

УДК 519.8

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2022-1-3>

Олег ЄМЕЦЬ

доктор фізико-математичних наук, професор, yemetsli@ukr.net

ORCID: 0000-0001-9248-9234

Scopus Author ID: 8721572000

Оксана ЧЕРНЕНКО

кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Полтавський університет економіки і торгівлі, вул. Коваля, 3, Полтава, Україна, 36000, oksanachernenko7@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9084-0999

Scopus Author ID: 36862730800

Тетяна ПАРФЬОНОВА

кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Полтавський університет економіки і торгівлі, вул. Коваля, 3, Полтава, Україна, 36000, [tara.poltava@gmail.com](mailto: tara.poltava@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-9343-2061

Scopus Author ID: 36089160700

Олена ОЛЬХОВСЬКА

кандидат фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Полтавський університет економіки і торгівлі, вул. Коваля, 3, Полтава, Україна, 36000, lena@olhovsky.name

ORCID: 0000-0001-5366-5995

Scopus Author ID: 42262220700

Бібліографічний опис статті: Ємець, О., Черненко, О., Парфьонова, Т., Ольховська, О. (2022). Математична модель задачі оптимального розміщення продуктивних сил з врахуванням мінімальної шкоди навколишньому середовищу. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 14–19, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2022-1-3>

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ ПРОДУКТИВНИХ СИЛ З ВРАХУВАННЯМ МІНІМАЛЬНОЇ ШКОДИ НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩУ

У роботі проаналізовано останні дослідження та публікації по управлінню якістю природнього середовища. Виявлено невирішені раніше питання та задачі прогнозування на перспективу. Запропоновано постановку задачі оптимального розміщення продуктивних сил з позиції мінімізації збитків для навколишнього середовища при нормальній експлуатації об'єкта.

Побудовано математичну модель такої задачі у вигляді задачі з дробово-лінійною цільовою функцією, що представляє собою відношення загальних витрат промислового сектору регіону до загального прибутку. Детально обґрунтовано та наведено формули обчислення кожної компоненти функції загальних витрат промислового сектору регіону. Зокрема, представлені співвідношення для витрат у сфері постачання; витрат на виробництво; витрат у сфері збуту, витрат на управління виробничою системою. До функції загальних витрат враховано витрати природоохоронної сфери, що формуються за рахунок поточних та капітальних природоохоронних витрат. Еколого-економічний збиток, як складова частина функції загальних витрат, у виробничій сфері для окремого промислового вузла, включає наступні компоненти: можливий недоотриманий прибуток внаслідок незапланованого скорочення обсягів виробництва продукції; додаткові витрати; втрати, пов'язані з відшкодуванням збитків та витрати різного типу матеріальних ресурсів.

Математична модель включає комбінаторну умову на кількості виготовленої продукції окремого виду на окремому промисловому об'єкті, коли значення змінних вибираються з комбінаторної множини розміщень. Модель також містить лінійні обмеження на загальну кількість конкретного типу продукції. На коефіцієнти, що визначають частку матеріальних ресурсів у загальному матеріальному потоці транспортно-складського господарств, накладаються додаткові умови.

Побудована модель задачі вибору території під будівництво промислових об'єктів з метою мінімізації збитків для природнього середовища на рівні регіону, що враховує соціально-економічні потреби його населення та екологічну безпеку, може бути використана при плануванні та проектуванні.

Ключові слова: техногенно-екологічна безпека, мінімізація витрат, ефективне функціонування регіону, промисловий вузол, дробово-лінійна цільова функція, комбінаторна оптимізація.

