

УДК 519.6+625.1

**КОМПЛЕКСНЕ ДЕТЕРМІНОВАНЕ ОЦІНЮВАННЯ  
СКЛАДНИХ ІЄРАРХІЧНО-МЕРЕЖЕВИХ СИСТЕМ.  
ЧАСТИНА I. ОПИС МЕТОДИКИ**

**Д.О. ПОЛІЩУК, О.Д. ПОЛІЩУК, М.С. ЯДЖАК**

Проаналізовано основні підходи і методи оцінювання складних систем та визначено їхні переваги та недоліки. Описано системи з ієрархічно-мережевою структурою та запропоновано методику їхнього комплексного детермінованого оцінювання. На підставі результатів планових досліджень та неперервного моніторингу системи описано методи багатокритеріального та багатопараметричного локального, прогностичного, агрегованого та інтерактивного аналізу стану, якості функціонування та взаємодії об'єктів системи всіх рівнів ієрархії. Розглянуто схему взаємодії і показано, що лише у сукупності запропоновані методи дозволяють сформувати об'єктивні та обґрунтовані висновки щодо якості складної системи. Застосування розробленої методики проілюстровано на прикладі аналізу ефективності функціонування об'єктів залізничної транспортної системи України.

**ВСТУП**

Складні системи (СС) з ієрархічно-мережевою структурою (ІМС) знаходять своє застосування практично у всіх сферах діяльності людини: на транспорті (залізнична та авіаційна системи, автотранспортні мережі великих міст або регіонів країни); постачанні та логістиці (системи електро-, газо-, нафто-, тепло- та водопостачання, торгівельні мережі); в інформаційному забезпеченні та зв'язку (інтернет, телебачення, радіо, преса, стаціонарний та мобільний телефонний зв'язок, пошта); в економіці (мережі державних або (та) приватних підприємств, їх постачальників та реалізаторів готової продукції); фінансах (банківські та страхові мережі, системи переказу грошей); освіті та охороні здоров'я тощо. Від стану та якості функціонування таких систем значною мірою залежить рівень життя громадян, ефективність економіки та можливості її розвитку, готовність державних структур до подолання наслідків техногенних катастроф чи стихійних лих, зрештою, вони є свідченням розвитку країни загалом. Ці обставини визначають актуальність проблеми розробки методів дослідження СС, яка вирішується в теорії систем, системному аналізі, теорії складних мереж, за допомогою математичного моделювання тощо [1–4]. Складні системи формуються, функціонують та розвиваються тривалий час і за природних процесів «старіння», незважаючи на

регулярні ремонти та модернізацію, потребують все більшого та ретельнішого контролю за їхньою поведінкою. Тому окреме місце в системних дослідженнях займає розробка методів оцінювання та прогнозування стану, якості функціонування та взаємодії структурних елементів СС [5].

Методи оцінювання можуть базуватися на детерміністичних [6–7], статистичних [8], стохастичних [9] або гібридних [10] підходах. Кожний з них має свої переваги та недоліки [5]. Детерміністичні методи формують оцінку реального стану та якості функціонування конкретного об'єкта системи [11–12]. Якщо провести ретельний аналіз усіх об'єктів СС неможливо, то використовують статистичні методи [13–15]. При цьому формування обґрунтованого результату статистичних досліджень залежить від ретельності детерміністичного аналізу об'єктів, включених у вибірку. В умовах невизначеності або за неповної інформації про систему застосовуються стохастичні методи [16–18]. При цьому попередні дані щодо розподілу ймовірностей також отримуються на множині результатів детерміністичних досліджень. Висновки, одержані за допомогою статистичних та стохастичних методів, дають можливість привернути увагу до основних проблем функціонування системи, наприклад, до найбільш розповсюджених хвороб населення у заданому регіоні [19]. Однак статистичні та стохастичні методи у багатьох випадках не дозволяють виявити об'єкти, збої в роботі яких можуть призвести до виходу з ладу окремих підсистем чи системи загалом. Слід також враховувати, що існують системи, які вимагають застосування виключно детерміністичних методів оцінювання. Дійсно, ймовірнісний підхід до постановки діагнозу пацієнту чи перевірки бортових систем авіалайнера перед польотом не виглядає доречним.

Під час розробки методів оцінювання першочергову увагу приділяють процедурам агрегації [20–21]. Однак нечіткі або однобічні локальні оцінки не дозволяють сформувати обґрунтований узагальнений висновок та побудувати точний прогноз поведінки системи навіть на короткострокову перспективу. Багатокритеріальний та багатопараметричний аналіз поведінки елементів системи є основою для формування об'єктивних кількісних оцінок на всіх рівнях ієрархії. Агрегація нівелює як позитивні, так і негативні результати локального оцінювання [5]. Тому процедури узагальнення мають супроводжуватися зручними засобами низхідного аналізу поведінки об'єктів системи.

