внутрішня логіка моделі прихована, користувачі все одно можуть зрозуміти, як зміни в системі впливають на кінцеві результати. Підходи, які об'єднують складні моделі та зацікавлені сторони, реалізовані у великій різноманітності програм, пов'язаних із політикою охорони навколишнього середовища та природних ресурсів. Оцінка впливу на довкілля (ОВД) при роботі автозаправних станцій (АЗС) являє собою процедуру, що передбачає проведення розрахунків розсіювання забруднюючих речовин у атмосферному повітрі під час експлуатації АЗС та врахування впливу на НС специфічних видів викидів з джерел відповідно до

планованої діяльності, забруднення водних об'єктів та ґрунтів, шумового забруднення [1]. Процедура ОВД в Україні здійснюється відповідно до Закону України «Про оцінку впливу на довкілля», який Україна впровадила згідно з Угодою про асоціацію з Європейським Союзом (ЄС) і який вступив в дію 18 грудня 2017 року [2].

Розглянуті існуючі положення щодо врахування в ОВД техногенної дії АЗС на НС, інформаційно-програмні додатки проведення оцінки техногенного впливу функціонуючої АЗС на довкілля загалом через вплив на атмосферне повітря, не націлені на визначення комплексного сприйняття впливу на НС планованої діяльності АЗС. Відсутнім є фактор дії на НС як визначення наслідків шкідливих впливів на біологічні елементи соціально-екологічних систем. Тому у комплексній оцінці планової діяльності АЗС запропоновано запровадити критерій екологічної якості на основі позитивних результатів визначення рівня здоров'я населення. Цей чинник пропонується враховувати в обчисленні ОВД як оцінка ризику захворюваності населення та використати як індикаторну систему для визначення ефективності впроваджених заходів безпеки у вигляді динаміки змін прояву специфічних захворювань в населених пунктах вздовж границі санітарної зони.

Таким чином, у вважається за доцільне розглянути на комплексній основі розв'язок проблемних завдань забруднення довкілля техногенно-небезпечними об'єктами (ТНО) і зокрема АЗС, запровадити безперервний екологічний контроль їх діяльності з урахуванням висновків з оцінки канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від негативних наслідків при наданні ОВД, що є актуальним доповненням до існуючої системи заснованої на зіставленні рівнів фактичного забруднення природних середовищ довкілля з їх нормативними величинами.

Реалізація пропозиції щодо впровадження комплексної ОВД потребує і нового методичного підходу з надання причинно-наслідкових структур екологічного висновку в поєднанні з можливістю інтерактивного коригування сценаріїв, оновлення рівня знань і системи спостережень за реакціями НС на впливи функціонуючої ТНО з точки зору динамічного оновлення інформації про механізми впливу управління на досягнення відповідності планової діяльності зокрема АЗС вимогам техногенної безпеки. Для комплексного сприйняття об'єкта дослідження «(НС – АЗС) – системи забруднення – екологічний стан (АЗС – НС)» потрібно запровадити методологічний підхід поєднання **міждисциплінарних досліджень** багатовимірної природи проблемних задач і використання **синергії наслідків** управління якістю в діяльності ТНО на базі системного знання про екологічний потенціал втручання. Такою методологією комплексного дослідження екологічного стану потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) відзначено системологію (Carriger et al., 2018 [3]; Kaikkonen et al., 2021 [4]).

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

З метою безперервного урахування впливу техногенно-небезпечних об'єктів (ТНО) на НС в Україні запроваджено розроблений компанією ООО «Софт фонд» інформаційно-програмний комплекс ЕОЛ 2000, усі версії якого узгоджені Міністерством охорони навколишнього середовища України. На його базі створено утиліту «Показник ризиків», що призначена для реалізації оцінки ризиків планованої діяльності та соціальних ризиків відповідно до наявності фактору впливу на атмосферне повітря [5].

Інтернет-додаток «Екозвіт» призначений для автоматизації ділових процесів у галузі охорони атмосферного повітря. Він застосовується для встановлення обсягів викидів і отримання інформації про них, отримання дозволу на викиди у середовищі віртуального офісу [6].

Базою для розрахункових схем щодо дії на атмосферне повітря викидів АЗС є методика, що надана у "Збірнику показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами", Донецьк, 2004 р., том 1, стр. 148 «Галузевий стандарт України. Газу вуглеводневі скраплені. Методика розрахунку втрат» [7].

У західних країнах існує подібна інформаційно-програмна підтримка визначення ОВД як AERMOD View. Це програма для розрахунку розсіювання речовин у повітрі на основі нормативної моделі, рекомендованої Агентством з охорони навколишнього середовища США. Система AERMOD View застосовується в різних країнах світу для оцінки концентрації та розсіювання забруднюючих речовин з різних джерел [8].

У країнах ЄС при написанні звітів з ОВД застосовуються такі програми для математичних розрахунків розсіювання забруднюючих речовин у атмосферному повітрі як CALPUFF, розроблена вченими компанії Exponent, Inc та прийнята Агентством з охорони навколишнього середовища США, та ADMS-3, що був розроблений британською компанією CERC у співпраці з Метеорологічними управлінням Великобританії [9–11].

Отже, враховуючи досвід роботи системи ОВД різних країн, у роботі пропонується розробити таку комплексну систему контролю за діяльністю ТНО, яка б надавала інформацію стосовно не тільки відповідності екологічним вимогам планової діяльності ПНО, а і відзначала складові регулювання у діяльності такого об'єкта для досягнення необхідної його безпечності. Для цього пропонується комплексний підхід у поданні об'єкта дослідження, а саме з урахуванням його складових систем і оточення зовнішнього, що є можливим завдяки системології.

Системологія як спеціальна наука, об'єктами дослідження якої є складні системи, має специфічні засоби їх вивчення. Центральним поняттям системології є поняття системи. Конкретний прояв системологічного принципу системності являє собою явище або закон синергії. Організація, у якій не проявляється явище синергії, взагалі не є системою або є системою з дуже низькою мірою системності. Цей принцип системологічного підходу є доцільним при запропонованій системі комплексного контролю екологічної якості планової діяльності АЗС на основі результатів отриманих причинно-наслідкових висновків щодо роботи АЗС, відзначених систем, регулювання функціональності яких надасть синергетичний поштовх до досягнення необхідної безпеки для НС від робочої АЗС. Відповідно до такого погляду на об'єкт техногенної небезпеки відзначено систему дослідження у вигляді «(НС – АЗС) – системи забруднення – екологічний стан АЗС на основі (АЗС – НС; екологічний стан повітря, водних систем, поверхневого ґрунтового покриву, рівня захворюваності населення у відповідності до причинних факторів від АЗС)». Прояв цілісності, як основної ознаки системності, дозволяє мати системологічну модель складного об'єкта як структурну єдність таких систем:

1) внутрішня – система-явище – це цілісне утворення, яке розчленоване відповідним чином, визначене у вигляді структури складових частин;

2) зовнішня – система-клас – це клас об'єктів загальної природи, об'єднаних якоюсь цілісною

сутністю. Елементи такої системи «можуть не мати ні просторової, ні тимчасової спільності, ні навіть генетичного зв'язку... Важлива лише спільність природи утворюючих систему об'єктів» [12].

Загалом сучасні парадигми моделювання мають дисциплінарне походження, що призводить до неузгодженості в інтеграції систем певного соціально-середовищного змісту відповідно до поставлених задач дослідження, виникненню проблем масштабу в процесі моделювання соціально-середовищного простору. Таким чином, при рішенні питань техногенно-екологічної безпеки доцільно запровадити підхід до системних досліджень як багаторівневого процесу для спільного створення знань і рішень для основних соціально-екологічних проблем із залученням дослідників зацікавлених сторін.

Теоретико-практичною базою для напрямів дослідження складних системних об'єктів НС, визначення структурно-функціональних зв'язків, побудови концептуальної моделі об'єкта, створення інформаційної бази та математичних моделей аналізу і прогнозування зв'язків в межах систем-системного утворення запроваджено системологію. Суть інтегративного процесу з метою досягнення відповідності функціонування складових системного об'єкта вимогам екологічної безпеки – полягає в тому, що це міждисциплінарні дослідження з пошуку балансу між інтересами систем і загальною екологічною змістовністю об'єкта дослідження відповідно до встановленого взаємозв'язку між станом і процесами внутрішньої самоорганізації і зовнішнього зв'язку з навколишнім середовищем відповідно до правил системного гомеостазу.

Наприклад, в області гідрології запропоновано структурний поділ конструктивної гідроекології в межах її об'єктивної, суб'єктивної та особливості програми системологічних досліджень [13].

За останніми публікаціями відзначено розширення використання системологічних підходів на рівні міждисциплінарного моделювання [12]. Об'єкт як систем-системне утворення розглядають як сполучення соціальної системи та природної з техногенними системами економічної діяльності. Це взаємопов'язана сукупність структурованих розподілених систем, які являють собою процес або набір процесів і відзначені емерджентною поведінкою.

У створенні такої системної моделі слідують пропозиціям Little et al. (2019), які визначають ці моделі як «сукупність незалежних складових систем, у яких кожна виконує свою власну мету, діючи разом до спільної мети» [14].

У моделюванні середовища системної моделі дослідного об'єкта реалізують форму інтегрованих моделей оцінки (IAM) або інтегрованих моделей навколишнього середовища (IEMs), які зазвичай застосовуються для інформування процесів управління навколишнім середовищем [15]. Дані, інформація та знання для кожної складової моделі надходять з моніторингової системи або наукових літературних джерел, отримані через залучення

експертів і зацікавлених сторін або зібрані шляхом аналізу. Міркування щодо збору даних в інтегрованому середовищі досліджені в Vadham та ін. (2019) [16]. Правильна передача та інтерпретація даних у різномірних системах, однак вимагає, щоб дані взаємодіяли між складовими моделями та системною моделлю в різних масштабах, залишаючись чинною та значущою. Значущості набуває акцент «змішуванні» дисциплінарних знань, перевага надається терміну «міждисциплінарний» (White et al., 2019) [17]. Для цього істотну роль відіграють метадані, забезпечення семантичної та концептуальної коректності між моделями, робота з «системними змінними» [18–20].