Oleg IEMETS

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, yemetsli@ukr.net

ORCID: 0000-0001-9248-9234

Scopus Author ID: 8721572000

Oksana CHERNENKO

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at Computer Science and Information Technology Department, Poltava University of Economics and Trade, 3 Koval str., Poltava, Ukraine, 36000, oksanachernenko7@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9084-0999

Scopus Author ID: 36862730800

Tatyana PARFONOVA

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at Computer Science and Information Technology Department, Poltava University of Economics and Trade, 3 Koval str., Poltava, Ukraine, 36000, tapa.poltava@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9343-2061

Scopus Author ID: 36089160700

Olena OLKHOVSKA

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Computer Science and Information Technology, Poltava University of Economics and Trade, 3 Koval str., Poltava, Ukraine, 36000, lena@olkhovsky.name

ORCID: 0000-0001-5366-5995

Scopus Author ID: 42262220700

To cite this article: Iemets, O., Chernenko, O., Parfonova, T., Olkhovska, O. (2022). Matematychna model zadachi optymalnoho rozmishchennia produktyvnykh syl z vrakhuvanniam minimalnoi shkody navkolyshnomu seredovysshchu [Mathematical model of the problem of optimal location of productive forces taking into account the minimum damage to the environment]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 14–19, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2022-1-3>

MATHEMATICAL MODEL OF THE PROBLEM OF OPTIMAL LOCATION OF PRODUCTIVE FORCES TAKING INTO ACCOUNT THE MINIMUM DAMAGE TO THE ENVIRONMENT

The work analyses the latest research and publications on the quality management of the natural environment. It reveals the previously unresolved problems and tasks of forecasting for the future. The task of optimal distribution of productive forces from the standpoint of minimization of costs for the environment under the normal operation of the object proposed.

A mathematical model of this problem formed with a fractional-linear objective function, which is the ratio of total costs of the industrial sector of the region to the total income was created. It is explaining in detail and the formulas for calculation of each component of the function of the total costs of the industrial sector of the region are given. In particular, there are presented comparisons for costs in the sphere of supply; costs for production; costs in the sphere of distribution, costs for production system management. The function of total costs includes environmental costs, which form at the expense of current and capital environmental costs. Environmental and economic costs, as a constituent part of the total costs function, in the production sphere for a particular industrial unit, includes the following components: possible unrealized profit due to unplanned reduction in the volume of production; additional costs; costs associated with loss compensation and costs of various types of material resources.

The mathematical model includes a combinatorial condition on the number of manufactured products of a particular type on a particular industrial facility, when the values of the variables are selected by the combinatorial multiplicity

of dimensions. The model also contains line limitations on the total quantity of a particular type of production. Additional conditions are imposed on the coefficients that determine the share of material resources in the total material flow of transport and storage enterprises.

The model of the problem is selecting the area for the construction of industrial facilities to minimize losses to the natural environment at the level of the region, which takes into account the social and economic needs of its population and environmental safety, can be used in the planning and design.

Key words: technogenic and environmental safety, cost minimization, efficient functioning of the region, industrial output, fractional and linear target function, combinatorial optimization.

Актуальність проблеми. Україна перебуває в ситуації, яка змушує завдання розвитку промислового виробництва підпорядковувати стратегії техногенно-екологічної безпеки в інтересах узгодження економіки та екології. Розміщення продуктивних сил і охорона навколишнього середовища є взаємообумовленими.

Важливим завданням регулювання техногенного навантаження на територію є не тільки використання розміщення як засобу оптимізації взаємовідносин суспільства і природи, а й урахування екологічних чинників та умов на всіх стадіях розміщення продуктивних сил.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки опубліковано достатньо багато праць по управлінню якістю навколишнього середовища, в яких прослідковуються різні підходи до даної проблеми. Всебічне обґрунтування збалансованого розміщення продуктивних сил набуває дедалі більшого значення (Коблянська, 2011; Лутковська, 2020; Сокур, 2020; Хилько, 2017), однак при цьому не менш важливим є прогнозування на перспективу. Необхідно створити наукову базу для реалізації принципів розвитку і розміщення продуктивних сил, які не допустять при проектуванні надлишкову концентрацію промислового виробництва.

