

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Руда Марія Віталіївна**



УДК 006.015.5; 625.163:630;26:629.3.015.6

**УДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ФУНКЦІОНУВАННЯ КОНСОРЦІЙНИХ ЕКОТОНІВ  
ЗАХИСНОГО ТИПУ**

Спеціальність 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне  
забезпечення

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів – 2017

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному лісотехнічному університеті України  
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор  
**Обшта** Анатолій Феліксович,  
професор кафедри «Обчислювальна  
математика та програмування»  
Національного університету  
«Львівська політехніка»

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор  
**Середюк** Орест Євгенович,  
завідувач кафедри «Методи та  
прилади контролю якості і  
сертифікації продукції» Івано-  
Франківського національного  
технічного університету нафти і газу,  
м. Івано-Франківськ

кандидат технічних наук  
**Чабан** Олеся Петрівна,  
доцент кафедри «Медична  
інформатика» національного  
медичного університету  
ім. Данила Галицького  
м. Львів

Захист відбудеться « 12 » квітня 2018 р. о 16<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.21 у Національному університеті «Львівська політехніка» (79013, Львів-13, вул. С. Бандери, 28а, ауд. 713 п'ятого навчального корпусу).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» (79013, Львів, вул. Професорська, 1)

Автореферат розісланий « 7 » березня 2018 р.

Учений секретар спеціалізованої  
вченої ради, д.т.н., доцент



Т.З. Бубела

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Вплив залізничного транспорту з його стаціонарними та пересувними джерелами забруднення на середовище породжує багато проблем, оскільки включає порушення стійкості природних ландшафтних комплексів транспортною інфраструктурою шляхом розвитку ерозій і обвалів; забруднення атмосфери відпрацьованими газами; постійне зростання рівня забруднення ґрунту нафтопродуктами, полювантами та седиментами, а також продуктами видування і осипання сипких вантажів (вугілля, руда, цемент тощо). Одним з важливих екологічних методів захисту навколишнього природного середовища є використання екотонів – реальних природних дискретних структурних одиниць рослинного покриву, які мають специфічні властивості, а саме, здатність захищати навколишнє середовище від шуму, шкідливих речовин тощо та залізничну колію від снігу, вітрів, дії інших природно-кліматичних факторів. Сьогодні в Україні постає питання вирішення науково-технічного завдання вдосконалення нормативно-технічного забезпечення якості (захисної ефективності та життєздатності) функціонування консорційних екотонів захисного типу (КЕЗТ) і гармонізація його з міжнародними стандартами.

Проведений аналіз нормативно-технічного забезпечення якості функціонування КЕЗТ підтвердив необхідність вдосконалення національних стандартів і подальшого розвитку наукових досліджень КЕЗТ та створення нових методів оцінювання якості функціонування КЕЗТ. Встановлено, що центральною проблемою тут є не тільки відсутність в достатній кількості технічних засобів обліку викидів та скидів забруднюючих речовин, а й сучасних норм обсягів цих видів забруднення.

Одним із глобальних підходів до підвищення якості функціонування КЕЗТ є модернізування вимог та норм, які ставляться до КЕЗТ, на основі міжнародних стандартів менеджменту якості та екологічного менеджменту. За таких умов актуальними постають питання щодо методів оцінювання якості КЕЗТ, використання яких сприятиме підвищенню ефективності функціонування інформаційної системи моніторингу захисту навколишнього природного середовища.

Проведення теоретичних та практичних досліджень з метою оцінювання та регулювання якості, вдосконалення нормативного забезпечення якості функціонування КЕЗТ є необхідним та актуальним. При цьому, важливим завданням сьогодення є розроблення критеріїв градації якості КЕЗТ, що дасть можливість об'єктивніше класифікувати призначення КЕЗТ та нормувати їх характеристики з урахуванням міжнародних екологічних та інших стандартів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана в рамках держбюджетної тематики «Морфологічні та генетико-популяційні засади формування наближеної до природи системи ведення лісового господарства України» (ДБ 08.09-01-12; 2012-2014 рр. № державної реєстрації 0112U003031); «Лісівничо-таксаційна та фітоценотична структура пралісів Українських Карпат, як модель

організації екологічно орієнтованого лісівництва» (ДБ 08.08-06-13; 2013-2015 рр. № державної реєстрації 0113U001266) та госпдоговірної тематики ГД 08.07-17-12 «Розробка основних принципів та технологій відтворення лісової рослинності на існуючих ґрунтосумішах Яворівського сірчаного кар'єру» (2012 р., № державної реєстрації 0112U008142); ГД 08.07-21-12 «Опрацювання технології мікоризації саджанців дуба звичайного для вирощування екологічно стійких та високопродуктивних насаджень» (2013 р., № державної реєстрації 0113U003886).

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є вдосконалення нормативно-технічного забезпечення якості функціонування КЕЗТ та їх оцінювання на основі створення формалізованої моделі, розроблення методу оцінювання якості КЕЗТ та критеріїв градацій якості КЕЗТ для формування їх призначення та нормування характеристик за досліджуваними їх компонентами.

Для досягнення поставленої в роботі мети необхідно було вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати історичні та методичні аспекти захисного лісорозведення.
2. Дослідити просторово-функціональну роль КЕЗТ на шляхах залізничного транспорту.
3. Вивчити нормативно-методичне забезпечення функціонування КЕЗТ та сформулювати модель системи підвищення якості КЕЗТ.
4. Розробити методи та засоби оцінювання, прогнозування якості функціонування КЕЗТ.
5. Уточнити показники захисної ефективності КЕЗТ.
6. Обґрунтувати конструктивно-екологічну концепцію КЕЗТ.
7. Запропонувати проект стандарту вимог до високоякісних КЕЗТ.

**Об'єктом дослідження** є процес оцінювання показників якості раціонального функціонування консорційних екотонів захисного типу;

**Предметом дослідження** є показники якості функціонування КЕЗТ, їх взаємозв'язок та методи оцінювання.

**Методи дослідження.** Польові вимірювання; статистичні методи опрацювання інформації; аналітичні методи дослідження ходу росту насаджень.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Оцінено залежність життєздатності насаджень за класами та категоріями від складу, конструкції, рубок та їх поновлення.

2. Вперше розроблено:

– узагальнені підходи до підвищення якості функціонування КЕЗТ та підвищення їх життєздатності на основі вивчення історії розвитку захисних лісових насаджень на залізниці та аналізу міжнародних стандартів серії ISO 9001:2015 та ISO 14001:2015;

– метод централізованого регулювання якості КЕЗТ, основою якого є залежності, що дозволяють оцінювати хід росту КЕЗТ з врахуванням рубок та поновлення насаджень;

– структуру кіберфізичної системи екосистемного моніторингу та аудиту КЕЗТ для визначення захисної ефективності та життєздатності КЕЗТ на шляхах залізничного транспорту.