Отже, для створення моделі реального відображення екологічного стану потенційно небезпечного об'єкта пропонується запровадити системологічні засади на отримання систем-системного відображення функціонуючого ТНО, зважаючи на такі переваги:

1) інтеграція складових моделей дозволяє мати моделі механістичні на відміну від чорних ящиків, враховувати мінливість інформаційну за врахуванням процесів внутрішнього і зовнішнього характеру;

2) використання моделей з високою невизначеністю для оцінки відносної «вартості» даних, збір яких необхідний для характеристики невизначеності та отримання інформації для процесу моделювання або дослідження;

3) зміна складових моделей протягом циклу моделювання разом із поданими масштабами;

4) використання міждисциплінарних знань для забезпечення розширеної операціоналізації обґрунтування каліброваних значень із метою збільшення простору даних для окремих компонентів моделей і їх продуктивності;

5) врахування самоорганізаційних процесів та їх наслідків; синергетики поєднання «слабких» шаблонів, які не містять багато інформації, і використання «сильного» шаблону, що є високо характерним, але може бути недоступним;

6) уникнення впливу спрощення моделі на відповідність систем-системної моделі її головній меті завдяки комплексній чутливості аналізу поточних і альтернативних умов для визначення «коли і як невизначеність має значення?» [21]; застосуванню метамоделювання при спрощенні.

#### **Постановка завдання та його вирішення.**

**Мета роботи.** На основі висновків з аналізу вітчизняного та зарубіжного досвіду розв'язку проблемних задач з ОВД планової діяльності техногенних об'єктів, вирішення завдань з інформаційної підтримки оцінки екологічного стану ПНО для запровадження безперервного контролю стану екологічно-техногенної безпеки цих об'єктів і надання оперативних рішень щодо уникнення небезпечних ситуацій пропонується дослідження таких питань:

1) застосування комплексного підходу при моделюванні системних об'єктів, забезпечення універсальності роботи системологічних моделей

для вирішення питань техногенно-екологічної безпеки на ПНО;

2) розробка системологічної інформаційної моделі комплексної оцінки впливу негативних факторів функціонуючого ТНО на навколишнє соціально-природне середовище;

3) формування математичного забезпечення розрахунку комплексної оцінки впливу діяльності техногенного об'єкта на НС на прикладі визначення впливу планової роботи АЗС на довкілля, включаючи наслідки їх функціонування на здоров'я населення;

4) розробка інформаційно-програмного додатку для реалізації запропонованої комплексної ОВД для ПНО;

5) практичне застосування проєктованого інформаційного та програмного забезпечення для комплексної оцінки впливу на навколишнє середовище планованої діяльності АЗС.

При застосуванні системологічного моделювання для подання дослідного об'єкта та визначення таким чином інформаційної бази для комплексного оцінювання екобезпеки при роботі ПНО використовується багаторівнева структура, за якою системи та індикатори нижчих рівнів масштабовані до вищих рівнів. Ці системні структури охоплюють процеси, які діють у різних масштабах (наприклад, часові, просторові, організаційні) на відміну від «односистемних» підходів, які передбачають наявність екзогенних драйверів і не враховують жодних механізмів зворотного зв'язку між наданими системами. Це дозволяє певним чином інтегрувати знання з різних дисциплін, залучати та координувати обмін інформацією між ними в послідовний і змістовний спосіб. Інтеграція знань не обмежується технічним поєднанням моделей, а об'єднує між собою багатомасштабні стек-холдерські та експертні процеси.

Мета моделі функціонування системного об'єкта полягає в поданні діяльності техногенних систем з визначенням факторів дії на навколишнє середовище та постійною оцінкою його стану, відповідно до якої відбувається включення певних механізмів управління техногенної безпеки на ПНО для кардинальних змін у його функціонуванні чи нівелювання негативних явищ за рахунок синергетичних чинників урегулювання небезпечної ситуації.

За умови, повної/суттєвої відсутності інформації про ситуацію, модель роботи об'єкта екологічної небезпечності приймається *априорі*. Зміни та відповідності зовнішнього і внутрішнього характеру визначаються за сукупністю розрізнених фактів, що укладаються в *апостеріорну* схему відображення ситуації «техногенна модульна система – НС».

За структурою такого системного відображення ТНО мова йде про одержання відомостей стосовно стану внутрішніх процесів в системах об'єкта, уточнення функціонального значення кожного із цих подій для небезпечності впливу на НС і виявлення тих, які забезпечують процеси урегулювання небезпечної ситуації. Таким чином

відбувається комплементарна оцінка низки подій «стан (об'єкт – НС) – негативні явища – механізми зміни ситуації – оцінка екологічної безпеки довкілля – нова додаткова інформації щодо підтримки стану безпечності об'єкта».

Наявність експериментальних або статистичних даних (апостеріорна модель об'єкта) дозволяє визначитися з структурою системного утворення та процесів, що мають місце за встановленими факторами дії об'єкта техногенного напруження на навколишнє зовнішнє середовище та відповідними зв'язками внутрішнього характеру.

Стан структурованої системної моделі визначається змінами ступеню небезпечності «система – процес – довкілля» як досягнення безпечної в екологічному сенсі рівноваги в кооперації «ТНО – НС» на підставі врахованих у системологічній моделі синергетичних механізмів взаємодії внутрішнього і зовнішнього характеру.

Функціонування внутрішньої мережі з реалізації урегулювання безпечності визначено як «стан системи – процес-стан (механізми нівелювання небезпечності) – управління – екологічна відповідність стану НС» для складного досліджуваного об'єкта надано фрагментарно на прикладі взаємодії систем  $x_{13}$  і  $x_{26}$ , що є кооперацією ТНО і НС, у вигляді мета графів на рисунку 1. Стан цих систем визначається узагальненням відповідних результатів: для стану  $x_{13}$  – це узагальнення ситуацій  $x_{10}, x_{11}$  і  $x_{12}$ , для стану  $x_{26}$  – контроль ситуацією  $x_{23}, x_{24}$  і  $x_{25}$ , наявність певних мета ребер таких як  $e_{11}, e_{12}, e_{13}$ , що визначають управляючі впливи, які дозволяють реалізувати перехід складного об'єкта із одного стану в інший. Наприклад, при очікуваному стані  $x_{26}$  у момент  $t$  фіксується ситуація  $x_{13}$ , постає задача виявити причини такої невідповідності і встановити керуючі дії. Отже, відображення необхідного управляючого впливу для об'єкта надається у вигляді метаграфа вкладеності 3 з реалізацією керуючої дії для будь-якого рівня управління (рис. 1).

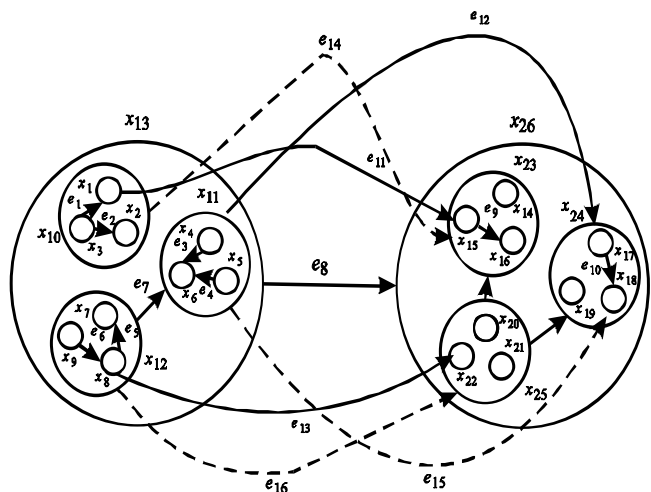


Рисунок 1 – Приклад ситуаційної мережі процесів у динамічній системі регулювання технобезпеки «ТНО – НС»

Технологія виявлення інформаційних даних відповідно до вкладеного метаграфу відповідає структурованому документу, за яким гіперребро як технологічний процес за допомогою опису назви, операцій, проходів визначають у вигляді  $x_{13}$ .

Окремі підпроцеси  $x_{10}$ ,  $x_{11}$  і  $x_{12}$  становлять сукупності окремих операцій, які задіяні в події для їх реалізації, як, наприклад, через ребро  $e_7$  підпроцес  $x_{12}$  використовується в підпроцесі  $x_{11}$ . Реалізація підпроцесу контролюється складовими операціями. Так, стан підпроцесу  $x_{10}$  визначається операціями  $x_1, x_2, x_3$ , причому контент операції  $x_3$  використовується для здійснення операцій  $x_1, x_2$ .

В умовах рішення екологічних завдань дослідженим об'єктом змістовність інформації визначається результатами порівняння отриманих даних із обліком знань про регулювання техногенної безпеки з метою досягнення екологічно безпечного стану  $x_{26}$ , в іншому випадку здійснюється управління зміною технології інформаційного забезпечення, підтримки дій щодо досягнення безпечності  $x_{26}$ .

У межах обраного методичного забезпечення комплексність у методах дослідження дозволяє враховувати знання про природно передбачені ймовірні процеси саморегулювання гомеостазу внутрішнього «система<sub>i</sub> – об'єкт» і зовнішнього «НС – система/об'єкт».

Рішення щодо підтримки синергетичних процесів регулювання стабільного стану екологічно-техногенної безпеки на ПНО підтримується результатами виявлення і вивчення позитивних змін, спрямованих на досягнення цільового екологічного стану системами довкілля, або використання знання-орієнтованих даних з природної технології створення позитивного урегулювання частин системи/об'єкта.

