

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-52-02>

УДК 37.035.3

**Лавров Євгеній Анатолійович**, д.т.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0001-9117-5727>

**Чибіряк Яна Іванівна**, к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-0634-7609>

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

**Сірик Ольга Євгенівна**, к.ф.-м.н.,

<https://orcid.org/0000-0001-9360-4388>

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна

**Великодний Дмитро Володимирович**, к.ф.-м.н.,

<https://orcid.org/0000-0003-0044-5619>

**Боровик Валентина Олександрівна**, к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-3668-6302>

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

## ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ СТРАТЕГІЧНИХ І ТАКТИЧНИХ РІШЕНЬ

**Лавров Є.А., Чибіряк Я. І., Сірик О. Є., Великодний Д. В., Боровик В. О.** Підхід до побудови автоматизованих систем експертного оцінювання для підтримки прийняття стратегічних і тактичних рішень. Розглянуті проблемні питання підтримки прийняття рішень на рівні суспільства, регіону, виробничої системи. Доведено необхідність широкого використання методів експертного оцінювання альтернатив та використання систем гібридного інтелекту. Розроблено концепцію побудови нового покоління автоматизованих систем експертного оцінювання варіантів розвитку складних систем. Наведено приклади використання автоматизованої експертизи для забезпечення стійкого розвитку систем різноманітного призначення.

**Ключові слова:** сталий розвиток, система підтримки прийняття рішень, експертне оцінювання, гібридний інтелект, Україна.

**Lavrov E.A., Chybiriak Ya. I., Siryk O. E., Velykodnyi D. V., Borovyk V. O.** An approach to building automated expert assessment systems to support strategic and tactical decision-making. The study considered problematic issues of decision support at the level of society, the region, and the production system. The necessity of widespread use of expert evaluation of alternatives and the use of hybrid intelligence systems is proved. The paper developed the concept of building a new generation of automated systems for expert evaluation of complex system development options. The results show examples of using automated expertise to ensure the sustainable development of systems for various purposes.

**Keywords:** sustainable development, decision support system, expert assessment, hybrid intelligence, Ukraine.

### 1 Вступ.

Світові лідери дедалі частіше заявляють про необхідність захистити Землю від деградації за рахунок [1-5]:

- раціонального використання природних ресурсів;
- впровадження раціональних моделей виробництва та споживання;
- прийняття термінових дій через зміни клімату;

Справді, останні роки характеризуються [6-12]:

- зростаючими ризиками техногенних катастроф;
- проблемами безробіття та соціальними потрясіннями;
- збільшенням напруженості діяльності людей ціною помилок операторів;
- погрозами продовольчої безпеки.

Особливості сучасного етапу розвитку суспільства такі, як [13-16]:

- перехід до цифрової економіки;
- широке використання технологій електронного уряду та суспільства;
- запровадження складних ієрархічних систем управління підприємствами, корпораціями, територіями, технологіями забезпечення життєдіяльності регіонів,

актуалізують проблему швидких оптимальних рішень щодо вироблення керуючих впливів [1, 10, 12]

Для таких нових складних організаційно-технічних систем, що функціонують в умовах ризиків та невизначеності, стає практично неможливим створення єдиної глобальної математичної моделі, зручної для підтримки прийняття рішень.

В Україні не закінчується широкомасштабна криза, продовжуються бойові дії. Тривають широкі дискусії з питань розвитку країни, окремих областей, підприємств, навчальних закладів, тощо. Назриває гуманітарна і соціально-економічна катастрофа.

В таких умовах все частіше виникає необхідність використання технологій гібридного інтелекту і залучення висококваліфікованих фахівців для експертного оцінювання можливих сценаріїв розвитку, суспільства, регіону, держави [1, 8, 17].

## **2 Аналіз проблеми та постановка задач дослідження.**

Окремі нескладні завдання вибору можуть бути зведені до математичних моделей, які дозволяють знайти оптимальне рішення. На жаль, число вдало формалізованих задач значно поступається числу погано або зовсім не формалізованих, для вирішення яких методи дослідження операцій не підходять [18, 19]. Неможливість формалізації багатьох задач вибору пов'язана з наявністю в них так званої невизначеності. Це означає, що на прийняття рішення впливають фактори, які, з тих чи інших причин, не можливо однозначно визначити та описати [1, 18].

Характер і причини виникнення невизначеності можуть бути різними, в тому числі [18, 20]:

- неповнота чи нечіткість наявної інформації;
- стохастична природа факторів;
- неоднорідність та суб'єктивність критеріїв оцінювання альтернатив.

Тому фахівцями з теорії прийняття рішень постійно досліджуються та розробляються методи опису та обліку невизначеності різного виду. Наприклад, Лотфі Заде створив теорію нечіткої логіки [21], що дозволяє описувати неоднозначність тверджень. В даний час для моделювання невизначеності широко використовують різні логіко-імовірнісні та логіко-лінгвістичні моделі [22].

Проте існують задачі вибору, у яких фактор невизначеності не має в наявності моделі, що дозволяє його адекватно описати і врахувати під час пошуку рішення.

У такому випадку мова йде про унікальні задачі вибору, тобто про те, що в деякому сенсі виникає вперше [1, 23].

Часто при моделюванні складних ієрархічних соціально-економічних систем задача може містити відразу кілька різних видів невизначеності, що ускладнює пошук рішення формальними методами, орієнтованими на взаємодію з факторами невизначеності одного конкретного типу.

Для таких задач у теорії прийняття рішень є окремий напрямок – методи експертного оцінювання, основою яких є сама людина з його суб'єктивними переконаннями, як першоджерело задачі вибору. Дані методи засновані на припущенні, що можна знайти якщо не оптимальне, то хоча б прийнятне рішення, виходячи з аналізу суджень та переконань особи, зацікавленої у виборі кращої альтернативи.

У деяких випадках суб'єкт, який перебуває в ситуації вибору, не може самостійно впорядкувати свої переконання і потребує допомоги. В інших випадках він просто не володіє необхідним рівнем знань, тобто не може вирішити поставлену перед ним задачу.

Тоді подібно до того, як під час моделювання реальний об'єкт замінюється подібною йому моделлю, вихідний суб'єкт замінюється експертом-фахівцем, який має потрібний рівень знань для того, щоб на основі аналізу його суджень і переваг можна було вирішити задачу вибору. Як правило, щоб знизити вплив фактору суб'єктивності та зібрати більше інформації, замість одного задіють цілу групу експертів.

На жаль, існує думка, що наявність великої бібліотеки математичних методів експертного оцінювання альтернатив, наприклад [22, 24-30], повністю закриває проблему вибору в управлінні складними об'єктами.