3. Уточнено залежність коефіцієнта снігозанесення колії від параметрів КЕЗТ та вивчено шумопоглинальний ефект КЕЗТ.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати досліджень впроваджені у трьох Патентах України (Пат. UA 111249 C2, описує спосіб фіторизоремедіації девастованих ґрунтів; Пат. UA 111392 C2, описує спосіб сільватизації корінних деревостанів та Пат. UA 111393 C2., що описує спосіб ризоремедіації девастованих земель. Описані способи дозволяють формувати стійкі асоціації видів грибів – тих, які найчастіше трапляються в деревостанах та прилеглих до них ділянках у різних типах лісорослинних умов і здатних до трансформації широкого спектру органічних та неорганічних речовин-забруднювачів, які разом з симбіотичними грибами утворюють мікоризу з рослинами, що сприяє підвищенню концентрації гормону росту у рослин, сприяє кращому водопостачанню, збільшенню доступності поживних речовин, у т. ч. важко засвоюваних (фосфор, залізо), збільшенні сприйнятливої поверхні коріння і стимуляції його росту, підвищеній активній й пасивній стійкості до корневих патогенів (фітофтороз, суха гнилизна), кращому і рясному цвітінню, плодоношенню, формі та загальному вигляду рослини, зниженню сприйнятливості несприятливих умов росту: невідповідна кислотність, засолення, підтоплення, токсичні елементи тощо.

Результати наукових досліджень, щодо удосконалення та впровадження екосистемного принципу моніторингу за станом захисних лісонасаджень на шляхах Залізничного транспорту можуть бути використані в роботі державних та приватних Лабораторних центрах, що підтверджується актом впровадження.

Усі результати реалізації підтверджено відповідними актами про впровадження та використання.

**Особистий внесок здобувача.** У дисертації використані розробки, ідеї, результати теоретичних і практичних досліджень, що відображені в наукових працях і представлені на конференціях, у роботі яких автор брала безпосередню участь. Зокрема у друкованих працях, написаних у співавторстві, здобувачу належить: [1] – розглянуто захисні лісові насадження (ЗЛН) з позиції еколого-географічного аналізу та розроблено граф залізничних шляхів м. Львова; [2] – запропоновано використовувати спосіб мікоризації лісопосадкового матеріалу, як інноваційного засобу поновлення насаджень; [3] – визначено основні аспекти, пов'язані з транспортуванням небезпечних вантажів Львівською залізницею та з'ясовано роль ЗЛН, для пом'якшення антропогенного впливу на прилеглі агроценози; [4] – здійснено огляд вітчизняних та іноземних праць, що стосуються питання функціональної ролі ЗЛН на шляхах залізничного транспорту; [5] – визначено основні функції ЗЛН; [6] – проведено експериментальні дослідження впливу об'єктів залізниці на стан

навколишнього природного середовища; [7] – проведено експериментальні дослідження, щодо акустичного навантаження на шляхах залізничного транспорту, встановлено основні закономірності, щодо екрануючого бар'єру ЗЛН; [8] – визначено основні абіотичні фактори, що впливають на стан ЗЛН; [9] – здійснено аналіз екологічної безпеки та техногенних ризиків, що виникають на шляхах залізничного транспорту, та встановлено роль ЗЛН у цьому процесі; [10] – застосовано підхід еко-індикації та визначення екологічного індексу в ЗЛН; [11] – проведено експериментальні дослідження визначення поллютантів та седиментів в зоні відведення залізниці; [12] – розроблено та запропоновано концепцію екосистемного моніторингу на шляхах залізничного транспорту; [13] – розглянуто ЗЛН, за ознаками консортивності; [14] – визначено профільність КЕЗТ та їх фітоценотичну структуру; [15] – розроблено основні показники якості функціонування КЕЗТ на шляхах залізничного транспорту; [16] – запропоновано досліджувати геохімічні процеси КЕЗТ за допомогою енвайрон-аналізу з урахуванням показників якості: захисної ефективності та життєздатності; [17] – визначено захисну ефективність КЕЗТ; [18] – досліджено функціональні особливості КЕЗТ; [19] – вивчено основні механізми відновлення ґрунтів за допомогою міко-фітоценотичного комплексу ремедіантів; [20] – запропоновано спосіб мікоризації посадкового матеріалу; [21] – проведено експериментальні дослідження, стосовно ефективності мікоризації лісопосадковонго матеріалу, ідентифіковано основні мікоризоутворюючі грибні комплекси; [22] – розроблено концепцію кіберфізичної системи КЕЗТ; [23] – уточнено показники якості КЕЗТ з врахуванням постійної антропогенної дії на шляхах залізничного транспорту; [24] – визначено основні модулі-блоки інформаційної системи КЕЗТ; [25] – запропоновано концепцію створення кіберфізичної системи якості функціонування КЕЗТ.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи представлені та обговорені на 17 міжнародних науково-практичних конференціях, 3 всеукраїнських науково-практичних конференціях, 2 міжнародних конгресах, 1 науково-технічній конференції студентів, аспірантів НЛТУ України, студентів коледжів та слухачів Малої лісової академії, 2 екологічних форумах.

**Публікації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи опубліковано в 40 наукових працях, зокрема у 9 статтях, опублікованих у наукових виданнях, які внесені до списку фахових видань України та до міжнародних наукометричних баз даних, а також 1 колективну монографію, як результат міжнародної співпраці, 3 патентах України на винахід, а також у 27 працях – матеріалах міжнародних науково-технічних-конференцій, з яких – 7 одноосібні.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 298 найменувань та 16 додатків. Обсяг основної частини складає 182 сторінки, загальний обсяг – 259 сторінок. Робота містить 10 таблиць і 41 рисунок.



динаміки і продуктивності лісів виробляється, як правило, за допомогою різних моделей. Традиційно, ріст деревостанів відображався за допомогою таблиць ходу росту (ТХР), що містять вікову динаміку основних таксаційних показників деревостанів за прийнятими класифікаційними одиницями, в якості яких служили класи бонітету або типи лісу. Модельна основа ТХР була і залишається досить слабкою, часто ТХР містили тільки ряди вирівняних і упорядкованих результатів спостережень. Очевидно, що чисельні моделі такого роду мало прийнятні для опису росту деревостанів у мінливому кліматі.

Досліджено, що захисна ефективність та життєздатність характеризуються поділом на категорії та класи. На захисну ефективність та життєздатність КЕЗТ лісозахисних лісних смуг також суттєво впливає густина насадження – розміщення деревних порід в ряду та ширина міжрядь.

Визначенно поняття «якість КЕЗТ» та встановлено оцінку за двома показниками: захисна ефективність та життєздатність. На основі опрацьованого матеріалу та для зручності розв'язання задач управління в КЕЗТ запропонована вертикальна та горизонтальна структури, які задаються ярусами та горизонтами.

Розроблено схему узагальнених заходів організації щодо підвищення якості функціонування КЕЗТ на основі аналізу міжнародних стандартів систем управління якістю *ISO 9001:2015* та екологічного менеджменту *ISO 14001:2015*. Схему підвищення якості функціонування КЕЗТ подано у вигляді чотирьох взаємопов'язаних підсистем:

- підсистема залізничного господарства (ЗТ), де біологічні та технологічні фактори мають визначальний вплив на величину антропогенного навантаження на КЕЗТ;
- підсистема шляхів залізничного транспорту (ШЗТ), яка функціонує, як постійне джерело антропогенного впливу на стан навколишнього природного середовища;
- власне КЕЗТ, як екологічної підсистеми (Е), яка охоплює природні об'єкти і процеси природокористування;
- підсистема управління (У) – алгоритми управління, математичне забезпечення, програми.

