

2. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
3. Перхач В. С. Математичні задачі електроенергетики / В.С. Перхач // Видання 2-е, перероб. і доповн. – Л.: Вища школа, 1982. – 380 с.
4. Архангельский Я. А.. Программирование в Delphi 7 / Я. А. Архангельский. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2004. – 1152 с.: ил.
5. Правила устройства электроустановок. – Х.: Издательство «ИНДУСТРИЯ», 2007. – 416 с.

*В.И. Гудым, д.т.н., проф., О.М. Коваль, А.Я. Постолок*

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ БЫТОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В работе сформировано динамическую математическую модель разветвленной электрической цепи социально-бытовых помещений на основе контурных токов с использованием неявного метода формул дифференцирования назад, которая позволяет моделировать электротепловые процессы, обусловлены динамической нагрузкой сети.

**Ключевые слова:** математическая модель, электротепловые процессы, бытовые электрические сети

*V.I. Hudym, Doctor of Science (Engineering), Professor, O.M. Koval, A.Ya. Postolyuk.*

## MATHEMATICAL MODEL OF ELECTROTHERMAL PROCESSES OF DOMESTIC POWER NETWORKS

In the article a dynamic mathematical model of parallel electric circuit of social and amenity rooms on the basis of loop currents using method of differentiation formulas back is formed. It gives a possibility to model electrical and thermal processes specified by dynamic network load.

**Key words:** Mathematical model, electro-thermal processes, domestic electric networks.

УДК 681.3:551.568.85:539.3

*В.М. Юзевич, д.ф.-м.н., проф. (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності), П.М. Сопрунок, д.т.н., проф., Я.Є. Підгірняк, к.т.н., н.с. (Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України)*

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЕЛЕМЕНТИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІН ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ОЗЕРА

Подано математичну модель екосистеми озера, в основі якої комплексний показник якості, що характеризує природоохоронну та господарську діяльність. Систематизовано процедуру прогнозування змін параметрів екологічного стану озера з урахуванням елементів теорії ризиків.

**Ключові слова:** екологія, озерні системи, комплексний показник якості, ризики, прогнозування.

В навколишньому природному середовищі (довкіллі) закритої водойми (озера) можна (у першому наближенні) виділити такі складові, як літосфера, гідросфера, атмосфера, біосфера. У кожному конкретному випадку всі ці складові взаємодіють між собою і важлива роль в

таких взаємодіях належить людині. Дія людини на довкілля проявляється або в створенні забруднень, або в спробах ліквідувати наслідки забруднень.

При розгляді екологічної безпеки підприємств, територій зазвичай виділяють постійний ризик і аварійний ризик. Постійний ризик породжується тим, що підприємство викидає в атмосферу, скидає у водне середовище і на ґрунт відходи своєї життєдіяльності. Постійний ризик визначається використовуваною технологією і не може бути істотно змінений. Від нього можна позбутись, тільки переставши застосовувати технологію, тобто закривши підприємство чи змінивши устаткування. Така радикальні технологічні дії вельми бажані, але маловірогідні.

В результаті викидів шкідливих речовин в атмосферу, скидання їх у поверхневі та підземні води, на ґрунт може бути заподіяна шкода довкіллю, здоров'ю людей, порушена нормальна життєдіяльність тварин і рослин. Проте викиди і скидання шкідливих речовин не ведуть однозначно до відчутної шкоди, що може створювати помилкове враження їх нешкідливості. Постійний ризик – це важлива проблема і небажана реальність. Породжувана ним шкода (іншими словами, збиток) в багатьох випадках характеризується невизначеністю, яку не просто оцінити і прогнозувати. Для контролю такої невизначеності в околі озер і відповідного ризику слід використовувати методи математичного моделювання.

Об'єкт дослідження – водна система (озеро), яка піддається антропогенним діям. Розглядаємо ризик для цієї системи як ймовірність появи несприятливої події [1].

З погляду на не вирішені раніше частини загальної проблеми потрібно виділити методичку, яка дозволяє впорядкувати еколого-економічні показники і з їх допомогою провести прогноз і оцінити характеристики ризику водної системи. В результаті слід постійно впроваджувати в господарську діяльність нові прогресивні технічні рішення, які спрямовані на зменшення та ліквідацію небажаних незворотніх змін, руйнувань і забруднень довкілля та, відповідно, на зменшення платежів і штрафів за лімітне й позалімітне забруднення.

