

РОЗВИТОК ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА ОСНОВІ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО ОБГРУНТОВАНИХ ПРОЕКТІВ БУДІВНИЦТВА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Леся Шелудченко

Подільський державний аграрно-технічний університет, м. Кам'янець-Подільський
seludcenkolesa@gmail.com
<https://doi.org/10.37406/sXXIcp.2021.v2.86>

Вступ

Поняття «безпеки» є відносним, адже воно свідчить про певну ймовірність, яка залежить від досліджуваної системи, її складності, внутрішніх взаємозв'язків, а якщо мова йде про господарську діяльність людини, то обов'язково необхідно розглядати її у комплексі із навколишнім середовищем. Для забезпечення «безпеки» системи необхідно забезпечити відсутність негативної динаміки небезпечних проявів у її розвитку. Практично, безпека це відсутність небезпечної дії або її наявності на прийнятному рівні ризику для певної системи, яка зазнає негативного впливу.

Таким чином, безпека - це такий стан системи, коли дія зовнішніх та внутрішніх факторів на неї не призводять до ускладнення чи припинення її усталеного функціонування та розвитку.

В свою чергу, екологічна безпека – це такий стан системи «природа-техніка-людина», який забезпечує збалансовану взаємодію природних, технічних і соціальних систем, формування культурного природного середовища, яке відповідає санітарно-гігієнічним, етичним і матеріальним потребам мешканців кожного конкретного регіону планети при збереженні природно-ресурсного потенціалу природних систем і здатності біосфери до саморегулювання та самовідновлення [1].

Важливою складовою безпеки функціонування транспортних мереж є стан захищеності довкілля від загроз, які створюються даною господарською діяльністю. Визначення оцінки якості об'єктів навколишнього середовища і, як наслідок, відповідності природних систем становлять значні труднощі. Більш вірною тенденцією забезпечення екологічної безпеки територій з розвиненою мережею автомобільних доріг є «вписування» зазначеної діяльності в навколишнє середовище шляхом реалізації комплексу заходів із екологічної безпеки.

Розділ 1. Прогнозування якості проектів будівництва та реконструкції автомобільних доріг за показниками екологічної безпеки.

При розробленні проектів будівництва та реконструкції автотранспортної мережі першочергового значення набуває забезпечення фіксованих рівнів екологічної безпеки ландшафтних чинників природно-техногенних геоекосистем з точки зору прогнозування динаміки та особливостей розвитку антропогенної зміни ландшафтів і процесів їх техногенної трансформації, здатних впливати на будь-які об'єкти природно-територіального комплексу. Більшість формалізованих методів прогнозування якості (в тому числі і екологічної якості технічних систем) засновані на оцінюванні передбачуваних ризиків, як поєднання ймовірностей та наслідків несприятливих подій у вигляді відмови функціонування того або іншого технічного об'єкту або інженерної споруди [2, 3]:

$$\overline{P_- + P_+} = 1 \quad (1)$$

де $\overline{P_-}$ – ймовірність відмови об'єкту технічної системи (інженерної споруди);
 $\overline{P_+}$ – ймовірність безвідмовної роботи технічної системи (інженерної споруди).

На відміну від більшості інженерно-технічних систем для автомобільної мережі (об'єктів інфраструктури автомобільних доріг) неможливо визначити деякий граничний стан, за якого необхідним є повне припинення експлуатації автотранспортного комплексу. Складність і недостатня розробленість загальнонаукової методології прогнозування циклів забезпечення екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем з розвинутою автотранспортною мережею зумовлюють спрямованість прогнозного оцінювання, як правило, у межах лише кількох компонентів (чинників) ландшафту, який трансформується внаслідок функціонування автотранспортного комплексу.

1.1. Визначення властивостей ознак природно-техногенної геоекосистеми.

Об'єктивність оцінки прогнозованого стану природно-техногенної геоекосистеми з розвинутою автотранспортною мережею є визначальним чинником при виборі оптимального варіанту проекту на будівництво або реконструкцію мережі автомобільних доріг. Стан об'єктів проектованої системи, з огляду на різні рівні їх складності, визначається рядом чинників (параметрів) і носить характер багатопараметричного. Така система визначається комплексом значень ознак і відповідно до визначення Мітчерліха не може бути описана одним параметром, вона (система) завжди є суттєво багатопараметричною. Розрізненість цих параметрів, як за фізичною сутністю, так і за їх розмірностями, не дозволяє формалізувати оцінку системи вцілому. Отже, реалізація такої задачі є достатньо складною у зв'язку з невизначеним обсягом відповідних параметрів та їх нормованих показників.

В загальному випадку при порівнянні інформації про декілька проектів автотранспортної мережі вони матимуть різні значення однотипних показників. При цьому, за певною групою ознак може бути кращий один проект, а за іншою групою ознак – інший. Тому, для аналітичної формалізації якості розглядуваних проектів автотранспортних мереж необхідно визначити характер динаміки ознак за якими визначається оптимальний варіант порівнюваних проектів.

