

## УРАХУВАННЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ІНДЕКСУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ СИСТЕМ ТЕПЛОХОЛОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

*Запропоновано метод комплексної оцінки екологічної безпеки систем теплохолодозабезпечення будівель на основі індексу, який виражається через обґрунтовані індикатори та враховує різноманітні аспекти впливу на довкілля і вагомість різних видів техногенного впливу на людину.*

**Ключові слова:** екологічна безпека, система теплохолодозабезпечення, альтернативні джерела енергії, індикатор, індекс екологічної безпеки.

*Предложен метод комплексной оценки экологической безопасности систем теплохолодообеспечения зданий на основе индекса, который выражается через обоснованные индикаторы и учитывает разнородные аспекты воздействия на окружающую среду и весомость различных видов техногенного воздействия на человека.*

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, системы теплоснабжения, альтернативные источники энергии, индикатор, индекс экологической безопасности.

*The researcher worked out the method of complex evaluating the ecological safety of heat-and-cool-supply systems based on the index and expressed through grounded indicators considering different environmental impact aspects and intensity of different types of technogenic influence on a human.*

**Key words:** ecological safety, heat-and-cool-supply system, alternative energy sources, indicator, index of ecological safety.

**Проблема, якій присвячена стаття.** Однією зі стратегічних проблем, що стоять перед людством, є питання забезпечення екологічної безпеки, яка значною мірою визначається джерелами та рівнем виробництва і споживання енергії. Використання традиційних енергетичних ресурсів призводить до накопичення твердих відходів (зола, шлаки, відпрацьовані мастила); викидання в атмосферу продуктів згоряння – пиловидних частинок і кислотних оксидів ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ), що спричиняє глобальний парниковий ефект; забруднення поверхневих і ґрунтових вод, які в кінцевому рахунку негативно позначаються на здоров'ї людей.

На сучасному етапі розвитку теорії екологічної безпеки основна увага приділяється розробленню науково обґрунтованого системного підходу до вирішення проблем техногенної небезпеки, спричиненої функціонуванням багатьох галузей промислового виробництва, водночас проблеми екологічної безпеки комунального сектора, зокрема, систем теплохолодозабезпечення, на які припадає близько 40 % від загального забруднення атмосфери, залишаються мало вивченими.

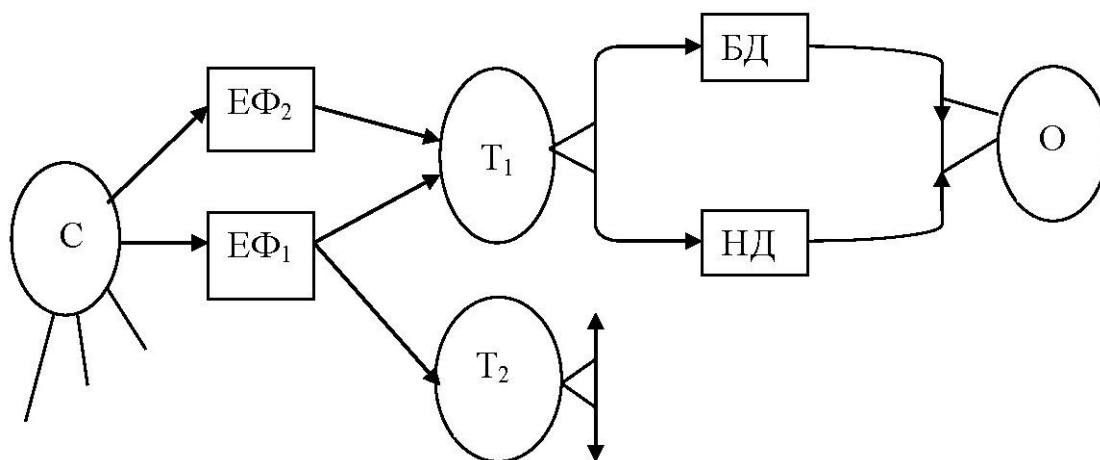
Перехід на альтернативні джерела енергії – вітрову, сонячну, геотермальну, енергію біомаси –