Відповідне застосування наявних знань про систему та процеси в ній визначає правильну керуючу дію на певному рівні управління змінами у напрямку досягнення цілі – кооперативна ситуаційна мережа процесів для оцінки стану та запровадження керуючих дій (рис. 1). Для розробки такої системологічної моделі ТНО взято приклад оперативного оцінювання екологічного стану функціонує АЗС.

Стосовно АЗС як об'єкта дослідження розглядаються питання комплексної дії небезпечних факторів на екологічний стан довкілля при його функціонуванні, а саме інформаційна підтримка щодо отримання даних про вплив викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря, забруднення водних об'єктів і земельних ресурсів та створення надмірного рівня шуму; інформаційне забезпечення стосовно обробки цих даних і отримання інформації з оцінки впливу планованої діяльності автозаправних станцій на НС.

Систем-системний підхід щодо визначення впливу небезпечного об'єкта на довкілля розглядає техногенні фактори як окремі системи, в яких відбуваються певні процеси, що і становлять

результат для оцінки рівня безпеки діючого підприємства. Для безперервного оперативного контролю екологічності діючих об'єктів необхідним і доцільним є запровадження інформаційно-програмної підтримки реалізації схеми для звітності ОВД з додатковою оцінкою усіх підрозділів, що становлять небезпеку чи додаткові фактори впливу на довкілля, та стану здоров'я населення урбанізованих територій навколо санітарно-захисної зони об'єкта.

Так при дослідженні факторів техногенного навантаження НС при роботі АЗС пропонується враховувати такі специфічні джерела впливу на довкілля з визначенням параметрів, що мають значення в оцінці екологічної безпеки їх планованої діяльності:

1) визначення під час зберігання зрідженого вуглеводневого газу (ЗВГ) кількості викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря та розрахунок густини наявного на зберіганні ЗВГ;

2) встановлення під час зливу ЗВГ обсягів викидів небезпечних летких речовин в атмосферне повітря;

3) оцінка під час наповнення балонів газових автомобілів наявності викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря;

4) врахування під час ремонту трубопроводів та запірної апаратури потрапляння в атмосферне повітря випаровувань шкідливих речовин;

5) встановлення під час добової перевірки запобіжних клапанів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря;

6) врахування під час очищення фільтрів надходження в атмосферне повітря летких небезпечних вуглеводнів.

Незалежно від організації АЗС, основне техногенне навантаження від планованої діяльності автопослуг припадає на атмосферне повітря через випаровування нафтопродуктів, накопичення органічних шкідливих речовин у ґрунтах як наслідок викидів і скидів їх у процесі функціонування автозаправних станцій, потрапляння їх у водойми і джерела забезпечення питною водою населення зі стічними водами. Аналіз звітної документації з АЗС показав, що близько 85 % хімічного забруднення припадає на атмосферне середовище [1, 2, 5–7].

Таким чином, пропонується інформаційне забезпечення комплексної оцінки небезпечного впливу на соціально-природне навколишнє середовище функціонує АЗС відповідно до вимог ОВД, але системно організоване і структуроване з урахуванням пропозиції стосовно впровадження індикаторної системи у вигляді оцінки стану здоров'я населення з метою підвищення ефективності управління планованою діяльністю АЗС (рис. 2).

Загальний алгоритм розв'язання задачі з комплексної оцінки екологічного стану планової діяльності АЗС запроваджено для здійснення безперервного контролю техногенного впливу на довкілля ТНО на основі розробки інформаційно-програмної підтримки ОВД для ПНО (рис. 3).

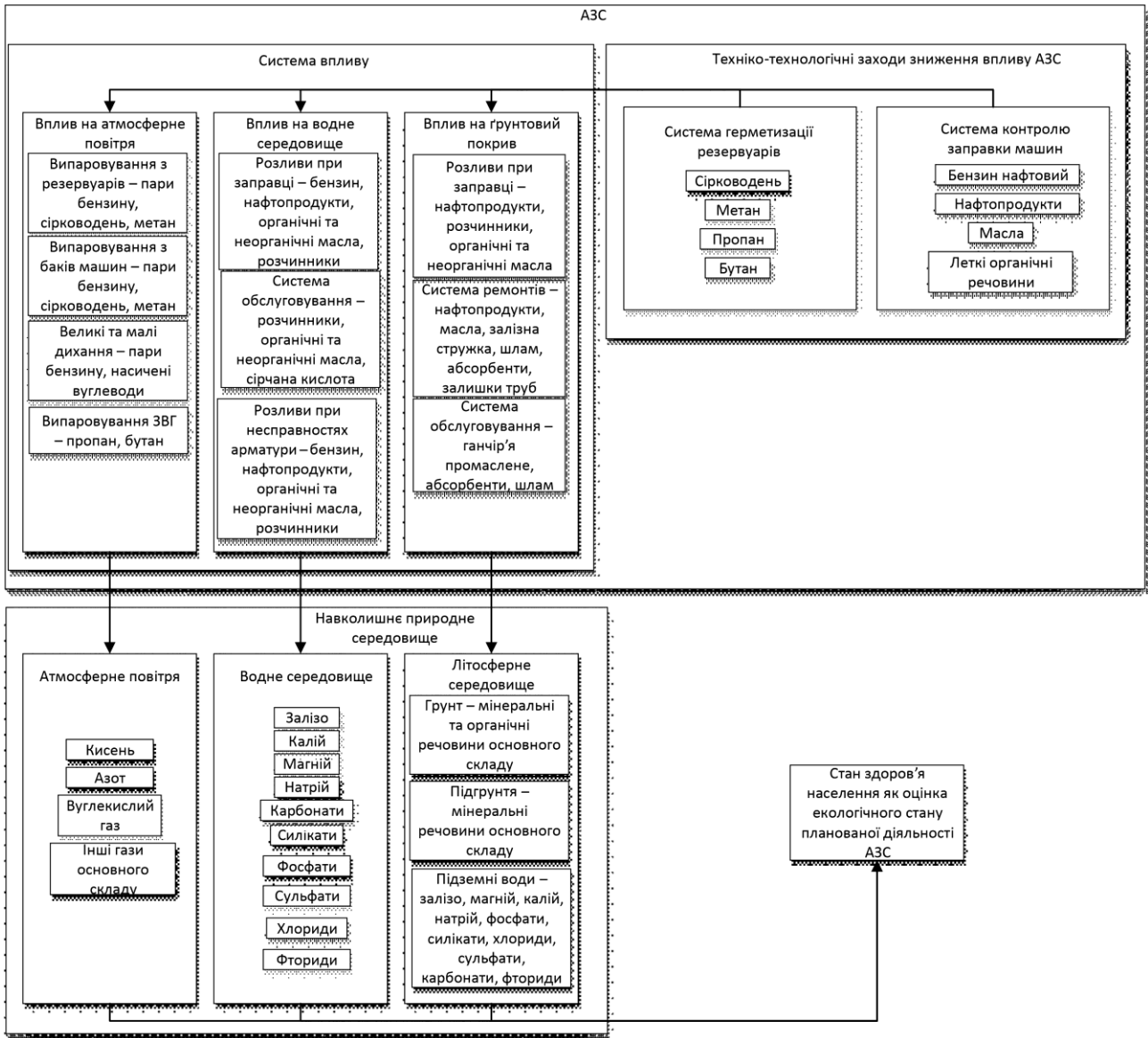


Рисунок 2 – Схема імітаційної моделі системології впливу планованої діяльності АЗС на довкілля

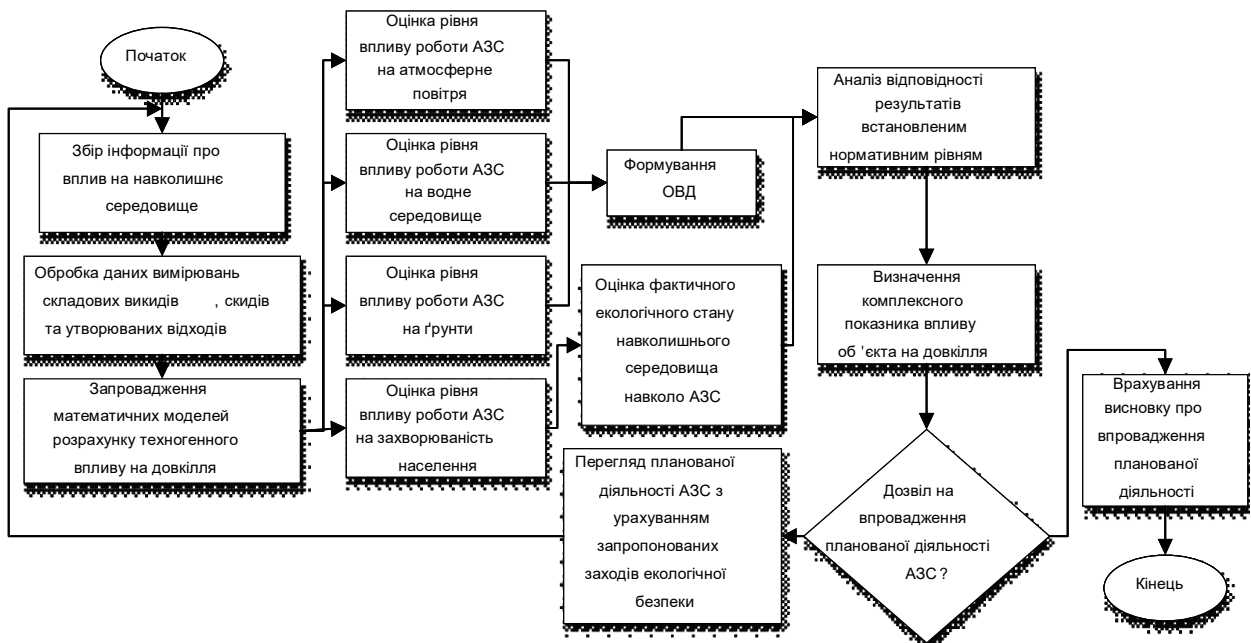


Рисунок 3 – Послідовність комплексного оцінювання впливу роботи техногенного об'єкта на довкілля



За основу розрахунку **надходження речовин нафтопродуктів в атмосферне повітря** при роботі АЗС взято систему визначення максимальної концентрація парів нафтопродуктів викидів з точкового джерела при несприятливих метеорологічних умовах на максимальній відстані від джерела згідно з методикою ОНД-86, яку застосовують у нормативній базі українського екологічного законодавства [22].