На процес функціонування реальної СС впливають численні зовнішні та внутрішні фактори. Вони можуть створити ризики, які неможливо передбачити регулярними плановими дослідженнями. Тому особлива увага має приділятися неперервному моніторингу процесів, які протікають в системі [22]. Загалом методи, які використовуються для оцінювання стану та якості функціонування СС мають орієнтуватися на її тип, структуру, основне цільове призначення та інші особливості. Достатньо детальний огляд методів оцінювання та особливостей їх застосування можна знайти у працях [5, 6, 23, 24].

Теорія оцінювання СС є складовою системного аналізу [25]. З іншого боку, результати оцінювання є об'єктивною та чи не найбільш вагомим підставою для прийняття обґрунтованого рішення щодо подальших дій відносно досліджуваної системи [26]. При цьому інформативність оцінки, її зрзу-

мілість та зручні процедури оперативного орієнтування у великій кількості отриманих висновків дозволяють приймати своєчасні організаційні та управлінські рішення [27–28]. Відзначимо, що висновки, сформовані на підставі детермінованого оцінювання системи, породжують значно меншу кількість альтернатив, ніж статистичного або стохастичного [29].

**Мета роботи** — розробка методики комплексного багатокритеріального та багатопараметричного детермінованого оцінювання стану, якості функціонування та взаємодії об'єктів складних ієрархічно-мережевих систем із повністю впорядкованим рухом потоків.

### **СКЛАДНІ СИСТЕМИ З ІЄРАРХІЧНО-МЕРЕЖЕВОЮ СТРУКТУРОЮ**

Існування СС різного типу, призначення та структури, які функціонують за різними законами та в різних умовах, породило велику кількість означень системи [30], жодне з яких не стало загальноживаним. Тому більш прийнятним на сьогодні видається підхід М.П. Бусленка [4], який виділяє основні характеристики, які визначають певний об'єкт, як систему. До них, зокрема, відноситься наявність певного числа взаємопов'язаних між собою елементів, функцій, які вони реалізують, та напрямків для досягнення заданих цілей функціонування; можливість розбиття системи на підсистеми, цілі функціонування яких підпорядковані загальній цілі системи; наявність управління, розгалуженої інформаційної мережі, інтенсивних матеріальних та інформаційних потоків; взаємодія із зовнішнім середовищем та функціонування за наявності випадкових чинників. Системи, які налічують десятки тисяч елементів і більше, називаються великими [31]. СС вважається динамічною, коли її стан змінюється з часом [32]. Складність системи є поняттям відносним [33], зокрема, чим більше рівнів розбиття системи на підсистеми, кількість та своєрідність об'єктів, які їх утворюють, набір реалізованих ними функцій, число взаємодій з іншими об'єктами, множинність та різноманітність реакцій на вплив зовнішніх та внутрішніх чинників, тим складніша система загалом. Прикладом реальної великої складної динамічної системи, яку ми надалі використовуватимемо для ілюстрації застосування пропонованих методів оцінювання, є залізнична транспортна система (ЗТС) України. До її складу входить 1684 станції [34], розгорнута протяжність колійного господарства сягає 30,3 тис. км, кількість рушійних засобів (тепло- і електровозів) перевищує 4500 одиниць, вагонний парк складає більш ніж 175 000 вантажних та 8400 пасажирських вагонів. Основну діяльність залізниць України забезпечує понад 300 підприємств (депо, колійно-машинних станцій, дистанцій енергопостачання, сигналізації та зв'язку) та близько 400 тис. працівників. Про важливість цієї системи у соціальному житті та економіці країни свідчить той факт, що лише за 2012 р. залізницями України було перевезено більше 400 млн пасажирів та майже 500 млн тон вантажів, що складає понад 50% всього обсягу перевезень.

Дослідження системи зазвичай починається із визначення її складу та структури [35]. До найбільш розповсюджених типів структур реальних СС відносяться ієрархічні, мережеві та гібридні, зокрема, ієрархічно-мережеві (рис. 1). Більшість із створених та керованих людиною промислових, транспортних, фінансових та інших систем мають ієрархічно-мережеву структуру. Особливість ІМС полягає в тому, що кожна підсистема певного рівня ієрархії поділяється на сукупність підсистем, які утворюють підмережу

мережі нижчого рівня, тобто вона є сукупністю вузлів, поєднаних ребрами, по яких здійснюється рух потоків. При цьому ребра мають забезпечувати безперешкодне проходження потоку, а вузли — його обробку. Ієрархія вводиться [36–37] на підставі принципів побудови системи управління (СУ), просторового розміщення об'єктів СС тощо. Під об'єктом системи ми розуміємо її структурну одиницю довільного рівня ієрархії від елемента до підсистеми найвищого рівня розбиття. Підсистеми найнижчого рівня розбиття надалі називатимемо базовими.

