

**Shkop Andrii** – Applicant, Department of chemical technique and industrial ecology, National technical university «Kharkov polytechnic institute» 21, street of Bagalii, Kharkov, Ukraine, 61002; e-mail: [shkop\\_ecomass@ukr.net](mailto:shkop_ecomass@ukr.net).

**Tseitlin Musii** – Doctor of Technical Sciences, Professor, National technical university «Kharkov polytechnic institute», 21, street of Bagalii, Kharkov, Ukraine, 61002; e-mail: [mzeit@mail.ru](mailto:mzeit@mail.ru).

**Oleksii Shestopalov** – Candidate of engineering sciences, Associate professor, National technical university «Kharkov polytechnic institute», 21, street of Bagalii, Kharkov, Ukraine, 61002; e-mail: [shestopalov.it@kphi.edu.ua](mailto:shestopalov.it@kphi.edu.ua).

УДК 519.876.5::628.472.3

**В. Ю. КОЛОСКОВ**

## МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ ПОЛІГОНУ ЗІ ЗБЕРІГАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Вперше створено імітаційну модель системи управління безпекою полігону зі зберігання твердих побутових відходів. Під час розроблення моделі пропонується розглядати необхідні для визначення рівня безпеки параметри полігону, які визначають фактори ризику виникнення надзвичайних ситуацій на ньому, та показники якості довкілля як відгуки на вплив зовнішніх чинників. В цьому дослідженні показані й математично описані взаємозв'язки процесів, що відбуваються на об'єкті та у довкіллі. Основним результатом дослідження є удосконалення методу прогнозування рівня безпеки полігону шляхом використання імітаційного моделювання.

**Ключові слова:** прогнозування, рівень безпеки, імітаційне моделювання, полігон, відходи, фактори ризику.

Впервые создана имитационная модель системы управления безопасностью полигона захоронения твердых бытовых отходов. При разработке моделью предлагается рассматривать необходимые для определения уровня безопасности параметры полигона, определяющие факторы риска возникновения на нем чрезвычайных ситуаций, и показатели качества окружающей среды, как отклики на воздействие внешних факторов. В данном исследовании показаны и математически описаны взаимосвязи процессов, происходящих на объекте и в окружающей среде. Основным результатом исследования является усовершенствование метода прогнозирования уровня безопасности полигона путем использования имитационного моделирования.

**Ключевые слова:** прогнозирование, уровень безопасности, имитационное моделирование, полигон, отходы, факторы риска.

The purpose of the article is to develop method of forecasting of safety level of solid household wastes landfill based on simulation modeling application. The mathematical simulation of functioning process of safety control system of landfill is applied, taking into account interrelations of the processes taking place at the object and in the environment yet considering characteristics of these processes as responses of environment and object on influence of external factors. Results originality. For the first time, the mathematical model of functioning process of safety control system of landfill is developed. We have developed the improved method of forecasting of safety level of landfill is developed, allowing to account the whole complex of acting factors of negative influence of the landfill at the environment in connection with accompanying factors of risk of extreme situations occurrence and at the same time to decrease the number of meaning indexes of safety. Practical value. Application of the proposed method allows us to achieve stable and sufficiently accurate statistics of succession of events without experiments taken on real landfills, which may lead to extreme situations occurrence. It gives us an opportunity to decrease the amount of calculations needed for accurate estimation of the landfill safety level and at the same time to simplify the forecasting procedure without accuracy loss.

**Keywords:** forecasting, safety level, simulation modelling, landfill, wastes, risk factors.

**Вступ.** Аналіз надзвичайних ситуацій (НС) техногенного та природного характеру, які відбуваються у межах полігонів зі зберігання твердих побутових відходів (ТПВ) та інших видів сміття наявно демонструє присутність взаємозв'язків між джерелами екологічної небезпеки та факторами ризику НС, що можуть виникнути у їхніх межах. Наприклад, в Україні та світі на полігонах та звалищах різного призначення у достатній кількості відбуваються зсуви та обвали великих мас відходів та забруднених ґрунтів, наслідки яких у окремих випадках є катастрофічними. До подібних подій відносяться, зокрема, НС, що сталися у 2015 році у м. Шенжен, Китай (69 загиблих); у 2011 році у м. Багію, Філіппіни (5 загиблих); у 2000 році у м. Кесон-Сіті, Філіппіни (218 загиблих). Усім згаданим катастрофам передували порушення умов накопичення та зберігання відходів, а безпосередньо перед ними у більшості прикладів – серйозне погіршення метеорологічних умов у вигляді злив. Втім, іншим негативним наслідком описаних подій, окрім загибелі людей, стало суттєве збільшення площі, які займають відходи, та їх розповсюдження на територію, не пристосовану для їх безпечного зберігання. Отже, можна зробити висновок, що рівень екологічної небезпеки подібних об'єктів після подібних катастроф різко збільшується.