Процедуру розрахунку небезпечного впливу планованої діяльності АЗС на екологічний стан атмосферного повітря пропонується проводити у такій послідовності (рис. 4).

За результатами аналізу технологічного процесу роботи АЗС виявлено **додаткові джерела забруднення атмосферного повітря**, що потребують врахування у зв'язку з наявністю невідповідності результатів ОВД фактичним екологічним показникам ситуації в НС і претензіями громадськості щодо незадовільного стану здоров'я населення жилих територій, прилеглих до санітарно захисної зони (СЗЗ):

1) робота блоку газозаправної станції – кількість викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря з ємності під час зберігання ЗВГ (кг/добу); середня кількість викидів у атмосферу під час зливу ЗВГ із автоцистерн газозовів (кг); середня величина викидів у атмосферне повітря під час заповнення

ЗВГ балонів газових автомобілів (кг), тобто проводять такі відповідні розрахунки:

$$V_{зб} = 0,001 \cdot N_{зб} \cdot V_{зб} \cdot P_p, \quad (1)$$

де  $V_{зб}$  – кількість викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря з ємності під час зберігання ЗВГ, кг/добу;  $N_{зб}$  – норма природних втрат під час зберігання ЗВГ, табличне значення, кг/т за добу;  $V_{зб}$  – об'єм рідкої фази ЗВГ у ємності, в якій він зберігається, м<sup>3</sup>;  $P_p$  – густина рідкої фази ЗВГ, кг/м<sup>3</sup>;

$$V_{ц} = V_{ц}^p + V_{ц}^n + V_{ц}^{mn}, \quad (2)$$

де  $V_{ц}$  – кількість викидів у атмосферу під час зливу ЗВГ із цистерн газозовів, кг;  $V_{ц}^p$  – втрати ЗВГ у рідкій фазі під час зливу, кг;  $V_{ц}^n$  – втрати ЗВГ у паровій фазі під час зливу, кг;  $V_{ц}^{mn}$  – втрати ЗВГ у вигляді повернення парової фази, що заповнює об'єм резервуару або цистерни під час зливу ЗВГ, кг.

$$V_{гб} = 13 \cdot 10^{-6} \cdot P_p, \quad (3)$$

де  $V_{гб}$  – величина викидів у атмосферне повітря під час заповнення ЗВГ газових балонів автомобілів, кг;  $13 \cdot 10^{-6}$  – втрати ЗВГ під час заправки одного газового автомобіля, м<sup>3</sup>;  $P_p$  – густина рідкої фази ЗВГ, кг/м<sup>3</sup>;

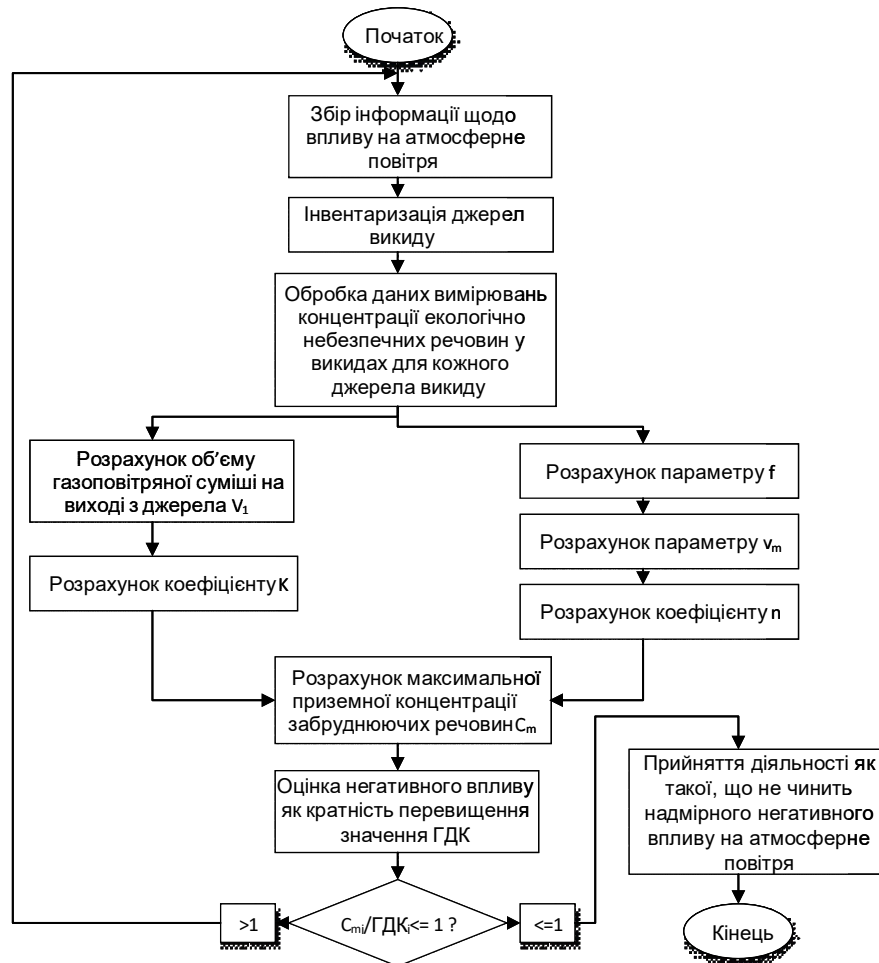


Рисунок 4 – Алгоритм розрахунку загального навантаження на атмосферне повітря

2) ремонт запірної арматури трубопроводів – середня величина викидів в атмосферу під час ремонту трубопроводів або арматури:

$$V_{за} = V_{за}^p + V_{за}^n + V_{за}^{прод}, \quad (4)$$

де  $V_{за}$  – величина викидів в атмосферу під час ремонту запірної арматури, кг;  $V_{за}^p$  – виділення рідкої фази ЗВГ під час звільнення трубопроводу перед ремонтом запірної апаратури, кг;  $V_{за}^n$  – втрати парової фази ЗВГ при звільненні трубопроводу перед ремонтом запірної апаратури, кг;  $V_{за}^{прод}$  – випаровування ЗВГ під час продування після ремонту запірної арматури, кг;

3) перевірка роботи запобіжних клапанів – величина викидів газу в атмосферне повітря під час перевірки запобіжних клапанів:

$$V_{пр} = 3,16 \cdot \alpha \cdot F \cdot B \cdot \sqrt{(P + 0,1)} \cdot P_{п}, \quad (5)$$

де  $V_{пр}$  – величина надходження летких органічних речовин у повітря впродовж перевірки запобіжних клапанів, кг/год;  $\alpha$  – коефіцієнт втрат газу;  $F$  – площа найменшого перерізу проточної частини сідла клапану, м<sup>2</sup>;  $B$  – викиди, кг/год;  $P$  – максимально надмірний тиск перед клапаном, МПа;  $P_{п}$  – густина парової фази ЗВГ, кг/м<sup>3</sup>;

4) розрахунок кількості летких вуглеводнів, що надходять в атмосферне повітря під час очищення фільтрів:

$$V_{ф} = P_{р} \cdot V_{ф}, \quad (6)$$

де  $V_{ф}$  – кількість летких вуглеводнів із поверхні фільтрів при їх очищенні, кг;  $P_{р}$  – густина рідкої фази ЗВГ, кг/м<sup>3</sup>;  $V_{ф}$  – об’єм порожнини фільтру та трубопроводу запірної арматури, м<sup>3</sup>.

Для розрахунку надходження складових нафтопродуктів у водні об’єкти застосована методика визначення гранично допустимих скидів (ГДС) техногенних речовин у гідросистеми разом із стічними водами [23]. Процедура оцінки небезпечного впливу планованої діяльності АЗС на екологічний стан водного середовища проводиться згідно з методичним забезпеченням з урахуванням специфіки ПНО та додаткових джерел техногенної небезпеки (рис. 5).

Для обчислення кількості речовин нафтопродуктів, що надходять до ґрунтового покриву, взято методику визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням земельних ресурсів [24]. Загальне навантаження на ґрунти встановлюється на основі вимірів і за моделлю розрахунку концентрації забруднюючих хімічних сполук, порівнянням отриманих результатів з табличними значеннями гранично допустимих концентрацій (ГДК) (рис. 6).

При розрахунку оцінки впливу планованої діяльності ПНО на здоров’я населення використані методичні рекомендації, затверджені Наказом МОЗ України, №184 від 13.04.2007 [25].

Величина ризику впливу планованої діяльності ПНО на здоров’я населення відповідно до ступеню забруднення атмосферного повітря встановлюється за визначенням ризику розвитку неканцерогенних та канцерогенних ефектів.

