

**В. В. Поліщук<sup>1</sup>, М. Келемен<sup>2</sup>, Ю. Ю. Млавець<sup>3</sup>, О. А. Тимошенко<sup>4</sup>,  
М. Келемен Мол.<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> ДВНЗ «Ужгородський національний університет»,  
доцент кафедри програмного забезпечення систем,  
кандидат технічних наук  
[volodymyr.polishchuk@uzhnu.edu.ua](mailto:volodymyr.polishchuk@uzhnu.edu.ua)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4586-1333>

<sup>2</sup> Кошицький технічний університет,  
професор кафедри підготовки пілотів,  
Dr.h.c. prof. Ing., DrSc. MBA, LL.M., Brigadier General (ret.)  
[miroslav.kelemen@tuke.sk](mailto:miroslav.kelemen@tuke.sk)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7459-927X>

<sup>3</sup> ДВНЗ «Ужгородський національний університет»,  
доцент кафедри кібернетики і прикладної математики,  
кандидат фізико-математичних наук  
[yurii.mlavets@uzhnu.edu.ua](mailto:yurii.mlavets@uzhnu.edu.ua)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1480-9017>

<sup>4</sup> ДНТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
доцент кафедри математичного аналізу та теорії ймовірностей,  
кандидат фізико-математичних наук  
[otymoshenkokpi@gmail.com](mailto:otymoshenkokpi@gmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1885-7275>

<sup>5</sup> Кошицький технічний університет,  
аспірант кафедри підготовки пілотів  
[martin.kelemen@tuke.sk](mailto:martin.kelemen@tuke.sk)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1015-1112>

## **КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ КЕРОВАНOSTI ПРОЦЕСАМИ У СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ ВРАХОВУЮЧИ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНІ ФАКТОРИ**

Проведено дослідження актуальної задачі розроблення концептуальної моделі оцінювання рівня керованості процесами у складних системах враховуючи ризик-орієнтовані фактори.

У дослідженні вперше запропоновано етапи управління ризиками у процесі оцінювання рівня керованості складних систем. Формалізовано вхідні дані, що використовуються для оцінювання ризиків за допомогою нечітких моделей для різних складних систем, а саме: показники ризику, що оцінюється деяким експертом за допомогою лінгвістичної змінної; кількісної оцінки «достовірностей» експертів щодо міркувань про показник ризику; кількісної оцінки критерію ризику на основі інтелектуального аналізу даних величин, що породжують ризик, із застосуванням теорії нечітких множин та функцій належності; лінгвістичної змінної наслідків реалізації загроз на систему; ступінь можливості реалізації загрози в системі; тяжкість наслідків інциденту по активу системи, що оцінюється деяким експертом за допомогою лінгвістичної змінної.

Вперше запропоновано концептуальну модель, що розв'язує клас задач оцінювання керованості процесами у складних системах враховуючи ризик-орієнтовані фактори впливу та алгоритм вибору моделі ризик-орієнтованого оцінювання. В результаті отримуємо вихідну оцінку, що несе зміст керованості процесів у системі враховуючи ризик-орієнтовані фактори впливу. Як інструмент прикладного застосування пропонуються узагальнені алгоритми, за допомогою яких можна адекватно вирішити інноваційну проблему.

Достовірність отриманих результатів забезпечується коректним використанням теорії нечітких множин для опрацювання експертних знань, системного підходу, що підтверджується результатами досліджень. Проведене дослідження буде корисним інструментом для підтримки прийняття рішень, щодо підвищення керованості процесами у різних складних системах шляхом врахування ризиків та загроз її функціонування.

**Ключові слова:** керованості процесами, фактори ризику, нечітка множина, рівень ризику, прийняття рішень, інтелектуальний аналіз.

**1. Вступ.** Рівень безпеки діяльності людства кожного дня покращується за рахунок удосконалення технологій, аналізу даних, систем управління, та інші. Стандарти навчання персоналу та управління безпекою теж стали помітно вищі. Але тим не менше, стикаємося з множиною ризиків, які потенційно можуть поставити під загрозу успіх операційної діяльності, якщо ними адекватно не керувати. Однією з ключових складових вимірювання ризику функціонування складних систем є генерування сценаріїв розвитку основних факторів ризику.

Кожна складна система функціонування має різний базовий рівень, стосовно унікальності своїх даних. Це певна кількість та якість даних, які можна обробляти. Великі дані в складних системах можуть створюватися з великого набору датчиків, баз даних, інформаційних систем, соціальних мереж і т. д.

Тому діяльність складної системи вимагає прийняття певних рішень, а це в свою чергу пов'язане з оцінюванням майбутнього. Таке оцінювання реалізується шляхом максимального врахування невизначеностей та ризиків. Ефективне управління ризиками забезпечить підвищення якості рішень. Ризики є необхідною складовою людської діяльності, коли існує невпевненість у результатах того чи іншого процесу рішення. При прийнятті управлінських рішень, особливо актуальною є проблема розкриття невизначеності даних, на основі яких приймаються рішення, та адекватного оцінювання для мінімізації ризиків.

Метою дослідження є актуальна задача розробки концептуальної моделі оцінювання рівня керованості процесами у складних системах враховуючи ризик-орієнтовані фактори. Модель оцінювання представлено сукупністю нечітких методів, що базуються на врахуванні ризик-орієнтованих факторів впливу із застосуванням: досвіду експертів щодо їх оцінювання, лінгвістичного рівня критеріїв оцінювання ризиків, наслідків реалізації різних загроз на систему. Модель оцінювання дозволить оцінити керованість процесами для складної системи враховуючи різні ризики, що впливають на функціонування системи.