Визначимо як додатні властивості $\overline{X^+}$, ознаки системи (проекту), які із збільшенням числового значення параметру, який характеризує цю ознаку, призводять до збільшення показника якості системи (проекту) вцілому. До таких ознак можна віднести автотранспортну ємність [авт./км²] території природно-техногенної геоекосистеми, перспективну пропускну здатність [авт./добу] автомобільної дороги, синхронізовану швидкість автотранспортного потоку [км/годину] тощо.

Аналогічно, будемо визначати властивість (ознаку) $\overline{X^-}$ як від'ємну, якщо із збільшенням числового значення параметра, який характеризує цю властивість, показник якості системи (проекту) вцілому зменшується. До таких ознак необхідно віднести питомі витрати палива [л/км] автотранспортним потоком і питомі обсяги шкідливих викидів [кг/км], які продукуються потоками автотранспортних засобів, питомі витрати палива [кг/км] показник розсинхронізації швидкості колективного руху автотранспортного потоку у вигляді амплітуди варіювання щільності потоку [авт./годину] тощо.

Окрім необмежено і неперервно змінюваних (в певному доцільному інтервалі) додатних і від'ємних властивостей система (проект системи) може характеризуватись також певною групою властивостей $\overline{X^0}$ з двобічним обмеженням оптимального

значення. При цьому, найвищий показник якості системи (проекту) ці властивості забезпечують за певного (однозначно визначеного, нормованого) числового значення показника властивості (ознаки) і при збільшенні або зменшенні значення цього показника якість системи знижується. Прикладом такої ознаки є конструкційні розміри [м] об'єктів поперечного профілю резервно-технологічної смуги автомобільної дороги.

На відміну від вищезазначених характеристик властивостей (ознак) системи необхідно їх розрізняти також і за характером неперервності значення числового параметру:

–неперервною є властивість (ознака), числові значення якої можуть набувати будь-яких значень (в тому числі і ірраціональних) у визначених межах існування даної властивості;

–дискретною є властивість (ознака), яка може набувати лише певних (чітко визначених) числових значень і зміна числового значення такої властивості відбувається стрибком від одного числового значення до іншого (найчастіше це натуральні числа, рідше можуть бути раціональні дроби).

На відміну від неперервних числових показників, дискретні числові властивості відповідних ознак будемо позначати як: \sqrt{Y}^+ – числове значення параметра (ознаки) дискретної додатної властивості, \sqrt{Y}^- – числове значення параметра (ознаки) дискретної від'ємної властивості, \sqrt{Y}^0 – числове значення параметра (ознаки) дискретної властивості з двобічним обмеженням.

Певні властивості (ознаки) порівнюваних варіантів систем (проектів) можуть бути такими, що не завжди описуються числовим значенням і характеризуються лише певною термінологічною категорією (наприклад, морфологічні ознаки деревних і чагарникових порід газо-пилезахисних лісосмуг та їх пилезахисні властивості тощо). В цьому випадку, кожній з ознак (властивостей), яка характеризується термінологічною категорією, може бути присвоєне числове значення у вигляді деякої бальної оцінки, яка чисто суб'єктивно визначає ступінь відповідності розглядуваної ознаки (властивості) рівню якості оцінюваного об'єкту або системи вцілому. Для таких ознак (властивостей) суб'єктивно присвоєні бальні оцінки будемо позначати як \sqrt{Z}^+ , \sqrt{Z}^- , \sqrt{Z}^0 для відповідно додатних, від'ємних властивостей та властивостей з двобічним обмеженням.

Розділ 2. Принципи управління проектами природно-техногенних геоекосистем з розвиненою автотранспортною мережею.

Для подалі зростаючою щільності та транспортно-технологічного ускладнення мережі автомобільно-комунікаційних структур природно-техногенних геоекосистем саме стадія їх проектування визначає тривалість циклів задоволення попиту, які визначаються показниками якості (в тому числі екологічної якості), як окремих техногенних об'єктів, так і всієї природно-техногенної геоекосистеми вцілому. Стадія проектування (ландшафтного узгодження) техногенних об'єктів є особливо важливою тому, що якість будь-якого технічного об'єкту (споруди), яку закладено при її проектуванні, на наступних стадіях циклу задоволення потреб (стадії виготовлення, будівництва, експлуатації) можна лише зберегти, але ніяк не підвищити. Факторологічні дослідження діяльності проектних установ та організацій, які займаються розробкою та проектуванням автотранспортних мереж, свідчать, що одним з основних факторів розробки ними проектів з фіксованими рівнями якості технічних об'єктів (в тому числі і за показниками їх екологічної безпеки) є

потужність бази використовуваних даних. Використовувана при проектуванні база даних разом із алгоритмом формальних методів проектування є основою для забезпечення необхідного рівня екологічної безпеки проектованої автомобільно-комунікаційної системи. Загалом, структура розв'язку проектної задачі конструювання природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автодорожньою мережею може бути представлена у вигляді блок-схеми, яку наведено на рис. 1.

