

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ОПЕРАТОРСЬКОГО ПЕРСОНАЛУ ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ДАНИМИ

© Камінський Р.М., Нич Л.Я., 2011

Наведено моделі діяльності операторського персоналу за експериментальними результатами. Модель діяльності подана двома складовими – рівнянням тренду та розподілом відхилень даних від тренду. Рівнянням тренду є аналітична функція – поліном зі змішаними степенями. Відхилення рівнів апроксимоване законом розподілу Релея. Обидві моделі дають систему оцінок для об'єктивної ідентифікації персоналу.

Ключові слова: операторський персонал, ідентифікація персоналу, часові ряди, змішані степені поліномів, закон Релея.

Presented a model of carrier personnel from experimental results. Model of the filed two components – a trend equation and the distribution of deviations from trend data. Trend equation is analytic function – with mixed polynomial degree. Rejection levels approximated by Rayleigh distribution law. Both models provide a system for objective assessments identifying personnel.

Key words: camera personnel, personnel identification, time series, mixed degree polynomials, the law of Rayleigh.

Вступ

Підготовка кваліфікованих фахівців, зокрема операторського персоналу в системах управління високотехнологічними процесами, є важливим народногосподарським завданням практично у всіх сферах людської діяльності.

У спеціальній літературі щодо людського фактора часто зазначають, що 40 – 60 відсотків аварійних та нештатних ситуацій на виробництві, транспорті та в побутових ситуаціях відбуваються з вини обслуговуючого персоналу. Такий стан нерідко зумовлений низкою різних причин, серед яких найчастіше вказують на низький рівень професійного відбору, підготовки та атестації персоналу. Підвищення ефективності цих трьох аспектів, як окремо кожного, так і усіх разом є важливим в науковому і практичному сенсі актуальним завданням, вирішення якого має не лише суттєвий соціальний ефект, але і значний економічний.

Для прийняття рішень щодо професійної підготовки стосовно того чи іншого індивіда та формування однорідних за рівнем кваліфікації груп у лабораторно-тренажерних комплексах підготовки операторського персоналу використовується далеко не повний обсяг інформації, що містять отримані під час експериментальних досліджень дані.

Тривалий час дослідження інтелектуальної діяльності людини-оператора вважалося прерогативою психології та ергономіки, які розглядали її з погляду сприйняття, мислення, роботи зорового аналізатора тощо, а загалом як роботу мозку в межах конкретної задачі. Тому в таких дослідженнях значну увагу приділяють психологічним та психофізіологічним показникам, які подаються описово та різними якісними характеристиками. Водночас значна кількість інформації, яку можна подати в кількісній формі, а головне – виявлення важливих закономірностей в поведінці реципієнтів втрачається, а точніше, не використовується.

Дані у формі часової послідовності, як правило, обробляють методами, що використовуються для економетричних часових рядів. Це дає можливість розглядати діяльність операторського персоналу як у динаміці, так і в статистиці. З економетричного погляду динаміка показників характе-

ризується в основному випадковістю, стаціонарністю, наявністю тренду та автокореляцією. Випадковість і стаціонарність визначають відомими методами, які фактично орієнтовані на відповідність нормальному розподілу, а моделлю тренду є деяка аналітична функція, що задовольняє вказані умови. Статичною складовою операторської діяльності є закон розподілу елементів часової послідовності після елімінації їхнього тренду.

Основним завданням аналізу часової послідовності, яка подає результати експериментальних досліджень відповідними значеннями спостережуваних характеристик, які визначають розв'язок цієї задачі, є вивчення відношення між закономірністю і випадковістю, що спостерігаються у формуванні цих значень, та кількісна оцінка їхньої величини.

Відбір та навчання претендентів на операторські посади, а також атестація вже підготовленого персоналу здійснюються за спеціальними методиками, що відповідно адаптовані та розроблені фахівцями в галузі психології, педагогіки згідно зі специфікою операторської діяльності. Для цього використовують спеціальні тестові завдання, а для самого навчання відповідні навчальні програми та курси. Проблема полягає в тому, що, незважаючи на високу якість і відповідність практично усім вимогам побудови тестів, формулювання тестових завдань, ведення самих тестувань, отримувані результати в основному інтерпретуються вербально, а їхнє кількісне підтвердження не виходить за межі кількох пунктів загальноприйнятої описової статистики. Натомість, ні структура індивідуальних даних, ні особливості й відмінності поведінки оператора на підставі розподілених у часі даних (часових послідовностей), а також часто виду і характеру закону розподілу таких даних у висновках та інтерпретаціях не використовуються. Це, своєю чергою, призводить до певного нівелювання відмінностей в оцінках між претендентами на операторські посади, а саму проблему робить важливою і актуальною.