Даний підхід можна застосувати для розв'язання низки прикладних задач у різних складних системах, наприклад: для соціо-економічних систем це моделювання фінансових ризиків [1-2]; для соціально технічних це оцінювання ризиків та інцидентів безпеки мережевих та інформаційних систем аеропорту [3]; для гуманістичних систем це оцінювання ризику виконання індивідуальних стрибків парашутистів для підвищення їх безпеки [4]; для технічних систем це оцінювання ризиків польотів безпілотників для дослідження довкілля у гірській місцевості [5], та багато інших.

**2. Огляд літератури.** У стислому Оксфордському словнику англійської мови ризик визначається як «небезпека, ймовірність поганих наслідків, втрата або схильність до випадковості». Макнейл, Фрей та Ембрехтс [6] ризик визначають, як будь-яку подію або дію, що може негативно вплинути на здатність

організації досягати своїх цілей та виконувати її стратегії. Незважаючи на те, що всі ці визначення охоплюють деякі ключові елементи ризику, неможливо охопити всі його аспекти одним визначенням з одного речення. Однак очевидно, що ризик сильно пов'язаний з невизначеністю щодо майбутніх подій. В загальному випадку, під поняттям ризику можна розглядати ситуацію небезпеки можливості настання несприятливої події або загроз можливих втрат, щодо яких невідомо чи відбудуться вони у майбутньому.

Згідно з [7, 8] виділяють три основні підходи оцінювання ризиків при розв'язанні практичних задач.

1. Інтуїція, досвід та знання експертів, що роблять судження щодо природи особливостей процесів функціонування складної системи. Для нових інноваційних об'єктів дослідження – це єдиний доступний спосіб для аналізу процесів, які не існували або мали іншу структуру в минулому, і статистична історія за якими відсутня або не має сенсу.

2. Спостереження за фактичними ситуаціями та збитками від ризиків на тривалому попередньому періоді часу. У багатьох практичних задачах такі дані відсутні. Крім того, у критичних технічних, соціальних, економічних і екологічних системах, в яких значний вплив має дуже мінливе середовище процесу, такі дані містять опис динаміки процесу при минулих станах середовища, а це часто не відповідає сучасності.

3. Використання даних спостережень за групами окремих ризиків з подібними характеристиками, що можуть бути зроблені протягом невеликого періоду часу. Такий підхід є найбільш придатним і перспективним у складних задачах керування ризиками в умовах всіх типів невизначеностей [9]. Окремі ризикорієнтовані фактори впливу утворюють класи ризиків, які загалом складають певну класифікацію ризиків для задач заданого типу.

До сьогодні не сформовано загальних принципів та ознак класифікації ризиків, практично не існує розробок з узагальнення та формалізації класифікації ризиків, що можуть бути застосовані у міждисциплінарних дослідженнях.

У роботі [10] Згуровський розглядає задачу формалізованої класифікації ризиків, як інформаційно взаємозв'язані задачі класифікації ситуацій ризиків і задачі розпізнавання ситуацій ризиків, на основі множини факторів їх виникнення. При цьому зазначається, що принциповий вплив на якість класифікації, яка виражається у точності і достовірності класифікації ризиків, спричиняє вибір множини факторів ризиків та множини ознак кожного фактору ризику.

У роботі [11] Панягіна виділяє два основні підходи предметної та управлінської класифікації. Предметна класифікація здійснюється за змістом і змістом кожного виду і типу ризику, вона дає можливість проводити ідентифікацію ризиків та характеризувати можливі наслідки від ризиків (операційні, інноваційні, неповернення інвестицій, і т. д.). Управлінська класифікація передбачає виділення класів ризиків за джерелами та етапами виникнення ризиків та за способами керування ризиками (технологічний, екологічний, помилки персоналу, і т. д.).

Підхід групування ризиків за ресурсами, які перебувають під ризиком втрат, дозволяє при прогнозуванні чи виникненні певної ситуації ризику класифікувати ризик та оперативно попередньо визначити групу адекватних заходів і моделей керування конкретним класом ризиків [12].

Х. Фелікс Кломан [13] під управлінням ризиками визначає наступне. Для багатьох аналітиків, політиків та науковців саме управління екологічними та ядерними ризиками – це ті технології, що генерують макроризики, що загрожують нашому існуванню. Для банкірів та фінансових службовців – це розумне використання таких методів, як хеджування валют та своп процентних ставок. Для страхових агентів – це координація страхових ризиків та зменшення страхових витрат. Для адміністраторів лікарні – це може означати «забезпечення якості». Для фахівців з безпеки – це зменшення кількості нещасних випадків та травм.

Таким чином, Кломана вважає, що управління ризиками – це спектр методів, що використовується для ефективнішого управління своїм життям та організаціями в умовах «безпрецедентної невизначеності». Або – це дисципліна для забезпечення стійкості до майбутніх подій, що можуть спричинити несприятливі наслідки.

Аналізуючи джерела, отримаємо, що наступні дослідники описали процес управління ризиками. Наприклад, Ферлі [14] представив сім кроків: виявити фактори ризику; оцінити ймовірність та наслідки ризику; розробляти стратегії зменшення виявлених ризиків; контролювати фактори ризику; застосовувати план дій на випадок непередбачених ситуацій; управляти кризою; вийти з кризи. Бем [15] описав процес із двома основними етапами: оцінка ризику включає ідентифікацію, аналіз, визначення пріоритетів та контроль ризиків, що включає планування управління ризиками, вирішення ризиків та планування, відстеження та коригувальні дії. Подібно циклу поліпшення якості Демінга (планувати, робити, перевіряти, діяти), Клієм та Людін [16] запропонували чотири фазний процес (ідентифікація, аналіз, контроль та звітування). За даними Міжнародної організації зі стандартизації 31000, управління ризиками створює та захищає цінність [17]. У літературі повідомляється про декілька популярних методів аналізу управління ризиками, включаючи моделювання Монте-Карло [18], процес аналітичної ієрархії [19] та теорію нечітких множин [20].