Насправді некоректна організація експертного оцінювання, особливо у задачах планування сталого розвитку складних організаційно-технічних і соціальних систем, може призвести до неправильних орієнтирів та величезних збитків.

Ми поставили експеримент стосовно:

- планування соціально-економічних заходів розвитку міста;
- експертизи навчальних електронних модулів у системі електронного навчання;
- вибору вектору розвитку промислового підприємства (механічне виробництво).

Застосування різних груп експертів та різних методів оцінки альтернатив призвели до принципово різних результатів.

У зв'язку з цим у даній статті поставлено задачу визначення принципів побудови та системи робіт, необхідних для організації автоматизованих систем експертного оцінювання рішень з управління сталим розвитком складних технологічних та соціально-економічних об'єктів.

### 3 Результати.

**3.1 Інтелектуальний агент-менеджер для вирішення локальних задач експертного оцінювання.** Для вирішення локальних задач управління пропонується ідея технології інтелектуального агента-менеджера [31, 32], який використовує найпотужніші інтелектуальні ресурси (на сьогоднішній день) – людей. Цей агент шляхом взаємодії з мільйонами користувачів через мережу Internet зацікавлює та залучає потрібних фахівців і досягає рішення поставленої задачі, представлене в прийнятному для людини вигляді (рис. 1, рис. 2).

Агент-менеджер здійснює пошук користувачів через Інтернет та встановлює зв'язок з ними за допомогою засобів комунікації. У результаті спілкування агента з користувачами формується база даних. Далі потенційні вирішувачі, що потрапили до бази даних, беруть участь у вирішенні задач, які агент чи особа, що приймає рішення (ОПР) пропонує їм вирішити за фінансову компенсацію.



Рисунок 1 – Система прийняття рішень з використанням агента-менеджера та інтелектуальних вирішувачів (експертів) [31-34]

На вхід системи подається умова задачі природною мовою, а також інформація про матеріальні та часові ресурси, що виділяються на вирішення даної задачі. У деяких випадках перед розв'язанням задачі буває зручно провести її декомпозицію. Після того, як задачу розбито на  $k$  підзадач, у базі потенційних вирішувачів відбувається відбір найбільш відповідних спеціалістів. Обраним вирішувачам надаються умови задач, після чого агент-менеджер здійснює контроль за виконанням робіт і через деякий час отримує в ідеалі  $k$  готових рішень. Ці  $k$  рішень аналізуються і за допомогою агента чи ОПР перетворюються на остаточне рішення задачі.

До переваг технології відноситься перспективність.

Недоліки:

- неможливість (на даний час) вирішувати складні задачі глобального характеру;
- неможливість залучення сторонніх осіб до вирішення стратегічних задач, задач безпеки, секретних задач;
- високі ризики, пов'язані з кіберзлочинністю.

### 3.2 Концепція автоматизованої системи експертного оцінювання.

Для глобальних складних задач, пов'язаних з великими ризиками та матеріальними витратами, технологія агента-менеджера не завжди може бути рекомендована до використання. У зв'язку з цим

обґрунтуємо необхідність створення нового класу систем – автоматизованих систем експертного оцінювання (АСЕО).

Методи експертного оцінювання не завжди спрямовані безпосередньо на вирішення задач вибору, і ціль проведення експертизи може бути пов'язана з певною задачею лише опосередковано.

Такими цілями можуть бути:

- оцінка якості об'єктів експертизи та їх відповідності певним стандартам та вимогам;
- прогноз динаміки розвитку та майбутнього стану об'єкта експертизи;
- розробка системи критеріїв та методів оцінювання об'єкта.

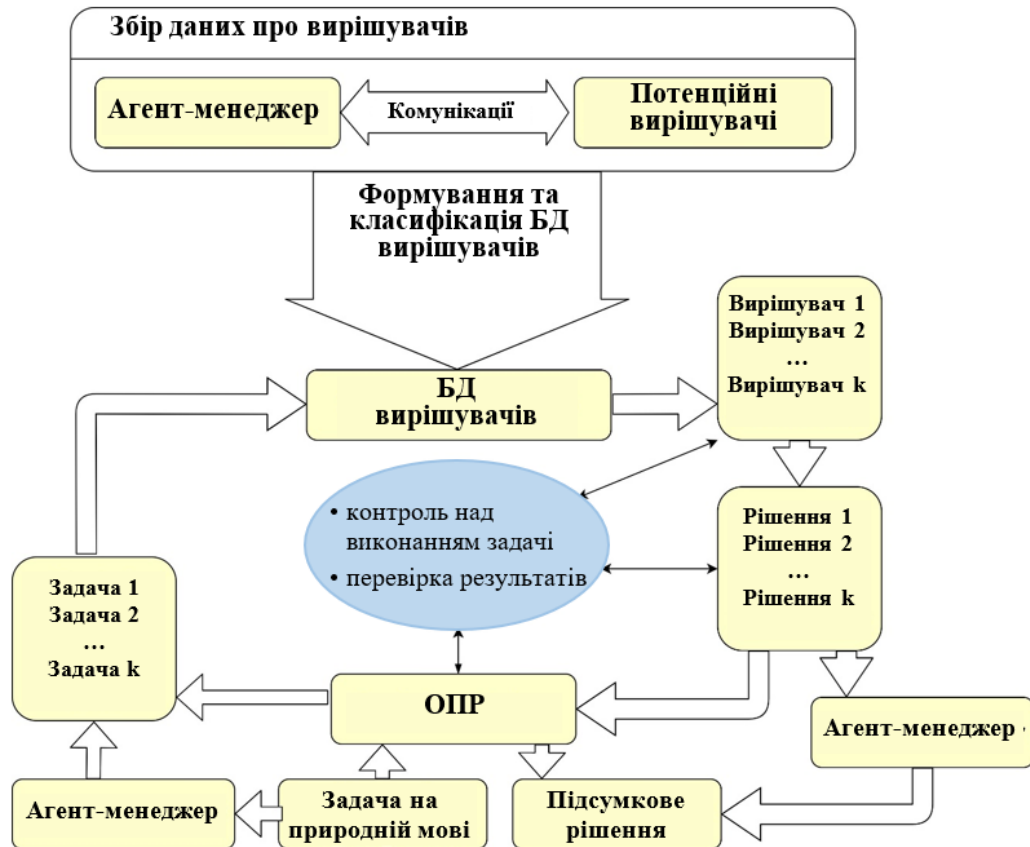


Рисунок 2 – Принцип прийняття рішень з використанням технології агента-менеджера [31-34]

Крім експертної групи, яка виконує роль колективних ОПР, активну участь під час проведення експертизи повинна приймати робоча група. Робоча група відповідає за організаційні аспекти та проведення експертизи, забезпечує ефективну роботу експертів та своєчасну підготовку результатів.