Метою дослідження є побудова математичної моделі індивідуальної інтелектуальної операторської діяльності в сенсі опрацювання зображень заданого класу на предмет пошуку, виявлення, розпізнання та прийняття і реалізації рішення про наявність об'єкта заданого класу на кожному наданому на моніторі з послідовності зображень, що подає реципієнтів системою кількісних показників як у динамічному, так і в статичному аспектах, на основі яких об'єктивно здійснюватиметься ідентифікація операторського персоналу.

З позиції системного підходу таке дослідження інтелектуальної діяльності має показати в кількісному або якісному аспекті зв'язок між вхідною інформацією – зображеннями реальних ситуацій, які є спеціалізованими тестовими задачами, та вихідною інформацією – у вигляді прийнятих рішень. Проте, за відсутності об'єктивних способів та шкал для оцінювання візуальної, наданої операторові у формі зображень, інформації в метрологічному і семантичному плані, виявити та аналітично описати такий зв'язок практично неможливо. Тому в таких дослідженнях використовують набори тестових зображень практично однакової розпізнавальної складності. Ці зображення організують, залежно від поставленої задачі, в регулярну або випадкову послідовність. Таку послідовність протягом експерименту повторюють декілька разів, щоб виключити або врахувати можливість запам'ятовування її фрагментів і тим самим перевірити однорідність зображень тестів за розпізнавальною складністю, тобто щоразу її зображення повинні сприйматися як «вперше».

1. Нерозв'язані задачі

Дослідження операторської діяльності в сенсі побудови математичної моделі та аналітичного подання результатів активно розвивалось у сімдесятих – вісімдесятих роках. Саме в цей час було істотно розвинено концепцію математичного моделювання людської діяльності, стимульовану, в певному сенсі, розвитком кібернетичних систем та штучного інтелекту. В [1] розглянуто підходи та результати моделювання взаємодії людини-оператора з керованою системою, такі види людської діяльності, як переробка інформації, ручне управління, прийняття рішень. Наведено велику кількість математичних моделей характеристик людини та різноманітних ергономічних рекомендацій, а також відповідний матеріал з психології та ергономіки. В [2] подано загальні характеристики та особливості організації психологічних експериментів. Постановка психологічних та

ергономічних експериментів, описана в [3], дає загальне розуміння особливостей та властивостей отримуваних даних, що важливо для розроблення математичних моделей. Моделювання операторської діяльності в різних її аспектах наведено в [4, 5]. Аналіз новіших публікацій показує, що акцент дослідження операторської діяльності змістився на локальні задачі, розв'язувані переважно відомими методами.

Основним висновком щодо сучасного стану моделювання операторської діяльності є те, що практично в публікаціях вказують конкретні математичні моделі діяльності, але насправді подають здебільшого описові, в яких відсутні кількісні дані та явні аналітичні форми залежностей [6, 7]. Спробу формалізації процедури тестового контролю та побудову моделі даних наведено у [8]. Проте у всіх цих дослідженнях, на жаль, відсутні загальні моделі, які б подали операторську діяльність як з погляду динаміки показників оперативності, так і з погляду статичних показників – параметрів та характеристик закону розподілу цих даних.

Тому розроблення математичних моделей, в результаті якого наводиться і відповідна методологія та отримується система кількісних показників, є актуальною і безпосередньо практично застосовується у різних системах підготовки операторського персоналу.

2. Поняття ідентифікації та організація експериментів

Залежно від онтології предметної області термін **ідентифікація** (з латинської *identifico*, що означає ототожнювати) має загалом незначні відмінності. Наприклад, у техніці – встановлення відповідності розпізнаваного предмета своєму образу (знаку); у філософії – встановлення тотожності між невідомим і відомим об'єктами на підставі збігу ознак, пізнання; в теорії управління – визначення структури системи та її параметрів за допомогою аналізу вхідних і вихідних даних системи; у психології – як вид психологічного захисту в сенсі несвідомого уподібнення індивіда тому об'єктові, який йому загрожує; в інформаційних системах – присвоєння суб'єктам й об'єктам ідентифікаторів і/або порівняння ідентифікатора з переліком присвоєних ідентифікаторів (ідентифікація на основі штрих-коду).

Ідентифікація операторського персоналу в цьому дослідженні означає побудову математичної моделі операторської діяльності для отримання об'єктивного набору індивідуальних показників і визначення відмінностей між операторами. Для цього строго, тими самими методами для десяти операторів реципієнтів побудовані індивідуальні математичні моделі їхньої індивідуальної інтелектуальної діяльності на основі часових послідовностей, якими подано результати експериментальних досліджень. Зміст діяльності полягав у пошуку, виявленні на кожному з наданої на моніторі послідовності зображень об'єктів заданого класу.