На виявлення факторів ризику впливає галузь діяльності об'єкту дослідження. Наприклад, ключові фактори ризику проектів державно-приватного партнерства поділяються на дві категорії. Перший включає фактори ризику, які мають потужні, незалежні впливи такі, як затримка з затвердженням уряду, державний кредит та недосконалість правової та регуляторної систем. До другої категорії належать фактори ризику, які мають велику мінливість і на які легко вплинути, такі як ризики завершення роботи, недостатній дохід на ринку та зміни плати [21].

Амеяу та Чан [22] згадали про інші фактори ризику, такі як ринкові / дохідні ризики, фінансові ризики, ризики відносин та соціальні ризики. Згідно з Лесардом [23], управління ризиками вимагає систематичного управління ризиками, що генеруються в межах кожної ланки ланцюга та, що більш важливо, в інтерфейсах між ланками, щоб обмежити зриви та їх поширення по всій системі.

Це все доводить, що ефективне управління ризиком вимагає підхід системного мислення – розуміння того, як системи впливають одна на одну в цілому.

На думку Неемана [24], процес управління ризиками став невід'ємною частиною процедур управління оборонними проектами, для яких управління невизначеністю є однією з головних проблем поточного планування та управління

проектами. Більше того, у відповідь на небезпечні події, такі як авіакатастрофи чи зльоти, вимоги безпеки в оборонній промисловості суворі та вимогливі.

Класифікація ризиків при розв'язанні задач оцінювання керованості процесами у складних системах має важливе, а часто, вирішальне значення на формалізацію і постановку задачі, що розв'язується, і, відповідно, на якість результату. Вибір неефективної або недостатньо коректної класифікації ризиків для певної задачі може призвести до звуження і неповноти опису ризиків в задачі, і, як наслідок, може спричинити одержання некоректних розв'язків задачі, або навіть унеможливити одержання адекватних розв'язків [25].

Наприклад, інші підходи оцінювання рівня керованості процесами у загальних динамічних системах розглянуто у роботах [26-27]. Дані моделі описуються за допомогою динамічних збурених систем на основі вінерівського процесу з розв'язанням задач оцінки якості мультиплікативної та адитивної апроксимації розв'язку стохастичних диференціальних рівнянь. Це дозволяє досліджувати асимптотичну поведінку більш загальних динамічних систем. Також, вейвлет аналіз можна застосовувати для оцінювання керованості процесами. Актуальність такого застосування наведена у роботі [28], що присвячена знаходженню умов рівномірної збіжності вейвлет розкладів класу випадкових процесів із просторів  $F_{\Psi}(\Omega)$ .

Наведене вище, аргументує та підтверджує актуальність дослідження: розробки концептуальної моделі впливу ризик-орієнтованих факторів на рівень керованості процесів функціонування системи. Актуальність даного дослідження доводиться необхідністю розуміння керованістю процесами у різних складних системах дослідження, враховуючи ризики її функціонування, для досягнення цілей системою та формалізацією таких процесів.

**3. Матеріали та методи.** Нехай відомо деякий об'єкт дослідження, що буде розглядати, як складну слабо структуровану систему  $S$ . Відома множина системних цілей та множина факторів, що впливають на керованість процесами складної системи. Також відомі показники ризик-орієнтованих факторів впливу на систему в межах досягнення цілей системою. На основі відомих показників будуються нечіткі моделі оцінювання системи. В межах цього, потрібно оцінити керованість процесами у об'єкті дослідження для якісного прийняття рішень в залежності від ризик-орієнтованих факторів впливу на систему.

Таким чином, пропонуються етапи управління ризиками у процесі оцінювання рівня керованості складних систем.

#### 1. Формування переліку факторів ризику:

- виділення цілей та задач щодо виявлення ризик-орієнтованих факторів впливу;
- виявлення самих ризик-орієнтованих факторів впливу;
- аналіз ризик-орієнтованих факторів впливу.

Перший етап полягає в усвідомленні специфічності загрози і місця її можливого прояву.

Під ідентифікацією та аналізом ризиків розуміється вивчення його специфіки та особливостей, які обумовлені їх природою та іншими рисами, характерними саме цієї нагоди. Важливо вивчити майбутні втрати, а також зміну ризиків у часі, ступінь загрози щодо конкретного періоду.

#### 2. Побудова моделей для оцінювання ризиків щодо керованості процесами в

складних системах.

Головна мета цього етапу полягає в дослідженні та розроблені моделей, методів, засобів та інструментів, які будуть оцінювати фактори ризиків у діяльності складної системи, а також у дослідженні їх негативного впливу на керованість процесами складної системи.

3. Аналіз, вибір та прийняття рішення зі зменшення загроз ризик-орієнтованих факторів впливу:

- вибір стратегії та тактики управління ризиком;
- вибір програми дій (сценарій) зі зниження ризиків;
- прийняття рішень та організація виконання розробленої програми.

На цьому етапі особа, що приймає рішення (ОПР) формує і підбирає індивідуальний підхід до ризику функціонування складної системи. Потреба цієї процедури вибору пов'язана з різною результативністю способів управління ризиком і різним розміром ресурсів, які потрібні для їх реалізації. Вибираючи ризик і метод його управління, завжди потрібно враховувати ресурсні обмеження і намагатися оптимізувати їх втрати. Для оцінки всіх ресурсів можна узагальнити в одну шкалу – фінансову.

Отже, в залежності від розглядуваної складної системи необхідно: адекватно підібрати фактори ризиків, щодо ресурсу системи, що може зазнати втрат при виникненні ризику; визначити шкали оцінювання ризиків; побудувати методи оцінювання; здійснити аналіз, вибір та прийняття рішення щодо проактивного управління зниження ризику для підвищення керованості процесами у досліджуваній системі.