Обґрунтовано систему критеріїв та індикаторів для оцінки стану лісових екосистем на урбанізованих територіях. Стан біотичної складової лісових екосистем відображають два інтегральні показники: індекс стану деревостану та індекс структурного різноманіття лісового біоценозу.

Індекс стану деревостану відображає життєздатність деревного пологу через середньозважений ступінь облистяності крон і дає відносне уявлення про біологічну продуктивність та екологічну асимілятивну здатність досліджуваної ділянки лісу.

$$H_1 = \sum_{i=1}^k Q_i \cdot f_i, \quad (1)$$

де  $Q_i$  – частка суми площ перерізу дерев  $i$ -тої категорії стану в загальній сумі площ поперечного перерізу всіх стовбурів дерев;

$f_i$  – коефіцієнти облистяності дерев різних категорій станів (1,0 – без



ознак ослаблення; 0,8 – слабо ослаблені (втрата облистяності до 25 %); 0,6 – ослаблені (втрата облистяності до 50 %); 0,4 – сильно ослаблені (втрата облистяності до 75 %); 0,2 – всохлі (втрата облистяності понад 75 %); 0 – сухостій / бурелом поточного року та минулих років).

Індекс структурного різноманіття лісового біоценозу відображає збереження структури ключових елементів лісового середовища в обстежених ділянках лісу. Індекс структурного різноманіття побудований на основі індексу Бріллюена, який є одним з універсальних показників різноманітності в теорії інформації. Він розраховується за формулою:

$$H_{str} = \frac{1}{M} \ln \frac{m_1!m_2!m_3!\dots m_i!}{M!} \quad (2)$$

де  $m_i$  – числове значення  $i$ -го компонента різноманітності.

Запропоновано досліджувати КЕЗТ за допомогою компартментального аналізу, при цьому ступінь керованості КЕЗТ за допомогою системи блоків-компаратментів залежить, у першу чергу, від вибраних критеріїв оптимізації. Визначено *Eco*-індикатор КЕЗТ (рисунок 2), як замкненої системи матеріальних потоків, відображених у дереві процесів. Застосування *Eco*-індикатора є одним із методів, який дозволяє нам прийняти одну оцінку для всієї системи, враховуючи вхідні та вихідні потоки, а також природно-кліматичні умови – так званий екологічний індекс. Це сума всіх окремих *eco*-точок або часткових індексів для всіх процесів, що відбуваються.

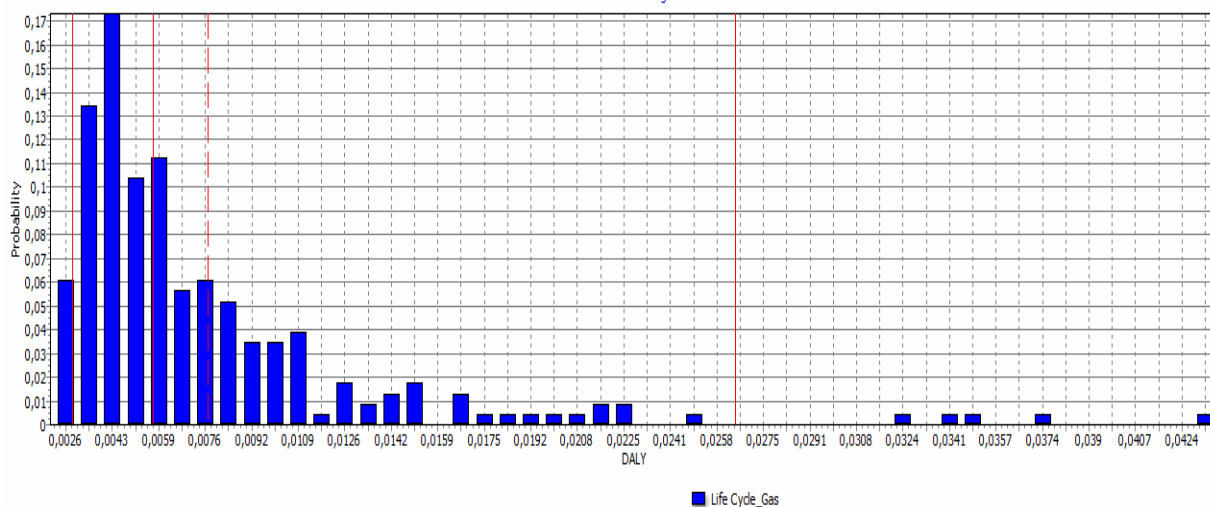


Рисунок 2 – Визначення екологічного індексу КЕЗТ

У третьому розділі розв’язані задачі 1-4, які дозволяють розробити алгоритми використання шкал для обчислення узагальненого показника життєздатності.

*Задача 1.* Обчислено коефіцієнти рівнянь росту висоти та діаметра середнього дерева КЕЗТ.

Висоти дерев та діаметри задаються функціями Річардса-Чепмена:

$$H(t) = c_1(1 - \exp[(-c_2)(t - t_0)])^{c_3}, \quad (3)$$

$$D(t) = d_1(1 - \exp[(-d_2)(t - t_0)])^{d_3}, \quad (4)$$

відповідно,  $c_1, c_2, c_3, t_0$  – видоспецифічні параметри росту дерева у висоту,  $d_1, d_2, d_3, t_0$  – видоспецифічні параметри росту діаметра на висоті 1,3 м.

Для оцінки параметрів моделі розроблені програми на основі методу найменших квадратів. Алгоритм пошуку коефіцієнтів математичної моделі полягає у визначенні таких значень  $c_1, c_2, c_3, t_0, d_1, d_2, d_3, \tau_0$  за яких досягають мінімуму вирази  $S_1(c_1, c_2, c_3, t_0), S_2(d_1, d_2, d_3, \tau_0)$ , які визначаються співвідношеннями:

$$S_1(c_1, c_2, c_3, t_0) = \sum_{(i=1)}^{30} (H(t_i) - H_{tab}(t_i))^2, \quad (5)$$

$$S_2(d_1, d_2, d_3, \tau_0) = \sum_{(i=1)}^{30} (D(t_i) - D_{tab}(t_i))^2, \quad (6)$$

Тут  $H_{tab}(t_i), D_{tab}(t_i)$  фактичні значення висоти та діаметра дерева одержані з ТХР,  $H(t_i), D(t_i)$  значення висоти та діаметра дерева відповідно, розраховані за формулами (3), (4),  $t_i$  час в роках.