Усередині робочої групи можна виділити функціональні підгрупи відповідно до виконуваних ними функцій:

- організатори – фахівці, які відповідають безпосередньо за організацію та проведення експертизи;
- когнітологи – фахівці, які відповідають за вилучення експертної інформації та комунікацію як робочої групи з експертами, так і експертів між собою при необхідності керувати спілкуваннями усередині експертної групи;
- аналітики – фахівці, які відповідають за аналіз та обробку отриманої від експертів інформації;
- технічний персонал, відповідальний за виконання допоміжних функцій.

Можна сказати, що методи експертного оцінювання спираються на принцип: *"поганий план кращий, ніж його повна відсутність, оскільки навіть поганий план надає можливість свідомо рухатися до мети, контролюючи процес її досягнення"*.

Процес досягнення мети експертизи розбивається на кілька послідовних (ітеративно повторюваних) етапів. Частина може бути максимально формалізована, частина – не піддаватися формалізації (на сучасному рівні розвитку науки).

Таким чином, проведення експертизи є складною організаційно-аналітичною діяльністю, для виконання якої потрібні ресурси:

- фахівці;
- приміщення;
- технічне та програмне забезпечення;
- фінанси;
- час.

Необхідність ефективного використання усіх перелічених ресурсів призводить до постановки задачі автоматизації діяльності, пов'язаної з проведенням експертиз, тобто з розробкою та впровадженням автоматизованих систем експертного оцінювання (АСЕО).

Нефахівці іноді помилково вважають, що такі системи вже давно функціонують.

На жаль, найчастіше мають на увазі локальну (обмежену) автоматизацію. Справді, різноманітні експертні системи (ЕС) та системи підтримки прийняття рішень (СППР) використовуються вже кілька десятиліть. Однак при цьому мають суттєво обмежені можливості.

ЕС призначені для масового використання і надають можливість спеціалістам недостатньо високої кваліфікації для вирішення поставлених задач використовувати досвід і знання висококваліфікованих фахівців – експертів. ЕС можуть застосовуватися для вирішення задач діагностики, навчання, інтерпретації, проектування, пошуку альтернативних варіантів рішень. Основою будь-якої ЕС є знання про конкретну предметну галузь, які мають бути певним чином структуровані, закодовані, супроводжені сукупністю правил логічного висновку та готові до використання. Відмінні риси ЕС:

- можливість обґрунтування та пояснення отриманого рішення зрозумілим людині способом;
- орієнтованість на застосування у конкретній предметній сфері, для якої вона спеціально розроблялася.

СППР є комп'ютерними системами, мета яких полягає у підтримці діяльності керівних осіб, які приймають управлінські рішення, зокрема шляхом забезпечення всебічного та об'єктивного аналізу вирішуваної проблеми. Даний вид систем виник у результаті злиття управлінських інформаційних систем та систем управління базами даних.

Відмінність СППР від ЕС полягає в тому, що в них ключову роль грає ОПР, яка несе повну відповідальність за прийняті рішення, а отже потребує повного контролю над процесом прийняття та реалізації рішень.

Таким чином, ні ЕС, ні СППР не є адекватною відповіддю на питання про автоматизацію проведення експертиз рішень щодо управління стійким розвитком складних технологічних та соціально-економічних об'єктів.

Недоліки ЕС і СППР – не мають необхідних властивостей адаптивності та універсальності, оскільки від самого початку орієнтовані на вирішення задач певної предметної сфери або специфічних.

Зазначеними властивостями повинні володіти системи нового покоління – АСЕО.

АСЕО повинна представляти собою набагато більше у сенсі функціональності, адаптивності, охоплення процесів проведення експертизи, інтелектуальності, ніж ЕС чи СППР.

Вимоги до АСЕО – здійснювати підтримку всіх етапів експертизи незалежно від:

- поставлених цілей;
- програми та методики експертизи;
- предметної галузі;
- вибраних критеріїв оцінювання та їх шкал;
- виду експертних оцінок та способу їх отримання.

Ідея та організаційна структура АСЕО наведені на рис. 3.

АСЕО – набір програмних модулів, що гнучко налаштовуються і довільно пов'язуються, з яких користувач системи зможе зібрати і налаштувати таку версію системи, яка буде повністю відповідати цілям і завданням конкретної експертизи. Ядро АСЕО – великий комплекс моделей, методів і критеріїв, що використовуються під час збору, аналізу та обробки експертних оцінок (йдеться не просто про інтелектуальну систему, а про середовище розробки експертної системи).

Крім зазначеної проблеми доцільність та практична можливість створення АСЕО багато в чому визначається ступенем досяжної формалізації окремих етапів експертизи, оскільки навряд чи можна автоматизувати те, що не можливо уявити у вигляді формальної моделі. Тому окремо розглянемо основні етапи експертизи з погляду можливості їх формалізації та автоматизації.

### 3.3 Етапи експертизи в умовах автоматизованої системи експертного оцінювання.

#### Етап 1: постановка мети експертизи.

*Учасники та виконавці:* замовник експертизи, робоча група (організатори).

Етап є фундаментом всієї експертизи та проводиться у процесі укладення договору із замовником експертизи – індивідуальною чи колективною особою, яка для вирішення поставленої задачі потребує допомоги сторонніх фахівців.

Здійснюється комунікація між замовником та організаторами експертизи, а також відбувається вирішення адміністративних та фінансових питань.

*Засоби (задачі) автоматизації (елементи АСЕО):*

- менеджер пошуку експертів;
- засоби комунікації.