Виходячи зі світового досвіду основними інструментами покращення екологічної обстановки є розроблені і впроваджені у господарську діяльність еколого-економічні показники та критерії розвитку природоохоронної діяльності господарських комплексів, а також умови нормування стану довкілля. В рамках даної праці розглянемо тільки частину засобів природоохоронної діяльності, завданням яких є удосконалення набору еколого-економічних показників та розробка критеріїв захисту довкілля від негативних техногенних і антропогенних впливів з використанням результатів досліджень екологічної лабораторії.

Застосування системи еколого-економічних показників та критеріїв розвитку природоохоронної діяльності у заповідних територіях допоможе ідентифікувати зв'язок між наслідками природоохоронної діяльності і станом деяких складових довкілля (вода, повітря тощо).

Еколого-економічні показники ефективності розвитку природоохоронної діяльності побудуємо аналогічно як у праці [3]:

1. Показник екологічності виробництва (комплексу господарської діяльності (КГД)).

Цей показник  $P_{ev}$  характеризує загальну кількість відходів, викидів забруднюючих речовин і парникових газів (в перерахунку на  $CO_2$ ) за  $i$ -й період часу по всьому комплексу господарської діяльності (КГД) в околі озера.

$$P_{ev} = \sum_{j=1}^n V_j / \sum_{j=1}^n \Omega_j \Rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $n$  – загальна кількість джерел забруднення по всьому КГД;  $\sum_{j=1}^n V_j$  – загальна маса відходів і забруднюючих речовин (в перерахунку на ефективну масу, виражену в кілограмах), а також парникових газів по всьому КГД за  $i$ -й період часу;  $\sum_{j=1}^n \Omega_j$  – екологічно допустима кількість

відходів, викидів забруднюючих речовин, парникових газів по всьому КГД в околі озера за  $i$ -й період часу.

2. Показник питомого рівня платежів і штрафів за забруднення. Цей показник  $P_{np}$  визначає питому норму платежів і штрафів за забруднення навколишнього природного середовища:

$$P_{np} = \sum_{j=1}^n Z_j / \sum_{j=1}^n W_j \Rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $\sum_{j=1}^n Z_j$  – загальна сума платежів і штрафів за лімітне й позалімітне забруднення водної системи (озера та сусіднього довкілля), що припадає на  $i$ -й період часу по усьому КГД;

$\sum_{j=1}^n W_j$  – загальний фінансовий баланс виробництва продукції і надання послуг населенню (з врахуванням відпочиваючих) за  $i$ -й період часу по всьому КГД.

Критеріями для показників  $P_{ev}$ ,  $P_{np}$  можуть бути їх мінімальні значення  $P_{evmin}$ ,  $P_{nppmin}$  за  $i$ -й період часу.

3. Коефіцієнт використання відходів як вторинної сировини у виробництві:

$$P_{vs} = \sum_{j=1}^n S_j / \sum_{j=1}^n W_j \Rightarrow \max. \quad (3)$$

Тут  $\sum_{j=1}^n S_j$  – загальна вартість перероблених промислових відходів як вторинної сировини за  $i$ -й період часу по всьому КГД.

Використання відходів у виробництві дозволяє скоротити потреби в природних мінеральних ресурсах. Критерієм показника  $P_{vs}$  буде його максимальне значення за  $i$ -й період часу.

4. Приведений показник фінансових витрат на функціонування екологічної лабораторії протягом заданого періоду:

$$P_{fv} = \sum_{j=1}^n F_j / \sum_{j=1}^n W_j \Rightarrow opt. \quad (4)$$

Тут  $\sum_{j=1}^n F_j$  – загальний обсяг фінансування матеріальної бази і дослідних заходів екологічної лабораторії в акваторії і околі озера за  $i$ -й період часу. Критерієм показника  $P_{fv}$  може бути його оптимальне значення ( $opt$ ) за  $i$ -й період часу.