дозволяє, з одного боку, відмовитися від імпорту вартісних енергоносіїв і забезпечити споживачів гнучкими локальними енергетичними установками, а з іншого, що найголовніше – суттєво зменшити забруднення навколишнього середовища.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** вказує на те, що, використовуючи сприятливі кліматичні умови півдня України, варто було б поживити і розширити встановлення сонячних установок і вітрогенераторів. Науковий підхід до розв'язання цієї проблеми, звичайно, вимагає поступового заміщення традиційних енергоносіїв з дотриманням оптимального їх співвідношення. Дослідженням науково-технічної інформації [1; 2; 3; 4] виявлено основні загрози екологічній безпеці внаслідок функціонування систем теплохолодозабезпечення: забруднення атмосферного повітря газоподібними викидами, теплове забруднення, використання кисню повітря для процесу горіння традиційного палива, утворення твердих відходів, відчуження території під розміщення систем теплохолодозабезпечення та їх відходів, забруднення водних ресурсів, незворотне водовикористання, шумове забруднення, радіаційне забруднення, зменшення біорізноманіття екосистеми, які в кінцевому наслідку

впливають на здоров'я людей. Встановлено ряд недоліків існуючих показників, критеріїв та індикаторів екологічної безпеки, які ускладнюють їх використання для комплексної оцінки екологічної безпеки систем теплохолодозабезпечення.

При вивченні екологічної безпеки певних технологічних процесів виникає питання визначення об'єкта і суб'єкта в системі взаємодій. В. В. Добровольський [5] розглядає принципову структурну схему такої системи (рис. 1).



**Рис. 1.** Принципова схема взаємодії в системі екологічної безпеки [5]  
де С – суб'єкт дії; Т – трансформер дії; О – об'єкт впливу; ЕФ – екологічний фактор; БД – безпечна дія (вплив); НД – небезпечна дія (вплив) – загроза

Суб'єктом дії – джерелом небезпеки – може бути будь-яке джерело впливу природного чи антропогенного, зокрема техногенного походження. Цей вплив проявляється у вигляді так званого екологічного фактору чи декількох факторів. Дія суб'єкта змінюється (трансформується) – зменшується внаслідок розсіювання у просторі, чи, навпаки, збільшується внаслідок накопичення. У середовищі розповсюдження трансформація дії відбувається під впливом колообігів речовин і інших природних процесів, а також внаслідок людської діяльності. Об'єктом впливу є людина, територія, поселення людей, природне середовище чи його окремі компоненти, штучні споруди тощо [5].

Трансформація (деформація, зміна) величини дії фактору відбувається внаслідок емісії токсичних речовин у повітрі, поверхневого стоку і розливу, інфільтрації у ґрунті підземні води й у зворотньому напрямку, біологічного впливу ланцюгу харчування, гідродинамічних процесів водних мас тощо. Трансформером може бути водне, літосферне, атмосферне середовище, або живий організм, а також час [5]. Визначенню коефіцієнтів трансформації негативного впливу сьогодні присвячено багато наукових досліджень в галузі екології та медицини [2; 3; 4; 6; 7], однак їх результати не дають можливості проводити комплексну оцінку екологічної безпеки процесу теплохолодозабезпечення будівель.

**Метою даної роботи** є запропонувати методичний підхід до комплексної оцінки екологічної безпеки систем теплохолодозабезпечення будівель, який би давав змогу враховувати трансформацію негативного впливу при моделюванні індексу екологічної безпеки.