Рівень техногенного впливу автодорожньої мережі на природно-територіальний комплекс, який виникає в процесі її будівництва (реконструкції), експлуатації та ремонтних робіт, залежить, в першу чергу, від інженерних рішень, які приймаються при трасуванні структури та розробленні конструкції автомобільних доріг (в тому числі за ландшафтними ознаками природно-техногенної геоекосистеми, використовуваними ресурсами та робочими матеріалами, способами переробки та використання цих ресурсів і матеріалів, застосуванням захисних споруд тощо). Ці інженерні рішення, які безпосередньо впливають на стабільність рівнів екологічної безпеки природно-техногенної геоекосистеми, необхідно розглядати як комплексну задачу створення системи задоволення транспортно-комунікаційних потреб з високою екологічною якістю. Екологічна раціональність автотранспортного комплексу є сукупністю тих його властивостей, які виражають зазначену раціональність з точки зору відповідності прийнятих конструкційних рішень як умовам будівництва, експлуатації та ремонту автодорожньої мережі, так і природним умовам природно-територіального комплексу. Отже, для забезпечення необхідного (фіксованого) рівня екологічної безпеки природно-техногенної геоекосистеми (зокрема її транспортно-комунікаційної складової) ці умови (з достатнім ступенем точності і деталізації) мають бути сформульованими ще до початку розробки і проектування всієї інфраструктури автотранспортно-комунікаційної системи. Умови розробки, проектування, будівництва (реконструкції) та експлуатації автотранспортної мережі конкретної природно-техногенної геоекосистеми є досить динамічними, а тому екологічна раціональність (екологічна безпека) цієї системи має розглядатись та оцінюватись відповідно до обмежень визначеного діапазону цих умов, а саме обмежень за часом, простором, конкретними екологічними та ландшафтними ознаками тощо. Рівень фіксації екологічної безпеки автотранспортного комплексу, як підсистеми природно-техногенної геоекосистеми має безперервно змінюватись відповідно до того, як змінюються екологічні ознаки природно-територіального комплексу, умови, засоби і конструкційні матеріали будівництва (реконструкції) автомобільних доріг, їх експлуатації та ремонту. Саме ця особливість задоволення циклів транспортно-комунікаційних потреб зумовлює спадковість ознак екологічної безпеки підсистеми мережі автомобільних доріг в межах розглядуваної природно-техногенної геоекосистеми. Спадковість показників екологічної безпеки транспортно-комунікаційної підсистеми природно-техногенної геоекосистеми визначається сукупністю тих її властивостей, які виражають екологічну раціональність автотранспортної мережі з точки зору єдності, повторюваності та змінюваності конструкційних рішень для нової проектованої автотранспортної підсистеми. Ці властивості зокрема характеризують:

– єдність повторюваності окремих складових автотранспортного комплексу в даному виконанні геоекосистеми в цілому або в розглядуваній множині її виконань і застосування в ній нових складових частин або об'єктів, які зумовлено новизною вимог до природно-техногенної геоекосистеми або множини її виконань за

функціональними призначеннями, умовами її будівництва (реконструкції) або експлуатації – конструкційна спадковість проєктованої системи;

– єдність повторюваності та змінюваності технологічних методів будівництва (реконструкції), підтримання в робочому стані і поновлення елементів та об'єктів автотранспортного комплексу, які враховуються при розробленні та конструюванні природно-техногенної геоєкосистеми – технологічна спадковість техногенної системи.