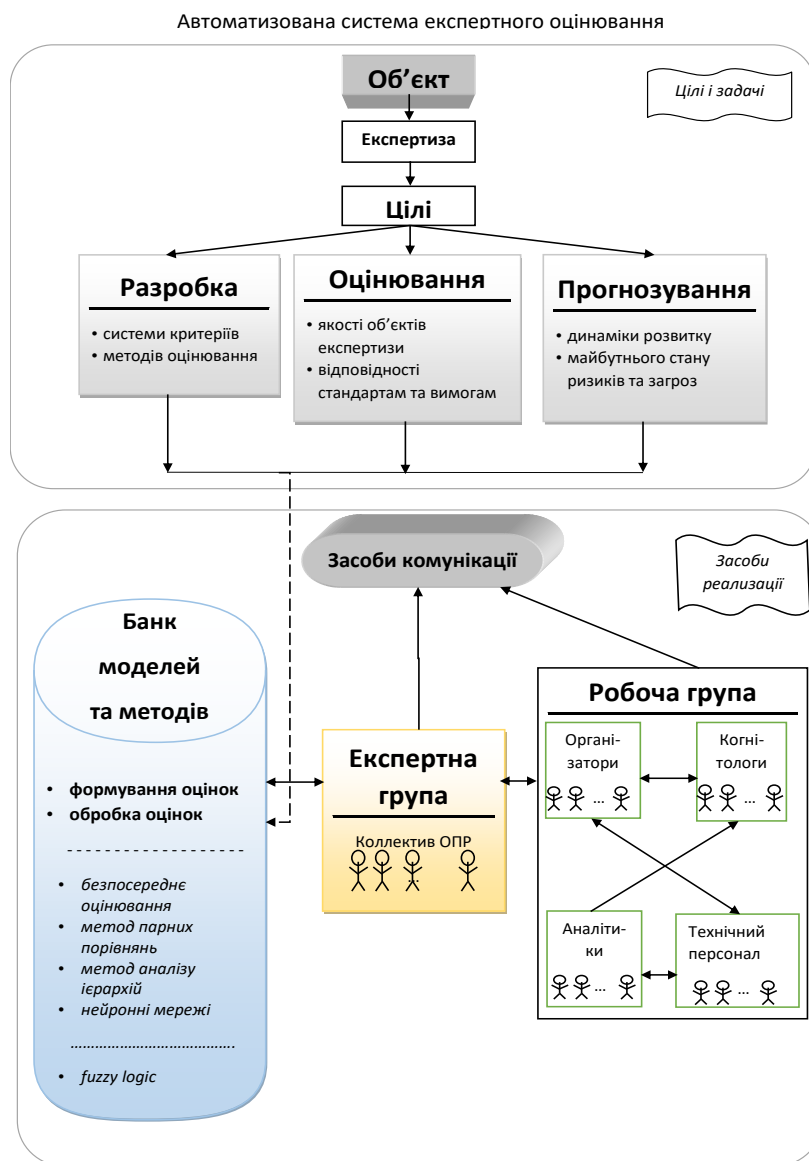


Рисунок 3 – Ідея та організаційна структура АСЕО

#### Етап 2: розробка програми та визначення методики експертизи.

*Учасники та виконавці:* робоча група, можлива участь замовника.

Даний етап починається з того, що робоча група, включаючи не тільки організаторів, а також аналітиків та когнітологів, розробляє план проведення експертизи, виходячи з мети експертизи, вимог замовника, встановлених термінів проведення та наявних ресурсів (фінансових, кадрових, обчислювальних та ін.).

Для цього робочою групою складається список проміжних цілей та завдань, які мають бути виконані для досягнення глобальної мети експертизи. Потім визначається, як пункти списку пов'язані між собою, яких ресурсів вимагають, у які терміни можуть і повинні бути виконані, хто відповідатиме за це. Можна сказати, що програма експертизи має дати відповіді на запитання:

- що потрібно зробити?
- коли це необхідно зробити?
- хто це робитиме?

Визначення методики проведення експертизи може бути проведено як паралельно з розробкою програми, так і після того, як програму вже підготовлено. Для кожної проміжної задачі з великого арсеналу методів експертного оцінювання вибирається адекватний інструмент виконання з урахуванням наявних ресурсних обмежень. Методика експертизи покликана дати відповідь на питання, як саме виконуватиметься кожен пункт програми експертизи.

Як бачимо, етап розробки програми та визначення методики експертизи є багато в чому творчим процесом, в якому задіяна велика кількість людей.

Повністю виключити участь людини у виконанні даного етапу експертизи в найближчому майбутньому є малоімовірним. Проте процес розробки програми та визначення методики експертизи можна значною мірою формалізувати, представивши його у вигляді побудови алгоритму проведення експертизи з деякого набору базових блоків, що адаптуються під певний набір вимог.

Що заважає розробити інформаційну систему (ІС) підтримки діяльності робочої групи на цьому етапі? По-перше, масштаби роботи, який належить виконати розробникам такої ІС: спектр методів і видів експертних оцінок дуже широкий і різноманітний, і створення комп'ютерної системи, що відображає цю різноманітність потребує значної праці. По-друге, нерідко обрані методи та алгоритми експертного оцінювання доводиться певним чином адаптувати під конкретну задачу або предметну область, тому врахувати заздалегідь усі нюанси просто неможливо.

*Засоби (задачі) автоматизації (елементи АСЕО):*

- візуальний редактор, який дозволяє робочій групі:
  - будувати та редагувати програму проведення експертизи у вигляді деякої візуальної структури (з використанням у т.ч. методології управління проектами, діаграм Ганта, тощо);
  - здійснювати змістовне наповнення блоків побудованої структури.

### **Етап 3: формування експертної групи.**

*Учасники та виконавці:* робоча група, можлива участь експертів.

Вирішуються завдання експертизи, спрямовані на підбір експертів, робота з якими дозволить успішно досягти основної мети експертизи.

Для цього на попередньому етапі має бути встановлено:

- якою буде структура експертної групи гомогенною чи гетерогенною, локалізованою у часі та просторі чи ні;
- яким чином здійснюватиметься підбір конкретних експертів;
- як забезпечуватиметься мотивація експертів до сумлінного виконання своїх обов'язків.

У гомогенних експертних групах всі члени мають однакове право голосу.

У гетерогенних групах експерти відрізняються один від одного вагою своїх суджень залежно від спеціалізації, компетентності, об'єктивності, певних особистих якостей та ін.

Іноді під час проведення експертизи використовують так звані експертні оцінки другого роду: судженню кожного експерта відповідає ваговий коефіцієнт, що відображає ступінь довіри до даного судження.

Зазвичай подібні вагові коефіцієнти називають коефіцієнтами компетентності експертів, і їх визначення є важливою задачею, оскільки від компетентності експертів безпосередньо залежить якість результатів експертизи.

Структура експертної групи також залежить від запланованого у програмі способу комунікації робочої групи з експертами (насамперед – від способу їхнього опитування), а також експертів між собою. В одних випадках потрібно зібрати всіх експертів разом для проведення

дебатів, а в інших взаємодія з експертами може здійснюватися віддалено. Деякі види опитування полягають у індивідуальній роботі з кожним експертом.

Для визначення безпосереднього складу експертної групи пропонуємо метод "снігової грудки", коли ядро експертної групи визначається робочою групою (наприклад, у результаті аналізу наукових публікацій потенційних експертів), а потім кожен експерт називає фахівців, які, на його думку, могли б виступити експертами в даному випадку. Це повторюється, доки експертна група не буде повністю сформована.

Очевидно, що вибір структури експертної групи неоднозначний і залежить від різних факторів, а тому важко формалізується.