Мета дослідження. Основними завдання регіону є розвантаження найбільших промислових районів, де зосереджена надмірна кількість великих підприємств важкої промисловості; зрушення у розміщенні нових підприємств важкої промисловості; розміщення нових підприємств у малих і середніх містах; обмеження розвитку екологічно небезпечних підприємств у районах з надмірним забрудненням навколишнього середовища; поліпшення внутрішньої структури "старих" промислових комплексів, наприклад, створення підприємств для переробки відходів, побічної продукції.

Головним завданням є обґрунтування оптимального розміщення продуктивних сил. Поняття «оптимальності» передбачає одержання якомога більшого ефекту від правильно розміщеного підприємства, від найкращої територіальної організації регіону, країни. На рівні підприємства ефект виражається у прибутку, на рівні країни – у національному доході. Однак

«оптимальність» не означає, що байдуже, яким чином забезпечуватиметься найбільший ефект. Треба співвідносити розмір ефекту з витратами, тобто – розрахувати ефективність витрат. Необхідно також враховувати соціальний та демографічний фактори.

Отже, оптимальне розміщення продуктивних сил не завжди має на меті одержання найбільшого прибутку. Проте раціонально організовані продуктивні сили зводять до мінімуму втрати та об'єктивно сприяють посиленню економічного потенціалу країни.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для розширення виробництва важкої промисловості в країні проектується будівництво m нових промислових об'єктів. За результатами проведеного екологічного моніторингу нові промислові об'єкти можуть бути розміщені в η промислових вузлах. Завдання полягає в поєднанні вимог техногенно-екологічної безпеки з досягненням достатнього обсягу виробництва, що відповідають мінімальним витратам на виробництво одиниці продукції (обсяг збитків віднесений до прибутку був мінімальним).

Вибір території під будівництво будемо розглядати з позиції: мінімізації збитків для природного середовища при нормальній експлуатації об'єкта.

Для побудови математичної моделі, використовуючи термінологію з (Стоян, 1993, с. 45], позначимо $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ – мультимножину, елементами якої є прогнозовані обсяги виготовленої продукції. Усі можливі m -вибірки з мультимножини G утворюють загальну множину розміщень $E_{\eta n}^m$, де n – число різних серед елементів G . Позначимо x_{ij} – кількість виробленої i -ої продукції в j -ому промисловому вузлі, $i = 1, I, j = 1, J$; d_{ij} – прибуток від продажу одиниці i -ої продукції, що вироблена в j -ому промвузлі.

Використовуючи роботу (Коблянська, 2011, с. 100), функція загальних витрат C_{gen} промислового сектору регіону запишеться так:

$$C_{gen} = \sum_{j=1}^J \left(C_{sup\ ply}^j + C_{prod}^j + C_{sales}^j + C_{cons}^j + C_{manag}^j + L_{com}^j \right). \quad (1)$$

Розпишемо далі кожен компоненту співвідношення (1).

Витрати у сфері постачання C_{supply}^j для j -го промвузла можуть бути оцінені за формулою:

$$C_{supply}^j = C_{att}^{FR} + C_{tr}^{FR} \cdot k_{tr}^{FR} + C_{main}^{FR} \cdot k_{war}^{FR} + C_{labor}^{war} \cdot k_{war}^{FR} + C_{labor}^{tr} \cdot k_{tr}^{FR} + C_{att}^{FR} + A^{war} \cdot k_{war}^{FR} + A^{tr} \cdot k_{tr}^{FR} + C_{supply}^{cap} \cdot k_{supply}^{cap}, \quad (2)$$

де C_{att}^{FR} – витрати залучення матеріальних ресурсів (МР) у виробничий процес, грн.; C_{tr}^{FR} – витрати на транспортування МР, грн.; C_{main}^{FR} – витрати, пов'язані зі зберіганням МР на складах підприємства, грн.; C_{labor}^{war} , C_{labor}^{tr} – витрати на оплату праці відповідно складського та транспортного господарств, грн.; C_{ret}^{FR} – витрати, пов'язані із поверненням МР неналежної якості, грн.; A^{war} , A^{tr} – амортизаційні відрахування на основні засоби у складському та транспортному господарствах, грн.; C_{supply}^{cap} – капітальні інвестиції, грн.; k_{tr}^{FR} , k_{war}^{FR} – коефіцієнти, що визначають частку МР у загальному матеріальному потоці транспортного та складського господарств відповідно, безрозмірні; k_{supply}^{cap} – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень у сфері постачання МР, безрозмірний.