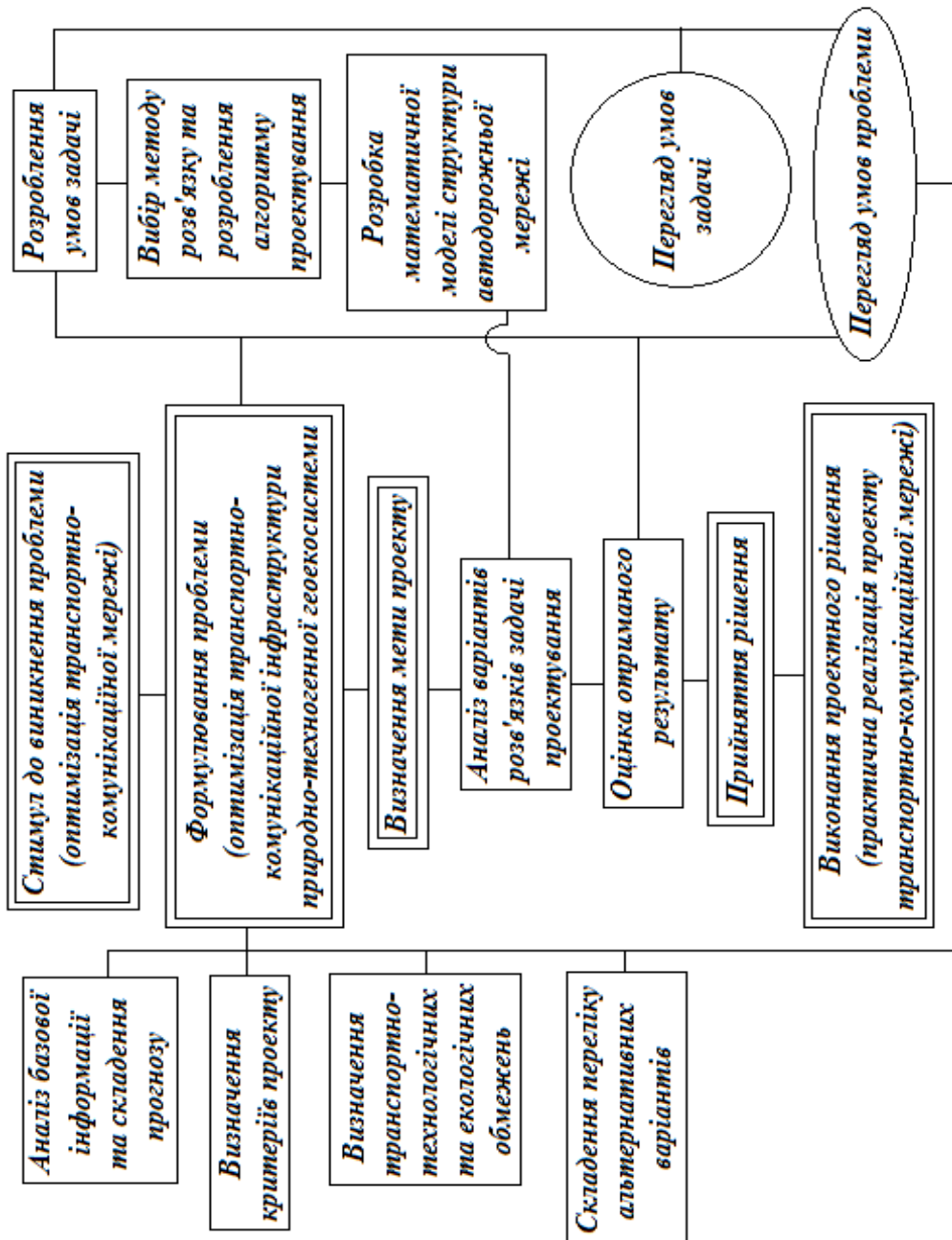


Рис. 1. Структурна блок-схема розв'язку проєктної задачі конструювання природно-техногенної геоєкосистеми з розвинутою автотранспортною мережею

Спадковість властивостей підсистеми автотранспортного комплексу природно-техногенної геоєкосистеми набуває визначального значення, як основного принципу екологічної раціональності конструкторської підготовки, спорудження та функціонування автодорожньої мережі регіону. Використання цього принципу

дозволяє забезпечити спадковість параметрів та рівнів екологічної безпеки транспортно-комунікаційних мереж та їх інженерної інфраструктури, оптимізувати процес конструкторського і технологічного проектування, максимально використати попередні напрацювання науково-дослідних, дослідно-конструкторських та дослідно-технологічних розробок, результатів експериментальної реалізації проектів при будівництві (реконструкції) окремих ділянок автомобільних доріг, їх перевірки в умовах експлуатації, технологічного обслуговування та ремонту конкретних автотранспортних мереж.

У зазначеному ракурсі спадковість автотранспортної підсистеми природно-техногенної геоекосистеми рівнозначна її екологічній раціональності, оскільки характеризує можливість багатократного застосування окремих інженерних рішень, які попередньо уже були забезпечені у сферах будівництва, експлуатації та ремонту автодорожньої мережі відповідними ресурсами, матеріалами та засобами. Тим самим спадковість конструкцій автодорожніх мереж, як і їх екологічна безпека, визначає не лише можливість розробки і реалізації нових автотранспортних систем з фіксованими, підвищеними та прогресуючими рівнями їх екологічної безпеки, але і зменшення екологічних ризиків техногенних підсистем в цілому в межах територіальних природно-техногенних геоекосистем з розвиненими автотранспортними та іншими комунікаційними мережами.