В цьому напрямку досліджень запропоновано рекомендації щодо сертифікації (на основі серії міжнародних стандартів ISO 14000 і ISO/IEC 17025 [4,5]) лабораторії екологічного моніторингу Шацького національного природного парку (ШНПП) і при цьому враховано систему визначальних приладів, основні параметри, що характеризують водну систему озер ШНПП і довкілля, а також елементи імітаційної математичної моделі [6], яка описує гідрохімічний і водний режими в акваторії озер ШНПП.

В процесі вимірювань параметрів, які характеризують водну систему ШНПП і довкілля, можуть виникати невідповідності. Оброблення невідповідностей (чи корегувальна дія) – це дія, призначена для корегування констатованого відхилення між отриманим результатом та очікуваним, чи попередньо визначеним результатом [5]. Цикл життя елементу системи якості (СЯ) "Корегувальні дії" буде перетинатися з циклами життя "Внутрішні аудити" та "Аналіз з боку керівництва" і охоплювати всі елементи СЯ. Впровадження стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025 дозволить визначити необхідну кількість документів (інструкцій, методик і процедур) для забезпечення функціонування СЯ екологічної лабораторії.

5. Розглянемо приведений показник екологічних витрат, що відповідає корпоративному менеджменту господарської та природоохоронної діяльності по КГД:

$$P_{km} = \sum_{j=1}^n \Psi_j / \sum_{j=1}^n W_j \Rightarrow opt \cdot \quad (5)$$

Тут  $\sum_{j=1}^n \Psi_j$  – загальний обсяг фінансування природоохоронних заходів за  $i$ -й період часу по усьому КГД. Критерієм показника  $P_{km}$  може бути його оптимальне значення за  $i$ -й період часу.

Передова практика корпоративного менеджменту узагальнена в ряді відповідних міжнародних стандартів: ISO 9001 на систему менеджменту якості, ISO 14001 на систему екологічного менеджменту, OHSAS 18001 на систему менеджменту професійної безпеки і здоров'я, SA 8000 на систему менеджменту соціальної відповідальності.

З урахуванням вимог вище перелічених стандартів і стратегії розвитку господарської діяльності в околі озера (наприклад, озера Світязь ШНПП) будують сучасну інтегровану систему менеджменту (ICM) підприємств і закладів (які функціонують поблизу озера), орієнтовану на концепцію стійкого розвитку.

Запропоновані еколого-економічні показники (1)–(5) можуть застосовуватись для регулювання природоохоронної діяльності комплексів господарської діяльності та нормування стану довкілля озера в процесі функціонування та розвитку цих комплексів.

Основне співвідношення оцінки комплексного показника якості для КГД в околі озера формулюється на основі методу середнього арифметичного і має вигляд [7]:

$$K_o = \sum_{i=1}^m M_i \cdot K_i, \quad (6)$$

де  $M_i$  – коефіцієнт вагомості  $i$ -го показника ( $i = 1, 2, 3, 4, 5$ ;  $m = 5$ );  $K_i$  – оцінка  $i$ -го показника ( $K_1 = P_{ev}$ ;  $K_2 = P_{np}$ ;  $K_3 = P_{vs}$ ;  $K_4 = P_{fv}$ ;  $K_5 = P_{km}$ ). Оскільки для складових  $K_i$  виконуються умови (1)–(5), то фактично  $K_o$  є функцією компромісу (функцією відгуку).

Згідно з основними принципами кваліметрії [7]:

$$\sum_{i=1}^m M_i = 1 \quad (7)$$

Не дивлячись на деяку обмеженість, середньоарифметичний комплексний показник  $K_o$  має достатньо широке застосування в практиці [7]. Ним можна користуватися, оскільки складові  $K_i$  безрозмірні.

Розглянемо загальний випадок, коли дослідження функції відгуку  $K_o$  відбувається при неповних інформації і поданні механізму досліджуваних явищ. Очевидно, що тоді аналітичне вираження функції відгуку невідоме. Тому обмежимося представленням функції відгуку поліномом відносно параметрів.

Для попередніх оцінок коефіцієнтів моделі (6) використовується, звичайно, метод найменших квадратів. Правомірність застосування методу найменших квадратів впливає з того, що рівняння (6), будучи фактично нелінійним, є лінійним відносно коефіцієнтів поліноміальної моделі.