Витрати виробництва C_{prod}^j для j -го промвузла можуть бути описані співвідношенням:

$$C_{prod}^j = C_{pr.manag.} + C_{tech} + C_{serv}^{pv} + C_{in.tr.} + C_{serv}^{FA} + A^{FA} + C_{rec} + C_{cert} + C_{prod}^{cap} \cdot k_{prod}^{cap}, \quad (3)$$

де $C_{pr.manag.}$ – витрати на управління виробництвом (оплата праці; витрати на охорону праці, ведення документації і т.і.), грн.; C_{tech} – витрати на удосконалення технологій, поліпшення якості продукції, грн.; C_{serv}^{pv} – витрати на обслуговування виробничого процесу та контроль якості продукції, грн.; $C_{in.tr.}$ – витрати на міжцехові транспортування МР та ресурсів незавершеного виробництва, грн.; C_{serv}^{FA} – витрати на обслуговування основних засобів загального призначення, грн.; A^{FA} – амортизація основних засобів, грн.; C_{rec} – витрати рециклінгу (повернення відходів у виробництво), грн.; C_{cert} – витрати на сертифікацію продукції, грн.; C_{prod}^{cap} – капітальні інвестиції, грн.; k_{prod}^{cap} – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, безрозмірний.

Витрати у сфері збуту для j -го промвузла C_{sales}^j запишемо так:

$$C_{sales}^j = C_{ord}^{FP} + \sum_{i=1}^I C_{tr_i}^{FP} \cdot k_{tr_i}^{FP} \cdot X_{ij} + C_{accept}^{FP} + \sum_{i=1}^I C_{maint_i}^{FP} \cdot k_{war_i}^{FP} + C_{labor}^{tr} \cdot k_{tr}^{FP} + C_{ret}^{FP} + C_s + C_d + A^{war} \cdot k_{war}^{FP} + A^{tr} \cdot k_{tr}^{FP} + C_{sales}^{cap} \cdot k_{sales}^{cap}, \quad (4)$$

де C_{ord}^{FP} – вартість контролю замовлень споживачів, грн.; $C_{tr_i}^{FP}$ – витрати на транспортування одиниці i -ої готової продукції (ГП), грн.; C_{accept}^{FP} – витрати на приймання партії готової продукції на складах, грн.; $C_{maint_i}^{FP}$ – вартість зберігання одиниці i -ої ГП на складах, грн.; C_{ret}^{FP} – витрати на повернення ГП неналежної якості,

грн.; C_s – витрати на сервіс, грн.; C_d – витрати на дилерську мережу, грн.; C_{sales}^{cap} – капітальні інвестиції у сфері збуту, грн.; $k_{tr_i}^{FP}$, $k_{war_i}^{FP}$ – коефіцієнти, що характеризують частку ГП у загальному матеріальному потоці складського та транспортного господарств, безрозмірні; k_{sales}^{cap} – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, безрозмірний.

Витрати природоохоронної сфери для j -го промвузла C_{cons}^j формуються за рахунок поточних та капітальних природоохоронних витрат:

$$C_{cons}^j = C_{cons}^{cap} \cdot k_{cons}^{cap} + C_{FR} + A_{cons}^{FA} + C_{labor}^{cons}, \quad (5)$$

де C_{cons}^{cap} – капітальні інвестиції в охорону природного середовища, грн.; k_{cons}^{cap} – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, безрозмірний; C_{FR} – витрати на ресурси та матеріали під час здійснення природоохоронної діяльності, грн.; A_{cons}^{FA} – амортизаційні відрахування на основні засоби природоохоронного призначення, грн.; C_{labor}^{cons} – витрати на оплату праці співробітників природоохоронної служби, грн.