Необхідно зазначити, що після практичної реалізації результатів системного проектування конкретної конструкції природно-техногенної геоекосистеми, виведення на проектовані експлуатаційні показники її функціонування потребує певного періоду часу, який в окремих випадках може досягати 10-ти і більше років. Тривалість періоду виведення конструкції природно-техногенної геоекосистеми на проектні показники зумовлена комплексом біологічних, ландшафтно-територіальних, погодно-кліматичних тощо особливостей природно-територіального комплексу. Наприклад, тривалість виведення на експлуатаційні показники конструкцій газо-пилрозахисних лісосмуг автомобільних доріг зумовлена біологічними особливостями розвитку деревних і чагарникових порід, які використано при посадці лісосмуги. Процес виведення конструкції природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автодорожньою мережею на проектовані експлуатаційні показники потребує обов'язкового наукового та конструкторсько-технологічного супроводу реалізації проекту.

Пропонований порядок проектування інженерної інфраструктури автотранспортної мережі природно-техногенної геоекосистеми є підставою для розробки системи автоматизованого проектування (САПР) як окремих ділянок автомобільних доріг, так і автотранспортно-комунікаційної мережі регіону в цілому. Фрагмент архітектурно-будівельної частини проектування лісової газо-пилрозахисної смуги у вигляді алгоритму машинної програми САПР наведено на рис. 2. Такий фрагмент машинного алгоритму САПР передбачає можливість неперервної оптимізації параметрів газо-пилрозахисних лісосмуг деревно-чагарникового типу автомобільних доріг різних категорій в умовах зміни властивостей і ознак техногенних ландшафтів та динаміки розвитку транспортної і технологічної структури визначеної природно-техногенної геоекосистеми.

Зокрема, наведений фрагмент алгоритму програмного забезпечення системи автоматизованого проектування (САПР) газо-пилрозахисної смуги автомобільної дороги передбачає таку процедуру проектування:

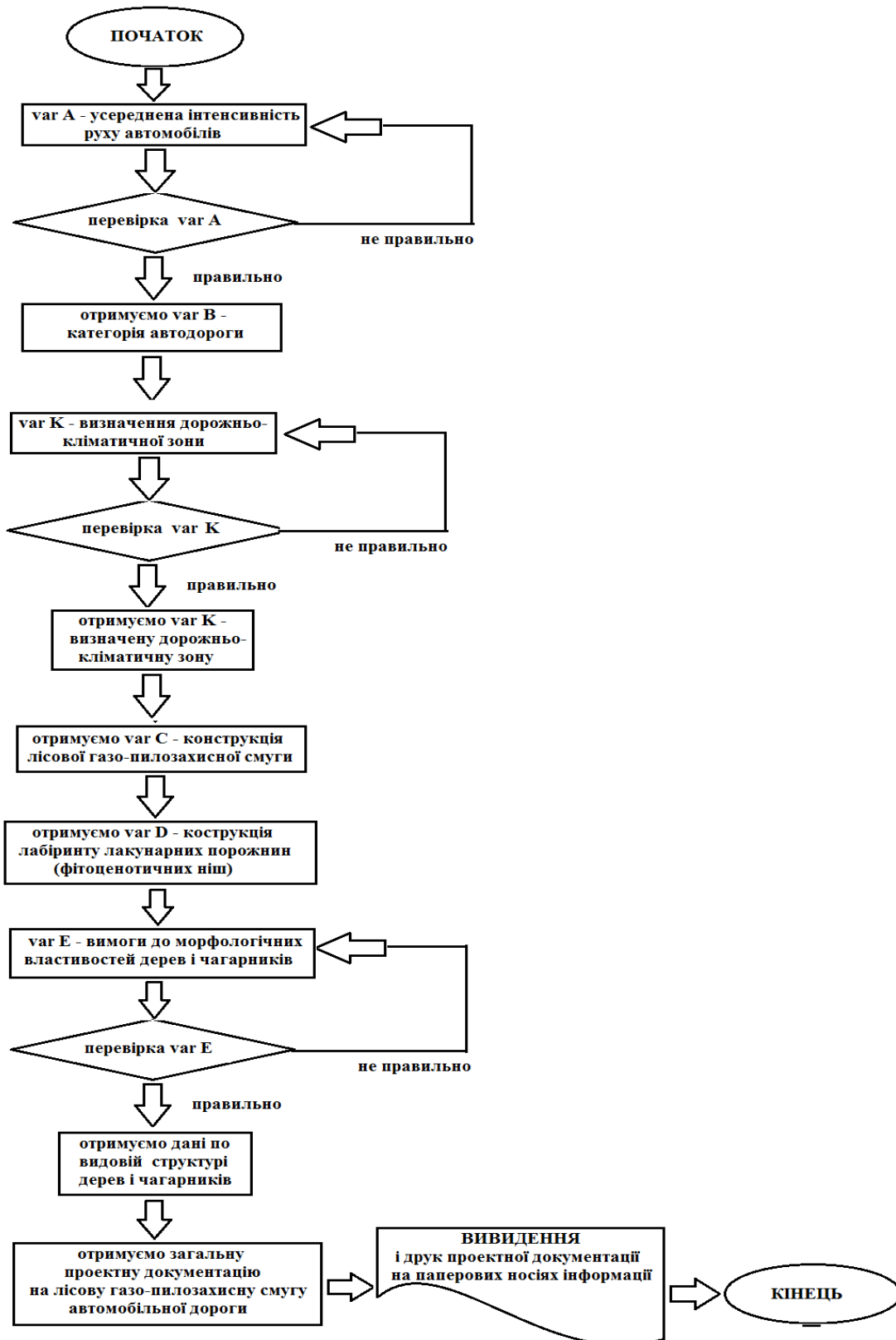


Рис. 2. Фрагмент алгоритму програмного забезпечення системи автоматизованого проектування САПР газо-пилосахисної смуги автомобільної дороги

–визначення категорії автомобільної дороги залежно від проектної інтенсивності руху (щільності) автотранспортного потоку;

–вибір дорожньо-кліматичної зони природно-техногенної геоекосистеми для проєктованої автомобільної дороги;

–вибір типової конструкції газопилозахисної лісосмуги відповідно до визначеної категорії автомобільної дороги та дорожньо-кліматичної зони природно-техногенної геоекосистеми;

–обрання конструкційної схеми посадки дерев і чагарників, визначення структури лакунарних порожнин (фітоценотичних ніш) лісової газопилозахисної смуги, в тому числі на ділянках з особливими умовами руху автотранспортних потоків (у вузлах автодорожньої мережі, серпантинах, шпильках, “крайових зонах” тощо);

–вибір видового складу деревних і чагарникових порід газопилозахисної лісосмуги відповідно до дорожньо-кліматичного зонування природно-техногенної геоекосистеми за морфологічними ознаками дерев і чагарників, показниками їх газостійкості, здатністю затримувати мінеральний пил, динамікою ажурності крони, погодно-кліматичними та едафічними (грунтовими) умовами;

–автоматизоване розроблення проєктної документації на відповідну конструкцію лісової газопилозахисної смуги деревно-чагарникового типу автомобільної дороги з виведенням її на друк на паперових носіях інформації.

Обрання варіанту проєктного рішення трасування і конструкції автомобільної дороги в складі автодорожньої мережі природно-техногенної геоекосистеми є по суті вибором оптимального рішення з деякої множини розглядуваних варіантів проєктів, тобто $\overline{E_i} \in E$. Кожний з розглядуваних варіантів $\overline{E_i}$ проєкту однозначно визначає деякий фіксований у вигляді узагальненої оцінки результат $\overline{e_i}$. Тобто, оцінкою еколого-ландшафтного ризику проєкту автодорожньої мережі за критерієм Гурвіца (НВ-критерій) буде:

$$\left. \begin{aligned} E_0 &= \{E_{i0} | E_{i0} \in E \cap e_{i0} = \\ &= \max | c \min e_{ir} + (1 - c) \max e_{ij} | \cap 0 \leq c \leq 1 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

При цьому, якщо обраний ваговий коефіцієнт $\overline{c} = 1$, то (2) перетворюється на ММ-критерій:

$$\overline{E_0} = \{E_{i0} | E_{i0} \in E \cap e_{i0} = \max e_i\} \quad (3)$$

Отже, для множини $\overline{E_0}$ оптимальних варіантів (у випадку вибору оптимального варіанту проєкту автодорожньої мережі – для проєкту з максимально можливим рівнем екологічної безпеки природно-техногенної геоекосистеми), які належать до множини \overline{E} всіх розглядуваних варіантів і оцінка $\overline{e_{i0}}$ яких має максимальне значення серед усіх оцінок $\overline{e_i}$ оціночною функцією ММ-критерію буде:

$$\overline{\max e_{ir} = \max(\min e_{ij})} \quad (4)$$

За наведеною функцією (4) ММ-критерію послідовно вибраковуються проєкти з найменш сприятливими результатами. Після чого обирається найсприятливіший варіант проєкту будівництва (реконструкції) автодорожньої мережі:

$$\begin{cases} \overline{Z_{MM}} = \max e_{ir} \\ e_{ir} = \min e_{ij} \end{cases} \quad (5)$$

де $\overline{Z_{MM}}$ – оціночна функція ММ-критерію.

Отже, остаточний вибір оптимального варіанту проекту будівництва (реконструкції) як окремих об'єктів інженерної інфраструктури, так і всієї автодорожньої мережі в межах конкретно визначеної природно-техногенної геоекосистеми може бути реалізованим відповідно до:

$$E_0 = \{E_{i0} \in E \mid e_{i0} = \max \min e_{ij}\} \quad (6)$$

Отже, множина E_0 оптимальних варіантів (обраний оптимальний варіант проектного рішення) мітиться у тих варіантах E_{i0} , які належать множині E всіх варіантів проектів і оцінка e_{i0} яких є максимальною серед усіх оцінок $\overline{e_{ir}} = \min e_{ij}$.