Із загального погляду операторську діяльність можна описати так. У системному аспекті людина-оператор і технічні засоби опрацювання візуальної інформації, такі як монітори, мнемосхеми, інформаційні табло, проекційні апарати тощо, є цілісною системою, яку часто подають як людино-машинний інтерфейс. Цілісність такої системи в тому, що в будь-якому варіанті ми можемо чітко визначити її вхід – монітор, зоровий аналізатор і/або інші тактильні аналізатори; вихід – прийняті оператором рішення та набір команд його реалізації або форма його передавання в інші системи; стан – функціональний (фізіологічний) стан людини-оператора та апаратних засобів. Суть операторської діяльності полягає в тому, що на підставі отриманої інформації здійснюється контроль роботи і режимів обладнання загальнішої системи, наприклад, технологічного процесу перетворення ресурсів, виготовлення продуктів, опрацювання інформації тощо. Інакше кажучи, нехай G^* – множина об'єктів конкретно визначеного класу об'єктів, які можна локалізувати на наданому зображенні реальної ситуації випадковим способом і які характеризуються вектором розпізнавальних ознак $\mathbf{g}_i^* \in G^*$. Завданням для людини-оператора є пошук цих об'єктів на зображенні. Множина G є множиною об'єктів, які є подібними за формою і близькими за розмірами до об'єктів заданого класу. Процес діяльності оператора полягає у пошуку, виявленні подібних та розпізнаванні відповідних заданому класу об'єктів і прийнятті рішення щодо їхньої наявності на зображенні. В процесі роботи, постійно або в моменти часу t_i , задані параметрами моніторингу реальної ситуації $Z(t)$, оператор отримує інформацію про неї у формі

зображень, наданих на інформаційному полі монітора пульта керування. Зображення $x_i \in X$, де $X = \{x_i : x_i = x(t_i), t_i \in T, i = \overline{1, N}\}$, є реалістичними моделями середовища, в якому виникла ситуація $Z(t)$, і відображають її стан в моменти t_i , тобто $Z(t) \rightarrow Z(t_i)$. Кожен з об'єктів множини G характеризується вектором власних ознак $\mathbf{g}_i = \langle g_i, \mathbf{K}, g_r \rangle$, $\mathbf{g}_i \in G$, причому серед його власних ознак можуть бути такі ознаки, як в об'єктів заданого класу, але обов'язково мають бути ознаки, відмінні від ознак шуканих об'єктів.

Після виявлення подібного об'єкта, його опрацювання та зіставлення з вектором нормативних параметрів $\mathbf{g}_i^* \in G^*$, сформованим завдяки навчанню і досвіду в пам'яті оператора у формі «зображень-еталонів» $x_i^* \in X^*$, оператор виробляє або вибирає з низки альтернативних рішень найвідповідніше рішення. Інакше кажучи, зіставляючи зображення x_i і x_i^* , оператор ідентифікує поточну ситуацію, вибирає або конструює та приймає відповідне рішення $y_j \in Y$, де $Y = \{y_j : y_j = y(t_j), j = \overline{1, N}, t_j = t_i + t_i, t_j, t_i \in [0, T]\}$, а t_j – момент часу реалізації прийнятого рішення, яке оператор реалізує набором команд, що утворюють вектор керування $\mathbf{u}_j = \langle u_1, \mathbf{K}, u_h \rangle$, $\mathbf{u}_j \in U$, де U – множина векторів команд керування, а $h = 1, 2, \mathbf{K}$ – кількість команд в j -й ситуації.

Постійне нервове і розумове напруження, почуття відповідальності та обов'язку, довготривала робота, природно, створюють суттєве психофізичне навантаження на оператора. Сповільнюються когнітивні та моторні функції, погіршується зоровий пошук, знижується оперативність та безпомилковість дій, виникає значне нервово-психічне перенапруження. Незважаючи на великі резервні та адаптаційні можливості людини, такий стан негативно впливає на якість його роботи. Тому ефективність роботи оператора необхідно зв'язувати з конкретними робочими станами c_k . Множину цих станів $C = \{c_k : c_k = c(dt_k), dt_k = t_{k+1} - t_k; t_k, t_{k+1} \in [0, T]\}$ на практиці розглядають як дискретну. Встановити чітку межу між станами c_k і c_j є неможливо, хоча і робились спроби її визначення [9, 10].