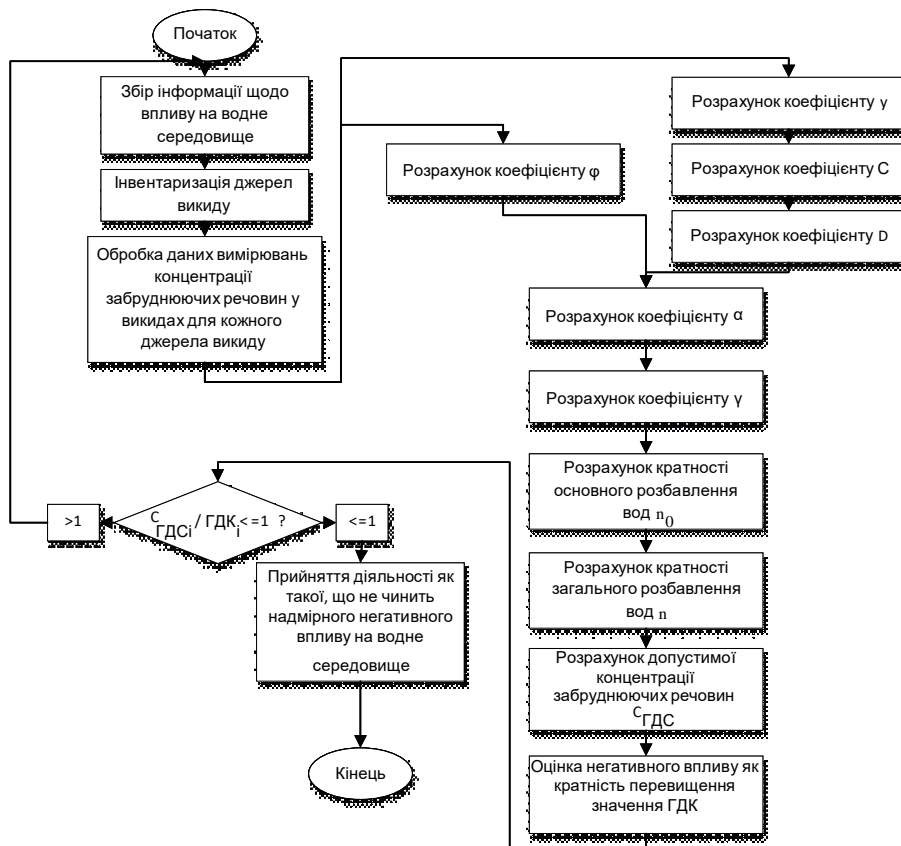


Рисунок 5 – Алгоритм розрахунку техногенного навантаження на водне середовище



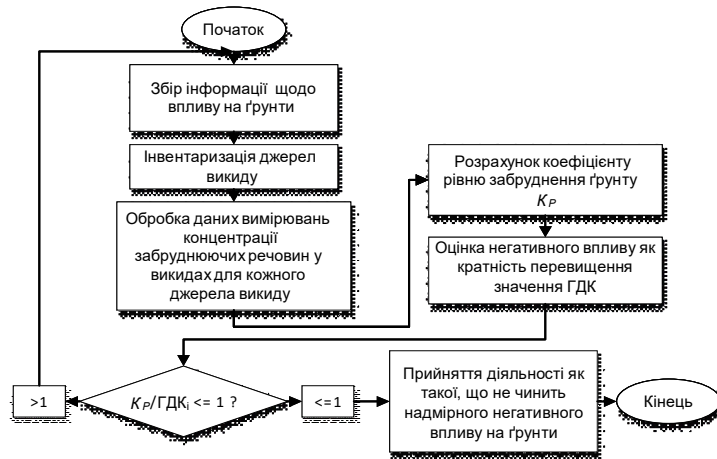


Рисунок 6 – Алгоритм розрахунку загального навантаження на ґрунти під час роботи АЗС

Індекс небезпеки  $HI$  розвитку неканцерогенних ефектів визначається як

$$HI = \sum HQ_i, \quad (7)$$

де  $HQ_i$  – коефіцієнт небезпеки для  $i$ -ї речовини, що розраховується за формулою

$$HQ_i = \frac{c_i}{R_i \cdot c_i} \quad (8)$$

де  $c_i$  – розрахункова середньорічна концентрація  $i$ -ї речовини,  $mg/m^3$ ;  $R_i$  – розрахункова безпечна концентрація  $i$ -тої речовини,  $mg/m^3$ .

Ризик розвитку індивідуальних канцерогенних ефектів розраховується за формулою:

$$ICR_i = C_i \cdot UR_i, \quad (9)$$

де  $C_i$  – розрахункова середньорічна концентрація  $i$ -ї речовини,  $mg/m^3$ ;  $UR_i$  – одиничний канцерогенний ризик  $i$ -тої речовини,  $mg/m^3$ :

$$UR_i = \frac{SF_i}{70 \cdot 20}, \quad (10)$$

де  $SF_i$  – фактор канцерогенного потенціалу,  $mg/kg \cdot \text{добу}$ ; 70 – стандартна величина маси тіла людини,  $kg$ ; 20 – стандартне добове споживання повітря,  $m^3$ .

На рисунку 7 надано загальний алгоритм оцінки дії техногенних факторів функціонуючого ПНО на людину за відповідністю прояву неканцерогенних і канцерогенних ефектів.

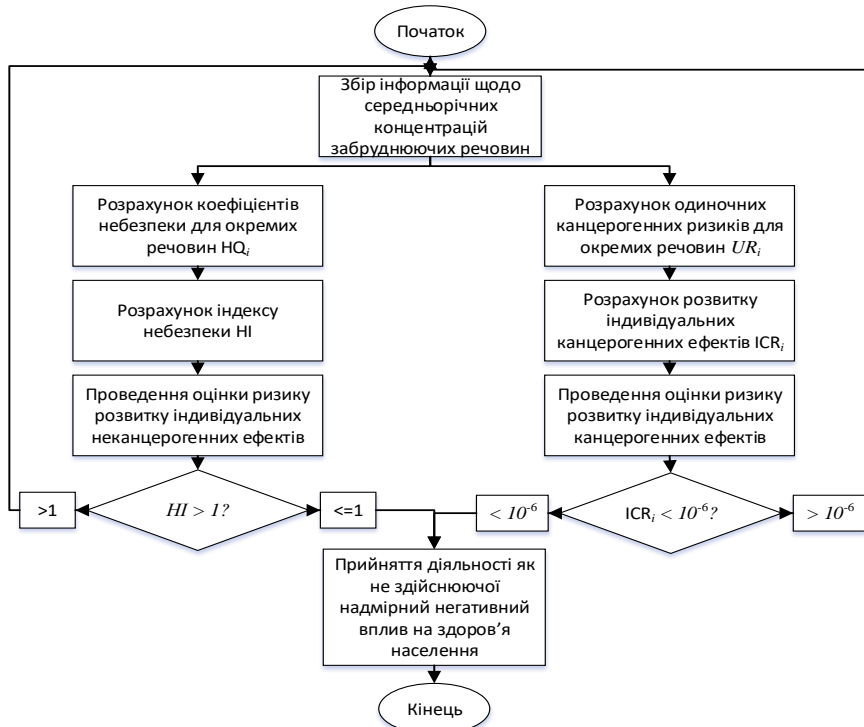


Рисунок 7 – Алгоритмічне забезпечення оцінки ризику неканцерогенної та канцерогенної дії чинників впливу на людину при роботі техногенно-небезпечних об'єктів

Для математичного забезпечення комплексної оцінки впливу планованої діяльності АЗС на довкілля пропонується застосувати метод сум, який ґрунтується на сумуванні відношення фактичних абсолютних значень складових показників техногенного навантаження до їх базових величин [26]. Таким чином, інтегральний показник комплексної оцінки має такий вигляд:

$$F_i = \sum_{i=1}^M \frac{f_i^\Phi}{f_i^6}, \quad (11)$$

де  $f_i^\Phi$  – фактичне значення  $i$ -го показника;  $f_i^6$  – базове значення  $i$ -го показника;  $M$  – кількість показників, за якими проводиться комплексне оцінювання ступеня техногенної безпеки для функціонуючого ПНО.

Позитивною рисою такого систем-системного подання комплексної оцінки впливу діяльності ПНО на НС є одночасне урахування складових чинника техногенного навантаження на довкілля за негативними та позитивними ефектами і включення індикаторної системи у вигляді оцінювання ризику здоров'ю населення, зведення поетапних розрахункових визначень в остаточну інформацію

щодо екологічного стану систем навколишнього середовища при планованій діяльності ТНО (рис. 8).

Структурна схема бази даних, що застосовувана для проектування програмного забезпечення екологічного контролю діяльності ТНО на прикладі системи контролю відповідності вимогам безпеки планової діяльності АЗС, включає такі сутності як station\_impact (дані про вплив АЗС), data\_air (результати вимірювань показників впливу на атмосферне повітря), data\_water (результати вимірювань показників впливу на водне середовище), data\_ground (результати вимірювань показників впливу на літосферне середовище), data\_air\_extra (результати вимірювань показників для додаткових розрахунків впливу на атмосферне повітря), data\_health (результати вимірювань показників для розрахунку неканцерогенного ризику), result\_air (результати розрахунку впливу на атмосферне повітря), result\_water (результати розрахунку впливу на водне середовище), result\_ground (результати розрахунку впливу на літосферне середовище), result\_air\_extra (результати додаткових розрахунків впливу на атмосферне повітря), result\_health (результати розрахунків неканцерогенного ризику) (рис. 9).