**Основна частина.** Для оцінки екологічної безпеки систем теплохолодозабезпечення в даній роботі обґрунтовано індикатори екологічної безпеки систем теплохолодозабезпечення, які враховують різно-

плановість їх впливу на навколишнє середовище і здоров'я людини, трансформацію негативного впливу, а також дають можливість виконувати порівняльну оцінку екологічної безпеки за різних технічних характеристик систем:

$$\begin{aligned}
 I_{3A} &= \frac{k_{3A-A} \cdot \phi_{3A-A}}{k_{3A-T} \cdot \phi_{3A-T}}, & I_{BO2} &= \frac{k_{BO2-A} \cdot \phi_{BO2-A}}{k_{BO2-T} \cdot \phi_{BO2-T}}, & I_{BT} &= \frac{k_{BT-A} \cdot \phi_{BT-A}}{k_{BT-T} \cdot \phi_{BT-T}}, \\
 I_{3T} &= \frac{k_{3T-A} \cdot \phi_{3T-A}}{k_{3T-T} \cdot \phi_{3T-T}}, & I_{3G} &= \frac{k_{3G-A} \cdot \phi_{3G-A}}{k_{3G-T} \cdot \phi_{3G-T}}, & I_{BB} &= \frac{k_{BB-A} \cdot \phi_{BB-A}}{k_{BB-T} \cdot \phi_{BB-T}}, \\
 I_{BP} &= \frac{k_{BP-A} \cdot \phi_{BP-A}}{k_{BP-T} \cdot \phi_{BP-T}}, & I_{3B} &= \frac{k_{3B-A} \cdot \phi_{3B-A}}{k_{3B-T} \cdot \phi_{3B-T}}, & I_{3Ш} &= \frac{k_{3Ш-A} \cdot \phi_{3Ш-A}}{k_{3Ш-T} \cdot \phi_{3Ш-T}}, \\
 I_{3P} &= \frac{k_{3P-A} \cdot \phi_{3P-A}}{k_{3P-T} \cdot \phi_{3P-T}}, & & & & (1-10)
 \end{aligned}$$

де  $I_{3A}$ ,  $I_{3T}$ ,  $I_{BO2}$ ,  $I_{3G}$ ,  $I_{BT}$ ,  $I_{3B}$ ,  $I_{BB}$ ,  $I_{3Ш}$ ,  $I_{3P}$ ,  $I_{BP}$  – індикатори забруднення атмосферного повітря, теплового забруднення, використання кисню, утворення твердих відходів, відчуження території, забруднення водних ресурсів, незворотного водовикористання, шумового забруднення, радіаційного забруднення, біорізноманіття екосистеми відповідно;  $k_{3A-A}$ ,  $k_{3A-T}$  – обсяг газоподібних викидів в атмосферу альтернативною та традиційною системами на одиницю виробленої енергії відповідно, г/Дж;  $\phi_{3A-A}$ ,  $\phi_{3A-T}$  – коефіцієнти трансформації, що характеризують вплив викидів альтернативної та традиційної систем відповідно на захворюваність людей, дн./г; обсяг газоподібних викидів в атмосферу альтернативною та традиційною системами на одиницю виробленої енергії відповідно, г/Дж;  $k_{3T-A}$ ,  $k_{3T-T}$  – обсяг теплового забруднення альтернативною та традиційною системами на одиницю виробленої енергії відповідно, Дж/Дж;  $\phi_{3T-A}$ ,  $\phi_{3T-T}$  – коефіцієнти трансформації, що характеризують вплив теплового забруднення від альтернативної та традиційної систем відповідно на захворюваність