2.1. Розроблення розділу проекту «Оцінка впливу на довкілля» при будівництві (реконструкції) автодорожньої мережі.

Процедурою поетапної підготовки проекту на будівництво (реконструкцію) автодорожньої мережі в обов'язковому порядку передбачається розроблення оцінки впливу на довкілля (ОВД) оскільки автодороги входять до переліку видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку [4].

Таблиця 1

Процедура поетапного розроблення проекту будівництва (реконструкції) автомобільної дороги

Етап (стадія) екологічного оцінювання проекту	Мета виконання екологічного оцінювання проекту	Передбачуваний результат екологічного оцінювання
Ідентифікація мети	Виявлення характеру впливу проєктованого об'єкту (ділянки автотранспортної мережі) на ознаки природно-техногенної геоекосистеми	Формалізація передбачуваних наслідків трансформації природно-техногенної геоекосистеми
Прогнозування	Екологічна раціоналізація (мінімізація) екологічних наслідків реалізації проекту у відповідності до показників автотранспортної ємності природно-техногенної геоекосистеми	Мінімізація техногенної трансформації природно-техногенної геоекосистеми автотранспортною інфраструктурою
Інтерпретація результатів прогнозування	Узгодження екологічних, технічних, економічних, господарських тощо розбіжностей проекту	Моніторинг та консультування з питань нормативної процедури затвердження проекту будівництва (реконструкції) автотранспортної мережі
Остаточне оцінювання проектного рішення	Визначення господарської та екологічної значущості проекту	Остаточне затвердження проектних рішень. Підготовка практичної реалізації проекту

При цьому, характер розгалуженості та протяжності автотранспортної мережі зумовлює, як правило, її вплив на території суміжних регіонів (в окремих випадках на території суміжних країн), а отже відповідно до міжнародної Конвенції про оцінку впливу на навколишнє середовище, має бути розроблено транскордонну ОВД. Процедура поетапного розроблення проекту будівництва (реконструкції) автомобільної дороги наведена в табл.1 та запропонований алгоритм (рис. 3)

дозволяють реалізувати автоматизоване розроблення відповідної проектної документації в загальній структурі систем автоматизованого проектування (САПР) [5, 6].