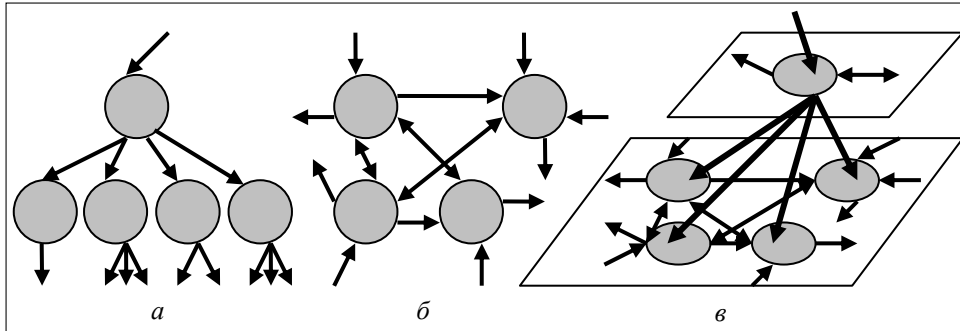


Рис. 1. Зразки типів структур: *a* — ієрархічної; *б* — мережевої; *в* — ієрархічно-мережевої

Повертаючись до ЗТС, як прикладу складної ієрархічно-мережевої системи (СІМС) [38], визначальною ознакою її послідовного поділу на підсистеми нижчих рівнів є чіткий територіально-ієрархічний принцип побудови СУ Укрзалізниці (УЗ). Вона включає в себе 6 регіональних залізниць, 27 дирекцій залізничних перевезень, 110 дистанцій колії та більш ніж 1200 відділків, які зазвичай є послідовністю станцій та міжстанційних перегонів, довжина колій яких перебуває в межах від 20 до 30 км. Такий принцип структуризації дає можливість встановити чіткий зв'язок між об'єктами ЗТС та підрозділами УЗ, які відповідають за їхній стан та якість функціонування. Подальша структуризація здійснюється за функціональною ознакою, а саме, як базові підсистеми (БПС), які утворюють відділки, виділяються такі об'єкти, як станції (вузли) та міжстанційні перегони (ребра). Потоками в цій системі є поїзди. На вищих рівнях ієрархії ЗТС є мережею, потоками в якій є інформація, організаційні та управлінські рішення тощо. БПС самі можуть бути складними системами. Наприклад, до складу ЗТС України входить 31 позакласна станція та станції першої категорії (вузлові станції та станції великих міст). Дослідження таких систем доцільно проводити окремо.

При поділі БПС на елементи ми відштовхуємося від наступних міркувань. Кожна система реалізує певний набір функцій з яких, виходячи з мети дослідження, обирається основна. Визначення елементів проводимо з точки зору їх участі у реалізації основної функції. Елементи, не задіяні у реалізації цієї функції, не включаються в процесі оцінювання до складу системи та її структурної схеми. Так перелік функцій УЗ налічує більш ніж 20 позицій, основною з яких є організація надійного та безпечного руху поїздів згідно з встановленим графіком, що і визначає склад оцінюваних об'єктів системи.

БПС можуть поділятися на елементи одного або різних типів. Кожному елементу відповідає чітко визначений набір характеристик, які описують його стан та процес функціонування. Кожна з характеристик має відповідну область допустимих значень, просторові або (та) часові обмеження тощо.

Так міжстанційний перегін, як БПС ЗТС, доцільно розбивати на елементарні ділянки, які розділені штучними спорудами (мостами, переїздами тощо), і відрізняються своїми просторовими, конструктивними, геологічними та іншими особливостями і не перевищують довжину 1 км [39]. Такий поділ пояснюється, зокрема, тією обставиною, що на горизонтальній прямій рейки колії мають знаходитись на одній висоті, тоді як на кривій зовнішня рейка залежно від кривизни має бути розташована на кілька сантиметрів вище. Це ж стосується і геометрії земляного полотна. Зрозуміло, що під час дослідження такі ділянки мають розглядатися окремо, оскільки області допустимих значень характеристик колії для них суттєво відрізняються. Так негативні значення характеристик, наприклад, просторового розміщення рейок є різними для прямої горизонтальної, кривої чи похилої ділянок. Ця різниця є настільки суттєвою, що допустимі значення для одного типу ділянки є незадовільними для іншого і навпаки.

Основними складовими станції є її колійний розвиток та інші об'єкти станційної інфраструктури, задіяні у забезпеченні основної функції станції — безперебійному проходженні чи прийомі, обслуговуванні та відправленні поїздів. Розбиття таких об'єктів на елементи здійснюється за принципом розглянутим вище.