Для ТХР КЕЗТ Львів-Стрий знайдені такі значення параметрів:

$$\begin{array}{llll} c_1 = 26,5 & c_2 = 0,024 & c_3 = 2,804 & t_0 = -23,3 \\ d_1 = 0,31 & d_2 = 0,029 & d_3 = 3,772 & \tau_0 = -17,6 \end{array}$$

*Задача 2.* Виведене рівняння зміни діаметру дерева за умов конкуренції за світло:

$$\frac{dD}{dt} = -\frac{1}{D^2 \cdot H} \cdot \frac{dH}{dt} - c \cdot D^2 \cdot H + \frac{D^2 \cdot P \cdot H}{\left( \alpha \pi H \cdot \left( \frac{D}{2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{1+\lambda}}}, \quad (7)$$

яке характеризується тією особливістю, що в нього включені лише ті таксометричні параметри, які можна знайти прямими вимірюваннями. Тут:

$$P = \frac{P_{\max} \cdot V^{\left(\frac{2}{3}\right)}}{p} \cdot \ln \left( \frac{P_{\max} + aQ}{Pm + aQ \cdot \exp(-pV^d)} \right), \quad (8)$$

$$V = \left( \alpha \pi H \cdot \left( \frac{D}{2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{1+\lambda}}, \quad (9)$$

де  $a$  – початковий нахил кривої продуктивності,  $P$  – інтенсивність фотосинтезу дерева,  $P_{\max}$  – максимальна інтенсивність фотосинтезу одиниці листової поверхні,  $p$  коефіцієнт поглинання світла,  $d$  фрактальна розмірність крони,  $b$  коефіцієнт перетворення енергії у приріст об'єму стовбура,  $c$  коефіцієнт пропорційності витрат енергії на транспорт асимілятів,  $Q$  частка сонячної радіації, яка падає на зовнішню поверхню крони,  $\alpha, \gamma$  – коефіцієнти залежності видового числа від об'єму стовбура.

*Задача 3.* Обчислено параметри фотосинтезу та видоспецифічні параметри об'єму дерева на основі використання рівняння зміни діаметру дерева за умов конкуренції за світло.

Для оцінки параметрів моделі розроблена програма на основі методу оптимізації нелінійних систем. Слід наближеними методами обчислити корені  $a, b, c, d, \alpha, \gamma, P_{\max}, p, Q$ , системи рівнянь:

$$F(H(t_i)D(t_i); a, b, c, d, \alpha, \gamma, P_{\max}, p, Q) \dots i = 1, 30, \quad (10)$$

яку одержимо після підстановки в (7) виразів (11), (12)

$$H(t) = 26,5(1 - \exp[(-0,024)(t + 23,3)])^{2,804}, \quad (11)$$

$$D(t) = 0,31(1 - \exp[(-0,029)(t + 17,6)])^{3,772}, \quad (12)$$

та перенесення всіх виразів рівняння (7) в його ліву частину. Зауважимо, що  $t_i$  – значення, які одержані з ТХР для ділянки Львів – Стрий.

Для оцінки параметрів моделі розроблена програма методу оптимізації нелінійної системи. Знайдені такі значення параметрів  $a, b, c, d, \alpha, \gamma, P_{\max}, p, Q$ , в заданому діапазоні значень, при яких функція

$\sum_{l=1}^{30} F^2(H(t_l), D(t_l); a, b, c, d, \alpha, \gamma, P_{\max}, p, Q)$  досягає мінімуму. Точніше, знайдено:

$$\begin{aligned} & \min \\ & 100 \leq a \leq 180 \\ & 0,022 \leq b \leq 0,046 \\ & 0,0005 \leq c \leq 0,0025 \\ & 0,125 \leq d \leq 0,145 \\ & 0,475 \leq \alpha \leq 0,495 \sum_{i=1}^{30} F^2(t_i, a, b, c, d, \alpha, \gamma, P_{\max}, p, Q) \\ & 0,04 \leq \gamma \leq 0,02 \\ & 10 \leq P_{\max} \leq 50 \\ & 0,75 \leq p \leq 0,95 \\ & 05 \leq Q \leq 0,9 \\ & \max \end{aligned} \quad (13)$$

Результати розв'язання задачі:  $a = 5,00$   $b = 0,005$   $c = 0,0005$   $d = 0,30$   $\alpha = 0,30$   $\gamma = 0,02$   $P_{\max} = 50,00$   $p = 90,00$   $q = 0,40$

**Задача 4.** Розроблено алгоритм обчислення запасу деревини з врахуванням рубок догляду та поновлення насаджень. Використана енергетична модель запасу насаджень, згідно з якою хід росту запасу деревостану визначається рівнянням у вигляді:

$$x(t) = K - (K - x_0)e^{-b(t-t_0)}, \quad (14)$$

Позначимо буквами  $q_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ) запас деревини, яка видаляється з КЕЗТ внаслідок одного  $i$ -го рубання в момент часу  $t_i$ , та буквою  $w_k$   $k$ -го поновлювання насаджень в момент часу  $t_k$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ). Запишемо формули, які покладемо в основу алгоритму обчислення запасу насадження для будь-якого моменту часу. Нехай в момент часу  $t = t_1$  здійснюються рубки, внаслідок яких видаляється  $q_1$  запасу насадження. Тоді при  $t_2 > t_1$  запас насадження розраховується за формулою:

$$x_{q_1}(t_2) = K - (K - x_{q_1}(t_1))e^{-b(t_2-t_1)}, \quad (15)$$

де  $x_{q_1}(t_1)$  – запас насадження після першого рубання при  $t = t_1$ .

Зауважимо, що  $x_{q_1}(t_1) = x(t_1) - q_1$ . Після поновлення на запас насадження  $w_1$  в момент часу  $t_2$  запас насадження в момент часу  $t = t_a$  підраховується за формулою:

$$x_{q_1 w_1}(t_3) = K - (K - x_{q_1}(t_1))e^{-b(t_2-t_1)} + w_1 \quad (16)$$

Формули (15), (16) покладені в основу алгоритму розрахунку запасу насаджень в будь-який період часу. Одержані результати подані таблицею.

Таблиця 1 – Обчислення маси деревостану

$k$	$t$ рік	$b$	$K$ ТОНН	$q_k$ ТОНН	$w_k$ , ТОНН	$x(t_k)$ , ТОНН	$x_{qk}(t_k)$ ТОНН	$x_{qk}(t_{k+1})$ ТОНН	$x_{qkwk}(t_{2k+3})$ ТОНН
0	1	1	1000	-	-	450	450	450	-
1	2	1	1000	150	0	797,66	647,66	797,66	-
2	3	1	1000	0	100	925,56	925,56	870,38	-
3	4	1	1000	0	0	972,61	972,61	972,61	-
4	5	1	1000	0	0	989,92	989,92	989,92	6,58
5	6	1	1000	100	0	996,29	896,29	996,29	-
6	7	1	1000	0	90	996,29	998,63	961,84	6,52
7	8	1	1000	0	0	999,49	999,49	999,49	-
8	9	1	1000	0	0	999,81	999,81	999,81	7,10
9	10	1	1000	0	0	999,93	999,93	999,93	-
10	11	1	1000	230	0	999,97	769,97	999,97	-
11	12	1	1000	0	170	999,99	999,99	915,37	-
12	13	1	1000	0	0	999,996	999,99	999,99	-
13	14	1	1000	0	0	999,998	999,99	999,99	-
14	15	1	1000	320	0	999,999	679,99	999,99	-

Розв'язки задач 1-4 дозволяють оцінювати масу листя дерева за допомогою застосування аллометричних функцій, тобто, використання рівняння:

$$M_{fr} = \alpha D_{1,3}^b \quad (17)$$

де  $M_{fr}$  – маса фракції фітомаси;  $D_{1,3}$  – середній діаметр дерева на висоті 1,3 м.