людей, дн./Дж;  $k_{BO2-A}$ ,  $k_{BO2-T}$  – обсяги використання кисню для процесів горіння альтернативною та традиційною системами на одиницю виробленої енергії відповідно, г/Дж;  $\phi_{BO2-A}$ ,  $\phi_{BO2-T}$  – коефіцієнти трансформації, що характеризують вплив використання кисню альтернативною та традиційною системами відповідно на захворюваність людей, дн./г;  $k_{ЗГ-A}$ ,  $k_{ЗГ-T}$  – обсяг твердих відходів альтернативної та традиційної систем на одиницю виробленої енергії відповідно, г/Дж;  $\phi_{ЗГ-A}$ ,  $\phi_{ЗГ-T}$  – коефіцієнти трансформації, що характеризують вплив відходів альтернативної та традиційної систем відповідно на захворюваність людей, дн./г;  $k_{BT-A}$ ,  $k_{BT-T}$  – площа відчуженої під розміщення альтернативної або традиційної систем та їх відходів території на одиницю виробленої енергії відповідно, м<sup>2</sup>/Дж;  $\phi_{BT-A}$ ,  $\phi_{BT-T}$  – коефіцієнти трансформації, що характеризують вплив відчуження території альтернативною та традиційною системами відповідно на захворюваність людей, дн./м<sup>2</sup>;  $k_{ЗВ-A}$ ,  $k_{ЗВ-T}$  – обсяг скидів у водні об'єкти альтернативною та традиційною системами на одиницю виробленої енергії відповідно, г/Дж;  $\phi_{ЗВ-A}$ ,  $\phi_{ЗВ-T}$  – коефіцієнти трансформації, що характеризують вплив скидів альтернативної та традиційної систем відповідно на захворюваність людей, дн./г;  $k_{BB-A}$ ,  $k_{BB-T}$  – обсяг незворотного водовикористання альтернативною та традиційною системами на одиницю виробленої енергії відповідно, м<sup>3</sup>/Дж;  $\phi_{BB-A}$ ,  $\phi_{BB-T}$  – коефіцієнти трансформації, що характеризують вплив незворотного водовикористання альтернативною та традиційною системами відповідно на захворюваність людей, дн./м<sup>3</sup>;  $k_{ЗШ-A}$ ,  $k_{ЗШ-T}$  – рівень звукової потужності альтернативної та традиційної систем на одиницю встановленої потужності відповідно, Вт/Вт;  $\phi_{ЗШ-A}$ ,  $\phi_{ЗШ-T}$  – коефіцієнти трансформації, що характеризують вплив шуму від альтернативної та традиційної систем відповідно на захворюваність людей, дн./Вт;  $k_{ЗР-A}$ ,  $k_{ЗР-T}$  – рівень радіаційного забруднення від альтернативної та традиційної систем на одиницю виробленої енергії відповідно, Бк/Дж;  $\phi_{ЗР-A}$ ,  $\phi_{ЗР-T}$  – коефіцієнти трансформації, що характеризують вплив радіаційного забруднення від альтернативної та традиційної систем відповідно на захворюваність людей, дн./Бк;  $k_{БР-A}$ ,  $k_{БР-T}$  – кількість зниклих видів та особин кожного виду на одиницю виробленої альтернативною та традиційною

системами енергії відповідно, ос./Дж;  $\phi_{БР-A}$ ,  $\phi_{БР-T}$  – коефіцієнти трансформації, що характеризують вплив зменшення біорізноманіття від функціонування альтернативної та традиційної систем відповідно на захворюваність людей, дн./ос.

Для комплексної оцінки екологічної безпеки систем теплохолодозабезпечення пропонується індекс екологічної безпеки (ІЕБ), який виражається через обґрунтовані індикатори, враховує вплив на усі сфери навколишнього середовища: атмосферу, літосферу, гідросферу, біосферу, соціосферу та цінність різних компонентів довкілля для людини:

$$IEB = 1 - \sum_{j=1}^k (I_j \cdot d_j), \quad (11)$$

де  $I_j$  – індикатор екологічної безпеки для  $i$ -того середовища;  $d_j$  – коефіцієнт вагомості  $j$ -того середовища.

Коефіцієнти вагомості середовищ визначаються на основі експертних оцінок з урахуванням цінності різних компонентів довкілля для людини як центру піклування в системі екологічної безпеки.

На основі розробленого методу оцінки екологічної безпеки систем теплохолодозабезпечення (залежності 1-11) та аналізу енергопотоків в системах теплохолодозабезпечення створено математичну модель процесу перерозподілу потоків енергії між альтернативними та традиційними джерелами в системі, яка дозволяє моделювати та оптимізувати індекс екологічної безпеки залежно від обсягів заміщення традиційних джерел альтернативними, балансу різних альтернативних джерел (зокрема, вітрової та сонячної) та принципів акумулювання надлишкової енергії [8].