Подібний спосіб структуризації застосовується для більшості СІМС, наприклад — автотранспортна мережа країни, регіону, області, району. Вузлами у такій мережі є населені пункти, ребрами — поєднуючи їх автошляхи, потоками — автотранспортні засоби. Він не лише спрощує аналіз системи, але й встановлює прямий зв'язок між окремими об'єктами СІМС та підрозділами, які несуть безпосередню відповідальність за їхній стан, якість функціонування та взаємодію з іншими об'єктами системи та її користувачами.

Класичні методи математичного моделювання [4] для дослідження більшості реальних СІМС зазвичай складно реалізувати практично через проблеми розмірності та адекватності. Методи мережевого аналізу зосереджені [2] на дослідженні взаємозв'язків між БПС мережі, не заглиблюючись в аналіз стану та якості функціонування їх елементів. У той же час, обробка потоку у вузлі може бути достатньо складним процесом, наприклад, прийом, переформування, завантажувально-вивантажувальні роботи, перевірка стану, відправлення вантажного потяга зі станції тощо. Оцінювання реальних СІМС потребує системного підходу, який ми пропонуємо реалізувати в рамках методики комплексного детермінованого оцінювання (МКДО) системи. При цьому під комплексністю розуміємо не лише багатокритеріальний аналіз всіх допустимих характеристик системи [40–43], але й залучення різних методів оцінювання, які дозволяють сформувати цілісну та достатньо повну картину якості її стану та процесу функціонування.

## **МЕТОДИ КОМПЛЕКСНОГО ОЦІНЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ**

Для контролю за станом та поведінкою реальних СІМС зазвичай використовують два підходи: регулярні планові дослідження та неперервний моніторинг функціонування системи (рис. 2). Планові дослідження проводяться достатньо ретельно та спрямовані на розробку конкретних рекомендацій та дій з усунення виявлених недоліків. Неперервний моніторинг дозволяє у режимі реального часу формувати опосередковані, але від того не менш вагомні висновки про стан та якість роботи основних об'єктів системи.