Розв'язані задачі дозволяють розраховувати процес утворення фітомаси в таких межах, які забезпечують фотосинтез достатній для росту та оптимального функціонування КЕЗТ. Для цього достатньо застосувати методи розрахунку росту і продуктивності насаджень на основі зміни ваги і площі асиміляційного апарату за певний проміжок часу.

Введено ймовірнісну комплексну оцінку стану ґрунту КЕЗТ на основі рівномірної шкали якості та калібрування функцій показника стану (таблиця 3).

Розглянемо узагальнення теореми додавання на випадок відгуків на  $n$  видів впливів  $A_k$ , при яких оцінки стану одержані у вигляді  $p$  ( $A_{jk}$ ). Узагальнена оцінка стану при зазначеному підході має вигляд:

$$P\left(\sum_{k=1}^n A_k\right) = \sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} \sum_{1 \leq j_1 \leq j_2 \leq \dots \leq j_k \leq n} P(A_{j_1} \cap A_{j_2} \dots \cap A_{j_k}) \quad (18)$$

Таким способом можна отримати єдину, комплексну оцінку стану ґрунту на шкалі станів 0 – 1 при будь-якому числі її відгуків на незалежні впливи.

Перевагою цього підходу обчислення забруднення за формулою (17) є те, що за наявності декількох видів впливів і відповідних їм індивідуальних показників стану, результуючий показник стану ґрунту завжди більший від

найбільшого. Зауважимо, що цей висновок зроблений в рамках припущення про адитивність впливів.

Функція показника стану  $p = p(R)$  для простоти вибирається у вигляді

$$p = \gamma e^{\left(\frac{\alpha}{R}\right)}, (\alpha \geq 0, \gamma = \text{const}, \gamma \geq 1), \quad (19)$$

де  $R$  відгук на вплив  $c$ :

$$R = R(c) \quad (20)$$

Таблиця 2 – Категорії якості ґрунту на основі оцінки їх стану при виборі п'ятибальної рівномірної шкали

$p$	Категорія	Навантаження	Стан ґрунту
1	2	3	4
$0 \leq p < 0,25$	I	Нище порогової	Фоновий
$0,25 \leq p < 0,5$	II	Вище порогової	Перехідний
$0,5 \leq p < 0,75$	III	Вище порогової	Перехідний
$0,75 \leq p < 1$	IV	Вище порогової	Перехідний
$p = 1$	V	Надмірне	Порушений

Система математичних моделей та розроблене на їх основі нормативно-інформаційне забезпечення для оцінювання компонентів фітомаси захисних насаджень вирішують проблему комплексного обліку КЕЗТ. Розглянуті моделі є теоретико-аналітичною основою для встановлення екологічного та енергетичного потенціалу КЕЗТ та суттєво доповнюють чинну базу нормативно-інформаційного забезпечення таксації КЕЗТ Львівської залізниці.

**У четвертому розділі** уточнено показники якості функціонування (захисна ефективність) КЕЗТ за наступними показниками: фітоценотична та паридимічна структури; функції геохімічного бар'єру, розподілу техногенних радіонуклідів, екрануючого бар'єру звукових хвиль.

Встановлено закономірності розподілу поллютантів та седиментів в системі «ґрунт – рослина» на ділянці колії Львів – Стрий. Розраховано оптимальну ширину КЕЗТ з урахуванням функції шумозахисних лісових насаджень та розроблено концепцію підбору головних деревних порід для такого типу КЕЗТ.

Здійснено моделювання міграції радіонуклідів в КЕЗТ за середньозваженою питомою активністю та побудовано ранжований ряд по відношенню до нагромадження  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$ : ярус макроміцетів >> лишайниковий ярус > моховий ярус > лісова підстилка > трав'яний ярус > підріст > підлісок > деревостан > мінеральний шар ґрунту.

Розроблено та обґрунтовано конструктивно-екологічну концепцію простого КЕЗТ, як цілісного елементу захисних лісових насаджень, який складається з кількох різних за видовим складом, висотою, фактурою, габітусом і типом рослин, що зростають паралельно, у безпосередній близькості та зливаються в одну структурну одиницю захисту залізничного полотна.

Обґрунтовано застосування кіберфізичної системи (КФС) КЕЗТ, що являє собою складну систему, яка об'єднує обчислення, комунікації та фізичні

процеси. КФС має ієрархічний рівень структури, потоки інформації та систему прямих і зворотних зв'язків і ґрунтується на гіпотезі про те, що зміни у системі зумовлені цими зв'язками. Отримання кінцевого результату – є функцією параметрів окремих блоків системи, якими необхідно керуватися при обґрунтуванні та прийнятті управлінських рішень щодо еколого-економічного розвитку КЕЗТ на ШЗТ. Однією з складових КФС є модуль екологічного аналізу КЕЗТ.



Рисунок 4 – Модуль екологічного аналізу КЕЗТ

Програми складені для розв'язування задач, які сформульовані у розділі 3 можуть бути використані в цьому модулі.

Встановлено, що у контексті функціонування інформаційної системи КЕЗТ необхідне поєднання пасивних і активних форм діяльності: у полідомінантних природних екотонах – сприяння процесам самовідновлення (сильватизації деревостанів); в умовно природних екотонах – переформування похідних фітоценозів у наближені за видовим складом і структурою до природних, відновлення різноманітності, забезпечення можливості здійснення процесів самовідновлення.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконаних у цій роботі досліджень, спрямованих на розв'язання актуальної науково-практичної задачі вдосконалення нормативно-технічного забезпечення якості функціонування КЕЗТ на шляхах залізничного транспорту, отримано такі наукові та практичні результати:

1. Розроблено схему узагальнених підходів щодо підвищення якості функціонування КЕЗТ на основі вивчення історії розвитку захисних лісових насаджень на залізниці та аналізу міжнародних стандартів серії *ISO 9001:2015* та *ISO 14001:2015*.

2. Обґрунтовано необхідність конструктивно-екологічної концепції екотонів захисного типу, як одного із найінноваційніших шляхів забезпечення стійкості антропогенно змінених екосистем, зокрема, підвищення їх буферності

за рахунок часткового відтворення лісових біогеоценозів, які є невід'ємною складовою природних ландшафтів, а також уведення консорцій таких екотонів в інтразональні для них плакорні лісотипологічні умови, що дозволить забезпечити екологічну безпеку на шляхах залізничного транспорту використовуючи виключно природні механізми захисту навколишнього природного середовища. Вивчено просторову структуру КЕЗТ за фронтальною будовою лісосмуги в залісненому стані, з метою визначення аеродинамічних властивостей таких захисних лісових насаджень з позиції інженерної споруди.