Особливо проблема забезпечення безпеки полігонів зі зберігання відходів загострюється, якщо декілька різнопланових НС співпадають у часі, оскільки сумарні величини негативного впливу на середовище при цьому суттєво зростають. Зокрема, під час пожежі на полігоні прямий контроль стану маси відходів з метою оцінювання факторів ризику виникнення зсуву або інших НС є суттєво ускладненим через високу температуру палаючих речовин.

Як можна побачити на наведених прикладах, питання зниження ризику виникнення НС та забезпечення екологічної безпеки на полігонах зі зберігання відходів необхідно розглядати з урахуванням усіх взаємозв'язків. Слід зазначити, що й у нормальних умовах функціонування полігону зі зберігання ТПВ суттєвою умовою успішної реалізації заходів й засобів із забезпечення екологічної безпеки є розміщення мас відходів у ізоляції від навколишнього середовища. Це вимагає, зокрема, утримання відходів на виділеному обмеженому майданчику без розповсюдження на прилеглу територію відходів та продуктів їхнього розкладання.

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.** Місця розташування ТПВ є потужними джерелами розповсюдження забруднюючих речовин у

© В. Ю. Колосков. 2016

атмосфері, ґрунті, поверхневих та підземних водах [1]. Шкідливий вплив полігонів зі збереження ТПВ на довкілля є тривалим у часі, що пов'язано з великими термінами розкладення речовин, які входять до мас відходів, зокрема, полімерів та композиційних матеріалів. Побутові відходи є сумішшю твердих речовин, що містить харчові відходи, папір, скло, тканини й полімерні матеріали, метали, тощо, які використовують у побуті. Проте у реальних умовах функціонування полігонів за рахунок змішування до ТПВ потрапляє ширший спектр відходів, включаючи великогабаритні уламки будівельного сміття, що визначає багатокomпонентний склад ТПВ [2].

Основи концепції комплексного екологічного оцінювання природно-техногенних об'єктів викладено у роботах з питань екологічної безпеки [3–6]. Загальний підхід до створення моделей, що використовувалися автором у дослідженнях, викладено у роботі [7]. Що стосується застосування даного підходу для окремих випадків у вирішенні проблем забезпечення безпеки як загального плану, так і конкретних задач, ці результати викладено у роботах автора [8–11].

Реалізація динамічного управління безпекою в умовах НС потребує якісно нових підходів до оцінювання результатів негативних впливів на об'єкт та довкілля. Врахування сукупної дії різних факторів, накопичення ефекту впливу, взаємозв'язків між факторами ризику виникнення НС та показниками рівня екологічної безпеки полігону вимагає переходу від методів прямого оцінювання результатів впливів до методів прогнозування цих результатів у майбутньому, що дозволить не лише виконати завдання забезпечення необхідного рівня безпеки, а й підвищити ефективність захисних заходів, які впроваджуються для його вирішення. З урахуванням обмеженості ресурсів з ліквідації наслідків шкідливого впливу на довкілля

актуальною проблемою є визначення рівня безпеки полігонів зі зберігання ТПВ, як об'єктів техногенної діяльності людства.

**Ціль та задачі дослідження.** Метою дослідження є розроблення моделей та методів прогнозування рівня безпеки полігону зі зберігання ТПВ.

Для досягнення поставленої мети були поставлені та вирішені наступні задачі:

1. Створити імітаційну модель системи управління безпекою полігону зі зберігання ТПВ.

2. Удосконалити метод прогнозування рівня безпеки полігону зі зберігання ТПВ.

**Матеріали та методи дослідження процесу функціонування системи управління безпекою полігону зі зберігання ТПВ.** Об'єктом дослідження є процес функціонування системи управління безпекою полігону зі зберігання ТПВ.