З метою мінімізації антропогенного впливу на довкілля було виконано моделювання та оптимізацію індексу екологічної безпеки на прикладі альтернативної вітросонячної системи теплохолодозабезпечення окремої житлової будівлі в кліматичних умовах м. Миколаєва в порівнянні з традиційною системою теплохолодозабезпечення від ТЕЦ.

При моделюванні використано такі значення коефіцієнтів негативного впливу та коефіцієнтів трансформації (таблиці 1-2 відповідно):

Таблиця 1

**Характеристики рівнів негативного впливу на довкілля альтернативної та традиційної систем**

Характеристика негативного впливу	Показник	Альтернативна система	Традиційна система
Викиди в атмосферу (парникові гази), г/Дж	$k_{ЗА}$	33,87·10 <sup>-6</sup>	99,17·10 <sup>-6</sup>
Тверді відходи, г/Дж	$k_{ЗГ}$	3,95·10 <sup>-6</sup>	11,56·10 <sup>-6</sup>
Відчуження території, м <sup>2</sup> /Дж	$k_{BT}$	0,11·10 <sup>-6</sup>	0,31·10 <sup>-6</sup>
Теплове забруднення, Дж/Дж	$k_{ЗТ}$	0,20	0,65
Забруднюючі речовини у стічних водах, г/Дж	$k_{ЗВ}$	0,0169·10 <sup>-6</sup>	0,0496·10 <sup>-6</sup>
Незворотне водовикористання, м <sup>3</sup> /Дж	$k_{BB}$	0,005·10 <sup>-6</sup>	0,04·10 <sup>-6</sup>
Радіаційне забруднення, мк <sup>3</sup> /Дж	$k_{ЗР}$	0,01·10 <sup>-7</sup>	0,12·10 <sup>-7</sup>

Характеристики коефіцієнтів трансформації негативного впливу

Характеристика трансформації негативного впливу	Показник	Альтернативна система	Традиційна система
Захворюваність внаслідок забруднення атмосфери, дн./г	$\phi_{за}$	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$9,2 \cdot 10^{-6}$
Тимчасова втрата працездатності внаслідок забруднення літосфери твердими відходами, дн./г	$\phi_{зг}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
Психологічні ефекти внаслідок відчуження території, вип./м <sup>2</sup>	$\phi_{вт}$	$0,07 \cdot 10^{-6}$	$0,07 \cdot 10^{-6}$
Захворюваність внаслідок теплового забруднення, дн./Дж	$\phi_{зт}$	$0,01 \cdot 10^{-6}$	$0,03 \cdot 10^{-6}$
Захворюваність внаслідок забруднення водних ресурсів, дн./г	$\phi_{зв}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$
Захворюваність внаслідок нестачі водних ресурсів, дн./м <sup>3</sup>	$\phi_{вв}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$
Захворюваність внаслідок радіаційного забруднення, вип./мк <sup>3</sup> в	$\phi_{зр}$	$0,12 \cdot 10^{-7}$	$0,06 \cdot 10^{-7}$

Цільова функція при оптимізації індексу екологічної безпеки систем теплохолодозабезпечення має вигляд:

$$\begin{aligned}
 IEB(A, D, V_{AK}) = & \\
 = 1 - \frac{k}{j=1} \frac{1}{n} \frac{n}{i=1} & \left( \frac{A \cdot (I_i \cdot \eta_0 - K(T_{BXi} - T_{HCi})) \cdot P_i + C_{pi} \cdot \frac{\rho_n \cdot v_i^3}{2} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \eta_{el} \cdot \eta_{mex} \cdot \eta_{ev} \cdot t_i -}{\left[ \sum_{i=1}^n K_n \cdot F_n + r \cdot L \cdot c_n \cdot \rho_n \cdot k \right] \cdot (T_{вн} - T_{нс_i}) \cdot t_i + q_{вм} \cdot F_{нідл} \cdot t_i + N \cdot g_i \cdot c_g \cdot \rho_g \cdot (T_{гв} - T_{xi}) \cdot (1 + \beta) \cdot t_i} \right. \\
 & - K_{AK} \cdot A_{AK} \cdot \left( \frac{A \cdot (I_i \cdot \eta_0 - K(T_{BXi} - T_{HCi})) \cdot P_i + C_{pi} \cdot \frac{\rho_n \cdot v_i^3}{2} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \eta_{el} \cdot \eta_{mex} \cdot \eta_{ev} \cdot t_i -}{V_{AK} \cdot \rho_m \cdot c_m} \right. \\
 & \left. \frac{\left[ \sum_{i=1}^n K_n \cdot F_n + r \cdot L \cdot c_n \cdot \rho_n \cdot k \right] \cdot (T_{вн} - T_{нс_i}) \cdot t_i + q_{вм} \cdot F_{нідл} \cdot t_i + N \cdot g_i \cdot c_g \cdot \rho_g \cdot (T_{гв} - T_{xi}) \cdot (1 + \beta) \cdot t_i}{V_{AK} \cdot \rho_m \cdot c_m} \right. \\
 & \left. \left. - \frac{\left[ \sum_{i=1}^n K_n \cdot F_n + r \cdot L \cdot c_n \cdot \rho_n \cdot k \right] \cdot (T_{вн} - T_{нс_i}) \cdot t_i + q_{вм} \cdot F_{нідл} \cdot t_i + N \cdot g_i \cdot c_g \cdot \rho_g \cdot (T_{гв} - T_{xi}) \cdot (1 + \beta) \cdot t_i}{V_{AK} \cdot \rho_m \cdot c_m} + T_{xm} - T_{вн} \right) \cdot t_i \right) \times \\
 & \times \frac{\phi_{j-A}}{\phi_{j-T}} \cdot d_j \rightarrow \max
 \end{aligned}$$

де  $A$  – площа поверхні сонячного колектора, м<sup>2</sup>;  $I_i$  – густина потоку сонячної радіації, що надходить на поверхню колектора, Вт/м<sup>2</sup>;  $\eta_0$  – ефективний оптичний ККД колектора;  $K$  – сумарний коефіцієнт тепловтрат сонячного колектора, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $T_{вн}$  – температура всередині приміщення, °C;  $T_{нс_i}$  – температура навколишнього середовища протягом досліджуваного  $i$ -того проміжку часу, °C;  $P_i$  – тривалість сонячного сяяння протягом досліджуваного періоду часу, с;  $C_{pi}$  – коефіцієнт потужності вітроустановки;  $D$  – діаметр вітроколеса, м;  $\rho_n$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  – швидкість вітру, м/с;  $\eta_{el}$  – ККД генератора;  $\eta_{mex}$  – ККД трансмісії;  $\eta_{ev}$  – ККД електричного водонагрівача;  $t_i$  – проміжок часу, с;  $c_n$  – питома теплоємність повітря,

Дж/(кг·°C);  $K_n$  – коефіцієнти тепловтрат  $n$ -ного елемента огорожувальних конструкцій, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $F_n$  – площа поверхні  $n$ -ного елемента огорожувальних конструкцій, м<sup>2</sup>; °C;  $r$  – поправочний коефіцієнт при розрахунку інфільтрації повітря в приміщення;  $L$  – об'ємні витрати повітря, що видаляється, не компенсовані приточним повітрям, м<sup>3</sup>/с·м<sup>2</sup>;  $k$  – коефіцієнт врахування впливу внутрішнього потоку в конструкціях;  $q_{вм}$  – сумарні питомі тепловиділення Вт/м<sup>2</sup>;  $F_{нідл}$  – площа підлоги, м<sup>2</sup>;  $N$  – кількість жителів;  $g$  – середні витрати гарячої води на одну людину, л/(люд.·с);  $c_g$  – питома ізобарна теплоємність води, Дж/(кг·°C);  $\rho_g$  – густина води, кг/л;  $T_{гв}$  – температура гарячої води в системі гарячого

водопостачання, °C;  $T_{x_i}$  – температура холодної води, °C;  $\beta$  – коефіцієнт, що характеризує втрати тепла трубопроводами в системі гарячого водопостачання;  $T_{xm}$  – початкова температура теплоносія в акумуляторі, °C;  $A_{AK}$  – площа поверхні акумулятора, м<sup>2</sup>.