Визначено вертикальну і горизонтальну структуру КЕЗТ та обґрунтовано доцільність такого підходу для встановлення екологічного та енергетичного потенціалу захисних лісових насаджень вздовж залізничних шляхів.

3. Запропоновано схему узагальнених заходів організації щодо підвищення якості функціонування КЕЗТ, необхідних для виконання положень *ISO 14001*, яка базується на моделі «Планування – Впровадження – Контроль – Удосконалення», та спрямована на досягнення постійного поліпшення. Вона складається з обов'язкових елементів згідно вимог стандарту *ISO 14001*.

4. Наведено шляхи підвищення якості КЕЗТ та методології оцінювання їх якості, яка сприяє встановленню причинно-наслідкових зв'язків у регулюванні якості КЕЗТ.

5. Запропоновано структуру комплексного показника життєздатності КЕЗТ: комплексним показником життєздатності КЕЗТ є вектор, компонентами якого є часткові показники КЕЗТ:  $H_1$  – індекс стану КЕЗТ;  $H_2$  – індекс структурного різноманіття КЕЗТ;  $H_3$  – еквівалентний рівень звуку в КЕЗТ внаслідок руху транспорту на шляхах залізничного транспорту;  $H_4$  – концентрація солей металів в КЕЗТ;  $H_5$  – рівень радіаційного випромінювання

6. Запропоновано досліджувати КЕЗТ за допомогою компартментального аналізу, при цьому ступінь керованості КЕЗТ за допомогою системи блоків-компаратментів залежить, у першу чергу, від вибраних критеріїв оптимізації. Система критеріїв і субкритеріїв виявляє мету будь-якого блоку в системі моделей та основні стратегічні критерії, через які досягається кінцева мета управлінського процесу.

Чисельним виразом пропонованого підходу є визначення *Eco*-індикатора КЕЗТ, як замкненої системи матеріальних потоків, відображених у дереві процесів. *Eco*-індикатор дозволяє прийняти одну оцінку для всієї системи, враховуючи вхідні та вихідні потоки, а також природно-кліматичні умови – так званий екологічний індекс. Це сума всіх окремих *eco*-точок або часткових індексів для всіх процесів, що мають місце в системі.

7. Визначено систему математичних моделей та розроблено на їх основі нормативно-інформаційне забезпечення для оцінювання компонентів фітомаси захисних насаджень, що вирішують проблему комплексного обліку КЕЗТ. Розглянуті моделі є теоретико-аналітичною основою для встановлення екологічного та енергетичного потенціалу КЕЗТ. Запропоновані математичні моделі для оцінювання фітомаси мають важливе прикладне і практичне значення та вирішують проблему комплексного обліку росту КЕЗТ запропонованого складу.

Введено ймовірнісну комплексну оцінку стану ґрунту на основі рівномірної шкали якості та калібрування функцій показника стану. Застосована універсальна ймовірнісна шкала визначення рівня забруднення ґрунтів КЕЗТ в залежності від забруднення полутантами та седиментами за аналогією визначення рівнів забруднення ґрунтів за Макаровим.

8. Запропоновано концепцію інформаційної системи КЕЗТ з метою автоматизації процесу управління їх якістю, що базується на наступних принципах: застосування не тільки методів математичної статистики, а й інформації про механізми реакції екотонів на зовнішній вплив; встановлення впливу взаємозв'язків різних параметрів; вивчення періодичності часової і просторової мінливості аналізованих параметрів у консорціях; отримання можливості роздільної оцінки кількісних параметрів розвитку природних і антропогенних процесів в консорціях і прогнозування тенденцій в екотонах при сукупному впливі біотичних і абіотичних факторів; визначення оптимальної кількості натурних вимірювань одного параметра в екотоні і рівня точності інструментальних засобів екосистемного моніторингу.

Запропонований підхід враховує властивості природних комплексів: багатозв'язковість, стійкість, комутативності, адитивність, інваріантність, а також множинну кореляцію компонентів природи. Отримання кінцевого результату – є функцією параметрів окремих блоків системи, якими необхідно керуватися при обґрунтуванні та прийнятті управлінських рішень щодо еколого-економічного розвитку КЕЗТ на шляхах залізничного транспорту.

## **СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Руда М.В. Еколого-географічний аналіз залізничного транспорту Львівської області / Н.Г. Лук'янчук, М.В. Руда // Науковий вісник НЛТУУ: Збірник науково-технічних праць: «Урбанізаційні процеси в гірських ландшафтах і шляхи їх регулювання». – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2011, вип. 21.16. – С.284-288.
2. Руда М.В. Экологические исследования защитных лесонасаждений Львовской железной дороги / Н.Г. Лук'янчук, М.В. Руда // Материали міжнародної конференції «Современные проблемы лесного хозяйства и лесостроительства»: ноябрь 2012 г. Новости Международного центра лесного хозяйства и лесной промышленности Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета / за ред. М.А.Чубинского – Том 1, номер 15. – С. 154-157. – ISBN 978-5-9239-0518-2.
3. Руда М.В. Сучасні еколого-економічні проблеми транспортування небезпечних вантажів Львівською залізницею / І.А. Дубовіч, М.В. Руда // Науковий вісник: Збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.9. – С. 66-71.
4. Руда М.В. Радіаційна безпека та протирадіаційні заходи у зоні відведення залізниці / Н.Г. Лук'янчук, М.В. Руда // Збірник статей учасників VII



- Всеукраїнської науково-практичної конференції: «Охорона навколишнього середовища промислових регіонів, як умова сталого розвитку України». Запоріжжя: Видавництво, 2012. – С. 235-236.
5. Руда М.В. Аналіз результатів дослідження стану та функціонування захисних лісонасаджень вздовж залізниці / Н.Г. Лук'янчук, М.В. Руда // Науковий вісник: Збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.11. – С. 110-117.
  6. Руда М.В. Повышение устойчивости к неблагоприятным абиотическим факторам среды лесозащитных насаждений Львовской железной дороги / Н.Г. Лук'янчук, М.М. Паславський, М.В. Руда // Современное состояние и перспективы охраны и защиты лесов в системе устойчивого развития, 9-11 октября 2013 года: материалы международной научно-практической конференции – Институт леса НАН Беларуси, 2013 г. – С. 240-245. – ISBN 978-985-6768-26-5
  7. Руда М.В. Оценка экологической безопасности и учет эколого-техногенных рисков на путях железнодорожного транспорта Львовской железной дороги / М.В. Руда // Экология и безопасность жизнедеятельности: сборник статей XIV международной научно-практической конференции – МНИЦ ПГСХА. – Пенза: РИО ПГХА, 2014 г. – С. 110-114.
  8. Руда М.В. Зниження шумового впливу залізничного транспорту за допомогою лісонасаджень / М.В. Руда, Н.Г. Лук'янчук // Праці Наукового товариства ім. Шевченка. Екологічний збірник «Сучасні проблеми дослідження та збереження біорізноманіття». – 2014 – Том XXXIX – С. 294-299 – ISSN 1563-3950.
  9. Руда М.В. Эколого-экономические аспекты использования альтернативных источников энергии в энергоснабжении / Н.Г. Лук'янчук, М.В. Руда // Альтернативные источники сырья и топлива: сб. науч.тр. / Нац. акад. наук. Беларуси, Ин-т химии и топлива материалов; науч. ред. В.Е. Агабеков, К.Л. Гусаков, Ж.В. Игнатович. – Минск: Беларуская навука, 2014. – Вып. 1. С. 270-279 – ISBN 978-985-08-1728-0.
  10. Руда М.В. Эколого-экономические аспекты использования альтернативных источников энергии в энергоснабжении / Н.Г. Лук'янчук, М.В. Руда // Альтернативные источники сырья и топлива: сб. науч.тр. / Нац. акад. наук. Беларуси, Ин-т химии и топлива материалов; науч. ред. В.Е. Агабеков, К.Л. Гусаков, Ж.В. Игнатович. – Минск: Беларуская навука, 2014. – Вып. 1. – С. 270-279. – ISBN 978-985-08-1728-0.
  11. Руда М.В. Закономірності розподілу есенціальних хімічних елементів у мезоекосистемі Дністровського Передкарпаття // М.М. Паславський, М.В. Руда // Науковий вісник: Збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.8. – С. 131-135. – ISBN 5-7763-2435-1.