Предметом дослідження є моделі і методи прогнозування рівня безпеки полігону зі зберігання ТПВ.

Методологічною основою представленої роботи став метод імітаційного моделювання. Оскільки експериментування на полігонах зі зберігання ТПВ з відтворенням умов перебігу надзвичайних ситуацій є неприпустимим за вимогами безпеки, цей метод дозволяє перейти до аналізу відповідних станів системи з визначенням альтернатив її поведінки і, внаслідок цього, до прогнозування рівня безпеки полігону в цілому. Цей метод дослідження дозволяє одержати стійку статистику розвитку подій, за умови заміни реальної системи моделлю, що з достатньою точністю описує її.

Імітаційна модель системи управління безпекою полігону зі зберігання ТПВ складена за блочно-модульним принципом (рис. 1), що дозволяє вільно корегувати структуру моделі в залежності від конкретного завдання моделювання, пов'язаного з конкретним об'єктом.

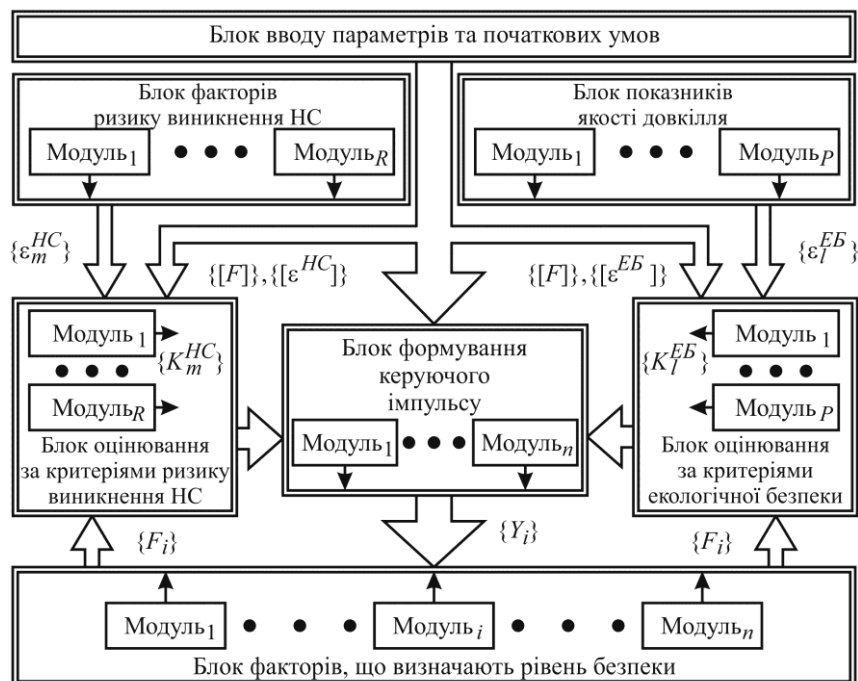


Рис. 1 – Структура імітаційної математичної моделі системи управління безпекою полігону зі зберігання ТПВ

Функціонування системи управління безпекою полігону розглядається на інтервалі часу  $(T_0, T_1)$ , що характеризується дією комплексу факторів  $F_i(t) \in \Phi$ ,  $i = 1 \dots n$ . До розгляду додаються параметри  $\varepsilon_m^{HC} \in E^{HC}$ ,  $m = 1 \dots R$ , що визначають фактори ризику виникнення НС, а також показники якості довкілля  $\varepsilon_l^{EB} \in E^{EB}$ ,  $l = 1 \dots P$ .

$$E = E^{HC} \cup E^{EB}. \quad (1)$$

Множина величин  $E$  при цьому розглядається як сукупність відгуків об'єкту та довкілля на вплив зовнішніх факторів з урахуванням взаємозв'язку процесів, що відбуваються на полігоні та у довкіллі.