Формулюють задачу оператора, фактично загальну модель його індивідуальної інтелектуальної діяльності в системі пошуку та розпізнавання об'єктів заданого класу на реалістичних зображеннях середовища з ситуацією $Z(t)$ в такий спосіб:

– розпізнати на зображенні $x_i \in X$ серед подібних об'єктів об'єкти заданого класу, для яких справедливе співвідношення $|\mathbf{g}_i^* - \mathbf{g}_i| \equiv 0$ і на цій підставі прийняти і реалізувати прийняте рішення за допомогою відповідного вектора команд \mathbf{u}_j . Причому вибір, прийняття і реалізація рішення в цій ситуації повинні мати максимальну достовірність $p \rightarrow 1$ за умови мінімальних витрат часу $t \rightarrow 0$, тобто

$$X(\mathbf{g}_i - \mathbf{g}_i^*) \xrightarrow[t \rightarrow 0]{p \rightarrow 1} \text{opt} U(x, c, y) \rightarrow \min.$$

Цей вираз відображає головний аспект інтелектуальної діяльності оператора щодо оптимізації розв'язку цієї ситуації $Z(t)$.

Після отримання кількісних характеристик цього типу операторської діяльності та розроблення практичних рекомендацій для використання їх в реальних ситуаціях для ідентифікації операторського персоналу є найприйнятнішою організація і постановка експериментального дослідження за сценарієм деякої гіпотетичної ситуації, у якій чітко проявляється інтелектуальна діяльність. Очевидно, що ідентифікація операторського персоналу в цьому плані оснований на моделюванні індивідуальної інтелектуальної діяльності. Тут інтелектуальність полягає в аналізі семантики наданих зображень, в основу якого покладено когнітивні процеси: візуального пошуку, порівняння з еталонами в пам'яті, вибір адекватного рішення, уявлення результатів прийнятих рішень тощо. Досліджувати реальні оператори, не маючи перевіреної методики і певного практичного досвіду, принаймні некоректно. Тому для перевірки методів побудови математичних

моделей операторської діяльності експериментальні дослідження проведені з групою учасників, які дали на це згоду. Вік 10 учасників (3 жінок і 7 чоловіків) в межах 20–21 року, усі вони є студентами, поділу результатів і відмінностей за статтю не передбачено.

Організація експериментальних досліджень передбачала розроблення реалістичного сценарію та відповідного заповнення – набору тестових зображень. Суть сценарію – пошук, виявлення та порівняння знайдених об'єктів на наданому на моніторі зображенні деякої реальної ситуації, з об'єктами заданого класу.

Зображення з об'єктами подаються у вигляді послідовності, в якій для всіх реципієнтів порядок зображень та їхня кількість є однаковими. Проте тривалість експерименту для оператора є різною, а тому і обсяг індивідуальних послідовностей теж є різним. Вимірюваними величинами є час опрацювання зображення, тобто тривалість часу з моменту появи зображення до моменту реалізації рішення натисканням відповідної клавіші клавіатури. В результаті експерименту отримуємо регулярну послідовність випадкових даних – часу розпізнавання виявлених шуканих об'єктів. Психологічна установка, а точніше формулювання постановки задачі для реципієнтів, така:

- знайти і розпізнати на наданому на моніторі зображенні об'єкти заданого класу;
- пошук і розпізнавання здійснювати за мінімальних витрат часу та з максимальною достовірністю.

Отримані індивідуальні експериментальні дані використано для побудови математичної моделі діяльності кожного оператора.

3. Математичне моделювання операторської діяльності

Наступним завданням дослідження є побудова індивідуальних моделей заданої операторської діяльності, кожна з яких дає характеристику її динаміки та статички.

Загальною структурою таких моделей є урахування всіх можливих компонент, які проявляють себе протягом часу спостереження і реєстрації даних. Такими компонентами є тенденція, різні види коливальності та випадкові помилки і похибки вимірювань.

У дослідженні операторської діяльності безпосередньо виміряними і визначеними є лише два показники: оперативність (час опрацювання заданого зображення з моменту його появи до моменту реалізації рішення) та якість опрацювання (виражена кількістю допущених помилок). Якщо якість роботи визначається лише після завершення дослідження, то інформація про час опрацювання подана низкою послідовних значень цього показника в тій послідовності, за якою операторові надано самі зображення. Такі дані належать до випадкових процесів, саме до класу неперервно-дискретних випадкових процесів. Тут неперервність стосується до самих значень часу опрацювання, а дискретність до моментів надання зображень. Хоча кожен окремий акт опрацювання одного зображення можна розглядати як експеримент «стимул – реакція», у сукупності вся послідовність характеризує роботу оператора протягом певного періоду часу, а отже, існує тенденція (постійна, зростаюча, спадна, з екстремумом), а випадкові значення часу опрацювання підпорядковані деякому розподілу (оскільки їх продукує конкретний «генератор» – людина-оператор). Проте такий висновок можна зробити лише за умови, що в наданій послідовності зображення стосовно тла статистично і семантично однорідні, тобто мають однакові статистичні характеристики (скомпоновані за допомогою текстурних фрагментів) або є одним і тим самим зображенням. Якщо ж тло використано зображення реальної ситуації (аерокосмічні, медико-біологічні та інші подібні знімки), їхня орієнтація має бути збереженою (однаковою) на всіх зображеннях послідовності. Якщо ж використовуються синтезовані випадкові тла, то їхня орієнтація може змінюватись, наприклад, для прямокутного зображення за рахунок поворотів на 90° і дзеркальної симетрії маємо чотири варіанти, а для квадратного – вісім.