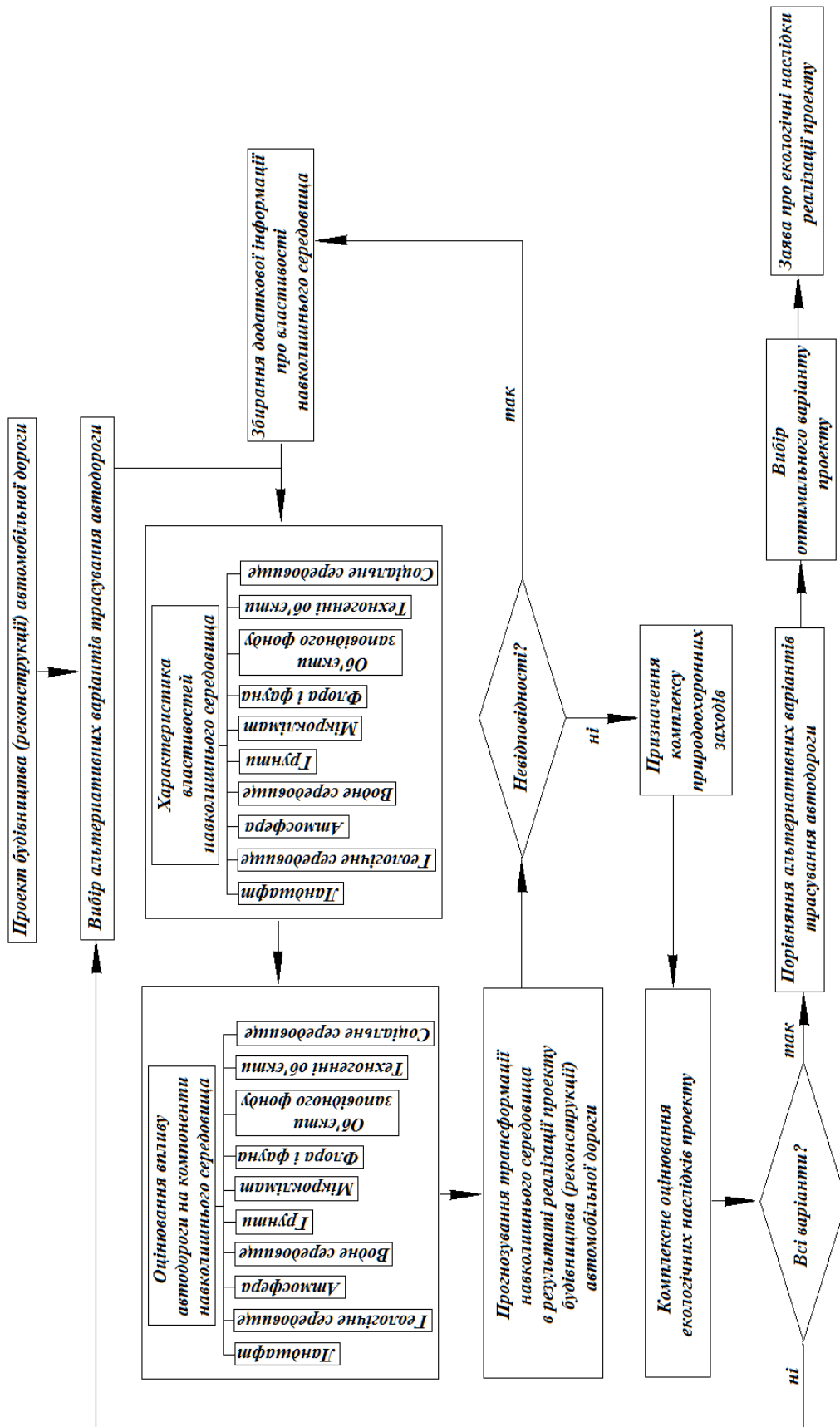


Рис. 3. Алгоритм виконання ОВД на стадії проектування будівництва (реконструкції) автомобільної дороги

Висновки

За результатами пропонованих методів управління проектами автотранспортних мереж та їх еколого-економічного оцінювання можна зробити такі висновки.

1. Метод порівняльного оцінювання проектів будівництва (реконструкції) автомобільних доріг, який розроблено на підставі узагальнення багатопараметричної інформації про властивості окремих ознак природно-техногенної геоекосистеми з розвинутою автотранспортною мережею з використанням функції “бажаності”, дозволяє на етапі проектування оптимізувати конструкційні параметри та обрати варіант проекту з максимально високим прогнозованим рівнем екологічної безпеки природно-територіального комплексу.

2. Розроблений поетапний порядок проектування інженерної інфраструктури автотранспортної мережі природно-техногенної геоекосистеми є підставою для розробки системи автоматизованого проектування (САПР) як окремих ділянок автомобільних доріг, так і автотранспортно-комунікаційної мережі регіону в цілому і передбачає можливість неперервної оптимізації конструкційних параметрів мережі автомобільних доріг різних категорій в умовах зміни властивостей і ознак техногенних ландшафтів та динаміки розвитку транспортної і технологічної структури природно-техногенної геоекосистеми.

3. Стабілізація ландшафтних і екологічних ознак природно-територіального комплексу та підтримання визначеного екологічно безпечного рівня природно-техногенної геоекосистеми з розвинутою автотранспортною мережею вимагає значних фінансових і матеріальних витрат, які мають бути спрямовані на стабілізацію всіх геоморфологічних ознак цієї системи.

Список використаних джерел

- [1] Екологічна безпека та економіка : колективна монографія / М. І. Сокур, В.М. Шмандій, Є. К. Бабець, В. С. Білецький, І. Є. Мельнікова, О. В. Харламова, Л. С. Шелудченко. Кременчук : ПП Щербатих О.В., 2020. 240 с.
- [2] Бойко Т. В., Абрамова А. О. Оцінювання екологічних ризиків від впливів на навколишнє середовище техногенних об’єктів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця : ВПІ, 2015. № 4. С. 31-35.
- [3] Биченок М. М., Іванюта С. П., Яковлев Є. О. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі: монографія. Київ : Інститут проблем національної безпеки ради національної безпеки і оборони України, 2008. 160 с.
- [4] Адаменко Я. О., Кундельська Т. В., Николяк М. М. Оцінка впливів освоєння нафтогазоконденсатних родовищ на навколишнє середовище. *Всеукраїнський щоквартальний науково-технічний журнал «Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ»*. Івано-Франківськ : ІФТУНГ, 2005. №3 (16). С.53-58.
- [5] Шелудченко Л. С. Автоматизоване проектування деревно-чагарникової газопилозахисної смуги автодорожньої мережі. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету. Спец. вип. Кам’янець-Подільський*, 2014. С. 152-154.
- [6] Шелудченко Л. С., Вознюк С. В., Кобринська Л. В. Оцінка екологічних ризиків проектів лісових газопилозахисних смуг. *Зб. наук. праць міжнародної науково-практичної конференції “Аграрна наука та освіта Поділля”*. Кам’янець-Подільський : Крок, ПДАТУ, 2017. Ч. 1. С. 53-55.