12. Руда М.В. Экосистемный принцип мониторинга и контроля качества консорции экотонів защитного типа (на примере Львовской железной дороги) / М.В. Руда // Сборник научных трудов молодых ученых, аспирантов, студентов и преподавателей по результатам проведения Шестого молодежного Конгресса «Северная Пальмира», 3-4 декабря 2014 г., Санкт-Петербург. – СПб НИЦЭБРАН, 2015 г. – С. 62-66.
13. Руда М.В. Структура та алгоритм управління консорцією екотонів захисного типу для забезпечення екологічної безпеки на шляхах залізничного транспорту / М.В. Руда // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи», – Львів: ЛДУ БЖД, 2015. – С. 355-357.
14. Ruda M. Consortiums of ecotones of protective type to ensure the environmental safety on railway lines / V. Pohrebennyk, M. Ruda, M. Paslavskyi // New trends in the ecological and biological research: International scientific conference: book of abstracts University of Prešov, Slovak republic – 9. – 11. September, 2015 – P. – 60 – ISBN 978-80-555-1354-6.
15. Руда М.В. Реализация концепции консорции экотонів защитного типа в обеспечении устойчивого развития на путях железнодорожного транспорта / М.В. Руда, Н.Г. Лукьянчук // Сборник материалов III Молодежного Экологического Форума [Электронный ресурс – режим доступа <http://science.kuzstu.ru/event/event-reports/forum/>] / Под ред.: Т.В. Галанина, М.И. Баумгартон – Кемерово: КузГТУ, 2015. – ISBN 978-5-906805-20-1.
16. Руда М.В. Техногенно-екологічне обґрунтування екосистемного принципу моніторингу консорцій екотонів захисного типу на шляхах залізничного транспорту / М.В. Руда // Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки: збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції / Національний університет цивільного захисту України. – Х: НУЦЗУ, 2015 – С. – 231-233 (276 с.).
17. Ruda M. Spase-fundional role of consortiums of ecotones of protective type to ensure the environmental safety on railway lines / M. Ruda, V. Pohrebennyk // V Міжнародний молодіжний науковий форум «Litteris et Artibus» / Матеріали. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM) – с. 464-465. ISBN 978-617-607-856-2.
18. Ruda M. Consortiums of ecotones of protective type to ensure the environmental safety on railway lines / Volodymyr Pohrebennyk, Maria Ruda, Mykhaylo Paslavskyi, Ivan Solomon // Acta facultatis studiorum humanitatis et naturae Universitatis Presoviensis. Natural sciences. Biology-ecology. Volume XLIII. Presov, Slovak Republik. 2016. p. 172-181.
19. Руда М.В. Антропогенна трансформація властивостей екотонів захисного типу на шляхах залізничного транспорту / А.Ф. Обшта, І.Й.

- Сорока, М.В. Руда // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2016. – Вип. 77. – С. 165-177.
20. Руда М.В. Modeling of Cyber Physical Systems for Quality Monitoring of Protective Consortive Ecotones / А.Ф. Обшта, М.В. Руда, І.Й. Сорока // Innovation in the development of socio-economic systems: microeconomic, macroeconomic and mesoeconomic levels. – Collective monograph. – Vol. 3. Kaunas, Lithuania: «Izdevnieciba «Baltija Publishing», 2016. – 348 p.
21. Пат. UA 111249 С2. Спосіб фіторизоремедіації девастрованих ґрунтів / Оліферчук В.П., Паславський М.М., Руда М.В.; заявник і власник Державний вищий навчальний заклад «Національний лісотехнічний університет України» – № а 2014 06794; заявл. 16.06.2014; опубл. 11.04.2016, Бюл. № 7.
22. Пат. UA 111392 С2. Спосіб сільватизації корінних деревостанів / Оліферчук В.П., Паславський М.М., Руда М.В.; заявник і власник Державний вищий навчальний заклад «Національний лісотехнічний університет України» – № а 2014 06774; заявл. 16.06.2014; опубл. 25.04.2016, Бюл. № 8.
23. Пат. UA 111393 С2. Спосіб ризоремедіації девастрованих земель / Оліферчук В.П., Паславський М.М., Руда М.В.; заявник і власник Державний вищий навчальний заклад «Національний лісотехнічний університет України» – № а 2014 06776; заявл. 16.06.2014; опубл. 25.04.2016, Бюл. № 8.
24. Maria Ruda Protective Consortive Ecotones and the Quality of their Functioning / Anatoliy Obshta, Maria Ruda, Iryna Soroka // 14th International Conference the Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM): Proceedings – Polyana, Svalyava, (Zakarpattya), Ukraine, February 21-25, 2017 – С. 314-318.
25. Руда М.В. Моделювання системи менеджменту функціонування консорцій екотонів захисного типу на шляхах залізничного транспорту / А.Ф. Обшта, М.В. Руда, І.Й. Сорока // Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи: тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції пам'яті професора Петра Столярчука, 11–12 травня 2017 року / відп. за вип. М. М. Микийчук. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. – С. 113-115 (240 с). ISBN 978-966-941-044-3.

## АНОТАЦІЯ

**Руда М.В. Удосконалення нормативно-технічного забезпечення функціонування консорційних екотонів захисного типу. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення. Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Львів, 2017.