Отримані дані, опрацювання таких зображень повністю описуються такою моделлю

$$x(t) = V(t) + U(t), \quad (1)$$

де $V(t)$ – компонента, яка характеризує тенденцію, а $U(t)$ – компонента, що характеризує випадковість значень даних.

Функція $V(t)$ може бути різною, але згідно із суттю тенденції вона не повинна мати екстремумів, оскільки характеризує зміну стану. В цьому плані зробимо два зауваження.

По-перше, якщо маємо кілька екстремумів, то в такій послідовності треба розглядати тенденції власне між екстремумами як переходами з одного стану в інший, а тоді маємо задачу визначення динаміки функціонального стану.

По-друге, необхідно з'ясувати, якою є природа цих екстремумів, чи вони властиві досліджуваному феномену, чи отримані в результаті конкретного алгоритму обробки даних, наприклад, звичайного або зваженого ковзного середнього.

Функція $U(t)$ подає випадкові величини значень часу опрацювання у формі їхнього природного або підібраного закону розподілу. Фактично ці випадкові величини є сумішшю розподілів: розподілу самих значень, які точно визначити ми не можемо, оскільки на рішення та його реалізацію впливають різні внутрішні чинники, та розподілу помилок, похибок, який відділити неможливо.

В аналізі даних, зокрема економічних часових рядів, у (1) є ще дві компоненти: коливальна та циклічна. Коливальна складова за значної дисперсії проявляється в результаті обробки даних. Наприклад, спектральний аналіз дає змогу подати дані сукупністю гармонічних складових, ковзні віконні середні також демонструють певну коливальну залежність, поліноми високих степенів мають також коливальний характер, але вони все ж не дають повної інформації про коливальну компоненту. Циклічну компоненту можна визначити лише тоді, коли маємо повторення часового інтервалу, тобто тоді, коли здійснено декілька таких експериментів, розподілених в часі з одним і тим самим оператором та в тому самому робочому середовищі.

Оскільки результати дослідження подані однаковими за формою і змістом моделями, ідентифікувати оператори можна за допомогою порівняння і класифікації параметрів та характеристик цих моделей.

Отже, для побудови моделі (1) необхідно:

- для загального подання знайти значення параметрів, що входять у групу описової статистики і дають найзагальнішу їхню характеристику;
- здійснити візуальний аналіз часової послідовності на підставі графіка і вибрати або вивести відповідну аналітичну залежність для апроксимації тренду;
- знайти параметри тренду та провести його елімінацію;
- привести залишки в область додатних значень і прономувати їх;
- побудувати кумуляти (графіки законів розподілу)
- вибрати вид закону розподілу та знайти його параметри;
- результати досліджень подати таблицями та здійснити їхню інтерпретацію.

В результаті експериментів отримані такі дані.

4. Показники описової статистики

Описова, або дескриптивна, статистика використовується для подання основних характеристик одновимірних даних, до яких відносять такі показники: середнє значення, медіану, показники розкиду (дисперсію та середньоквадратичне відхилення) та розподілу (асиметрія та ексцес). В задачах аналізу даних її застосовують для початкової інтерпретації даних та для обґрунтування вибору основних методів подальшого дослідження.

Повний опис параметрів, якими подають дані в описовій статистиці, наведено в [11]. В [12] наведено методику отримання результатів описової статистики в Excel, а в [13] розглянуто алгоритми описової статистики та пояснюється їхня робота в спеціалізованих програмних пакетах обробки статистичних даних.

Для ідентифікації переважно беруть лише кілька характеристик описової статистики. Для реципієнтів, що взяли участь у цьому експериментальному дослідженні, показники описової статистики, які доцільно використати в процедурі ідентифікації, подано в табл. 1.

У [11] наведено формули для коректнішого оцінювання показників асиметрії та ексцесу. Коректування оцінок цих показників є важливим для вибору відповідного закону розподілу. Проте

для такої задачі ідентифікації, як визначення загальних відмінностей між операторами в групі, ця корекція може внести певні зміщення в оцінки параметрів і знизити їхню об'єктивність. Тому, оскільки не всі індивідуальні дані підпорядковуються вибраному розподілу, все ж приймаємо однаковий розподіл для даних всіх операторів з метою забезпечення ідентичності висновків їхньої обробки.