Стійкість гідрохімічних та гідрофізичних параметрів, які задовольняють (6), залежить, у першу чергу, від властивостей відповідної інформаційної матриці. Принцип побудови, методика й властивості інформаційної матриці та матричного рівняння, яке відповідає (6), описані у праці [8]. Його вигляд:

$$[K] = [R^* R]^d [R^*] [N]. \quad (8)$$

Тут  $[K]$  – вектор коефіцієнтів поліноміальної моделі;  $[R]$  – матриця результатів обчислювального експерименту;  $[R^* R]^d$  – інформаційна матриця (символ  $(^*)$  означає транспонування матриці  $[R]$ );  $[N]$  – вектор значень функції відгуку, отриманих на основі експерименту, а також обчислювального експерименту;  $[D] = [R^* R]^d$  – дисперсійна матриця.

Алгоритм і програма генерації інформаційної матриці наведені у праці [9].

Кількісну оцінку властивостей інформаційної матриці можна одержати за допомогою критеріїв оптимальності. Для розв'язання поставленої задачі скористаємося двома критеріями:  $D$ - і  $G$ - оптимальності [10].

З допомогою критерію  $D$ -оптимальності формуємо розрахункову математичну модель, що володіє добрими прогностичними (інтерполяційними) властивостями. На основі критерію  $G$ -оптимальності досягаємо найменшої величини максимальної дисперсії оцінки залежної змінної у досліджуваній області факторного простору. Критерій  $G$ -оптимальності вимагає максимальної точності оцінки залежної змінної, тобто застосування  $G$ -оптимального підходу дає експериментатору деяку гарантію, що в області визначення досліджуваних функціональних залежностей не виявиться зон, у яких точність оцінки функції компромісу  $K_o$  занадто низька.

Критерії  $D$ - і  $G$ - оптимальності еквівалентні між собою [10]. При цьому для довільної точки факторного простору точність прогнозу залежить від матриці  $[D]$ . Оскільки результати аналізу екологічного стану належать до пасивного експерименту, то для оцінки прогностичних властивостей моделі (6) незалежно від результатів експерименту може бути використане поняття міри точності.

Показник  $K_o$  використаємо для прогнозування екологічної ситуації засобами індуктивного методу самоорганізації складних моделей [11].

Нехай  $N$  – загальне число спостережень за екологічними ситуаціями, відображеними набором вхідних параметрів  $K_j$  ( $K_j \equiv K_{oj}$ ,  $j$  – номер року). Відповідно до ідей Геделя синтез моделі прогнозу (при змінах екологічних станів) ґрунтується на зовнішніх критеріях і передбачає розділення експериментальних даних  $K_j$  на дві частини – навчальну  $a$  і перевірочну  $c$  (зокрема,  $K_a^{(j)}$ ,  $K_c^{(j)}$ ).

Для прогнозування залежностей  $K_j = K_j(t)$  ( $t$  – час) використовують критерій мінімуму зміщення  $n_d$  і критерій балансу  $B$  [11]:

$$n_d^2 = \frac{2 \sum_{j=1}^N (K_a^{(j)} - K_c^{(j)})^2}{\sum_{j=1}^N (K_a^{(j)})^2 + \sum_{j=1}^N (K_c^{(j)})^2}; \quad B = \frac{1}{T} \sum_{s=1}^{N_z} b_s^2. \quad (9)$$

де  $b_s = \overline{K_s} - \frac{1}{N_1} \sum_{k=1}^{N_1} K_{sk}$ ;  $K_{sk}$  – характеризує комплексний показник якості, що відповідає  $k$ -му

місяцю для  $s$ -го року;  $\overline{K_s}$  – середнє значення показника на протязі тривалого проміжку часу  $T$  (року);  $s = 1, 2, 3, \dots, N_z$  ( $N_z = 11$ );  $k = 1, 2, 3, \dots, N_1$  ( $N_1 = 12$ ).