З іншого боку, задача оцінки компетентності експертів та підбору кандидатур, що відповідають заданим робочою групою вимогам, цілком під силу АСЕО, але для цього мають виконуватися дві умови:

- по-перше, така система повинна містити моделі та методи оцінки різних характеристик експертів: компетентності, об'єктивності та ін.
- по-друге, повинна існувати база даних, що містить всю необхідну інформацію про експертів, аналізуючи яку система відбиратиме відповідних кандидатів.

*Засоби (завдання) автоматизації (елементи АСЕО):*

- автоматичний багатокритеріальний підбір кандидатур, що відповідають заданим критеріям якості, для формування структури експертної групи, заданої користувачем.

#### **Етап 4: отримання експертної інформації.**

*Учасники та виконавці:* когнітологи та експертна група.

Визначальними аспектами цього етапу є:

- форма подання експертної інформації (вид або формат експертних оцінок);
- обрана процедура опитування.

Найзручнішими для формалізації та обробки є кількісні точкові оцінки.

Менш зручними є інтервальні оцінки. Це пов'язано з тим, що навантаження щодо формалізації своєї думки лягає на самих експертів, нехай вони при цьому і отримують допомогу від фахівців із вилучення інформації.

Проте попередньо когнітологам спільно з аналітиками належить розробити систему критеріїв, які надалі й використовуватимуть експерти.

Для цього потрібно:

- скласти повний (але при цьому ненадлишковий) список критеріїв;
- визначити структуру зв'язків між критеріями;
- оцінити відносну важливість критеріїв (зазвичай при цьому доводиться залучати експертів);
- розробити кожному критерію адекватну шкалу і інтерпретувати її значення.

АСЕО має здійснювати підтримку розробки системи критеріїв оцінювання подібно до того, як це викладено для етапу розробки програми експертизи (методологія теорії управління проєктами).

Різного роду якісні оцінки (ранжування, вербальні оцінки, логічні судження та ін.) значно зручніші та зрозуміліші для експертів, проте формалізувати їх у рамках АСЕО і, відповідно, обробляти набагато важче.

Способи опитування експертів варіюються від гранично формальних до вільних: від методів закритого анкетування до відкритих дебатів між експертами.

Тому людино-машинні методи та процедури вилучення експертних знань, що передбачають безпосередню взаємодію між експертом та АСЕО, далеко не завжди можуть бути практично реалізовані, оскільки цей підхід вимагає високого рівня опрацювання та формалізації процедури опитування.

*Засоби (завдання) автоматизації (елементи АСЕО):*

- візуальний редактор, який надає робочій групі інструментарій для розробки та подальшої модифікації системи критеріїв оцінювання;
- інтерактивна система, що дозволяє проводити ефективне опитування експертів;
- база для зберігання експертної інформації.

#### **Етап 5: аналіз та обробка експертної інформації.**

*Учасники та виконавці:* аналітики та експертна група.



Отримана від експертів інформація аналізується та обробляється відповідно до методів, моделей та критеріїв, передбачених методикою експертизи.

Ступінь формалізації розв'язуваних цьому етапі задач насамперед залежить від виду чи формату, у якому представлена отримана від експертів інформація. Аналіз та обробка експертних оцінок – це найбільш опрацьований і зручний для автоматизації розділ методології експертного оцінювання, оскільки більшість складових його методів має математичну або статистичну природу.

Складність, як уже відмічалось при розгляді другого етапу, полягає у масштабі роботи, пов'язаній з імплементацією в АСЕО всіх можливих методів і моделей, які використовуються під час роботи з різними видами експертних оцінок.

*Засоби (задачі) автоматизації (елементи АСЕО):*

- набір комп'ютерних інструментів для аналізу та обробки експертних оцінок;
- база даних, що зберігає результати експертизи.

**Етап 6: підбиття результатів експертизи.**

*Учасники та виконавці:* організатори та аналітики.

За результатами попереднього етапу менеджери та аналітики оформляють необхідні звіти та передають їх замовнику у формі, початково встановленої на першому етапі. У цьому випадку АСЕО має генерувати гнучкі звіти про результати експертизи (з використанням технологій типу OLAP).

*Засоби (задачі) автоматизації (елементи АСЕО):*

- електронна система підготовки звітності з можливістю варіативної гнучкої візуалізації даних (типу OLAP).

### 3.4 Апробація.

Експериментальний варіант АСЕО фрагментарно використовувався для:

- розроблення стратегій розвитку міської інфраструктури;
- ергономічну експертизу складних систем у т.ч. освітніх технологій;
- ряду інших складних об'єктів.

Суть проблемної ситуації визначення пріоритетних напрямів розвитку міста показано на рис.

4.

Очевидно, що проблема розподілу бюджетних коштів цікавить величезну кількість учасників бюджетного процесу. Використання елементів технології АСЕО дозволило для одного з обласних центрів України суттєво скоротити соціальну напруженість у міській Раді та місті в цілому та відносно раціонально розподілити бюджетні кошти.



Рисунок 4 – Демонстрація проблемної ситуації "Визначення пріоритетів розвитку міста"

Ідею застосування АСЕО для атестації електронних навчальних модулів в університетському освітньому середовищі [35-37] продемонстровано на рис. 5.