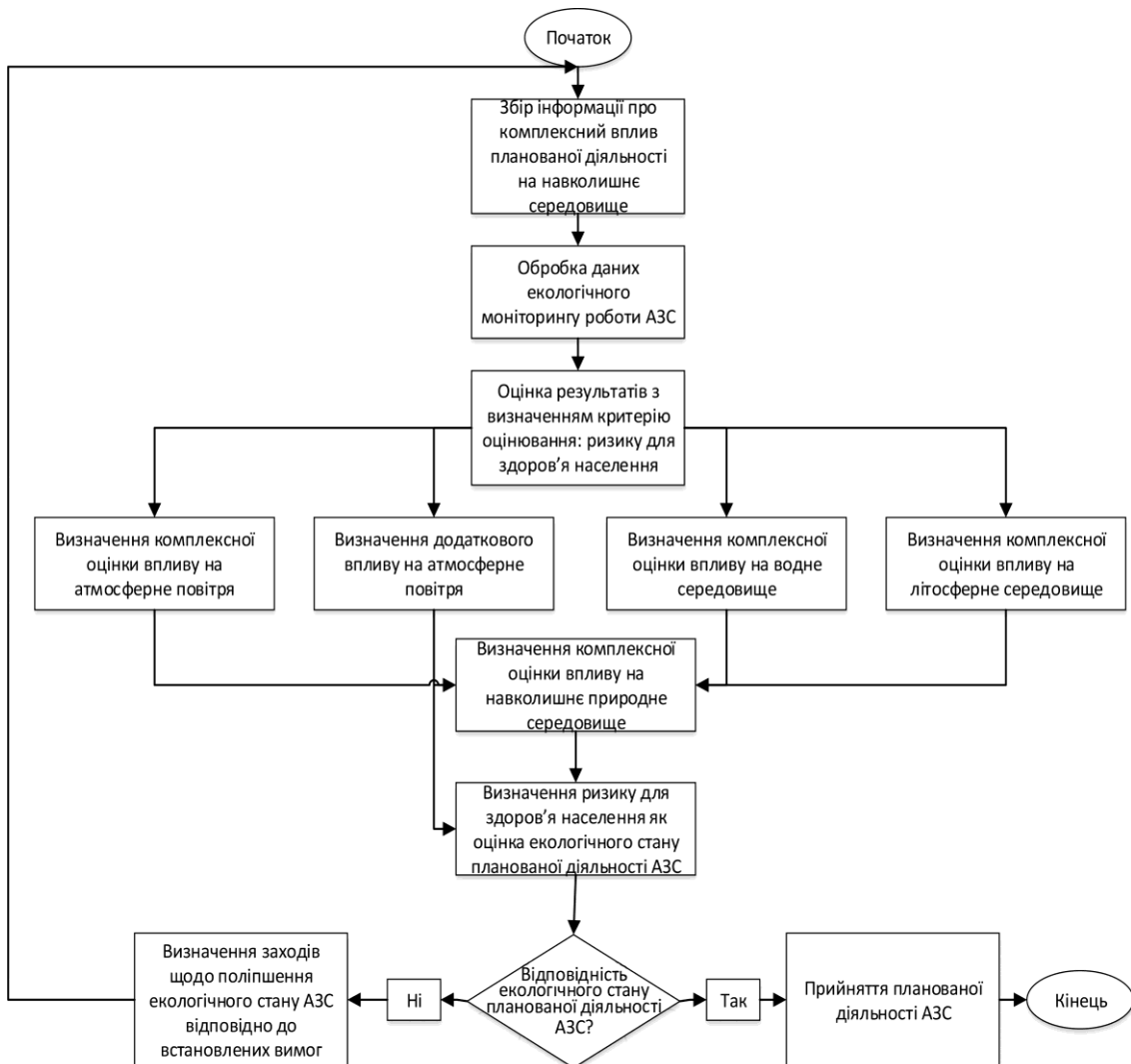


Рисунок 8 – Алгоритм визначення комплексної оцінки впливу планованої діяльності ПНО на довкілля

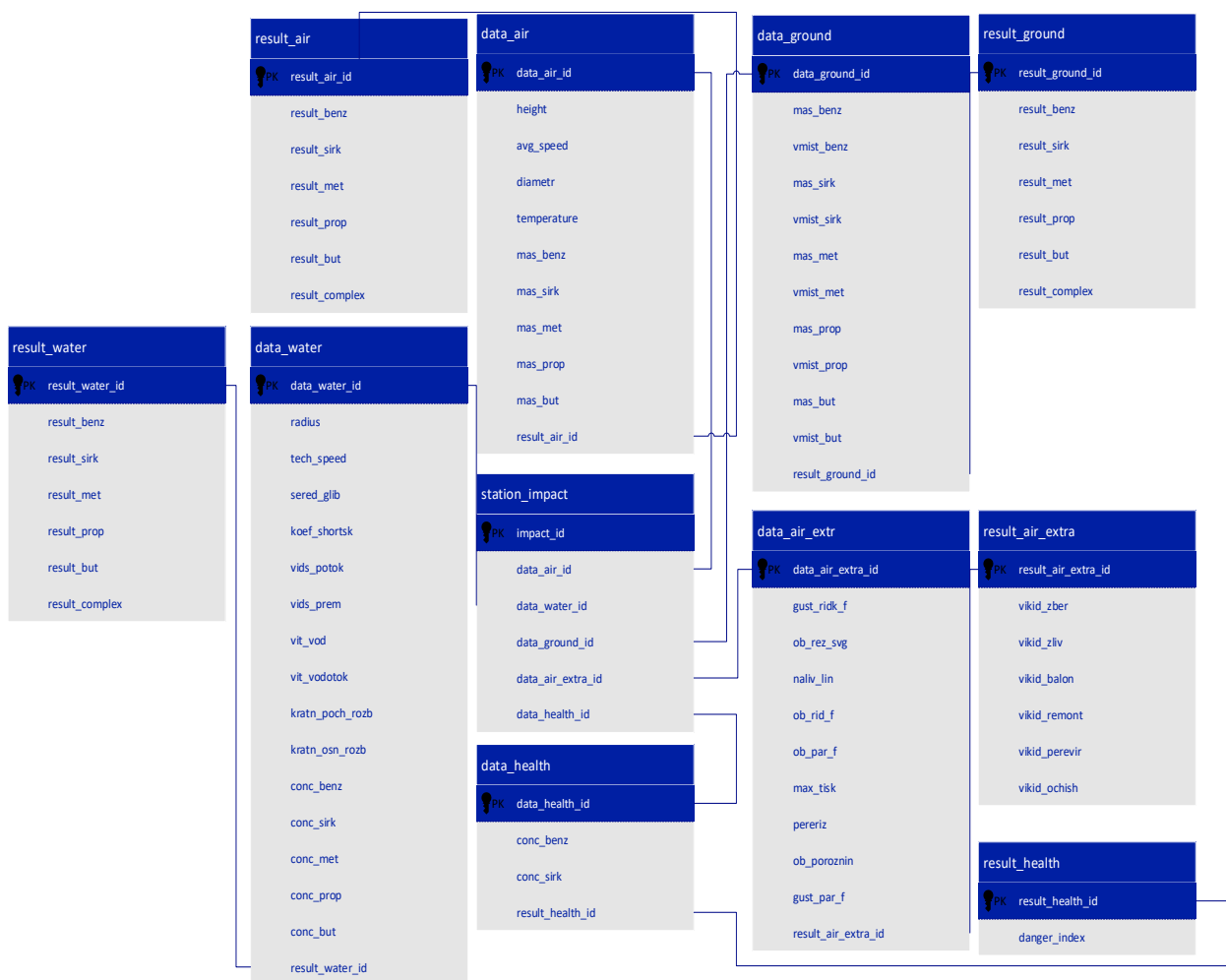


Рисунок 9 – Структурна схема бази даних

Для розробки програмного забезпечення розрахунку комплексної оцінки впливу АЗС на навколишнє середовище було використано мову програмування Python. Графічний інтерфейс користувача створений при застосуванні оболонки PyQt5, що дозволяє швидко та зручно створювати графічні додатки за допомогою кросплатформеного середовища розробки графічних інтерфейсів Qt Designer, застосовуючи просту систему проектування макетів та форма із запропонованих віджетів.

Розроблений у Qt Designer інтерфейс зберігається у файл з розширенням .ui, що має xml-формат і при необхідності може редагуватися у текстовому редакторі, або бути конвертованим у .py файл за допомогою інструменту ruic5.

Приклад роботи інформаційно-програмного забезпечення з визначення комплексної оцінки техногенної дії ПНО надано для АЗС за адресою: м. Запоріжжя, вул. Українська, 62 (рис. 10).

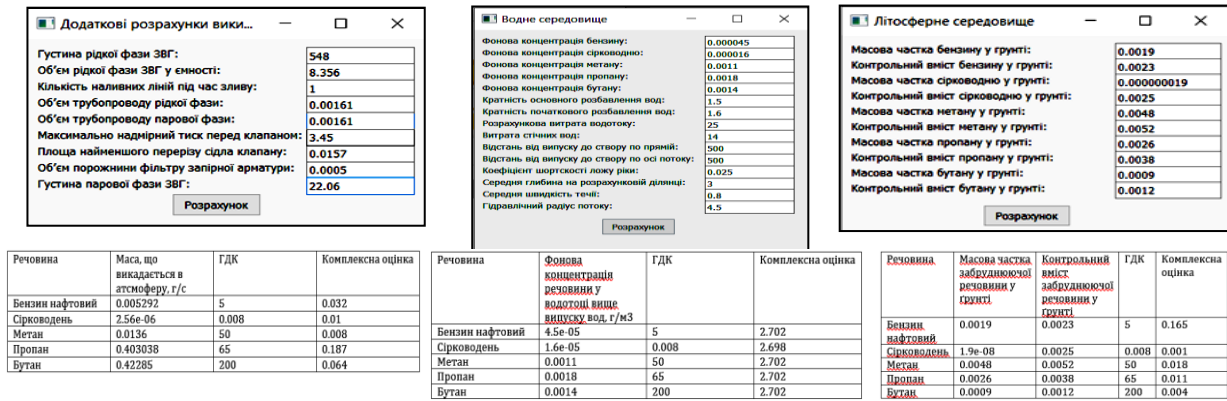
**Висновки.**

За результатами аналітичного огляду праць закордонних і українських фахівців в галузі екологічної та техногенної безпеки щодо автоматизації безперервного контролю впливу на НС функціонуючих підприємств на базі інформаційно-програмного забезпечення в роботі на теоретичному

і практичному рівні надані такі рішення та отримані результати:

1) відзначено за доцільне для комплексного контролювання стану техногенно-екологічної безпеки на ПНО запровадити інформаційно-програмний комплекс автоматичного оцінювання динаміки впливу негативних чинників від усіх джерел їх надходження в навколишнє середовище завдяки застосуванню базової системологічної моделі підконтрольного техногенного об’єкта (див. рис. 2), що дозволяє проводити спостереження за додатковими ймовірностями потрапляння забруднюючих речовин в окремі середовища довкілля та отримувати реальні оцінки безпечного функціонування ТНО відповідно до відгуку індикаторної системи;