Для прогнозування змін параметрів екологічного стану озера (і сусіднього довкілля) відповідно до методики побудови регресійних залежностей [12] вибрано поліном:

$$K_s = \overline{K_s} + a_{0s} + a_{1s} \overline{K_s} + a_{2s} \overline{K_k} + a_{3s} (\overline{K_s})^2 + a_{4s} \overline{K_s} \cdot \overline{K_k} + a_{5s} (\overline{K_k})^2. \quad (10)$$

Тут  $\overline{K_s}$  – показник, усереднений по роках;  $\overline{K_k}$  – показник, усереднений протягом останніх 12-ти місяців;  $a_{0s}, a_{1s}, a_{2s}, \dots, a_{5s}$  – числові коефіцієнти, які визначають методом найменших квадратів на основі обробки експериментальних даних.

З використанням комбінаторного алгоритму методу групового врахування аргументів визначається набір поліномів для кожного із 12-ти місяців. Загальне число поліномів для кожного місяця становить  $N_p = 35$  [12].

При реалізації алгоритму прогнозування екологічної ситуації для конкретного місяця використано дані за останні 11 років (1997–2007 рр.) ( $N_z = 11$ ), які подано у праці [13]. Відповідно до методики [11,12] дані розбито на 3 частини: навчальну  $N_a = 5$ ; перевірочну  $N_b = 4$ ; тестову  $N_t = 2$ . Для кожного з дванадцяти місяців генерується  $N_p = 35$  моделей, параметри яких знаходились методом найменших квадратів на множині експериментальних

значень  $N_a = 5$ . Із них на основі критерію мінімуму зміщення  $n_d$  (7) відібрано 5 моделей. Для цих 5-ти моделей параметри та коефіцієнти уточнювались на множинах  $N_a$  і  $N_b$ . Потім складено можливі комбінації із дванадцяти моделей так, щоб у них був лише один поліном із набору. Для всіх пар поліномів обчислено значення параметра  $B$  для критерію балансу (7).

На тестовій множині  $N_t = 2$  перевірено точність запропонованого алгоритму прогнозування комплексного показника якості  $K_j$ . Похибка прогнозу (для  $j_1 = 6, j_2 = 11$ )

$$\Delta_p = \frac{2(K_{jd} - K_{jp})}{K_{jd} + K_{jp}} \quad (11)$$

на  $N_t$  не перевищувала 20 %. Тут  $K_{jd}, K_{jp}$  – точні і прогнозовані значення показника якості  $K_j$ .

Оцінку точності методу прогнозування для місяців 2007 року проведено з використанням коефіцієнта кореляції

$$K_{kor} = \frac{\sum_{k=1}^{12} (K_{kd} - \overline{K_{kd}})(K_{kp} - \overline{K_{kp}})}{\sqrt{\sum_{k=1}^{12} (K_{kd} - \overline{K_{kd}})^2 \cdot \sum_{k=1}^{12} (K_{kp} - \overline{K_{kp}})^2}} \quad (12)$$

Тут  $\overline{K_{kd}}, \overline{K_{kp}}$  – середні значення відповідних показників. В даному конкретному випадку  $K_{kor} = 0,91$ , що свідчить про достатньо задовільний прогноз для місяців 2007 року.

Розглянемо інформаційну ситуацію (ІС) для водної системи, що характеризується співвідношеннями (1)–(10). Під ІС розуміємо певний ступінь градації невизначеності та ризику щодо перебування екологічного середовища (зокрема, озера Світязь ШНПП) в одному зі своїх можливих станів. В даному випадку вважаємо, що ІС відповідає заданий апріорний розподіл імовірності щодо станів екологічного середовища, тобто вважається, що відомі компоненти (параметри екологічного стану) вектора  $Q = (q_1; \dots; q_n)$ . При цьому систему параметрів (1)–(6) розширимо за рахунок параметрів, які входять у співвідношення імітаційної математичної моделі [6].

З точки зору теорії ймовірності для  $Q$  повинні виконуватися такі умови [14]:

$$\sum_{j=1}^n q_j = Q \cdot e = 1; \quad q_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n, \quad (13)$$

де  $Q \cdot e$  – скалярний добуток векторів  $Q$  та  $e$ , що, згідно з визначенням, є сумою добутків відповідних компонентів цих векторів –  $Q \cdot e = \sum_{j=1}^n (q_j e_j) = q_1 e_1 + q_2 e_2 + \dots + q_n e_n$ .