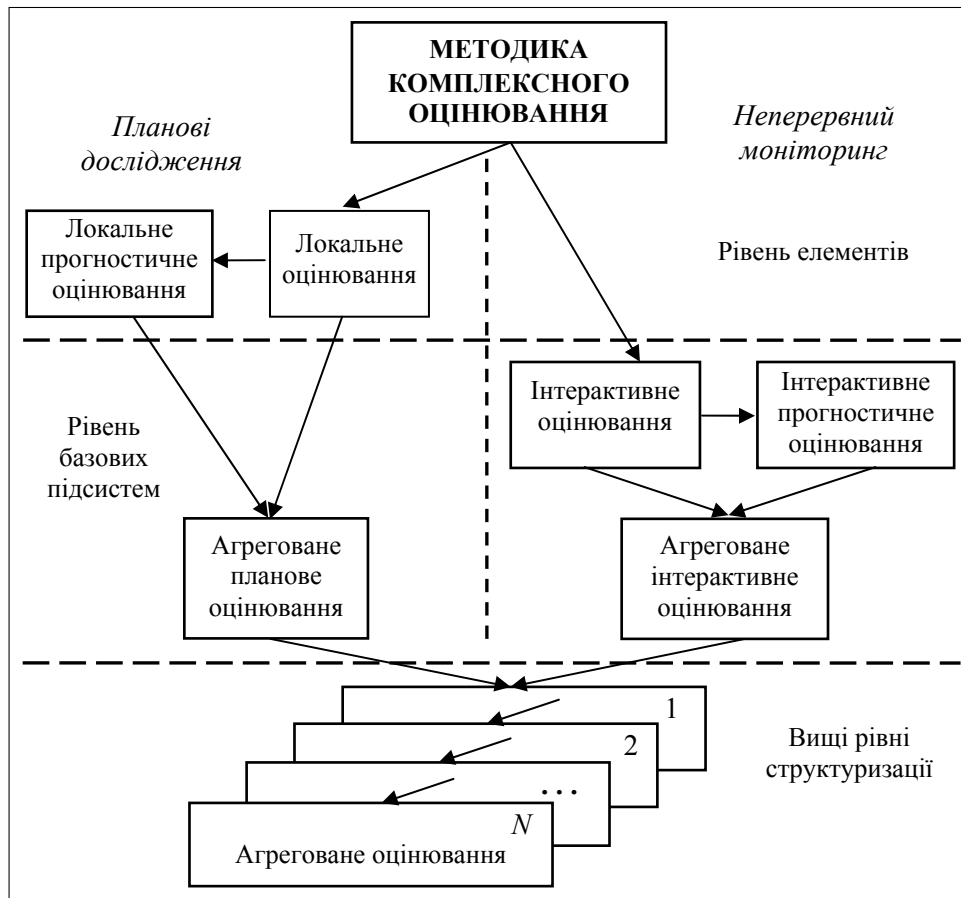


Рис. 2. Схема комплексного оцінювання системи

Оцінювання реальних систем доцільно починати з об'єктів найнижчого рівня структуризації, тобто з елементів БПС. Елемент ми ідентифікуємо, як об'єкт, який має чітко визначене просторове розміщення, функціональне призначення та відповідний набір характеристик, які описують його стан і процес функціонування, з відповідними типами областей допустимих значень поведінки цих характеристик. Всі характеристики оцінюються за певною сукупністю критеріїв та параметрів. Природно, що оцінювання кожного об'єкта передбачає насамперед оцінку його стану, а потім якості реалізації покладених на нього функцій, які прямо чи опосередковано від цього стану залежать. Процесу оцінювання має передувати етап ретельного відбору та опрацювання експериментальних даних за кожною з характеристик та їх зведення до придатного для подальшого аналізу формату. Так дані щодо стану рейок з використанням дефектоскопів, які дозволяють виявляти тріщини [39], відбираються з кроком 1 мм, що, зважаючи на максимальну довжину елементарної ділянки 1 км, створює масив даних розмірності 1 млн числових значень. Зрозуміло, що для адекватного аналізу такі дані потребують відповідної обробки та форматування.

У цей час для оцінювання більшості реальних СІМС, зокрема ЗТС, широко розповсюдженою є цілочисельна бальна чи понятійна («відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно») шкала оцінок [39]. Основний її недолік полягає в тому, що оцінка «задовільно» може означати все що завгод-

но від «майже добре» до «ледь краще від незадовільного». До того ж такі оцінки не дозволяють побудувати точний прогноз поведінки елементів системи навіть на короткострокову перспективу. Ми пропонуємо [40] єдиний підхід до формування оцінок стану, якості функціонування та взаємодії структурних елементів системи, який полягає у побудові основної бальної оцінки та її уточненні, виходячи з типу та особливостей об'єкта, який досліджується. Такий підхід дозволяє не тільки скласти більш чітке уявлення про предмет оцінювання, але й частково локалізувати причину виявлених недоліків.

Кількість характеристик, які описують елемент БПС може сягати десятків [40]. Різні характеристики можуть відбиратися різними способами та мати різний пріоритет в структурі та діяльності елемента. Зрозуміло, що висновки за окремими характеристиками мають узагальнюватись з урахуванням їх пріоритетності. Важливим також є облік кількості реально оцінених характеристик елемента. Надалі оцінювання стану елементів та функцій, які вони реалізують, на підставі аналізу поведінки їхніх характеристик, називатимемо *локальним*. У деяких випадках локальне оцінювання доцільно обмежувати рівнем БПС системи, не вдаючись до надлишкової деталізації їхнього складу.

Зазвичай планові огляди об'єктів системи рознесені в часі, тобто задовільні результати останнього дослідження зовсім не означають, що вони збережуться такими ж до наступного огляду і стан об'єкта або якість його функціонування не перетне «поріг безпеки» [41]. У зв'язку з цим процес оцінки має містити засоби аналізу відповідності СС до прогнозованих вимог на коротко- та довгострокову перспективу. Таким чином, процес оцінювання має не лише встановлювати висновки або відстежувати «слабкі» елементи на момент дослідження, але й прогнозувати подальшу поведінку об'єктів системи. *Прогностичне* оцінювання, яке здійснюється на основі передісторії локальних оцінок, дає можливість визначати характер, спрямованість та швидкість зміни стану системи, дозволяє відстежувати негативні процеси і передбачати потенційні ризики, матеріальні та фінансові витрати, необхідні для їх усунення або вчасної профілактики. Цілі прогностичного оцінювання можна розширити, враховуючи, що кожна реальна система еволюціонує у часі, тобто її оцінювання виключно з огляду на поточні вимоги може бути недостатнім. Стосовно залізничі це означає готовність її структурних елементів до обслуговування сезонних змін у пасажиро- та вантажо потоках або до радикальної модернізації окремих підсистем, якої потребує, наприклад, запровадження швидкісного руху поїздів.