Таблиця 1

Результати описової статистики за розрахунками в Excel 2003

Оператори	Обсяг	Медіана	Серед.	Дисперсія	Розмах	Асиметрія	Ексцес
Оп. 1	150	610	645,91	18970	1034	2,08	8,07
Оп. 2	105	713	766,78	36746	982	1,05	1,04
Оп. 3	104	933,5	1030,25	117136	2129	2,22	7,47
Оп. 4	157	725	741,73	33467	1119	1,14	2,43
Оп. 5	130	712	726,22	23015	1046	1,52	5,68
Оп. 6	121	925	989,97	91002	1603	1,69	3,95
Оп. 7	173	461	475,58	8849	612	1,96	6,90
Оп. 8	112	482,5	512,19	15660	587	1,63	2,81
Оп. 9	106	569,5	611,78	29604	895	1,35	2,35
Оп. 10	104	656,5	709,97	35217	905	1,72	3,08

Коефіцієнти асиметрії та ексцесу дають підстави для попереднього висновку стосовно близькості досліджуваного розподілу до нормального, тобто можна вважати нормальний розподіл статистичним еталоном.

Фактично, описова статистика дає дуже мало інформації, а точніше, дає дуже загальну інформацію і тому її застосовують лише на першому етапі обробки даних. Проте її значення стають вагомішими після елімінації тренду, коли отримані залишки можна вважати вже не прив'язаними до часу і розглядати їх як вибірку, для якої визначають вид функції розподілу та її параметри.

Результати описової статистики, наведені в табл. 1, показують, що індивідуальні експериментальні дані різняться як за обсягом, так і за визначеними показниками. Єдине, що об'єднує усіх цих операторів, як вказано в попередньому розділі, це ті самі для кожного з них постановка задачі та сценарій. Хоча наведені дані дають вельми загальну інформацію, можна зробити деякі висновки.

По-перше, індивідуальні значення медіан, як і середніх значень, практично одного порядку, а відношення їхнього максимального значення до мінімального за даними у групі – в межах двох.

По-друге, відношення показників варіації цих даних – дисперсії та розмаху такі: середньоквадратичне відхилення приблизно становить 30 – 40 % середнього значення, а відношення розмаху до середнього значення не перевищує двох, тобто за цими показниками експериментальні дані можна вважати однорідними. Це можна пояснити природними особливостями конкретних операторів, а відтак можна вважати, що усі вони є практично рівноцінними учасниками експериментального дослідження.

По-третє, відмінність значень між медіаною і середнім та відмінність індивідуальних значень асиметрії і ексцесу від нуля вказує на те, що елементи послідовності мають правосторонній асиметричний розподіл.

З погляду ідентифікації спостерігаються відмінності характеристик операторів, наприклад, за найробастнішою характеристикою – медіаною. Найкращими в цій групі, а також і за іншими кількісними показниками, є оператори 7 і 8, найслабшими – 3 і 6.

У цьому випадку нічого не можна сказати про динаміку роботи оператора, фактично протягом 60 – 90 хвилин, тобто незрозуміло, якою є тенденція зміни показників. Крім того, практично нічого не можна сказати і про вид і параметри форми, масштаб та положення закону розподілу індивідуальних даних кожного реципієнта. Тим більше на підставі цих даних практично

неможливо побудувати адекватну модель зміни показника в часі як найзагальнішу модель операторської діяльності.

5. Моделювання тренду часової послідовності

Якщо часову послідовність розглядати як точки кореляційного поля, тобто вважати моменти часу реєстрації елементів послідовності однією вибіркою фактично незалежних змінних, а самі значення цих елементів – другою, тобто функцією або залежними змінними, тоді можна подати часову послідовність як набір пар даних. Графічне зображення в цьому випадку дає сукупність точок, для яких можна візуально вказати на наявність або відсутність у цій послідовності деякої тенденції. В математичних моделях тенденцію визначають трендом (слідом), який трактують як зміну в часі рівноваги, що у випадку моделювання часових рядів означає тенденцію відхилення рівнів від середнього значення, своєю чергою, визначеного функціональною залежністю, отриманою аналітично або за допомогою згладжувальних процедур. На рис. 1 зображено індивідуальну часову послідовність оператора **О1**.