Витрати на управління виробничою системою для j -го промвузла C_{manag} можуть бути оцінені співвідношенням:

$$C_{manag} = C_{m.manag} + C_m^{FA} + C_{CIT} + A_{g.econom}^{FA} + A_{g.econom}^{IA} + C_{serv}^{FF} + C_{st} + C_{perm} + C_{sc.tech} + C_{g.econom}^{cap} \cdot k_{g.econom}^{cap}, \quad (6)$$

де $C_{m.manag}$ – витрати на утримання загальногосподарського (ЗГ) персоналу, грн.; C_m^{FA} – витрати на утримання основних засобів загальногосподарського використання (ОС ЗГВ), грн.; C_{CIT} – витрати, пов'язані з використанням ІКТ, засобів зв'язку, документообігом, грн.; $A_{g.econom}^{FA}$ – амортизація ОС ЗГВ, грн.; $A_{g.econom}^{IA}$ – амортизація нематеріальних активів ЗГВ, грн.; C_{serv}^{FF} – витрати на обслуговування фінансових потоків, грн.; C_{st} – витрати на навчання управлінських кадрів, грн.; C_{perm} – витрати на отримання ліцензій та дозволів, грн.; $C_{sc.tech}$ – витрати на проведення конструкторських робіт, грн.; $C_{g.econom}^{cap}$ – капітальні інвестиції ЗГ призначення, грн.; $k_{g.econom}^{cap}$ – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень у сфері управління, безрозмірний.

Еколого-економічний збиток L_{com}^j у виробничій системі j -го промвузла оцінюється за формулою:

$$L_{com}^j = \sum_{k=1}^K (P_{tr} - C_{tr}^{ch}) \cdot X_{ij} \cdot R_{ik} \cdot \beta_{ik} + \sum_{k=1}^K (Q_{ik}^f - Q_{ik}^r) \cdot P_{tr} \cdot X_{ij} + C_{reimb}^{ee} + \sum_{k=1}^K (P_{ik}^{us} - C_{ik}^{us}) \cdot Q_{ik}^f \cdot X_{ij} + \sum_{z=1}^Z T_z^{ec} + P_{econ} + P_{env.prot}, \quad (7)$$

де перша компонента визначає недоотриманий прибуток внаслідок скорочення обсягів вироблення продукції, зокрема: P_{tr} – ціна одиниці i -ої

продукції, C_i^{ch} – питомі змінні витрати на виробництво одиниці i -ої продукції, R_{ik} – показник, що характеризує ефективність використання k -ого ресурсу при виробництві i -ої продукції, β_{ik} – показник, що характеризує непланові втрати k -ого ресурсу при виробництві i -ої продукції. Другий доданок співвідношення (7) визначає додаткові витрати та включає такі величини: Q_{ik}^f , Q_{ik}^r – фактична та нормативна використані кількості k -ого ресурсу при виробництві одиниці i -ої продукції, $P_{r_{ik}}$ – ціна k -ого ресурсу, що використовується при виробництві одиниці i -ої продукції, C_{reimb}^{ee} – витрати, пов'язані з відшкодуванням збитків. Четверта складова (7) визначає втрати матеріальних ресурсів і включає $P_{r_{ik}}^{us}$ – ціна k -ого ресурсу, що використовується при виробництві одиниці i -ої продукції, за оцінкою можливого його використання, C_{ik}^{us} – витрати на відновлення k -ого ресурсу для використання у виробництві одиниці i -ої продукції, Q_{ik}^f – обсяг втраченого k -ого ресурсу, що використовується у виробництві одиниці i -ої продукції. T_z^{ec} – витрати на сплату екологічного податку за забруднення z -го компоненту довкілля, P_{econ} , $P_{env.prot}$ – штрафні санкції за порушення господарського та природоохоронного законодавства, грн.