Введемо поняття критерію прийняття екологічного рішення. Під цим критерієм розуміємо поєднання певного показника екологічної ефективності та алгоритму, що дає змогу з множини рішень  $S = (s_1, s_2, \dots, s_m)$  для фіксованого функціонала оцінювання  $F$  (в даному випадку функціонала якості води озера) у полі конкретної інформаційної ситуації вибрати єдине оптимальне рішення  $s_j \in S$  (чи множину оптимальних рішень  $S^* \in S$ , якщо їх декілька) відповідно до показника екологічної надійності.

Запропоновано елементи теорії ризиків застосувати для аналізу параметрів гідрохімічного і водного режимів озера Світязь (ШНПП). Для оцінки динамічних змін комплексних показників якості в умовах ризику використовуємо методи оптимізації, зокрема, функціонал якості водної системи озера задамо у вигляді [15]:

$$J = \int_{t_0}^{t_k} f(g, u, \zeta) dt, \quad (14)$$

де  $g$  – вектор заданих впливів ( $g_i$  – параметри системи, які, зокрема, характеризують оптимальний набір комплексних показників якості);  $u$  – вектор керувань;  $\zeta$  – вектор невизначених збурень;  $[t_0, t_k]$  – інтервал часу, в якому розглядається процес (формування

критеріального співвідношення для системи ризиків);  $f(g,u,\square)$  – функція, що відображає систему показників якості води озера ШНПП.

Визначено функціонал оцінювання  $F$  у двох формах. У формі  $F = F^+$  (позитивний інгредієнт) його використовуємо для оптимізації таких категорій, як корисність, надійність, ефективність, імовірність удачі (ймовірність досягнення поставленої мети – покращення якості води озер ШНПП). У формі  $F = F^-$  (негативний інгредієнт) функціонал оцінювання використовується для оптимізації таких категорій: витрати на проведення процесу екологізації, збитки, ризик. Функціонал  $F = (F^+, F^-)$  введено аналогічно як у праці [14]. При цьому вважаємо, що інформаційна ситуація характеризується заданим розподілом апріорних ймовірностей  $p_s$  ( $P = p_1, p_2, p_3, \dots, p_m$ ;  $\sum_{m=1}^n p_m = 1$ ) для параметрів екологічного стану  $g_i$ .

Функція ризику  $f_{jk}$  визначається як лінійне перетворення позитивно  $F^+$  чи негативно заданого  $F^-$  інгредієнта функціоналу оцінювання і позначається  $f_j(K_k)$ .  $f_{jk}$  використовуємо як додатковий елемент прогнозування змін якості води озер ШНПП.

Одним з критеріїв прийняття екологічного рішення є критерій Байєса [1,14]. В основі критерію – максимізація математичного сподівання функціоналу  $F$ :

$$B^+(x_s^*, P) = \max\left(\sum_{j=1}^n p_j f_{sj}^+\right) \quad \text{при } x_s \in X. \quad (15)$$

Тут  $j$  – індекс сумування;  $B^+(x_s, P) = \sum_{j=1}^n p_j f_{sj}^+$  – називається байєсівським значенням функціоналу оцінювання для розв'язку  $x_s \in X$  ( $X$  – множина розв'язків).

Критерій Байєса тісно пов'язаний з аксіомами корисності (аксіоми Неймана та Моргенштейна), де результуюча передбачувана корисність визначається як математичне сподівання корисностей окремих результатів.

**Висновки.** Введено еколого-економічні показники ефективності розвитку природоохоронної діяльності для водної системи. Визначено комплексний показник якості, який характеризує природоохоронну та господарську діяльність в околі озера. Для інформаційної ситуації введено поняття критерію прийняття екологічного рішення. Сформульовано функціонал оцінювання екологічної ситуації. Означено функцію ризику як лінійне перетворення елементів функціоналу оцінювання щодо функціоналу якості води. Для прогнозування змін параметрів екологічного стану озера використано регресійні залежності з урахуванням комплексного показника якості і елементів теорії ризиків.