Результатом моделювання є залежності від часу

$$W(t) = K(t), Y(t) \quad (2)$$

критеріїв оцінювання рівня безпеки  $K(t)$

$$K = K^{BC} \cup K^{HC} \quad (3)$$

та керуючого імпульсу  $Y(t)$  у вигляді комплексу впливів на кожен із факторів, що визначають рівень безпеки,

$$Y = \{Y_i\}; \quad (4)$$

$$Y_i = g_i(K), \quad i = 1 \dots n, \quad (5)$$

Задача їх знаходження формалізується наступним чином

$$W(t) = M(A(t), B), \quad (6)$$

де  $A$  – сукупність вхідних параметрів системи у формі

$$A = \Phi \cup E, \quad (7)$$

$B$  – множина регламентуючих обмежень

$$B = \{[F]\}, \{[\varepsilon^{HC}]\}, \{[\varepsilon^{EB}]\}, \quad (8)$$

які визначають у кількісному вираженні граничні значення для кожного з використовуваних критеріїв оцінювання рівня безпеки.

Сформований набір критеріїв

$$K = K^{HC} \cup K^{EB} = \{K_m^{HC}\} \cup \{K_l^{EB}\} \quad (9)$$

має формалізувати вимоги нормативних документів, що регламентують умови експлуатації полігонів зі зберігання ТПВ, за припустимим рівнем ризику виникнення НС

$$K_m^{HC} : \chi_m^{HC}(\Phi, E^{HC}), \quad m = 1 \dots R, \quad (10)$$

та рівнем екологічної безпеки

$$K_l^{EB} : \chi_l^{EB}(\Phi, E^{EB}), \quad l = 1 \dots P, \quad (11)$$

де  $R$  та  $P$  – кількість критеріїв, що використовується для оцінювання рівня безпеки за кожним з цих напрямів.

Отже, процес функціонування системи управління безпекою полігону зі зберігання ТПВ в загальному вигляді можна записати наступним чином:

$$\{A, B\} \rightarrow W : \{K \rightarrow Y\}. \quad (12)$$

Оскільки реальні умови функціонування природних процесів у навколишньому природному середовищі характеризуються впливом складного комплексу негативних факторів, оцінювання результату їхньої дії має базуватися на сформованих динамічних моделях виникнення відгуків навколишнього середовища під дією тих або інших факторів. З урахуванням цього метод прогнозування рівня безпеки полігону зі зберігання ТПВ полягає у покроковій перевірці дотримання умов безпечного функціонування об'єкту на основі критеріїв безпеки у  $n$ -вимірному просторі факторів  $F_i \in \Phi$ ,  $i = 1 \dots n$ , де  $n$  – кількість факторів у сукупності, які змінюються за програмою функціонування об'єкту, з наданням узагальненого висновку про рівень безпеки. Спрощену схему методу подано на рис. 2.



Рис. 2 – Спрощена схема методу прогнозування рівня безпеки полігону зі зберігання ТПВ

Комплекс вихідних даних для прогнозування формується за трьома напрямками.

1. Формування набору значень факторів, що визначають рівень безпеки, які задаються програмою функціонування полігону з урахуванням керуючих імпульсів на корегування значень факторів у випадку виходу на неприпустимий режим роботи. Для уніфікації оцінювання рівня безпеки слід отримати множину зведених факторів  $\bar{F}_i \in \Phi^{36}$

$$\phi_F^{36} : \Phi \rightarrow \Phi^{36} \quad (13)$$

у вигляді

$$\bar{F}_i = \phi_F^{36}(F_i) = \frac{F_i}{[F_i]}, \quad i = 1 \dots n, \quad (14)$$

де  $[F_i]$  – граничні припустимі значення діючих факторів. Такий підхід надає можливість перейти до розгляду  $n$ -вимірному простору зведених значень факторів, у якому граничні припустимі значення визначаються нормативним критерієм у вигляді

$$\bar{F}_i = 1, \quad i = 1 \dots n, \quad (15)$$

завдяки чому різноманітні за походженням фактори зрівнюються за значенням.

2. Формування набору критеріїв для оцінювання безпеки досліджуваного об'єкту. Побудову критеріїв оцінювання рівня безпеки проводять з урахуванням визначеного набору діючих факторів.

3. Формування набору параметрів та вихідних даних, які визначають початковий стан полігону й екосистеми прилеглої території, включаючи:

- граничні припустимі значення діючих факторів  $[F_i]$ ;
- граничні припустимі значення параметрів об'єкту  $[\varepsilon_m^{HC}]$ ;
- граничні припустимі значення показників якості довкілля  $[\varepsilon_i^{EB}]$ .