Величина T_z^{ec} може бути розрахована, як в роботі (Ємець, 2012, с. 80).

Враховуючи співвідношення (1)–(7) та введені позначення, математична модель задачі запишеться у вигляді: знайти упорядковану пару $\langle C(x^*), x^* \rangle$ таку, що

$$C(x^*) = \min_{x \in R^m} \frac{C_{gen}}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J d_{ij} x_{ij}}, \quad x^* = \operatorname{argmin}_{x \in R^m} \frac{C_{gen}}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J d_{ij} x_{ij}}, \quad (8)$$

за комбінаторної умови

$$x = (x_{11}, \dots, x_{1J}, x_{21}, \dots, x_{2J}, \dots, x_{I1}, \dots, x_{IJ}) = (x_1, \dots, x_m) \in E_{\eta^n}^m(G) \subset R^m \quad (9)$$

та за лінійних обмежень на необхідну кількість продукції

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} \leq A_i, \quad i = \overline{1, I}, \quad (11)$$

де A_i – максимально необхідна кількість i -ої продукції.

Враховуючи, що ресурси незавершеного виробництва зберігаються у виробничих приміщеннях, для коефіцієнтів k_{war}^{FR} , k_{war}^{FP} , k_{tr}^{FR} , k_{tr}^{FP} виконуються умови

$$k_{war}^{FR} + k_{war}^{FP} = 1, \quad (12)$$

$$k_{tr}^{FR} + k_{tr}^{FP} = 1. \quad (13)$$

Висновки та перспективи подальших досліджень. Запропонована модель (8)–(13) визначає взаємозалежність витрат та результатів виробництва з урахуванням екологічної складової, що дозволяє приймати управлінські рішення, які забезпечують підвищення еколого-економічної ефективності функціонування регіону.

В подальшому доцільно побудувати алгоритм розв'язку запропонованої моделі та запрограмувати його.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Коблянська І. І. Науково-методичні основи екологічно орієнтованого логістичного управління промисловим виробництвом: дис. ... канд. економ. Наук : 08.00.06; Сумський державний університет. Суми, 2011. 234 с.
2. Лутковська С. М. Модернізація системи екологічної безпеки сталого розвитку: дис. ... док. економ. наук: 08.00.03; Вінницький національний аграрний університет. Вінниця, 2020. 481 с.
3. Індикатори стану екологічної безпеки держави. Аналітична записка. Національний інститут стратегічних досліджень. URL: <http://www.niss.gov.ua/articles/993/> (дата звернення: 26.05.2020).
4. Екологічна безпека та економіка: монографія / М.І. Сокур, В.М. Шмандій, Є.К. Бабець, В.С. Білецький, І.Є. Мельнікова, О.В. Харламова, Л.С. Шелудченко. Кременчук, 2020. 240 с.
5. Коблянська І.І. Інновації як основа стратегії регіонального розвитку в умовах переходу до «зеленої» економіки. *Механізм регулювання економіки*. 2015. № 4. С. 17–28.
6. Бойко Т.В. Актуальні проблеми економічної безпеки України. URL: <http://library.kr.ua/orhus/bojko.pdf> (дата звернення: 14.07.2020).
7. Хилько М. І. Екологічна безпека України: навчальний посібник. Київ: Київський нац. ун-т ім. Т. Шевченка, 2017. 267 с.
8. Носова О.В., Маковоз О.С. Моделі економічної безпеки регіону. *Вісник Національної юридичної академії України імені Ярослава Мудрого*. Харків: НЮАУ імені Ярослава Мудрого, 2011. № 4. С. 36–45.
9. Герасимчук З.В., Олексюк А.О. Екологічна безпека регіону: діагностика та механізм забезпечення: монографія. Луцьк: Надстир'я. 2007. 280 с.

10. Ємець О.О., Черненко О.О. Модель функціонування регіону: оцінка екологічної безпеки : III Всеукраїнська науково-практична конференція «Інформатика та системні науки». 1–3 березня 2012 р. С. 80–83.
11. Стоян Ю. Г., Ємець О.О. Теорія і методи евклідової комбінаторної оптимізації. Київ : Інститут системних досліджень освіти, 1993. 188 с.