2) застосовано системологічний підхід для формування розробки інформаційної моделі комплексної оцінки впливу негативних чинників функціонуючого ТНО на навколишнє соціально-природне середовище для забезпечення надання обґрунтованої інформації управляючим безпекою системам завдяки висновкам з вивчення екологічного стану промислових об’єктів за аналітичною послідовністю «стан (об’єкт – НС) – негативні явища – механізми зміни ситуації – оцінка екологічної безпеки довкілля – нова додаткова інформація щодо підтримки стану безпечності об’єкта»;



## Загальна комплексна оцінка

Загальна комплексна оцінка техногенного впливу планованої діяльності АЗС на навколишнє середовище: 2.952

Рисунок 10 – Комплексне оцінювання екологічного стану планової діяльності АЗС як потенційно-небезпечного об'єкта техногенної діяльності

3) запроваджена система математичного забезпечення розрахунку комплексної оцінки впливу діяльності техногенного об'єкта на НС і встановлення відгуку соціально-природних систем у вигляді оцінки ризику захворюваності населення селітебної зони за межами СЗЗ потенційно небезпечного об'єкта, що надає можливість проводити оперативне керування техногенною безпекою в реальному часі; робота цієї системи підтримки рішень надана на прикладі визначення впливу планової роботи АЗС на довкілля з урахуванням стану здоров'я населення (рис. 7–8);

4) запропоновано для автоматизації надання комплексної ОВД інформаційно-програмний додаток розрахунку впливу ПНО на довкілля та визначення стану екологічно-техногенної безпеки за висновком оцінювання ризику неканцерогенної та канцерогенної дії небезпечних чинників на людину при роботі техногенно-небезпечних об'єктів (рис. 9);

5) надано приклад розрахунку комплексної ОВД за програмним додатком на прикладі оцінки стану

екологічної безпеки при планованій діяльності АЗС м. Запоріжжя (див. рис. 10).

Таким чином, **новизною даної роботи є пропозиція** теоретично-практичного напрямку досліджень із розробки системологічної моделі ПНО для визначення комплексної ОВД та оперативного управління техногенною безпекою в реальному часі завдяки застосуванню інформаційного та програмного забезпечення комплексної оцінки впливу ТНО на навколишнє соціально-природне середовище.

Робота потребує **подальшого розвитку стосовно розробки системи параметрів/функцій з надання інформаційної підтримки дослідження системологічного характеру** для «об'єкт – НС» для однозначної оцінки «(НС – ТНО) – системи забруднення – екологічний стан ТНО на основі (ТНО – НС) – індикатор екологічної якості роботи ТНО у вигляді оцінювання ризику неканцерогенної та канцерогенної дії небезпечних чинників на людину».

## ЛІТЕРАТУРА

- Оцінка впливу на довкілля для автозаправних станцій (АЗС). *Екологія та охорона довкілля*. URL: <https://mcl.kiev.ua/uk/otsenka-vozdejstviya-na-okruzhayushhuyu-sredu-ovd-dlya-avtozapravocnyh-stantsij-azs/> (дата звернення: 12.11.2021).
- Гриник С. Оцінка впливу на довкілля (ОВД) проєктів на територіях мережі Емеральд. Чернівці, 2021. 240 с.
- Carriger J. F., Dyson B. E., Benson W. H. Representing causal knowledge in environmental policy interventions: Advantages and opportunities for qualitative influence diagram applications. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2018. Vol. 14. P. 381–394. DOI: 10.1002/ieam.2027.
- Bayesian networks in environmental risk assessment: A review / Kaikkonen L. et al. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2021. Vol. 17. P. 62–78. DOI: 10.1002/ieam.4332.
- Програмні продукти: ЕОЛ 2000. *СФ-продукти*. URL: <http://www.sfund.kiev.ua/ukr/products/ecology.htm> (дата звернення: 14.11.2021).
- Ідентифікація ОПН та ПНО. *Ідентифікація небезпечного виробництва*. URL: <https://www.dracar.org.uk/poslugi/identifikatsiya-opn-ta-pno/> (дата звернення: 14.11.2021).
- Звіт з оцінки впливу на довкілля реконструкції автозаправної станції з влаштуванням газозаправного пункту за адресою: м. Запоріжжя, вул. Українська, 62. *Єдиний реєстр з оцінки впливу на довкілля*. URL: <http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/7660/reports/FF5C75cTxL.pdf> (дата звернення: 12.10.2021).
- AERMOD View. *Lakes Environmental Software*. URL: <https://www.weblakes.com/software/air-dispersion/aermod-view> (дата звернення: 22.12.2021).
- Математичне моделювання розсіювання забруднюючих речовин у приземному шарі атмосферного повітря. Прес-служба Ecobusiness Group, 2021. URL: <https://ecolog-ua.com/news/matematychno-modelyuvannya-rozsiyuvannya-zabrudnyuyuchyuh-rechovyn-u-pryzemnomu-shari-0> (дата звернення: 16.12.2021).
- CALPUFF Modeling System. *Official CALPUFF Modeling System Software*. URL: <http://www.src.com/> (дата звернення: 22.12.2021).
- Long description of model 'ADMS 4'. *EIONET*. URL: [https://web.archive.org/web/20110718080745/http://pandora.meng.auth.gr/mds/showlong.php?id=99&MTG\\_Session=6a11721e04dd2fb5462c9c882dfbc4a](https://web.archive.org/web/20110718080745/http://pandora.meng.auth.gr/mds/showlong.php?id=99&MTG_Session=6a11721e04dd2fb5462c9c882dfbc4a) (дата звернення: 22.12.2021).
- Iwanaga T., Hsiao-Hsuan Wang and all Socio-technical scales in socio-environmental modeling: Managing a system-of-systems modeling approach. *Environmental Modelling & Software*. 2021. Vol. 135. Art. 104885. DOI: 10.1016/j.envsoft.2020.104885.

13. Theoretical and methodological foundations of sustainable development of Geosystems / Mandryk O. M. et al. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 200. Art. 012018. DOI: 10.1088/1757-899X/200/1/012018.
14. A tiered, system-of-systems modeling framework for resolving complex socio-environmental policy issues / Little J.C. et al. *Environmental Modelling & Software*. 2019. Vol. 112. P. 82–94. DOI: 10.1016/j.envsoft.2018.11.011.
15. A socio-environmental model for exploring sustainable water management futures: Participatory and collaborative modelling in the Lower Campaspe catchment / Iwanaga T. et al. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2020. Vol. 28. Art. 100669. DOI: 10.1016/j.ejrh.2020.100669.
16. Effective modeling for Integrated Water Resource Management: A guide to contextual practices by phases and steps and future opportunities / Badham J. et al. *Environmental Modelling & Software*. 2019. Vol. 116. P. 40–56. DOI: 10.1016/j.envsoft.2019.02.013.
17. Co-Producing Interdisciplinary Knowledge and Action for Sustainable Water Governance: Lessons from the Development of a Water Resources Decision Support System in Pernambuco, Brazil / White D. D. et al. *Global Challenges*. 2019. Vol. 3. Art. 1800012. DOI: 10.1002/gch2.201800012.
18. An expert-based reference list of variables for characterizing and monitoring social-ecological systems / Pacheco-Romero M., Alcaraz-Segura D., Vallejos M., Cabello J. *Ecology and Society*. 2020. 25. DOI: 10.5751/ES-11676-250301.
19. Kozulia T. V., Kozulia M. M. Using the systemological basis and information entropy function in the study at uncertainty conditions of system-structured objects. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2022. Vol. 3(139). P. 118–127.
20. Kozulia T. V., Kozulia M. M. Entropy-synergistic introduction as comprehensive research basis of complex objects state. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2020. Vol. 5(129). P. 82–85.
21. VARS-TOOL: A toolbox for comprehensive, efficient, and robust sensitivity and uncertainty analysis / Razavi S., Sheikholeslami R., Gupta H. V., Haghnegahdar A. *Environmental Modelling & Software*. 2019. 112. P. 95–107. DOI: 10.1016/j.envsoft.2018.10.005.
22. ОНД-86. Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств. *Онлайн-консультант еколога підприємства, ТОВ «ОНЛАЙН МЕДІА»*. URL: <https://ecologiya.com.ua/norm/27001/2053> (дата звернення: 17.12.2021).
23. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод. Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 622 с.
24. Про затвердження Методики визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства: Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України від 27 жовт. 1997 р. № 171. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0285-98#Text> (дата звернення: 18.12.2021).
25. Про затвердження методичних рекомендацій «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря»: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 13 квіт. 2007 р. № 184. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0184282-07#Text> (дата звернення: 18.12.2021).
26. Методи комплексної оцінки господарсько-фінансової діяльності. *Файловий архів для студентів*. URL: <https://studfile.net/preview/5056566/page/9/> (дата звернення: 18.12.2021).

### Kozulia T., Korshunov S.

#### INFORMATION SOFTWARE SUPPORT OF COMPLEX ESTIMATION BASED ON SYSTEMOLOGICAL APPROACH OF PETROL STATION TECHNOLOGICAL ECOLOGICAL SAFETY

The paper defines advantages of using systemological approach and systemological classification analysis for information software systems creation in system objects scientific analysis that solves estimation problems of technological objects influence upon environment. It provides usage overview of systemological theses during various objects models creation while solving interdisciplinary tasks. These models capabilities and effectiveness are determined.

Normal petrol station (are classified as potentially dangerous object) functioning was chosen as the practical research subject. The main technological load of the normal petrol stations functioning is accrued upon atmosphere through oil products evaporation, water objects, underground water and citizens' water supplies through wastewater, soil through organic matter wastes. This means that authors suggested complex solving of technological ecological security problems of such potentially dangerous objects.