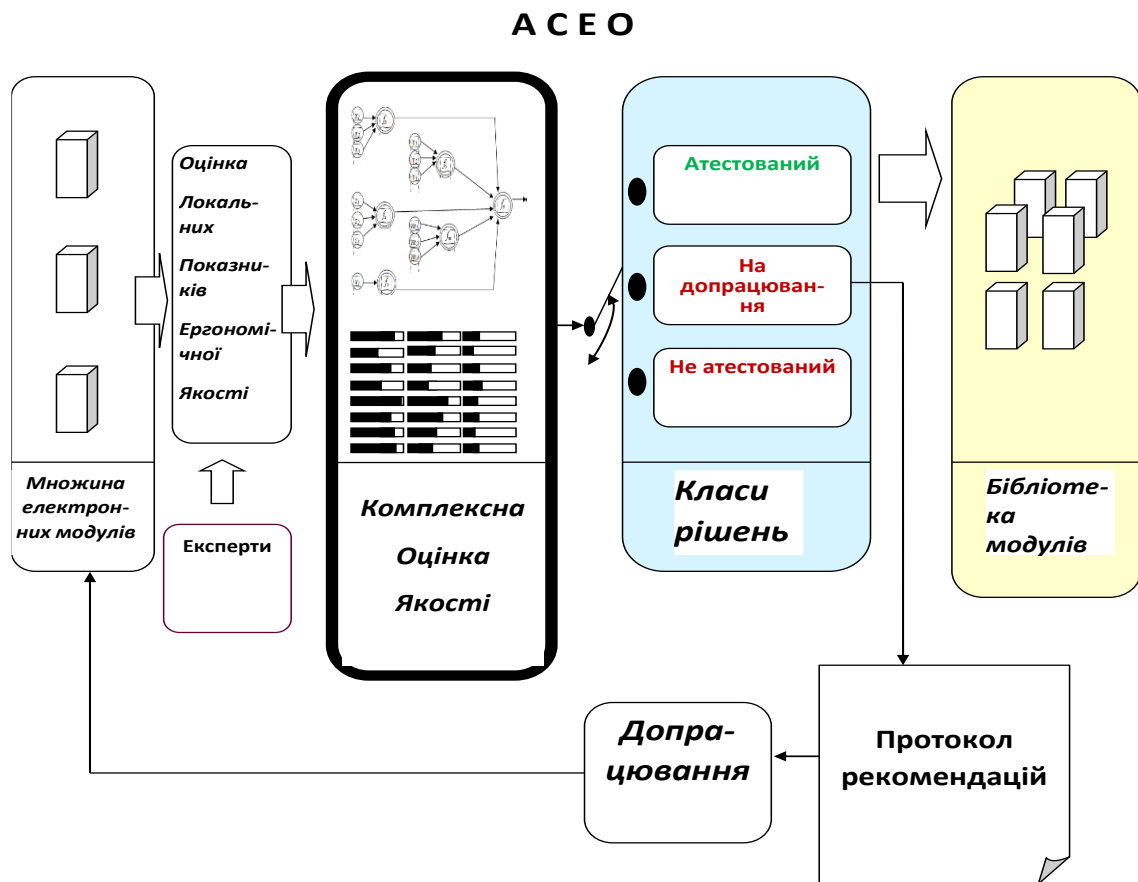


Рисунок 5 – Приклад використання АСЕО для ергономічної атестації електронних модулів у системі електронного навчання

Застосування технології АСЕО дозволило за оцінками [37] підвищити ефективність роботи з формування банку атестованих електронних навчальних матеріалів:

- у порівнянні з технологією ЕС – у 4,73 рази;
- у порівнянні з неавтоматизованою технологією – у 17,5 рази.

В результаті значно підвищилася якість навчального процесу та привабливість нових форм електронного навчання.

#### 4 Висновок.

В Україні загострюються економічні, соціальні, політичні і інші проблеми. Тривають бойові дії. Під загрозою саме існування економіки, країни і нації. Проблеми сталого управління в таких умовах вимагають високоякісного експертного оцінювання можливих альтернативних сценаріїв розвитку. Необхідна докорінна зміна стратегій підтримки прийняття рішень.

Існує думка, що експертна сфера прийняття рішень може бути автоматизована практично повністю шляхом заміни експертів базами експертних знань.

Показано, що в багатьох випадках це не зовсім правильно, оскільки багато експертиз орієнтовані на вирішення погано вивчених або навіть унікальних задач, які лише згодом, по мірі їх вивчення та структуризації, можуть бути вирішені іншими, більш строгими методами. Ефективне вирішення задач експертного оцінювання можливе за умови використання нового запропонованого в даній роботі класу систем – автоматизованих систем експертного оцінювання, які суттєво відрізняються від існуючих експертних систем та систем підтримки прийняття рішень, орієнтованих на вузький клас систем. Обґрунтовані ступінь автоматизації проведення експертиз, а

також склад методів та програмних засобів можуть бути рекомендовані для створення ефективних автоматизованих систем експертного оцінювання.

Наукова новизна результатів полягає в тому, що на відміну від локальних моделей отримання та обробки експертних оцінок, орієнтованих зазвичай на вузьку проблемну сферу, розроблена технологія дозволяє інтегрувати наявні методи та засоби в одній системі, що гнучко налаштовується під конкретну проблемну ситуацію і враховує можливості людини і комп'ютерної системи підтримки процесів прийняття рішень. Це створює передумови для створення нового покоління систем експертного оцінювання, заснованих на гібридних людино-машинних процедурах прийняття колективних рішень (гібридних інтелектуальних систем).

### Подяка

Автори дякують д.т.н. проф. Падерно П.Й. та к.т.н. доц. Буркову Є.О. за підтримку даної роботи, надані консультації і матеріали.

### Список бібліографічного опису

1. Ślusarczyk, J. (2023). Environmental protection in NATO policy. *Scientific Journal of the Military University of Land Forces*, 208(2), 091–103. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.7268>
2. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Iyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
3. Baranov, V., & Makhutov, N. (2019). Structural Analysis of Processes of Sustainable Development of Systems of Social Environment. 2019 Twelfth International Conference "Management of Large-Scale System Development" (MLSD), 1–5. <https://doi.org/10.1109/MLSD.2019.8911073>
4. Tokognon, J. P. R., & Yunfei, S. (2018). Innovation Policy for Sustainable Development of SMEs in Benin. 2018 4th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD), 511–517. <https://doi.org/10.1109/GTSD.2018.8595524>
5. Kolesnikov, A. M., Kokodey, T. A., Lomachenko, T. I., & Mikhailov, Y. I. (2018). Modeling the Optimal Format of Strategic Management of a Company for Establishing a Region's Sustainable Development. 2018 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS), 848–850. <https://doi.org/10.1109/ITMQIS.2018.8525126>
6. Lozov, R. K., Baranov, A. A., Ermak, S. V., & Semenov, V. V. (2019). The orientation error of a quantum frequency standard in on-board equipment of the satellite navigation systems. In joint international conference on astrophysics for young scientists (pp. 77-82)
7. Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., & Zhang, C. (2016). Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, 101, 158–168. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2015.12.017>
8. Sawangsri, W., Suppasawat, P., Thamphanchark, V., & Pandey, S. (2018). Novel Approach of an Intelligent and Flexible Manufacturing System: A Contribution to the Concept and Development of Smart Factory. 2018 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE), 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICSSE.2018.8520029>
9. Lavrov, E., Chybirak, Y., Siryk, O., Logvinenko, V., Zakharova, A. Training of Specialists for Adaptive management. Techniques for Teaching Computer Analysis of Automated Production Systems in the FlexSim Environment (2022) CEUR Workshop Proceedings, 3104, pp. 106-118.
10. Cacciabue, P. (2004). Human error risk management for engineering systems: a methodology for design, safety assessment, accident investigation and training. *Reliability Engineering & System Safety*, 83(2), 229–240. <https://doi.org/10.1016/j.res.2003.09.013>
11. Rothmore, P., Aylward, P., & Karnon, J. (2015). The implementation of ergonomics advice and the stage of change approach. *Applied Ergonomics*, 51, 370–376. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.06.013>
12. Kukhar, V., Yelistratova, N., Burko, V., Nizhelska, Y., & Aksionova, O. (2018). Estimation of occupational safety risks at energetic sector of Iron and Steel Works. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(2.23), 216. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.23.11922>
13. Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. S. (2014). The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions. *Procedia Engineering*, 69, 1184–1190. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.108>
14. Vorobieva, D., Kefeli, I., Kolbanov, M., & Shamin, A. (2018). Architecture of Digital Economy. 2018 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICUMT.2018.8631210>
15. Desyatirikova, E. N., Myshovskaya, L. P., Desyatirikov, A. N., & Kolosov, A. I. (2019). Automatic Control of the Sustainability of Digital Transformation Processes in the Digital Economy. 2019 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS), 235–238. <https://doi.org/10.1109/ITQMIS.2019.8928446>
16. Sharakhina, L. V., Azarova, L. V., Bykov, I. A., & Achkasova, V. A. (2018). Government communication strategies of global city: Opportunities and risks. 2018 IEEE Communication Strategies in Digital Society Workshop (ComSDS), 54–56. <https://doi.org/10.1109/COMSDS.2018.8354987>
17. Bundzel, M. (2018). Towards collective intelligence. 2018 IEEE 16th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), 000015–000016. <https://doi.org/10.1109/SAMI.2018.8324847>
18. Kaplan, E. H. (2016). Adventures in Policy Modeling! 2016 Winter Simulation Conference (WSC), 2–2. <https://doi.org/10.1109/WSC.2016.7822073>