Дисертація присвячена удосконаленню нормативно-технічного забезпечення процесу функціонування консорційних екотонів захисного типу (тут і далі КЕЗТ) на шляхах залізничного транспорту. Визначено поняття «якість КЕЗТ» через нормування якості КЕЗТ та на основі стандартів *ISO 9001:2015* та *ISO 14001:2015*, що ґрунтується на дослідженнях підходів до вирішення проблеми росту продуктивності деревостанів. Запропоновано структуру комплексного показника життєздатності КЕЗТ, як вектора, компонентами якого є часткові показники КЕЗТ: індекс стану КЕЗТ; індекс структурного різноманіття КЕЗТ; еквівалентний рівень звуку в КЕЗТ внаслідок руху транспорту на шляхах залізничного транспорту; концентрація солей металів в КЕЗТ; рівень радіаційного випромінювання. Запропоновано досліджувати КЕЗТ за допомогою компартментального аналізу, при цьому ступінь керованості КЕЗТ за допомогою системи блоків-компартментів залежить, у першу чергу, від вибраних критеріїв оптимізації. Розроблено метод багатфакторного централізованого регулювання якості функціонування КЕЗТ, який базується на оцінюванні ходу росту КЕЗТ з врахуванням рубок догляду та поновлення насаджень. Уточнено показники якості процесу функціонування КЕЗТ на основі проведених експериментальних досліджень і сформульовано критерії їх градації, в основу яких покладено результати їх оцінювання з врахуванням основних фізико-хімічних параметрів, що дає можливість об'єктивніше класифікувати КЕЗТ та нормувати їх характеристики. Розроблено конструктивно-екологічну концепцію КЕЗТ заданої структури, що проектується, як цілісний елемент захисних лісових насаджень захисного типу, який складається з кількох різних за видовим складом, висотою, фактурою, габітусом і типом рослин, що зростають паралельно, у безпосередній близькості та зливаються в одну структурну одиницю захисту залізничного полотна. Запропонована концепція кіберфізичної системи процесу функціонування КЕЗТ на шляхах залізничного транспорту, що дозволить підвищити: рівень адекватності його інформаційної моделі дійсному екологічному стану на шляхах залізничного транспорту; оперативність отримання та достовірність первинних даних про якість КЕЗТ на залізниці; рівень і якість інформаційного обслуговування споживачів екоінформацією на основі мережевого доступу до баз даних.

**Ключові слова:** консорційні екотони захисного типу, захисні лісові насадження, моделювання ходу росту насаджень, кіберфізична система, екологічне нормування, багатокритеріальна оцінка якості.

## АННОТАЦИЯ

**Руда М.В. Усовершенствование нормативно-технического обеспечения функционирования консорционных экотонов защитного типа. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.01.02 – стандартизация, сертификация и метрологическое обеспечение. Национальный университет «Львівська політехніка», Министерство образования и науки Украины, Львов, 2017.

Диссертация посвящена усовершенствованию нормативно-технического обеспечения процесса функционирования консорционных экотонов защитного типа (КЕЗТ) на путях железнодорожного транспорта. Определено понятие «качество КЕЗТ» через нормирование качества КЕЗТ и на основе стандартов *ISO 9001:2015* и *ISO 14001:2015*, основанный на исследованиях подходов к решению проблемы роста производительности древостоев. Предложена структура комплексного показателя жизнеспособности КЕЗТ, как вектора, компонентами которого являются показатели КЕЗТ: индекс состояния КЕЗТ; индекс структурного многообразия КЕЗТ; эквивалентный уровень звука в КЕЗТ; концентрация солей тяжелых металлов в КЕЗТ; уровень радиационного излучения. Предложено исследовать КЕЗТ с помощью компартментального анализа, при этом уровень управляемости КЕЗТ измерять с помощью системы блоков-компарментов, что зависит от выбранных критериев оптимизации. Разработан метод многофакторного централизованного регулирования качества функционирования КЕЗТ, основанный на оценке хода роста КЕЗТ с учетом рубок ухода и оновления насаждений. Уточнены показатели качества процесса функционирования КЕЗТ на основе проведенных экспериментальных исследований и сформулированы критерии их градации, в основу которых положены результаты их оценки с учетом основных физико-химических параметров, что позволяет объективно классифицировать качество КЕЗТ и нормировать их характеристики. Разработана конструктивно-экологическая концепция КЕЗТ заданной структуры, проектируемая как целостный элемент защитных лесных насаждений защитного типа, который состоит из нескольких различных по видовому составу, высоте фактуры, габитусу и типу растений, растущих параллельно, в непосредственной близости и сливаются в одну структурную единицу защиты железнодорожного полотна. Предложена концепция киберфизической системы процесса функционирования КЕЗТ на путях железнодорожного транспорта, использование которой позволит повысить: уровень адекватности информационной модели действительному экологическому состоянию на путях железнодорожного транспорта; оперативность получения и достоверность первичных данных по качеству КЕЗТ на железной дороге; уровень и качество информационного обслуживания потребителей экоинформации на основе сетевого доступа к базам данных.

**Ключевые слова:** консорционный экотон защитного типа, защитные лесные насаждения, моделирование хода роста насаждений, киберфизическая система, экологическое нормирование, многокритериальная оценка качества.

## ANNOTATION

### **Maria Ruda. Improvement of the regulatory and technical support of functioning of consortive protective ecotones. – Manuscript copyright.**

The thesis for a scientific degree of the Candidate of Technical Sciences by specialty 05.01.02 – Standardization, Certification and Metrological Assurance. Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2017.

The dissertation is devoted to the improvement of the regulatory and technical support of functioning of the consortive protective ecotones (CPE) on the railway transport lines. The concept «quality of CPE» is defined through the standardization of the quality of CPE and on the basis of the standards ISO 9001: 2015 and ISO 14001: 2015, which is based on the study of approaches to solving the problem of productivity increase of forest stands. Proposed is the structure of the complex index of viability of CPE as a vector, the components of which are partial indicators of CPE: index of CPE condition; index of structural varieties of CPE; the equivalent level of noise in CPE due to the movement of trains on the railway lines; concentration of metal salts in CPE; the level of radiation. It is proposed to investigate CPE with the help of a compartmental analysis, in this case, the degree of controllability and observability of CPE, using the system of block-compartments, depends, primarily, on the selected optimization criteria. The method of multifactorial centralized regulation of the quality of CPE functioning has been developed, which is based on the assessment of the growth rate of CPE taking into account improvement cutting and the plantation renewal. The quality indexes of CPE functioning on the basis of the conducted experimental studies are specified and the criteria of their gradation are formulated, based on the results of their evaluation taking into account the basic physical and chemical parameters, which makes it possible to more objectively classify the quality of CPEs and normalize their characteristics. The constructive-ecological concept of the CPE has been developed, the structure of which is designed as an integral element of forest plantations of protective type which consist of several plant species different in height, texture, habit, and which grow in parallel, in close proximity, merging into one structural unit to protect the environment from railway lines. The concept of the cyberphysical system of CPE functioning on the railway lines is proposed, which will allow increasing: (1) the level of adequacy of the actual environmental state on the railway transport lines to its information model; (2) efficiency of obtaining and authenticity of primary data on the quality of CPE on the railway; (3) the level and quality of information services for consumers of eco-information on the basis of network access to databases.

**Key words:** consortive protective ecotones, protective forest plantations, plantation growth modeling, cyberphysical system, ecological regulation, multicriteria quality estimation.