На основі дослідження системи необхідно визначити набори вхідних даних  $K = (K_1, K_2, \dots, K_m)$ , згідно яких буде оцінюватись рівень керованості процесами у складній системі  $S$ . Показники можуть представляти собою цілу систему критеріїв ризику, факторів та моделей, на основі яких виводиться одна агрегована оцінка. Наприклад на рівень керованості літака впливають показники, що залежать від ризик-орієнтованих ситуацій або на рівень безпечного фінансування інноваційних проектів впливають фактори управління та передбачення ризиками.

Для оцінювання рівня керованості процесів функціонування системи згідно ризик-орієнтованих факторів впливу на систему, пропонується клас задач  $Z$  – нечітке оцінювання системи враховуючи ризик-орієнтовані фактори впливу. Розв'язанням задачі  $Z$  отримується розуміння керованості процесами в складних системах враховуючи та розкриваючи різні ризики.

Системна теоретико-множинна модель задачі оцінювання керованості процесами у складних системах, враховуючи ризик-орієнтовані фактори впливу може бути представлена наступним чином:

$$Z = \{S, K_R, M_R|Y\}, \tag{1}$$

де  $S$  – складна слабо структурована система;  $K_R$  – інформаційні моделі критеріїв (груп критеріїв) оцінювання ризик-орієнтованих факторів впливу на систему, чи моделі оцінювання загроз на систему, що потенційно призведуть до послаблення керованості процесами в ній;  $M_R$  – вид моделі оцінювання процесів керованості у складних системах враховуючи загрози системи, показники різних ризиків та досвіду експертів.

В результаті отримуємо вихідну оцінку  $Y$ , що несе зміст керованості процесів у системі враховуючи ризик-орієнтовані фактори впливу. Дану оцінку будемо називати агрегованою ризик-орієнтованою оцінкою рівня керованості процесами в системі.

На Рис. 1. пропонується алгоритм вибору моделі ризик-орієнтованого оцінювання рівня керованості процесами в складній системі, на основі наявних вхідних даних, врахування загроз системи, показників різних ризиків та досвіду експертів. На виході кожної моделі буде агрегована ризик-орієнтована оцінка рівня керованості процесами у системі, що виходить із оцінки ризику функціонування системи.

Оскільки дане дослідження спрямоване на різні складні системи, тому на основі проведеного теоретичного дослідження можемо формалізувати вхідні дані, що використовуються для оцінювання ризиків за допомогою нечітких моделей.

1. Ризик-орієнтовані фактори впливу – це показники ризику, що оцінюється деяким експертом за допомогою лінгвістичної змінної. Для цього, на основі досвіду, вмінь та знань про вплив ризиків на систему  $S$  група експертів (чи експерт) роблять висновки та ставлять лінгвістичну оцінку кожному показнику  $K$ , з деякої терм-множини  $T = \{T_1; T_2; \dots; T_l\}$ . Терм-множину лінгвістичних змінних представимо, як рівень ймовірності настання ризикової події описану показником  $K$  для досягнення цільових потреб системи. Також до кожної оцінки експерт ставить або число «достовірності»  $\mu(T)$  своїх міркувань з інтервалу  $[0; 1]$ , або нормовану кількісну оцінку ризику. Для отримання кількісної оцінки ризику, окремо для кожного критерію, пропонується інтелектуальний аналіз даних величин, що породжують ризик, оснований на теорії нечітких множин та функцій належності [6]. Функція належності будується та досліджується в залежності від типу даних, їх структури, періодичності отримання, суб'єктивізму отримання та інших характеристик. Це дозволить порівнювати отримані оцінки, шляхом переведення у нормовану шкалу, розкрити нечіткість та невизначеність отриманих даних, що підвищить якість прийняття рішень, зроблених з використанням інтелектуального аналізу таких даних.

2. Ризик-орієнтовані фактори впливу – це множина загроз  $K$  деяких активів системи, що при можливості виникнення такого явища або події, наслідком якого можуть бути небажані впливи на систему, що призведуть до послаблення керованості процесами в ній. Вхідні дані у даному понятті визначимо наступні:

- $T$  – наслідки реалізації загроз  $K$ . Даний показник визначається за допомогою лінгвістичної змінної з деякої терм множини, наприклад:  $T = \{M; A; H; C\}$ , де  $M$  – мінімальні наслідки загрози,  $A$  – середні наслідки загрози,  $H$  – максимальні наслідки загрози,  $C$  – критичні наслідки загрози;
- $\mu$  – ступінь можливості реалізації загрози в системі. Ступінь вимірюється кількісно з інтервалу  $[0; 1]$ , наприклад покладаючи різний зміст: неможливо реалізувати загрозу; мінімальна можливість реалізації загрози; середня можливість реалізації загрози; висока можливість реалізації загрози; критична можливість реалізації загрози;

$L$  – тяжкість наслідків інциденту по активу. Інцидентом називається реалізована загроза.