Комплекс критеріїв оцінювання рівня безпеки полігону реалізується водночас для кожного діючого фактору, а з іншого – для усіх значущих відгуків довкілля та об'єкту. Після послідовного оцінювання рівня безпеки полігону для кожного набору значень факторів за програмою його функціонування формується узагальнений висновок про прогнозований рівень безпеки системи упродовж заданого періоду часу.

**Результати дослідження процесу функціонування системи управління безпекою полігону зі зберігання ТПВ.** В результаті проведених досліджень отримані наступні результати:

1. Вперше розроблено імітаційну математичну модель системи управління безпекою полігону зі зберігання ТПВ, яка дозволяє проводити комплексний аналіз та прогнозування рівня безпеки різних комбінацій уражуючих факторів надзвичайних ситуацій з використанням методів імітаційного моделювання.

2. Запропоновано удосконалений метод прогнозування рівня безпеки полігону зі зберігання ТПВ шляхом використання імітаційного моделювання.

**Обговорення результатів дослідження процесу функціонування системи управління безпекою полігону зі зберігання ТПВ.** Прогнозування змін у стані довкілля є складним процесом, який вимагає формалізації зв'язків між всіма елементами системи. При цьому необхідно брати до уваги якнайбільше індивідуальних особливостей полігону стосовно можливостей виникнення на ньому НС – пожежі, зсуву, тощо.

Для практичної реалізації запропонованого методу необхідним є проведення системних досліджень, направлених на створення бази формалізованих критеріїв за якнайбільшою кількістю показників для оцінювання рівня безпеки полігону зі зберігання ТПВ, які б враховували зв'язок між природними процесами в ньому з параметрами функціонування об'єкту.

**Висновки.** Основним результатом поданої роботи є вдосконалення методу прогнозування рівня безпеки полігону зі зберігання ТПВ шляхом використання імітаційного моделювання. Основною перевагою запропонованого методу у порівнянні з тими, що використовуються сьогодні, є урахування усього комплексу діючих факторів негативного впливу полігону на довкілля у поєднанні з супутніми факторами ризику виникнення НС, з одночасною мінімізацією кількості значущих показників якості довкілля. Завдяки цьому з'являється можливість зниження обсягів обчислень, необхідних для точного оцінювання набором критеріїв, а також спрощується процедура прогнозування без втрати точності.

#### Список літератури:

1. Трофімов, І. Л. Оцінка впливу відходів побутового походження на екологічний стан України [Текст] / І. Л. Трофімов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 2/10 (68). – С. 25–29. doi:10.15587/1729-4061.2014.22427
2. Шаповров, В. П. Проблемы, возникающие при обращении с твердыми бытовыми отходами, и возможные пути их решения [Электронный ресурс] / В. П. Шаповров, О. А. Лопухина, М. А. Жабер и др. // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2005. – № 1. – С. 3–9. – Режим доступа: \www/URL: [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/2286/1/ITE\\_2005\\_1\\_Shapovrov\\_Problemy%2c%20voznikayushchiye.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/2286/1/ITE_2005_1_Shapovrov_Problemy%2c%20voznikayushchiye.pdf)
3. Лисиченко, Г. В. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління [Текст] / Г. В. Лисиченко, Ю. Л. Забулонов, Г. А. Хміль. – Київ: Наукова думка, 2008. – 543 с.
4. Харламова, Е. В. Теоретические основы управления экологической безопасностью техногенно нагруженного региона [Текст] / Е. В. Харламова, М. С. Малеваный, Л. Д. Пляцук // Экологична безпека. – 2012. – № 1 (13). – С. 9–12.
5. Шевчук, В. Я. Екологічне управління [Текст] / В. Я. Шевчук, Ю. М. Сатанкін, Г. А. Більявський та ін. – Київ: Лебідь, 2004. – 430 с.
6. Козуля, Т. В. Комплексна екологічна оцінка природно-техногенних комплексів на основі MIPS- і ризик-аналізу [Текст] / Т. В. Козуля, Д. І. Смельянова, М. М. Козуля // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 3/10 (69). – С. 8–13. doi:10.15587/1729-4061.2014.24624
7. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука [Текст] / Р. Шеннон. – Москва: Мир, 1978. – 418 с.
8. Колосков, В. Ю. Метод прогнозування адаптації оператора до дії шкідливих факторів машинобудівного виробництва [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / В. Ю. Колосков. – Харьков, 2007. – 178 с.
9. Колосков, В. Ю. Утилизация непригодных для дальнейшего использования авиационных боеприпасов с учетом критериев безопасности [Текст] / В. Ю. Колосков, Е. А. Полищук // Экология и промышленность. – 2011. – № 4. – С. 109–114.