У перспективі з використанням накопичених на основі експерименту даних передбачається проведення засобами екологічної лабораторії узгодженої програми робіт з гідрохімії, гідрології, гідробіології. Відповідна інформація дозволить створити станцію фонового екологічного моніторингу Шацького національного природного парку з ефективно і якісно функціонуючою сертифікованою (згідно міжнародних стандартів ISO/IEC 17025 та ISO 14000) екологічною лабораторією та лабораторією математичного моделювання.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Алымов В. Т. Техногенный риск. Анализ и оценка / В. Т. Алымов, И. Ман-Сунг – Москва: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 118 с.
2. Фалько В. В. Основные направления в проблеме оценки экологического риска / В. В. Фалько // Вісник Сум ДУ. – 2007. – № 1. – С. 100-112. (Технічні науки).
3. Матюха В.В. Еколого-економічні показники як інструмент регулювання природоохоронної діяльності / В. В.Матюха, О. М. Сухіна // Глобалізаційні процеси в природокористуванні: Матеріали наук.-практ. конф., 19-23.05.2008 р. – Алушта, АР Крим: НПЦ "Екологія Наука Техніка". – С. 21–23.

4. [http://www.iso.org/iso/management\\_standards.htm](http://www.iso.org/iso/management_standards.htm).
5. Новіков В. Аналіз елементів системи якості лабораторії в рамках методу життєвих циклів / В. Новіков, В. Никитюк // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2004. – № 4. – С. 48–52.
6. Лаврик В. І. Методи математичного моделювання в екології / В. І. Лаврик // Навчальний посібник. – К. : Видавничий дім “КМ Академія”, 2002. – 204 с.
7. Фомин В. Н. Квалиметрия. Управления качеством. Сертификации / В. Н. Фомин. – М. : ТАНДЕМ, ЭКМОС, 2000. – 320 с.
8. Налимов В. В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В. В. Налимов, Н. А. Чернова. – М: Наука, 1965. – 340 с.
9. Цивин М. Н. Компьютерная реализация алгоритма для обработки данных многофакторного эксперимента // Вестник НТУУ. Сер.: Машиностроение. – К. : КПИ, 2000. – Т. 1. – Вып. 58. – С. 263–267.
10. Банди Б. Методы оптимизации: Пер. с англ. / Б. Банди. – М. : Радио и связь, 1988. – 128с.
11. Ивахненко А. Г. Индуктивный метод самоорганизации сложных моделей / А. Г. Ивахненко. – К. : Наук. думка, 1981. – 296 с.
12. Бокс Дж. Анализ временных рядов: Прогноз и управление. Пер. с англ. / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М. : Мир, 1974. – Вып. 2. – 197 с.
13. Погребенник В. Звіт по темі НД-33л/313 «Розробка методів моніторингу локальних природних екосистем Шацького національного природного парку з використанням наземних спостережень, цифрової кольорометрії та аналізу космоснімків / В. Погребенник, М. Мельник, Р. Михайлівський // Розділ: Моніторинг водних екосистем Шацького національного природного парку. – Л. : ФМІ НАН України, 2005. – 69 с.
14. Хохлов Н.В. Управление риском / Н. В. Хохлов. – М.: ЮНИТИ, 2001. – 239 с.
15. Чумаков Е. П. Оптимальные и адаптивные системы / Е. П. Чумаков. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 256 с.

*В.Н. Юзевич, д.ф.-м.н., проф., П.М. Сопрунюк, д.т.н., проф., Я.Е. Пидгирняк, к.т.н., н. с.*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭЛЕМЕНТЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА

Предложена математическая модель экосистемы озера, в основе которой комплексный показатель качества, характеризующий природоохранную и хозяйственную деятельность. Систематизированы процедуры прогнозирования изменений параметров экологического состояния озера с учетом элементов теории рисков.

**Ключевые слова:** экология, озерные системы, комплексный показатель качества, риски, прогнозирование.

*V.N. Yuzevych, Doctor of Science (Phys.-Math.), Professor, P.M. Soprunyuk, Doctor of Science (Engineering), Professor, Ya.E. Pidhirnyak Candidate of Science (Engineering), research worker*

## MODELLING AND ELEMENTS OF CHANGE PREDICTION OF LAKE ECOLOGICAL CONDITION

The mathematical model of ecological system of lake is offered including a complex index of quality for characterizing nature protective and economic activity. The procedures of change prediction of parameters of the ecological conditions of lake are systematized considering the elements of theory of risks.

**Key words:** ecology, system of lakes, complex index of quality, risk, prognostication.