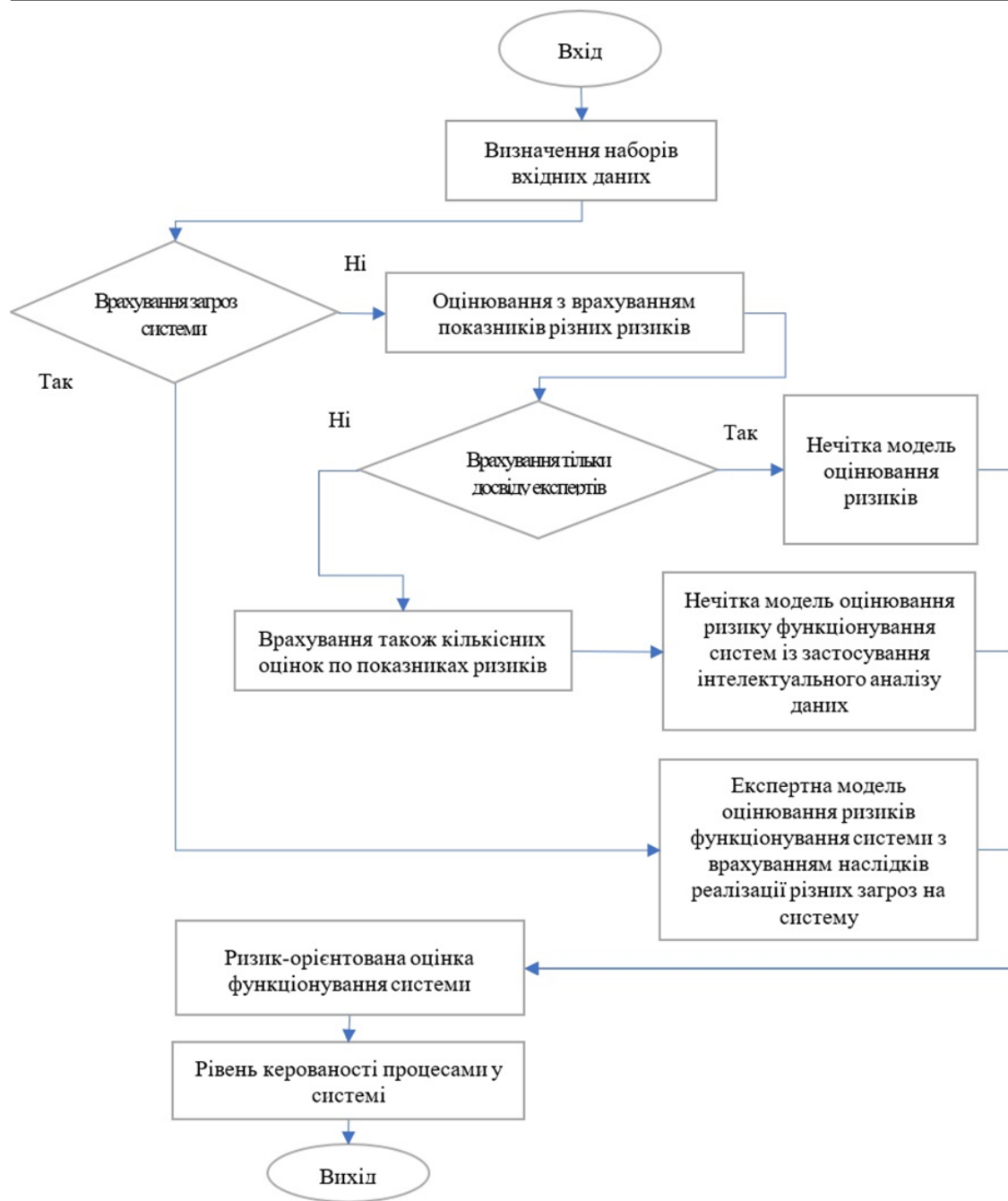


Рис. 1. Алгоритм вибору моделей оцінювання ризику функціонування систем

Даний показник оцінюється експертно за допомогою лінгвістичної змінної з деякої терм множини  $L$ , де змінні можуть бути, наприклад: життєво-важливий наслідок (якщо призведе до неможливості досягнення глобальних цілей системою), вирішальний наслідок (якщо призведе до неможливості досягнення локальних цілей системи, та в деякій мірі впливає на якість досягнення глобальних цілей), корисний або не застосовується (інші випадки).

Концептуальна модель отримання агрегованої ризик-орієнтованої оцінки рівня керованості процесами у складних системах може бути представлена за допо-



могою побудованих нечітких моделей та на їх основі узагальнених алгоритмів, а саме: дворівнева нечітка математична модель встановлення ризику функціонування системи та рівень керованості процесами в ній; нечітка модель оцінювання ризику функціонування систем із застосування інтелектуального аналізу даних; експертна модель оцінювання ризиків функціонування системи з врахуванням наслідків реалізації різних загроз на систему та оцінювання фінансових збитків.

Дворівнева математична модель, за допомогою якої можна врахувати процеси керованості у складних системах та оцінити рівень ризику функціонування систем, в повній мірі описана в роботах [1-2]. Дана модель використовує міркування експерта щодо оцінок за різними критеріями оцінювання, достовірності його міркувань та на основі цього відбувається агрегування думок за групами критеріїв у остаточну оцінку. Модель розкриває нечіткість вхідних оцінок, підвищує об'єктивність експертних суджень. База знань моделі не залежить від кількості критеріїв по групах, тому їх можна збільшувати при потребі, а також змінювати рівні прийняття рішень.

Наступна нечітка модель оцінювання ризику функціонування систем із застосування інтелектуального аналізу даних, розроблена, доведена та апробована для задачі оцінювання ризиків безпеки мережевих систем, оцінювання ризиків фінансування проектів, оцінювання ризику системи муніципалітету та інші [4].

Експертна модель оцінювання ризиків функціонування системи з врахуванням наслідків реалізації різних загроз на систему та оцінювання фінансових збитків апробована для прикладної задачі оцінювання безпеки мережевих інформаційних систем аеропорту для безпечного та стійкого повітряного транспорту [3]. Модель спроможна оцінити ризики функціонування складної системи, використовує інтелектуальний аналіз знань експертів, розкриває нечіткість вхідних оцінок, підвищує ступінь обґрунтованості прийняття подальших управлінських рішень на основі отриманих результатів.

**4. Обговорення.** Для застосування технології визначення рівня керованості процесами у системі, до розв'язання класу прикладних задач нечіткого оцінювання системи враховуючи ризик-орієнтовані фактори впливу, необхідно адекватно визначити множину ризиків оцінювання, вибрати та налаштувати запропоновані нечіткі моделі, налаштувати фазифікацію вхідних даних. Ці всі задачі покладені на системних аналітиків, що розробляють інформаційну систему у межах прикладної задачі. Таким чином, для якісного порівняння даних та розмежування термів, необхідно окремо проводити для кожного показника, оскільки різні показники несуть у собі свій числовий зміст. Для якісного отримання вхідних кількісних оцінок та інтелектуального аналізу даних (знань) з використанням теорії нечітких множин, функцій належності та системного підходу можна використати моделі описані в [1-4].