REFERENCES:

1. Koblyanska I.I. (2011). *Naukovo-metodychni osnovy ekolohichno oriyentovanoho lohistychnoho upravlinnya promyslovym vyrobnytstvom: Dys. ... kand. ek. nauk: 08.00.06* [Scientific and methodological foundations of environmentally friendly logistics management of industrial production: Dis. ... cand. ec. sciences: 08.00.06.] Sumy State University. Sumy. 234 p. [in Ukrainian]
2. Lutkovskaya S. M. (2020). *Modernizatsiya systemy ekolohichnoyi bezpekы staloho rozvytku: Dys. ... dok. ek. nauk: 08.00.03* [Modernization of the environmental safety system of sustainable development: Dis. ... doc. ec. sciences: 08.00.03.] Vinnytsia National Agrarian University. Vinnytsia, 481 p. [in Ukrainian]
3. *Indykatory stanu ekolohichnoyi bezpekы derzhavы. Analitыchna zapыska* [Indicators of the state of ecological safety of the state. Analytical note]. *National Institute for Strategic Studies*. Retrieved from: <http://www.niss.gov.ua/articles/993/>. [in Ukrainian]
4. Sokur M.I., Shmandiy B.M., Babets' E.K., Biletsky V.S., Melnikov I.Ye., Kharlamova O.V., Sheludchenko L.S. (2020). *Ekolohichna bezpeka ta ekonomika: monohrafiya* [Ecological safety and economy: monograph]. Kremenchuk. [in Ukrainian]
5. Koblyanska I.I. (2015). *Innovatsiyi yak osnova stratehiyi rehional'noho rozvytku v umovakh perekhodu do «zelenoyi» ekonomiky* [Innovation as the basis of regional development strategy in the transition to a "green" economy]. *Mekhanizm rehulyuvannya ekonomiky* [The mechanism of economic regulation]. № 4. P.17–28. [in Ukrainian]
6. Boyko T.V. *Aktual'ni problemy ekonomichnoyi bezpekы Ukrainy* [Actual problems of economic security of Ukraine] [Electronic resource]. Retrieved from: <http://library.kr.ua/orhus/bojko.pdf>. [in Ukrainian].
7. Khilko M.I. (2017) *Ekolohichna bezpeka Ukrainy: Navchal'nyy posibnyk* [Ecological safety of Ukraine: Tutorial]. Kyiv: Kyiv National University Univ. T. Shevchenko. 267 p. [in Ukrainian]
8. Nosova O.V., Makovoz O.S. (2011) [Models of economic security of the region]. [*Bulletin of the National Law Academy of Ukraine named after Yaroslav the Wise*]. Kharkiv: NLAU named after Yaroslav the Wise. № 4. P. 36–45. [in Ukrainian]
9. Gerasimchuk Z.V., Oleksyuk A.O. (2007) [Ecological safety of the region: diagnostics and support mechanism. *Monograph*]. Lutsk: Nadstyr'ya. – 280 p. [in Ukrainian]
10. Yemets O.O., Chernenko O.O. (2012) *Model' funktsionuvannya rehionu: otsinka ekolohichnoyi bezpekы* [Model of functioning of the region: assessment of ecological safety] *III Vseukrayins'ka naukovo-praktychna konferentsiya «Informatyka ta systemni nauky» (1–3 bereznya 2012 r.)* [III All-Ukrainian scientific-practical conference "Informatics and systems sciences" (March 1-3, 2012)]. P. 80–83. [in Ukrainian]
11. Stoyan Yu. G., Yemets O.O. (1993) *Teoriya i metody evklidovoyi kombinatornoyi optyimizatsiyi* [Theory and methods of Euclidean combinatorial optimization]. Kyiv: Institute for Systems Research in Education. 188 p. [in Ukrainian]