The systemological model of potentially dangerous object ("environment – petrol station" – pollution systems – petrol station ecological state based on "petrol station – environment") danger estimation was chosen as a research object to develop informational support of determining petrol stations influence on environment. The research subject is determining complex estimation of normal petrol station functioning influence on environment. It based on systemology of the technological objects research and the design of information software support of potential dangerous objects technological ecological danger determination.

Normal petrol station systemological model as of technologically dangerous object was designed. There was provided mathematical support to determine factors of influence on environment taking into account population health, influence parameters determination algorithms, and complex estimation calculation of technological load upon environment. These are the results of the work.

**Key words:** technological ecological safety, technologically dangerous object, systemological modeling, system-system research, complex ecological estimation, informational support, ecological quality control program.

#### REFERENCES

1. Ocinka vplyvu na dovkillja dlja avtozapravnyh stancij (AZS) [Environmental impact assessment for gas stations]. *Ekologija ta ohorona dovkillja*. <https://mcl.kiev.ua/uk/otsenka-vozdejstviya-na-okruzhayushhuyu-sredu-ovd-dlya-avtozapravnyh-stantsij-azs/> (access date: 12.11.2021). [in Ukrainian].
2. Grynyk, Je. (2021). *Ocinka vplyvu na dovkillja (OVD) projektiv na terytorijah merezhi Emerald* [Environmental impact assessment (EIA) of projects in the territories of the Emerald network]. Chernivci, 240. [in Ukrainian].
3. Carriger, J. F., Dyson, B. E., & Benson, W. H. (2018). Representing causal knowledge in environmental policy interventions: Advantages and opportunities for qualitative influence diagram applications. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 14, 381–394. DOI: 10.1002/ieam.2027.
4. Kaikkonen, L., Parviainen, T., Rahikainen, M., Uusitalo, L., & Lehikoinen, A. (2021). Bayesian networks in environmental risk assessment: A review. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 17, 62–78. DOI: 10.1002/ieam.4332.
5. Programni produkty: EOL 2000 [Software products: EOL 2000]. *SF-produkty*. <http://www.sfund.kiev.ua/ukr/products/ecology.htm> (access date: 14.11.2021). [in Ukrainian].
6. Ідентифікація OPN та PNO [Identification of OPN and PNO]. *Ідентифікація небезпечної виробництва*. <https://www.dracar.org.uk/postlugi/identifikatsiya-opn-ta-pno> (access date: 14.11.2021). [in Ukrainian].
7. Zvit z ocinky vplyvu na dovkillja rekonstrukcii avtozapravnoi stancii z vlashtuvannjam gazozapravnogo punktu za adresoju: m. Zaporizhzhja, vul. Ukrai'ns'ka, 62 [Report on environmental impact assessment of the reconstruction of the gas station with the installation of a gas filling station at the address: Zaporizhzhia, st. Ukrainian, 62]. *Jedynyj rejestr z ocinky vplyvu na dovkillja*. <http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/7660/reports/FF5C75cTxL.pdf> (access date: 12.10.2021). [in Ukrainian].
8. AERMOD View. *Lakes Environmental Software*. <https://www.weblakes.com/software/air-dispersion/aermod-view> (access date: 22.12.2021).

9. Press-service of Ecobusiness Group. (2021). Matematychnе modeljuvannja rozsiyvannja zabrudnjujuchyh rečovyn u pryzemnomu shari atmosfernogo povitrya [Mathematical modeling of the dispersion of pollutants in the surface layer of atmospheric air]. <https://ecolog-ua.com/news/matematychnе-modeljuvannja-rozsiyvannja-zabrudnyuyuchyh-rečovyn-u-pryzemnomu-shari-0> (access date: 16.12.2021).
10. CALPUFF Modeling System. *Official CALPUFF Modeling System Software*. <http://www.src.com/> (access date: 22.12.2021).
11. Long description of model 'ADMS 4'. *EIONET*. [https://web.archive.org/web/20110718080745/http://pandora.meng.auth.gr/mds/showlong.php?id=99&MTG\\_Session=6a11721c04dd2fb5462c9c882dfbfc4a](https://web.archive.org/web/20110718080745/http://pandora.meng.auth.gr/mds/showlong.php?id=99&MTG_Session=6a11721c04dd2fb5462c9c882dfbfc4a) (access date: 22.12.2021).
12. Iwanaga, T., Wang, H.-H., Hamilton, S. H., Grimm, V., Koralewski, T. E., Salado, A., Elsawah, S., Razavi, S., Yang, J., Glynn, P., Badham, J., Voinov, A., Chen, M., Grant, W. E., Peterson, T. R., Frank, K., Shenk, G., Barton, C. M., Jakeman, A. J., & Little, J. C. (2021). Socio-technical scales in socio-environmental modeling: Managing a system-of-systems modeling approach *Environmental Modelling & Software*, 135, 104885. DOI: 10.1016/j.envsoft.2020.104885.
13. Mandryk, O. M., Arkhyova, L. M., Pukish, A. V., Zelmanovych, A., & Yakovlyuk, Kh. (2017). Theoretical and methodological foundations of sustainable development of Geosystems. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 200, 012018. DOI: 10.1088/1757-899X/200/1/012018.
14. Little, J. C., Hester, E. T., Elsawah, S., Filz, G. M., Sandu, A., Carey, C. C., Iwanaga, T., & Jakeman, A. J. (2019). A tiered, system-of-systems modeling framework for resolving complex socio-environmental policy issues. *Environmental Modelling & Software*, 112, 82–94. DOI: 10.1016/j.envsoft.2018.11.011.
15. Iwanaga, T., Partington, D., Ticehurst, J., Croke, B. F. W., & Jakeman, A. J. (2020). A socio-environmental model for exploring sustainable water management futures: Participatory and collaborative modelling in the Lower Campaspe catchment. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 28, 100669. DOI: 10.1016/j.ejrh.2020.100669.
16. Badham, J., Elsawah, S., Guillaume, J. H. A., Hamilton, S. H., Hunt, R. J., Jakeman, A. J., Pierce, S. A., Snow, V. O., Babbar-Sebens, M., Fu, B., Gober, P., Hill, M. C., Iwanaga, T., Loucks, D. P., Merritt, W. S., Peckham, S. D., Richmond, A. K., Zare, F., Ames, D., & Bammer, G. (2019). Effective modeling for Integrated Water Resource Management: A guide to contextual practices by phases and steps and future opportunities. *Environmental Modelling & Software*, 116, 40–56. DOI: 10.1016/j.envsoft.2019.02.013.
17. White, D. D., Lawless, K. L., Vivoni, E. R., Mascaro, G., Pahle, R., Kumar, I., Coli, P., Castillo, R. M., Moreda, F., & Asfora, M. (2019). Co-Producing Interdisciplinary Knowledge and Action for Sustainable Water Governance: Lessons from the Development of a Water Resources Decision Support System in Pernambuco, Brazil. *Global Challenges*, 3, 1800012. DOI: 10.1002/gch2.201800012.
18. Pacheco-Romero, M., Alcaraz-Segura, D., Vallejos, M., & Cabello, J. (2020). An expert-based reference list of variables for characterizing and monitoring social-ecological systems. *Ecology and Society*, 25. DOI: 10.5751/ES-11676-250301.
19. Kozulia, T. V., & Kozulia, M. M. (2022). Using the systemological basis and information entropy function in the study at uncertainty conditions of system-structured objects. *Problems of Atomic Science and Technology*, 3(139), 118–127.
20. Kozulia, T. V., & Kozulia, M. M. (2020). Entropy-synergistic introduction as comprehensive research basis of complex objects state. *Problems of Atomic Science and Technology*, 5(129), 82–85.
21. Razavi, S., Sheikholeslami, R., Gupta, H. V., & Haghnegahdar, A. (2019). VARS-TOOL: A toolbox for comprehensive, efficient, and robust sensitivity and uncertainty analysis. *Environmental Modelling & Software*, 112, 5–107. DOI: 10.1016/j.envsoft.2018.10.005.
22. OND-86. *Metodyka rozrahunku koncentracij v atmosfernomu povitri shkidlyvyh rečovyn, shho mistjat sja u vykydah pidpryjemstv* [Methods of calculating concentrations in atmospheric air harmful substances contained in emissions of enterprises]. Onlajn-konsultant ekologa pidpryjemstva, TOV "ONLAJN MEDIA". <https://ecologiya.com.ua/norm/27001/2053> (access date: 17.12.2021). [in Ukrainian].
23. Koval'chuk, V. A. (2002). *Ochystka stichnyh vod* [Sewage treatment]. Rivne, VAT "Rivnens'ka drukarnja", 622. [in Ukrainian].
24. *Pro zatverdzhennja Metodyky vyznachennja rozmiriv shkody, zumovlenoi' zabrudnennjam i zasmichennjam zemel'nyh resursiv cherez porushennja pryrodoohoronного zakonodavstva* [On approval of the Methodology for determining the amount of damage caused by pollution and clogging of land resources due to violations of environmental protection legislation], 171 Decree of the Ministry of Environmental Protection and Nuclear Safety of Ukraine (1997). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0285-98#Text> (access date: 18.12.2021). [in Ukrainian].
25. *Pro zatverdzhennja metodychnyh rekomendacij "Ocinka ryzyku dlja zdorov'ja naselennja vid zabrudnennja atmosfernogo povitrya"* [On approval of methodological recommendations "Risk assessment for public health from atmospheric air pollution"], 184 Decree of the Ministry of Health of Ukraine (2007). <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0184282-07#Text> (access date: 18.12.2021). [in Ukrainian].
26. *Metody kompleksnoi' ocinky gospodars'ko-finansovoi' dijal'nosti*. Fajlovyj arhiv dlja studentiv [Methods of comprehensive assessment of economic and financial activity]. *File archive for students*. <https://studfile.net/preview/5056566/page:9/> (access date: 18.12.2021). [in Ukrainian].