В рамках дослідження пропонується клас задач нечіткого оцінювання системи враховуючи ризик-орієнтовані фактори впливу, розв'язанням яких отримується розуміння керованості процесами в складних системах враховуючи та розкриваючи різні ризики. Концептуальна модель, що складається із сукупністю методів та базується на врахуванні ризик-орієнтованих факторів впливу має ряд переваг, а саме: підвищує об'єктивність експертних оцінок використо-

вуючи вхідні гібридні дані: лінгвістичні змінні та кількісні оцінки; виводить агреговану ризик-орієнтовану оцінку функціонування системи з огляду на міркування ОПР; виводить рівень керованості процесами у складних системах.

Як інструмент прикладного застосування пропонується узагальнені алгоритми, вибір яких залежить від наявних вхідних даних, врахування загроз системи, показників різних ризиків та досвіду експертів. Узагальнені алгоритми – це інструмент, за допомогою якого можна адекватно вирішити інноваційну проблему.

До недоліків даного підходу можна віднести використання різних моделей згорток для отримання агрегованої оцінки, що може приводити до неоднозначності кінцевих результатів.

**5. Висновки та перспективи подальших досліджень.** У проведеному дослідженні запропоновано концептуальну модель оцінювання рівня керованості процесами у складних системах враховуючи ризик-орієнтовані фактори. При цьому вперше отримано такі результати:

- запропоновано етапи управління ризиками у процесі оцінювання рівня керованості складних систем на основі проведеного теоретичного дослідження;
- формалізовано вхідні дані, що використовуються для оцінювання ризиків за допомогою нечітких моделей для різних складних систем, а саме: показники ризику, що оцінюється деяким експертом за допомогою лінгвістичної змінної; кількісної оцінки «достовірностей» експертів щодо міркувань про показник ризику; кількісної оцінки критерію ризику на основі інтелектуального аналізу даних величин, що породжують ризик, із застосуванням теорії нечітких множин та функцій належності; лінгвістичної змінної наслідків реалізації загроз на систему; ступінь можливості реалізації загрози в системі; тяжкість наслідків інциденту по активу системи, що оцінюється деяким експертом за допомогою лінгвістичної змінної;
- запропоновано концептуальну модель, що розв'язує клас задач оцінювання керованості процесами у складних системах враховуючи ризик-орієнтовані фактори впливу та алгоритм вибору моделі ризик-орієнтованого оцінювання.

Раціональність отриманих агрегованих ризик-орієнтованих оцінок функціонування системи для визначення рівня керованості процесами у системі, доводить значними апробаціями моделей для різних прикладних задач. Достовірність отриманих результатів забезпечується коректним використанням теорії нечітких множин для опрацювання експертних знань, системного підходу, що підтверджується результатами досліджень.

Подальше дослідження проблематики вбачаємо: у конструюванні узагальнених покрокових алгоритмів на основі розроблених моделей. Проведене дослідження буде корисним інструментом для підтримки прийняття рішень, щодо підвищення керованості процесами у різних складних системах шляхом врахування ризиків та загроз її функціонування.

**6. Подяка.** Робота виконувалась у межах стипендіальної програми співробітництва між Міністерством освіти і науки України та Міністерством освіти Словацької Республіки в галузі освіти на базі Кошицького технічного університету, Авіаційного факультету.

Ця робота була підтримана Словацьким агентством досліджень і розробок

згідно з контрактом № PP-COVID-20-0002.

The work was performed within the framework of the scholarship program of cooperation between the Ministry of Education and Science of Ukraine and the Ministry of Education of the Slovak Republic in the field of education based on the Technical University of Košice, Faculty of Aeronautics.

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the Contract no. PP-COVID-20-0002.

### Список використаної літератури

1. Мальяр М. М., Поліщук В. В., Шаркаді М. М. Модель інформаційної технології оцінювання ризику фінансування проєктів. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2017. № 2017/2. С. 44-52. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2017-2-5>.
2. Polishchuk V., Voloshyn O., Malyar M., Sharkadi M. Fuzzy mathematical modeling financial risks. *IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), 21-25 August 2018*. Lviv, 2018. P. 65-69. DOI: <https://doi.org/10.1109/DSMP.2018.8478604>.
3. Kelemen M., Polishchuk V., Gavurová B., Andoga R., Szabo S., Yang W., Christodoulakis J., Gera M., Kozuba J., Kaľavský P., Antoško M. Educational Model for Evaluation of Airport NIS Security for Safe and Sustainable Air Transport. *Sustainability*. 2020. 12, 6352. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12166352>.
4. Polishchuk V., Malyar M., Sharkadi M., Polishchuk A. Model of Operation Management Systems Risk Assessment. *IEEE Proceedings of 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 23-26 September 2020*. Zbarazh, 2020. P. 190-193. DOI: <https://doi.org/10.1109/CSIT49958.2020.9321930>.
5. Polishchuk V., Polishchuk A., Jevčák J., Choma L., Kelemen M. jr. Criteria for the Information model for assessing the risks of UAV flights in environmental research on mountain terrain. *Proceedings of XXth International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 16-25 August 2020 Varna, Bulgaria*, 2020. 2.1, P. 97-102. DOI: <https://doi.org/10.5593/sgem2020/2.1/s07.013>.
6. McNeil A. J., Frey R., Embrechts P. Quantitative risk management. *Concepts, techniques and tools, 2nd ed. Princeton university press*. 2015.
7. Коршевнюк Л. О. Концепція аналітичної класифікації ризиків в задачах системного аналізу складних систем. *Інформаційні системи, механіка та керування*. 2015. 13, С. 19-28. DOI: <https://doi.org/10.20535/2219-380413201568104>.
8. Dicke A. On Risk Classification. A public policy Monograph. American Academy of Actuaries, New York, NY, 2011.
9. Снитюк В. Е. Эволюционные технологии принятия решений в условиях неопределенности. К: «МП Леся», 2015. 347 с.
10. Згуровский М. З., Панкратова Н. Д. Основы системного анализа. К.: Видавнича група ВНУ, 2007. 544 с.
11. Панягина А. Е. Подходы к пониманию и классификации рисков. *Современная экономика: проблемы, тенденции, перспективы*. 2012. 6. С. 1-6.
12. Porrini D. Risk Classification Efficiency and the Insurance Market Regulation. *Risks*. 2015. 4. DOI: <https://doi.org/10.3390/risks3040445>.
13. Kloman H. F. Risk management agonists. *Risk Analysis*, 1990. 10. P. 201-205.
14. Fairley R. Risk Management for software projects. *IEEE Softw.* 1994. 11. P. 61-67.
15. Boehm B. W. Software risk management: Principles and practices. *IEEE Softw.* 1991. 8. P. 32-41.
16. Kliem R. L., Ludin I. S. Reducing Project Risk. UK Gower: Farnham, 1997.
17. Risk Management-Principles and Guidelines ISO 31000:2018. 2018. URL: <https://www.iso.org/standard/65694.html>.
18. Ye S., Tiong R. L. K. NPV-at-risk method in infrastructure project investment evaluation. *J. Constr. Eng. Manag.* 2000. 126. P. 227-233.
19. Hastak M., Shaked A. ICRAM-1: Model for international construction risk assessment. *J. Manag. Eng.* 2000. 16. P. 59-69.
20. Wu Y., Song Z., Li L., Xu R. Risk management of public-private partnership charging