10. Колосков, В. Ю. Моделирование мичности несущих конструкций будівель під час пожежі [Текст] / В. Ю. Колосков // Проблемы пожарной безопасности. – 2015. – № 38. – С. 83–90.
- Bibliography (transliterated):**
1. Trofimov, I. L. (2014). Impact assessment of municipal wastes on the ecological state of Ukraine. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(10(68)), 25–29. doi:[10.15587/1729-4061.2014.22427](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.22427)
  2. Shaporev, V. P., Lopuhina, O. A., Zhaber, M. A., Kanso, V. A., Shaporev, P. V. (2005). Problems arising on handling of solid domestic wastes and ways of their resolution. Integrated Technologies and Energy Conservation, 1, 3–9. Available at: [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/2286/1/ITE\\_2005\\_1\\_Shaporev\\_Problemy%2c%20voznikayushchiye.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/2286/1/ITE_2005_1_Shaporev_Problemy%2c%20voznikayushchiye.pdf)
  3. Lysyuchenko, G. V. (2008). Pryrodnyj, tehnogenyj ta ekologichnyj ryzky: analiz, ocinka, upravlinnja. Kyiv: Naukova dumka, 543.
  4. Harlamova, E. V., Malevanyj, M. S., Pljacuk, L. D. (2012). Theoretical bases managements by ecological safety of the technogenic loaded region. Ecological Safety, 1 (13), 9–12.
  5. Shevchuk, V. Ja., Satankin, Ju. M., Biljavskij, G. A. et al. (2004). Ekologichne upravlinnja. Kyiv: Lebid, 430.
  6. Kozulia, T. V., Yemeljanova, D. I., Kozulia, M. M. (2014). Complex ecological estimation of natural and manmade complexes which basis on MIPS- and risk analysis. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(10(69)), 8–13. doi:[10.15587/1729-4061.2014.24624](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24624)
  7. Shannon, R. (1978). Systems Simulation: The Art and Science. Moscow: Mir, 418.
  8. Koloskov, V. Yu. (2007). Method of prediction of operator adaptation to influence of machine-building harmful factors. Kharkiv, 178.
  9. Koloskov, V. Yu., Polishuk, E. A. (2011). Utilization of ammunition not suitable for further usage taking into account safety criteria. Ekologiya i promyshlennost', 4 (29), 109–114.
  10. Koloskov, V. Yu. (2015). Modelling of strength of carrying constructions of buildings during the fire. Problems of Fire Safety, 38, 83–90.

Надійшла (received) 15.01.2016

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Моделі та методи прогнозування рівня безпеки полігону зі зберігання твердих побутових відходів/ В. Ю. Колосков** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 4(1176). – С.142–146. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

**Модели и методы прогнозирования уровня безопасности полигона захоронения твердых бытовых отходов/В. Ю. Колосков** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 4(1176). – С.142–146. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

**Models and methods of forecasting of safety level of solid household wastes storage landfill/V. Koloskov** //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – No 4 (1176). – P. 142–146. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Колосков Володимир Юрійович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет цивільного захисту України, доцент кафедри прикладної механіки; вул. Чернишевська, 94, м. Харків, 61023, Україна; e-mail: [koloskov@nuczu.edu.ua](mailto:koloskov@nuczu.edu.ua)

**Колосков Владимир Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент, Национальный университет гражданской защиты Украины, доцент кафедры прикладной механики; ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, 61023, Украина; e-mail: [koloskov@nuczu.edu.ua](mailto:koloskov@nuczu.edu.ua)

**Koloskov Volodymyr** – candidate of technical sciences, associate professor, National University of Civil Protection of Ukraine, associate professor of the Applied Mechanics Department; Chernishevskya str., 94, Kharkiv, 61023, Ukraine; e-mail: [koloskov@nuczu.edu.ua](mailto:koloskov@nuczu.edu.ua)