Кількість локальних та прогностичних оцінок характеристик елементів для реальних СІМС може сягати мільйонів одиниць [40], що явно перевищує можливості їх неавтоматизованого аналізу. Для їх узагальнення, тобто одержання висновків про стан, якість функціонування та взаємодію об'єктів вищих рівнів ієрархії (підсистем та СС загалом), використовуються засоби лінійної або нелінійної агрегації [21, 37, 42, 43] з урахуванням вагових коефіцієнтів, які відображають важливість окремих об'єктів у структурі системи та пріоритетність виконуваних ними функцій. Світова практика експлуатації транспортних систем налічує чимало прикладів, коли незадовільний стан чи якість функціонування одного з об'єктів системи призводили до катастрофічних наслідків з численними людськими жертвами та значними матеріальними втратами. Тому узагальнені оцінки всіх рівнів

можуть бути як результатом зваженого усереднення, так і дорівнювати оцінці «найслабшого» об'єкта із сукупності оцінюваних. Оцінки другого типу використовуються у тих випадках, коли вихід з ладу одного з об'єктів системи становить реальну загрозу для її функціонування загалом. Оскільки зважене усереднення нівелює результати як позитивних, так і негативних оцінок, то узагальнення висновків доцільно проводити після усунення причин та переоцінки виправлених недоліків. Описаний спосіб оцінювання називатимемо *агрегованим*. Безумовно, що поряд із засобами висхідного аналізу, які реалізуються агрегуючими процедурами, процес оцінювання має містити також інструменти низхідного аналізу для локалізації об'єктів, які отримали негативні чи близькі до них висновки.

З багатьох причин планові дослідження можуть вчасно не виявити недоліків, які виникають «поза планом». Слід також враховувати, що навіть відмінні стан та якість функціонування окремих об'єктів СІМС зовсім не гарантують високої ефективності роботи її підсистем або системи загалом. І навпаки, найкраще організований процес роботи не забезпечить високої ефективності функціонування системи за незадовільного стану чи організації роботи складових СІМС. Чим більше спрацьовані об'єкти системи, тим актуальнішою є проблема неперервного моніторингу їхнього стану та процесу функціонування [22, 44]. На якість реалізації функцій об'єкта можуть суттєво впливати сторонні чинники, як внутрішні, так і зовнішні стосовно системи. Внутрішній вплив можна оцінити на рівні підсистем, які поєднують взаємодіючі об'єкти. Такий спосіб оцінювання називатимемо *інтерактивним* (від англ. «interaction» — взаємодія). Він дає можливість виявити окремі незадовільно функціонуючі об'єкти у виділеній підсистемі без ретельного аналізу стану та якості функціонування всіх її елементів та витрат, які його супроводжують. Інтерактивне оцінювання найпростіше здійснювати для системи, рух потоків в якій принаймні частково підпорядкований певному графіку, виконання якого можна періодично підсумовувати. До таких систем відноситься залізнична, де рух поїздів є повністю детермінованим. Автотранспортні системи великих міст є частково детермінованими, оскільки рух більшої частини транспортних засобів у них не підпорядковано графіку. На цей рух також суттєво впливають випадкові фактори (аварія на дорозі може призвести до появи «заторів» або до перерозподілу транспортних потоків по альтернативним шляхам). Однак дотримання виконання графіка руху комунальним транспортом дає можливість робити принаймні опосередковані висновки щодо стану автошляхів або ефективності організації руху транспорту в місті [45]. Сучасні методи GPS-моніторингу дозволяють відстежувати у режимі реального часу місцезнаходження транспортного засобу, визначати його швидкість, місце та тривалість зупинок, перетин контрольних зон, найменші відхилення від заданого маршруту тощо [46]. Аналіз цих даних, отриманих для системи комунального транспорту у якій зараз широко впроваджуються GPS-трекери, дозволяють робити опосередковані, але достатньо обґрунтовані висновки щодо стану та якості функціонування мережі. Більш того, процес отримання таких висновків та вироблення адекватних реакцій на транспортні ситуації може бути легко автоматизований.

Аналогічні приклади організації неперервного моніторингу можна навести і для інших СІМС. Узагальнені результати інтерактивного оцінювання за період між плановими дослідженнями доцільно включати в процедуру агрегованого оцінювання. Вони також можуть бути використані для більш детального і точного прогностичного аналізу роботи оцінюваних об'єктів системи [47].



Значні обсяги інформації, отримані у процесі оцінювання, потребують розробки таких засобів їх відображення, які давали б можливість оперативно орієнтуватися у великій кількості одержаних висновків. Тому поряд з побудовою алгоритмів оцінювання не менш важливою є розробка принципів візуалізації результатів їх виконання та засобів висхідного та низхідного аналізу останніх.

Загалом сукупність описаних вище взаємопов'язаних методів та підходів складає методика комплексного детермінованого оцінювання системи, схему якої зображено на рис. 2. Вона визначає спосіб відображення даних експериментальних досліджень об'єктів СІМС на чітко структуровану послідовність локальних, прогностичних, інтерактивних та узагальнених оцінок їхнього стану, якості функціонування та взаємодії з іншими об'єктами системи. Враховуючи різноманітність об'єктів СІМС, МКДО визначає універсальні принципи побудови таких оцінок, спільні для всіх об'єктів одного типу та функціонального призначення з врахуванням особливостей останніх.