Керованими параметрами в даній оптимізаційній задачі є:  $A$  – площа геліоколекторів;  $D$  – діаметр вітроустановки;  $V_{AK}$  – об'єм бака-акумулятора. Обмеженнями при розв'язанні оптимізаційної задачі є:

$$\begin{cases} A = \{a | a_0 \leq a \leq a_n\}; \\ D = \{d | d_0 \leq d \leq d_n\}; \\ V_{AK} = \{v | v_0 \leq v \leq v_n\}; \\ T_{AK} \leq 95. \end{cases}$$

де  $T_{AK}$  – температура води в баку-акумуляторі, °C.

В програмному пакеті *Matlab* для рішення оптимізаційної задачі використано оператор *fmincon* – мінімізатор умовної оптимізації функції багатьох змінних (рис. 2).

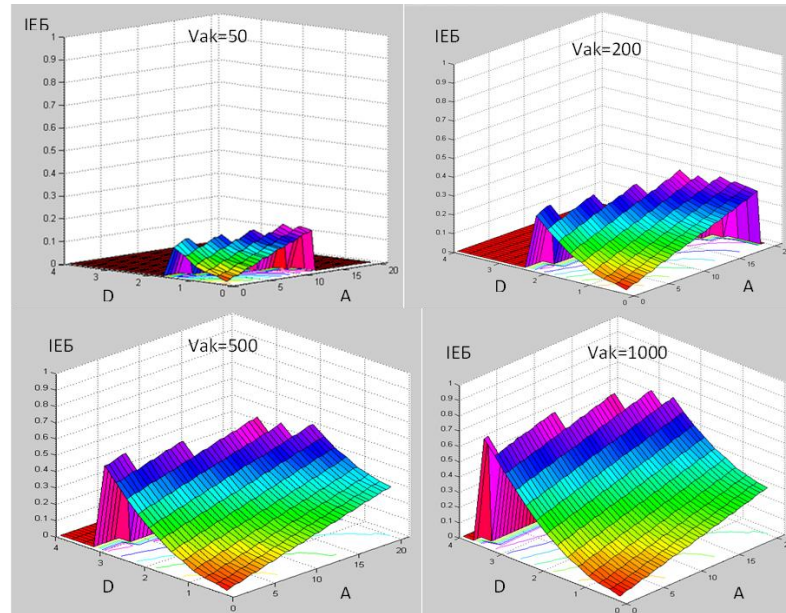


Рис. 2. Поетапна оптимізація індексу екологічної безпеки

На рис. 2 можна спостерігати перепади значення  $IEB$ , які пояснюються встановленими обмеженнями, зокрема температури води в тепловому акумуляторі

заданого об'єму. Оптимальне значення індексу екологічної безпеки отримано за таких значень індикаторів та відповідних їм коефіцієнтів вагомості (табл. 3):

Таблиця 3

### Результати оптимізації ІЕБ системи теплохолодозабезпечення

Індикатор	Значення	Коефіцієнт вагомості	Значення
$I_{3A}$ – індикатор забруднення атмосферного повітря	0,22	$d_{3A}$	0,11
$I_{3T}$ – індикатор утворення твердих відходів	0,33	$d_{3T}$	0,11
$I_{BT}$ – індикатор відчуження території	0,34	$d_{BT}$	0,1
$I_{3T}$ – індикатор теплового забруднення	0,31	$d_{3T}$	0,17
$I_{3B}$ – індикатор забруднення водних ресурсів	0,18	$d_{3B}$	0,17
$I_{BB}$ – індикатор незворотного водовикористання	0,25	$d_{BB}$	0,17
$I_{3P}$ – індикатор радіаційного забруднення	0,27	$d_{3P}$	0,17

Показник  $IEB$  оптимізовано на рівні 0,73 (за умови, що 1 має ідеальна екологічно безпечна система) при таких значеннях змінних параметрів:  $A = 15$  м<sup>2</sup>,  $D = 3$  м,  $V_{AK} = 1000$  л.