19. De, M. D. P. K. (2014). Study of possibility programming in stochastic fuzzy multiobjective linear fractional programming problem. 2014 IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO), 331–337. <https://doi.org/10.1109/ISCO.2014.7103970>
20. Borisova, L., Dimitrov, V., & Nurutdinova, I. (2017). Algorithm for assessing quality of fuzzy expert information. 2017 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 1–4. <https://doi.org/10.1109/EWDTS.2017.8110107>
21. Zadeh, L. A. (1996). The evolution of systems analysis and control: a personal perspective. IEEE Control Systems, 16(3), 95–98. <https://doi.org/10.1109/37.506401>
22. Moiseev, D. (2019). Methodology of Probabilistic Representation and Transformation of Information. 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 1–5. <https://doi.org/10.1109/FarEastCon.2019.8934304>
23. ACI, C., SEYREK, S., & CIRAK, A. (2018). A Score-Based Expert System Application for Paper-Reviewer Assignment Problem. 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), 1–5. <https://doi.org/10.1109/IDAP.2018.8620885>
24. Spivak, I., Krepych, S., & Krepych, R. (2018). Construction of the Criterion for the Agree of Expert Groups Estimates Based on Analysis of Interval Data. 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), 261–264. <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2018.8632053>
25. H. K. Jabbar and R. Z. Khan, "Survey on development of expert system in the areas of Medical, Education, Automobile and Agriculture," 2015 2nd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), New Delhi, India, 2015, pp. 776-780.
26. Burkov, E. A., Lyubkin, P. L., & Paderno, P. I. (2017). Intellectual systems - the future of expert assessment. 2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 34–36. <https://doi.org/10.1109/SCM.2017.7970487>
27. Paderno, P. I., Burkov, E. A., & Lavrov, E. A. (2020). Issues of organization of expertise and problems of expert assessments. Journal of Physics: Conference Series, 1703(1), 012047. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1703/1/012047>
28. Paderno, P. I. et al. (2021). Expert Classification: Resource-Based Approach. 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 31–33. <https://doi.org/10.1109/SCM52931.2021.9507119>
29. Burkov, E. A. et al. (2020). Analysis of Impact of Marginal Expert Assessments on Integrated Expert Assessment. 2020 XXIII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 14–17. <https://doi.org/10.1109/SCM50615.2020.9198772>
30. Paderno, P. I. et al. (2021). Expert Classification: Probabilistic Estimates. 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 28–31. <https://doi.org/10.1109/SCM52931.2021.9507116>
31. Mochalov, V. (2015). Multi-agent bio-inspired algorithms for wireless sensor network design. 2015 17th International Conference on Advanced Communication Technology (ICTACT), 33–42. <https://doi.org/10.1109/ICTACT.2015.7224753>
32. Mochalov, V. A., Mochalova, A. V., Chowkwale, B., & Homutov, S. U. (2016). Functional scheme of the environment monitoring systems architecture design. 2016 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICTACT), 289–295. <https://doi.org/10.1109/ICTACT.2016.7423364>
33. Kuznetsov, V. A., Mochalov, V. A., & Mochalova, A. V. (2016). Ontological-semantic text analysis and the question answering system using data from ontology. 2016 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICTACT), 651–658. <https://doi.org/10.1109/ICTACT.2016.7423589>
34. Lavrov, E., Paderno, P., Burkov, E., Volosiuk, A., & Lung, V. D. (2020). Expert assessment systems to support decision-making for sustainable development of complex technological and socio-economic facilities. E3S Web of Conferences, 166, 11002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016611002>
35. Lavrov, E., Kuppenko, O., Lavryk, T., & Barchenko, N. (2013). Organizational Approach to the Ergonomic Examination of E-Learning Modules. Informatics in Education, 12(1), 105–123. <https://doi.org/10.15388/infedu.2013.08>
36. Lavrov, E., Lavrova, O. Intelligent adaptation method for human-machine interaction in modular E-learning systems (2019) CEUR Workshop Proceedings, 2393, pp. 1000-1010.
37. Барченко, Н. (2018). Ергономічне забезпечення діалогової людино-машинної взаємодії в модульних системах електронного навчання. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, 253.

#### References

1. Ślusarczyk, J. (2023). Environmental protection in NATO policy. Scientific Journal of the Military University of Land Forces, 208(2), 091–103. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.7268>
2. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
3. Baranov, V., & Makhutov, N. (2019). Structural Analysis of Processes of Sustainable Development of Systems of Social Environment. 2019 Twelfth International Conference "Management of Large-Scale System Development" (MLSD), 1–5. <https://doi.org/10.1109/MLSD.2019.8911073>
4. Tokognon, J. P. R., & Yunfei, S. (2018). Innovation Policy for Sustainable Development of SMEs in Benin. 2018 4th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD), 511–517. <https://doi.org/10.1109/GTSD.2018.8595524>
5. Kolesnikov, A. M., Kokodey, T. A., Lomachenko, T. I., & Mikhailov, Y. I. (2018). Modeling the Optimal Format of Strategic Management of a Company for Establishing a Region's Sustainable Development. 2018 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS), 848–850. <https://doi.org/10.1109/ITMQIS.2018.8525126>