## **ВИСНОВКИ**

У роботі описано методику комплексного детермінованого оцінювання складних систем з ієрархічно-мережевою структурою, складовими якої є методи локального, прогностичного, інтерактивного та агрегованого оцінювання їх основних об'єктів. Лише у поєднанні ці методи дають достатньо повну та адекватну картину якості СІМС. Дійсно, високі локальні оцінки не гарантують ефективної взаємодії елементів, у налагодженій організації можуть виникати збої від виходу з ладу окремих об'єктів системи, задовільний стан об'єкта на момент поточного огляду зовсім не означає, що він залишиться таким самим до наступного. Величезна кількість інформації про окремі елементи СІМС без відповідного узагальнення непридатна для оперативного аналізу та своєчасного реагування на виявлені недоліки. Неперервний моніторинг системи попереджує ризики, які можуть виникнути у періоди між плановими дослідженнями. На вищих рівнях узагальнення оцінювання дає можливість встановити об'єктивний висновок про стан та ефективність функціонування системи чи основних її підсистем та визначити дії, матеріальні та фінансові витрати, необхідні для її модернізації та оптимізації роботи. На локальному рівні воно дозволяє ідентифікувати конкретні елементи та їх складові, які підлягають удосконаленню. Саме «вузькі» місця, які постійно виявляються внаслідок планових досліджень чи неперервного моніторингу системи, можуть бути предметом математичного моделювання. Це значно звужує об'єкт моделювання та робить сам процес більш реалістичним.

## **ЛІТЕРАТУРА**

1. Антонов В.А. Системный анализ. — М.: Высшая школа, 2004. — 456 с.
2. Bocatti S., Latora V., Moreno Y., Chavez M., Hwang D.-U. Complex networks: structure and dynamics // *Physics Reports*. — 2006. — **424**. — P. 175–308.
3. Siljak D.D. Decentralized control of complex systems. — Courier Dover Publications, 2012. — 612 p.
4. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. — М.: Наука, 1978. — 542 с.
5. Поліщук Д.О., Поліщук О.Д., Яджак М.С. Порівняння методів оцінювання складних систем // Відбір і обробка інформації. — 2010. — Вип. 32 (108). — С. 110–118.

6. *Alcorta G.E., Frank P.M.* Deterministic nonlinear observer-based approaches to fault diagnosis: A survey // *Control Engineering Practice*. — 1997. — **5** (5). — P. 663–670.
7. *Bloom M., Fischer J., Orme J.* Evaluating practice. — Allyn and Bacon, 2006. — 488 p.
8. *Ramsey F., Schafer D.* The statistical sleuth: A course in methods of data analysis. — Duxbury Press, 2001. — 532 p.
9. *Claxton K.* The irrelevance of inference: a decision-making approach to the stochastic evaluation of health care technologies // *Journal of Health Economics*. — 1999. — **18** (3). — P. 341–364.
10. *Lee J., Jay Kuo C.-C.* Tree model simplification with hybrid polygon/billboard approach and human-centered quality evaluation // *Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo*. — Singapore. — July 19–23, 2010. — P. 932–937.
11. *Bar-Yam Y.* About engineering complex systems: Multiscale analysis and evolutionary engineering // *Engineering Self-Organising Systems: Methodologies and Applications*. — Springer, 2005. — P. 16–31.
12. *Roy D., Dasgupta T.* Evaluation of reliability of complex systems by means of a discretizing approach // *International Journal of Quality & Reliability Management*. — 2002. — **19**. — № 6. — P. 792–801.
13. *Armitage P.* Statistical methods in medical research. — Blackwell Science, 2002. — 712 p.
14. *Patton M.Q.* How to use qualitative methods in evaluation. — Sage Publications, 1987. — 490 p.
15. *Корников В.В., Серёгин И.А., Хованов Н.В.* Комплексная оценка воздействия геопатогенных зон на биологические системы // *Вопросы механики и процессов управления*. — 2000. — Вып. 18. — С. 113–117.
16. *Su C.-L.* Stochastic evaluation of voltages in distribution networks with distributed generation using detailed distribution operation models // *IEEE Transactions on Power Systems*. — 2010. — **25**, № 2. — P. 786–795.
17. *Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В.* Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология. — М.: Машиностроение, 2004. — 458 с.
18. *Хованов Н.В.* Оценка сложных экономических объектов и процессов в условиях неопределённости // *Вестник СПбГУ. Сер. 5*. — 2005. — Вып. 1. — С. 139–143.
19. *Крутько В.Н., Славин М.Б., Смирнова Т.М.* Математические основания геронтологии: Общая теория здоровья; теория надёжности в живых и неживых системах; современные методы анализа биологического возраста, старения и продолжительности жизни. — М.: URSS, 2002. — 384 с.
20. *Domby J.* Basic concepts for a theory of evaluation: the aggregative operator // *European Journal of Operational Research*. — 1982. — **10**, № 3. — P. 282–293.
21. *Богданчук В.З., Егоров Б.М., Катунев А.Н.* Агрегирование векторных критериев. — Л.: ЛИИАН, 1990. — 214 с.
22. *Lung-Wen T.* Distributed real time systems: monitoring, visualization, debugging and analysis. — Lavoisier, 1996. — 336 p.
23. *Owen C.L.* Evaluation of complex systems // *Design Studies*. — 2007. — **28**. — № 1. — P. 73–101.
24. *Hwang C.L., Tillman F.A., Lee J.* System-reliability evaluation techniques for complex / large systems. A review // *IEEE Transactions, Reliability*. — 1981. — R-30, № 30. — P. 416–423.
25. *Калашиников В.В.* Сложные системы и методы их анализа. — М.: Знание, 1980. — 211 с.
26. *Крисилов В.А.* Оценка сложных объектов — основной механизм количественного обоснования при принятии решений // *Тр. Одесского политехн. ун-та*. — 2002. — Вып. 2 (18). — С. 45–49.