- infrastructure projects in China based on a three-dimension framework. *Energy*. 2018. 165.
21. Wang Y., Wan Y., Wu Y., Li J. Exploring the risk factors of infrastructure PPP projects for sustainable delivery: A social network perspective. *Sustainability*. 2020, 10. 4152. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12104152>.
  22. Ameyaw E. E., Chan A. P. C. Evaluation and ranking of risk factors in public-private partnership water supply projects in developing countries using fuzzy synthetic evaluation approach. *Expert Syst. Appl.* 2015. 42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.02.041>.
  23. Lessard D. R. Uncertainty and Risk in Global Supply Chains. Research Paper No. 4991-13. MIT Sloan School. Cambridge. MA. USA. 2013. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.2240274>.
  24. Naaman A. Establishment of the Armed Force-Research Development in Air Force, Between the Poles. Part 3. IDF. Jerusalem. Israel. 2016.
  25. Risk Classification. Statement of Principles. 2014. URL: <http://www.actuarialstandardsboard.org/wpcontent/uploads/2014/07/riskclassificationSOP.pdf>.
  26. Klesov O. I., Tymoshenko O. A. Almost Sure Asymptotic Properties of Solutions of a Class of Non-homogeneous Stochastic Differential Equations. *Modern Mathematics and Mechanics. Fundamentals, Problems and Challenges. Switzerland: Springer*. 2019. P. 97–114. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-96755-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96755-4_6).
  27. Булдігін В. В., Клесов О. І., Тимошенко О. А. Асимптотична поведінка розв'язків стохастичних диференціальних рівнянь: монографія. Вінниця: ФОП Кушнір Ю.В., 2018. 164 с.
  28. Млавець Ю. Ю., Синявська О. О. Умови рівномірної збіжності вейвлет розкладів випадкових процесів із просторів  $F\Psi(\Omega)$ . *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Математика і інформатика»*. 2020. Вип. 2(37). С. 54-62. DOI: [https://doi.org/10.24144/2616-7700.2020.2\(37\).82-90](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2020.2(37).82-90).

**Polishchuk V. V., Kelemen M., Mlavets Yu. Yu., Tymoshenko O. A., Kelemen M. Jr.** Conceptual model for assessing the level of process control in complex systems considering risk-oriented factors.

The research of the actual task of developing a conceptual model for assessing the level of process control in complex systems, considering risk-oriented factors.

The study for the first-time proposed stages of risk management in the process of assessing the level of controllability of complex systems. The input data used for risk assessment using fuzzy models for various complex systems are formalized, namely: risk indicators assessed by some expert using a linguistic variable; quantitative assessment of the "reliability" of experts in relation to considerations of the risk indicator; quantitative assessment of the risk criterion on the basis of intellectual analysis of the data generating the risk, using the theory of fuzzy sets and membership functions; linguistic variable consequences of the implementation of threats to the system; the degree of possibility of realization of the threat in the system; the severity of the consequences of the incident on the asset of the system, which is estimated by some expert using a linguistic variable.

For the first time, a conceptual model was proposed that solves a class of problems of process control assessment in complex systems considering risk-oriented factors and an algorithm for selecting a risk-oriented assessment model. As a result, we obtain an initial assessment that carries the content of process control in the system, considering risk-oriented factors of influence. As a tool for application, generalized algorithms are proposed, with the help of which it is possible to adequately solve the innovation problem.

The reliability of the obtained results is ensured by the correct use of fuzzy set theory for the development of expert knowledge, a systematic approach, which is confirmed by research results. The study will be a useful tool to support decision-making to improve process control in various complex systems by considering the risks and threats to its operation.