**Висновки.** Вперше запропоновано індикатори екологічної безпеки систем теплохолодозабезпечення, які дозволяють проводити порівняльну оцінку систем з різними технічними характеристиками на основі моделювання перерозподілу потоків енергії між альтернативними та традиційними джерелами і враховують трансформацію негативного впливу суб'єкта небезпеки на об'єкт.

Розроблено індекс комплексної оцінки екологічної безпеки систем теплохолодозабезпечення, який реалізується системою обґрунтованих індикаторів та враховує усі аспекти впливу на навколишнє середовище, відповідно до визначених загроз, і вагомість різних видів техногенного впливу на людину.

На прикладі окремого житлового будинку доведено можливість підвищення індексу екологічної безпеки альтернативної системи в порівнянні з традиційною на вугільному паливі на 63 %.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Клименко Л. П. Техноекологія / Л. П. Клименко. – Одеса : Фонд Екопрінт, Сімферополь: Таврія, 2000. – 542 с.
2. Мозговой А. М. Проблема шумового загрязнення жилих помещений подвальними котельними / А. М. Мозговой, М. Г. Мозговой // Проблемы экологии и энергосбережения в судостроении: Материалы 4-й международной научно-технической конференции. – Николаев : НУК, 2005. – С. 120–121.
3. Основные экологические аспекты сжигания топлива. Отчет РОО «Эколайн» и ОАО «Рязанская ГРЭС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.defra.gb/seps/report\\_023](http://www.defra.gb/seps/report_023).
4. Risk Factors in Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems for Occupant / M. J. Mendell, Q. Lei-Gomez, A. G. Mirer, O. Steppanen, G. Brunner / [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.lbv.epa.gov](http://www.lbv.epa.gov).
5. Доровольський В. В. Екологічний ризик: оцінка і управління / В. В. Добровольський. – Миколаїв : Видавництво ЧДУ ім. Петра Могили, 2010. – 216 с.
6. Гутникова Е. А. Влияние качества атмосферного воздуха на здоровье населения / Е. А. Гутникова, Д. С. Шувалова / [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://journal.vssc.ac.ru/php/jou/40/art40\\_09.php](http://journal.vssc.ac.ru/php/jou/40/art40_09.php).
7. Крючков Г. П. Оценка экологической безопасности территорий [Электронный ресурс] / Г. П. Крючков – Режим доступа : [http://www.ecoregion.ru/journal.php?num=15&stat=0&pstat=0&jm=pre&jrs\\_page=1&pre\\_page=1&eut\\_page=1&lng=rus](http://www.ecoregion.ru/journal.php?num=15&stat=0&pstat=0&jm=pre&jrs_page=1&pre_page=1&eut_page=1&lng=rus).
8. Клименко Л. П. Модель енергоефективної системи теплохолодопостачання будівлі за допомогою вітрогеліоустановки з використанням традиційних джерел енергії як компенсуючих / Л. П. Клименко, Н. О. Воскобойнікова // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України : Збірник наукових праць. – Спеціальний випуск. – К., 2006. – С. 24–29.

Рецензенти: **Клименко Л. П.**, д.т.н., професор;  
**Радченко М. І.**, д.т.н., професор.

© Воскобойнікова Н. О., 2012

*Дата надходження статті до редколегії 27.11.2012 р.*

**ВОСКОБОЙНІКОВА Наталія Олександрівна** – старший викладач кафедри екології та природо-користування ЧДУ імені Петра Могили, м. Миколаїв.

**Коло наукових інтересів:** альтернативні джерела енергії та екологічна безпека.