27. Евланов Л.Г. Теория и практика принятия решений. — М.: Экономика, 1984. — 176 с.
28. Marakas G.M. Decision support systems in the 21st Century. — Pearson Education, 2003. — 638 p.
29. Дубов Ю.А., Травкин С.И., Якимец В.Н. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. — М.: Наука, 1986. — 354 с.
30. Садовский В.Н. Основания общей теории систем. Логико-методологический анализ. — М: Мысль, 1974. — 346 с.
31. Саркисян С.А. Большие технические системы. Анализ и прогноз развития. — М.: Наука, 1977. — 438 с.
32. Колесов Ю.Б. Объектно-ориентированное моделирование сложных динамических систем. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. — 240 с.
33. Varabási A.-L. The architecture of complexity // IEEE Control Systems Magazine. — 2007. — 27, № 4. — P. 33–42.
34. Офіційний сайт Укрзалізниці. — <http://www.uz.gov.ua>.
35. Нечипоренко В.И. Структурный анализ систем. — М.: Советское радио, 1977. — 286 с.
36. Месарович М., Махо Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. — М.: Наука, 1975. — 314 с.
37. Воронин А.Н. Метод многокритериальной оценки и оптимизации иерархических систем // Кибернетика и системный анализ. — 2007. — № 3. — С. 84–92.
38. Полянский С.В., Семенов И.Б., Чижев С.А. Комплексное оценивание в задачах управления системами социально-экономического типа. — М.: ИПУ РАН, 1996. — 48 с.
39. Крейнис З.Л., Коришанова Н.П. Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути. — М.: УМК МПСР, 2001. — 768 с.
40. Поліщук Д.О. Модель локального оцінювання стану елементів колійного господарства Укрзалізниці // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені ак. В. Лазаряна. — 2012. — Вип. 41. — С. 158–166.
41. Lichtberger B.W. Kostensenkung durch qualitätsvorrat in der fahrgeweginstandhaltung // Der Eisenbahningenieur. — 1999. — 50, № 1. — P. 39–42.
42. Polishchuk D., Polishchuk O. About evaluation of complex dynamical systems // Journal of Complex Systems. — 2013, Article ID 204304, 6 p. — <http://dx.doi.org/10.1155/2013/204304>.
43. Поліщук А.Д. Оптимизация оценки качества функционирования сложных динамических систем // Проблемы управления и информатики. — 2004. — № 4. — С. 39–44.
44. Kacira M., Ling P.P. Design and development of an automated and non-contact sensing system for continuous monitoring of plant health and growth // Transactions of ASAE. — 2001. — 44(4). — P. 989–996.
45. Поліщук Д.О., Поліщук О.Д. Моніторинг потоку транспортних мереж із частково впорядкованим рухом // Зб. наук. праць ХХІІІ наук.-техн. конф. молодих науковців Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАНУ. — 23–25 жовтня, 2013. — Львів, Україна. — С. 326–329.
46. Внуков А.Б. Современные системы навигации и слежения за наземными транспортными средствами на базе спутниковых технологий // Горная промышленность. — 2006. — № 6. — С. 97–101.
47. Norros L., Saviola P. Usability evaluation of complex systems. A literature review. — Helsinki: STUK, 2004. — 44 p.

Надійшла 28.05.2013