**Keywords:** process control, risk factors, fuzzy set, level of risk, decision-making, intellectual analysis.

## References

1. Polishchuk, V. V., Malyar, M. M., & Sharkadi, M. M. (2017). Model informatsiynoyi tekhnolohiyi otsinyuvannya ryzyku finansuvannya proektiv [Model of information technology risk assessment of project financing]. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2017/2. 44-52. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2017-2-5> [in Ukrainian].
2. Polishchuk, V., Voloshyn, O., Malyar, M., & Sharkadi, M. (2018, August 21-25). Fuzzy mathematical modeling financial risks: IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv (pp. 65-69). <https://doi.org/10.1109/DSMP.2018.8478604>.
3. Kelemen, M., Polishchuk, V., Gavurová, B., Andoga, R., Szabo, S., Yang, W., Christodoulakis, J., Gera, M., Kozuba, J., Kašavský, P., & Antoško, M. (2020). Educational Model for Evaluation of Airport NIS Security for Safe and Sustainable Air Transport. *Sustainability*, 12(6352). <https://doi.org/10.3390/su12166352>.
4. Polishchuk, V., Malyar, M., Sharkadi, M., & Polishchuk, A. (2020, September 23-26). Model of Operation Management Systems Risk Assessment: IEEE Proceedings of 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Zbarazh (pp. 190-193). <https://doi.org/10.1109/CSIT49958.2020.9321930>.
5. Polishchuk, V., Polishchuk, A., Jevčák, J., Choma, L., & Kelemen, M. jr. (2020, August 16-25). Criteria for the Information model for assessing the risks of UAV flights in environmental research on mountain terrain: Proceedings of XXth International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, Varna, Bulgaria (pp. 97-102). <https://doi.org/10.5593/sgem2020/2.1/s07.013>.
6. McNeil, A.J., Frey, R., & Embrechts P. (2015). Quantitative risk management: Concepts, techniques and tools, 2nd ed. Princeton university press.
7. Korshevnyuk, L. (2015). Kontseptsiya analitychnoyi klasyfikatsiyi ryzykiv v zadachakh systemnoho analizu skladnykh system [The concept of analytical classification of risks in the problems of system analysis of complex systems]. *Information systems, mechanics and control*, 13, 19-28 [in Ukrainian].
8. Dicke, A. (2011). On Risk Classification: A public policy Monograph. New York, NY: American Academy of Actuaries.
9. Snityuk, V. Ye. (2015). Evolyutsionnyye tekhnologii prinyatiya resheniy v usloviyakh neopredelennosti [Evolutionary technologies of decision making in conditions of uncertainty]. Kiev: MP Lesya [in Russian].
10. Zhurovskyy, M. Z., & Pankratova, N. D. (2007). Osnovy systemnoho analizu [Fundamentals of systems analysis]. Kiev: Vydavnycha hrupa VNV [in Ukrainian].
11. Panyagina, A. Ye. (2012). Podkhody k ponimaniyu i klassifikatsii riskov [Approaches to understanding and classifying risks]. *Sovremennaya ekonomika: problemy, tendentsii, perspektivy – Modern economy: problems, trends, prospects*, 6, 1-6 [in Russian].
12. Porrini, D. (2015). Risk Classification Efficiency and the Insurance Market Regulation. *Risks*, 3(4). <https://doi.org/10.3390/risks3040445>.
13. Kloman, H. F. (1990). Risk management agonists. *Risk Analysis*, 10, 201-205.
14. Fairley, R. (1994). Risk Management for software projects. *IEEE Softw.*, 11, 61-67.
15. Boehm, B. W. (1991). Software risk management: Principles and practices. *IEEE Softw.*, 8, 32-41.
16. Kliem, R. L., & Ludin, I. S. (1997). Reducing Project Risk. UK Gower: Farnham.
17. Risk Management-Principles and Guidelines ISO 31000:2018. (2018). Retrieved from: <https://www.iso.org/standard/65694.html>
18. Ye, S., & Tiong, R. L. K. (2000). NPV-at-risk method in infrastructure project investment evaluation. *J. Constr. Eng. Manag.*, 126, 227-233.
19. Hastak, M., & Shaked, A. (2000). ICRAM-1: Model for international construction risk assessment. *J. Manag. Eng.*, 16, 59-69.
20. Wu, Y., Song, Z., Li, L., & Xu, R. (2018). Risk management of public-private partnership charging infrastructure projects in China based on a three-dimension framework. *Energy*, 165.
21. Wang, Y., Wan, Y., Wu, Y., & Li, J. (2020). Exploring the risk factors of infrastructure PPP projects for sustainable delivery: A social network perspective. *Sustainability*, 12(10). 4152. <https://doi.org/10.3390/su12104152>.
22. Ameyaw, E. E., & Chan, A. P. C. (2015). Evaluation and ranking of risk factors in public-

- private partnership water supply projects in developing countries using fuzzy synthetic evaluation approach. *Expert Syst. Appl.*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.02.041>.
23. Lessard, D. R. (2013). Uncertainty and Risk in Global Supply Chains. Research Paper No. 4991-13. MA, USA: MIT Sloan School. Cambridge. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2240274>.
  24. Naaman, A. (2016). Establishment of the Armed Force-Research Development in Air Force, Between the Poles. Part 3. IDF: Jerusalem. Israel.
  25. Risk Classification. Statement of Principles. (2014). Retrieved from: <http://www.actuarialstandardsboard.org/wpcontent/uploads/2014/07/riskclassificationSOP.pdf>
  26. Klesov, O. I., & Tymoshenko, O. A. (2019). Almost Sure Asymptotic Properties of Solutions of a Class of Non-homogeneous Stochastic Differential Equations. *In Modern Mathematics and Mechanics. Fundamentals, Problems and Challenges*, Switzerland: Springer (pp. 97–114). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-96755-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96755-4_6).
  27. Buldygin, V. V, Klesov, O. I., & Tymoshenko, O. A. (2018). Asymptotic behavior of solutions of stochastic differential equations. Vinnytsia: FOP Kushnir Yu.V. [in Ukrainian].
  28. Mlavets, Yu. Yu., & Syniavska, O. O. (2020). Conditions for the uniform convergence of wavelet expansions of stochastic processes from  $F\Psi(\Omega)$  spaces. *Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series of mathematics and informatics*, 37(2), 82–90. [https://doi.org/10.24144/2616-7700.2020.2\(37\).82-90](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2020.2(37).82-90) [in Ukrainian].

Одержано 31.10.2021