6. Lozov, R. K., Baranov, A. A., Ermak, S. V., & Semenov, V. V. (2019). The orientation error of a quantum frequency standard in on-board equipment of the satellite navigation systems. In joint international conference on astrophysics for young scientists (pp. 77-82)
7. Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., & Zhang, C. (2016). Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, 101, 158–168. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2015.12.017>
8. Sawangri, W., Suppasawat, P., Thamphanchark, V., & Pandey, S. (2018). Novel Approach of an Intelligent and Flexible Manufacturing System: A Contribution to the Concept and Development of Smart Factory. 2018 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE), 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICSSE.2018.8520029>
9. Lavrov, E., Chybiriak, Y., Siryk, O., Logvinenko, V., Zakharova, A. Training of Specialists for Adaptive management. *Techniques for Teaching Computer Analysis of Automated Production Systems in the FlexSim Environment (2022) CEUR Workshop Proceedings*, 3104, pp. 106-118.
10. Cacciabue, P. (2004). Human error risk management for engineering systems: a methodology for design, safety assessment, accident investigation and training. *Reliability Engineering & System Safety*, 83(2), 229–240. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2003.09.013>
11. Rothmore, P., Aylward, P., & Karnon, J. (2015). The implementation of ergonomics advice and the stage of change approach. *Applied Ergonomics*, 51, 370–376. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.06.013>
12. Kukhar, V., Yelistratova, N., Burko, V., Nizhelska, Y., & Aksionova, O. (2018). Estimation of occupational safety risks at energetic sector of Iron and Steel Works. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(2.23), 216. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.23.11922>
13. Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. S. (2014). The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions. *Procedia Engineering*, 69, 1184–1190. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.108>
14. Vorobieva, D., Kefeli, I., Kolbanov, M., & Shamin, A. (2018). Architecture of Digital Economy. 2018 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICUMT.2018.8631210>
15. Desyatirikova, E. N., Myshovskaya, L. P., Desyatirikov, A. N., & Kolosov, A. I. (2019). Automatic Control of the Sustainability of Digital Transformation Processes in the Digital Economy. 2019 International Conference “Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies” (IT&QM&IS), 235–238. <https://doi.org/10.1109/ITQMIS.2019.8928446>
16. Sharakhina, L. V., Azarova, L. V., Bykov, I. A., & Achkasova, V. A. (2018). Government communication strategies of global city: Opportunities and risks. 2018 IEEE Communication Strategies in Digital Society Workshop (ComSDS), 54–56. <https://doi.org/10.1109/COMSDS.2018.8354987>
17. Bundzel, M. (2018). Towards collective intelligence. 2018 IEEE 16th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII), 000015–000016. <https://doi.org/10.1109/SAMI.2018.8324847>
18. Kaplan, E. H. (2016). Adventures in Policy Modeling! 2016 Winter Simulation Conference (WSC), 2–2. <https://doi.org/10.1109/WSC.2016.7822073>
19. De, M. D. P. K. (2014). Study of possibility programming in stochastic fuzzy multiobjective linear fractional programming problem. 2014 IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO), 331–337. <https://doi.org/10.1109/ISCO.2014.7103970>
20. Borisova, L., Dimitrov, V., & Nurutdinova, I. (2017). Algorithm for assessing quality of fuzzy expert information. 2017 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 1–4. <https://doi.org/10.1109/EWDTS.2017.8110107>
21. Zadeh, L. A. (1996). The evolution of systems analysis and control: a personal perspective. *IEEE Control Systems*, 16(3), 95–98. <https://doi.org/10.1109/37.506401>
22. Moiseev, D. (2019). Methodology of Probabilistic Representation and Transformation of Information. 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 1–5. <https://doi.org/10.1109/FarEastCon.2019.8934304>
23. ACI, C., SEYREK, S., & CIRAK, A. (2018). A Score-Based Expert System Application for Paper-Reviewer Assignment Problem. 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), 1–5. <https://doi.org/10.1109/IDAP.2018.8620885>
24. Spivak, I., Krepych, S., & Krepych, R. (2018). Construction of the Criterion for the Agree of Expert Groups Estimates Based on Analysis of Interval Data. 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), 261–264. <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2018.8632053>
25. H. K. Jabbar and R. Z. Khan, "Survey on development of expert system in the areas of Medical, Education, Automobile and Agriculture," 2015 2nd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), New Delhi, India, 2015, pp. 776-780.
26. Burkov, E. A., Lyubkin, P. L., & Paderno, P. I. (2017). Intellectual systems - the future of expert assessment. 2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 34–36. <https://doi.org/10.1109/SCM.2017.7970487>
27. Paderno, P. I., Burkov, E. A., & Lavrov, E. A. (2020). Issues of organization of expertise and problems of expert assessments. *Journal of Physics: Conference Series*, 1703(1), 012047. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1703/1/012047>
28. Paderno, P. I. et al. (2021). Expert Classification: Resource-Based Approach. 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 31–33. <https://doi.org/10.1109/SCM52931.2021.9507119>
29. Burkov, E. A. et al. (2020). Analysis of Impact of Marginal Expert Assessments on Integrated Expert Assessment. 2020 XXIII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 14–17. <https://doi.org/10.1109/SCM50615.2020.9198772>
30. Paderno, P. I. et al. (2021). Expert Classification: Probabilistic Estimates. 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 28–31. <https://doi.org/10.1109/SCM52931.2021.9507116>

31. Mochalov, V. (2015). Multi-agent bio-inspired algorithms for wireless sensor network design. 2015 17th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 33–42. <https://doi.org/10.1109/ICACT.2015.7224753>
32. Mochalov, V. A., Mochalova, A. V., Chowkwale, B., & Homutov, S. U. (2016). Functional scheme of the environment monitoring systems architecture design. 2016 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 289–295. <https://doi.org/10.1109/ICACT.2016.7423364>
33. Kuznetsov, V. A., Mochalov, V. A., & Mochalova, A. V. (2016). Ontological-semantic text analysis and the question answering system using data from ontology. 2016 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 651–658. <https://doi.org/10.1109/ICACT.2016.7423589>
34. Lavrov, E., Paderno, P., Burkov, E., Volosiuk, A., & Lung, V. D. (2020). Expert assessment systems to support decision-making for sustainable development of complex technological and socio-economic facilities. E3S Web of Conferences, 166, 11002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016611002>
35. Lavrov, E., Kuppenko, O., Lavryk, T., & Barchenko, N. (2013). Organizational Approach to the Ergonomic Examination of E-Learning Modules. Informatics in Education, 12(1), 105–123. <https://doi.org/10.15388/infedu.2013.08>
36. Lavrov, E., Lavrova, O. Intelligent adaptation method for human-machine interaction in modular E-learning systems (2019) CEUR Workshop Proceedings, 2393, pp. 1000-1010.
37. Barchenko, N. (2018). Ergonomic provision of dialogic human-machine interaction in modular e-learning systems. Dissertation for obtaining the scientific degree of Candidate of Technical Sciences, 253.