Рис. 1. Графічне зображення даних

Хоча, на перший погляд, можна вважати, що в цій послідовності відсутня тенденція, проте ці дані можна подати як такі, що мають тренд за рахунок їхньої апроксимації відповідною функцією у межах вибраного критерію оптимальності. Це можуть бути прості функції – лінійна, експонентна, логарифмічна, степенева, поліномна, практично будь-якого степеня тощо.

Крім того, можуть бути використані будь-які функції, наприклад, сума косинусоїд, як в [14]. Проте чим більше параметрів матиме тренд функція, що апроксимує, тим більшим буде значення коефіцієнта детермінації, оскільки така функція спроможна краще адаптуватися до екстремальних значень, але тоді зростає і амплітуда псевдоколивань у тренді. За значної дисперсії завжди проявлятиметься коливальність в динаміці значень, яку добре помітно, якщо використовують ковзні згладжуючі процедури, такі, що апроксимують тренд, – багатопараметричні функції та поліноми високих степенів.

Отже, цілком очевидним є те, що, незалежно від того, який висновок дають статистичні критерії перевірки наявності тенденції та методи її виявлення, а також формальне застосування відомих алгоритмів виділення та апроксимації самого тренду, буде отриманий позитивний результат. Однак його інтерпретація потребуватиме вагомого обґрунтування стосовно того, чи це є тренд розвитку явища або показника, чи, може, це звичайна усереднена характеристика значень. Переважно докладне дослідження динаміки показників конкретних явищ, об'єктів або ситуацій дає всі підстави трактувати такий тренд як тенденцію їхнього розвитку або поведінки.

Як впливає з самого поняття тенденції як плавної монотонної, а головне, повільнозмінної (низькочастотної) компоненти, тренд має бути без екстремумів, тобто на заданому часовому проміжку і на підставі його графічного зображення можна вказати: чи спостерігається зростання,

спадання або стабільність тенденції, тобто вказати лише на характер тенденції. Наявність екстремумів фактично ділить тренд на окремі інтервали, а тому можна вважати, що в точках екстремумів відзначаються певні суттєві внутрішні або зовнішні зміни стану системи, які спричинюють і зміну характеру тренду.

У цьому дослідженні як функції апроксимації тренду використано поліном зі змішаними степенями, причому степені полінома є цілими додатними та від'ємними числами [13]. Загальний вигляд цього полінома такий

$$y(t) = a_1x^{-2} + a_2x^{-1} + a_3 + a_4x + a_5x^2. \quad (2)$$

У цьому поліномі доданки є елементарними однопараметричними функціями: квадратна і звичайна гіперболи, константа, лінійна функція і парабола. Такий вибір і послідовність зумовлені загальним поданням діяльності людини оператора в ергономіці та в певному сенсі і в теорії надійності деякою узагальненою U-подібною кривою. Йдеться про те, що в операторській діяльності протягом часу роботи можна умовно виділити п'ять фаз, кожна з яких відповідає певному функціональному стану, визначеному центральною нервовою системою. На рис. 2 схематично зображено часові межі перебування стану оператора в таких фазах. Зауважимо, що в реальних ситуаціях перебування стану оператора у фазах I, II, IV і V може бути і не виявлено або буде дуже коротким, що пояснюється високою кваліфікацією і досвідом або іншими чинниками (низька відповідальність, відсутність значних нештатних ситуацій тощо).

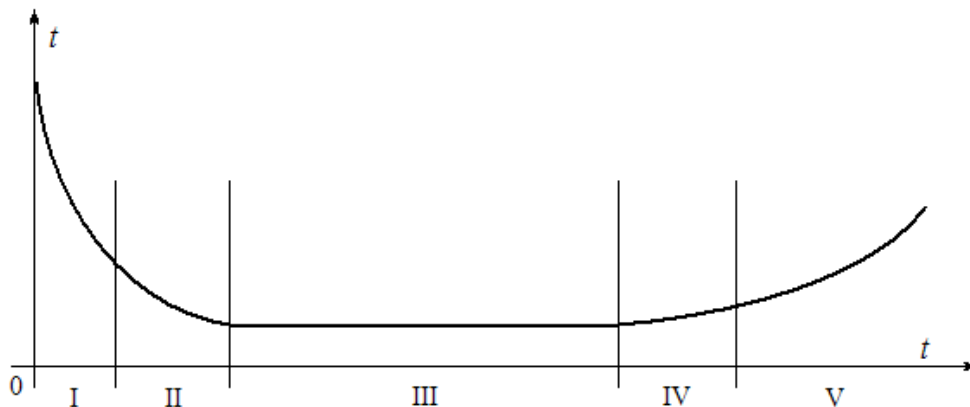


Рис. 2. Узагальнений вигляд фаз тренду часової послідовності оператора

Загальноприйнятою інтерпретацією для цих фаз є така:

- фаза I – **первинна реакція**; короткочасне зниження багатьох показників психофізіологічних процесів, зумовлене гальмуванням, пов'язаним зі зміною зовнішніх подразників; оператор „входить” в систему, намагається відчутти її реакцію на свої дії, "зливається" з системою, утворюючи єдиний з нею організм, тобто існує перехідний період;

- фаза II – **гіперкомпенсація**; оптимізація фізіологічних механізмів, поступове підвищення тону центральної нервової системи, вироблення чітких динамічних стереотипів; оператор "втягується" в роботу, звикає до особливостей системи, поставлених задач, оптимізує алгоритм своєї діяльності, показники роботи покращуються, фактично маємо адаптаційний період;

- фаза III – **компенсація**; встановлення оптимального режиму органів і систем організму, стабілізація показників; нормальна якість роботи, відсутні помилки, витрати часу на операції мінімальні, тривала і високоєфективна праця, маємо період підтримання норми;

- фаза IV – **субкомпенсація**; зниження високого рівня, підтримка необхідного рівня основних функцій за рахунок послаблення менш важливих; розвивається втома, показники якості роботи знижуються, зростають часові витрати, відчувається деяке напруження в роботі оператора, тобто настає період, коли прогресує втома;

- фаза V – **декомпенсація**; неухильне погіршення психофізіологічних функцій організму, виразні вегетативні порушення. відчувається втома, порушується точність рухів, зростає кількість

помилко, робота вимагає щораз більших зусиль на мобілізацію, ефективність праці стрімко падає – це період погіршення усіх показників.

Таблиця 2

Значення параметрів моделі тренду

Оператори	Індивідуальні значення коефіцієнтів полінома, %				
	a_I	a_{II}	a_{III}	a_{IV}	a_V
Оп. 1	6,75	0,72	61,12	19,10	-16,69
Оп. 2	27,94	-8,35	100,00	-100,00	100,00
Оп. 3	-100,00	100,00	64,21	50,04	-10,28
Оп. 4	-63,08	47,09	63,35	8,92	-0,89
Оп. 5	-0,95	7,72	67,90	13,98	-9,63
Оп. 6	-77,80	52,76	98,34	-10,69	-1,54
Оп. 7	-6,88	9,09	44,66	10,42	-8,25
Оп. 8	-0,77	0,82	52,91	5,09	-12,55
Оп. 9	-18,94	10,32	56,11	19,45	-18,42
Оп. 10	18,73	-7,61	84,81	-61,37	67,35

Аналітична інтерпретація цих фаз подається значеннями коефіцієнтів a_i , $i = \overline{1, 5}$ рівняння-моделі (2), в якому кожен коефіцієнт і кількісно, і якісно (від’ємний чи додатний) відповідає за свою фазу. Очевидно, відмінності в індивідуальних часових рядах не можуть дати достатньо чіткої картини і строгої відповідності, яку можна було б виміряти чи подати якоюсь конкретною шкалою. Проте, якщо дані порівнюваних операторів привести до однакового вигляду за допомогою нормування – приведення до області значень [0, 1], отримаємо результати, подані в табл. 1. В табл. 2 коефіцієнти моделі (2) a_i мають, для зручності, індексацію римськими цифрами, тобто кожен з цих коефіцієнтів відповідає за позначену його індексом фазу.

На рис. 2 наведено графіки операторів з табл. 2. Значення одержаних коефіцієнтів для десяти операторів для кожної фази нормовані відносно найбільшого, тобто

$$a_i = \frac{a_{1i}}{a_{1\max}}; \quad a_{II} = \frac{a_{2i}}{a_{2\max}}; \quad a_{III} = \frac{a_{3i}}{a_{3\max}}; \quad a_{IV} = \frac{a_{4i}}{a_{4\max}}; \quad a_V = \frac{a_{5i}}{a_{5\max}},$$

де $i = \overline{1, 10}$ – індивідуальний індекс оператора.

Розглянемо відповідність цих коефіцієнтів реальним даним, наведеним на рис. 3.

Перший коефіцієнт a_I , який відповідає за первинну реакцію входження в роботу в системі опрацювання зображень, найбільше виражений в 3, 4 та 6 операторів. На графіках на рис. 3 для цих операторів гіперболічність графіків є найтривалішою. Від’ємність їхніх значень, як і операторів 5, 7, 8, 9, можна пояснити, припустивши існування деякого психологічного «хаосу», спричиненого цим завданням, оскільки це не професійні оператори, тобто складністю апроксимації власне початкових елементів послідовності.

Другий коефіцієнт a_{II} , який відповідає за фазу адаптації, є найбільшим в операторів 3, 6, 4, тобто в операторів з тривалим періодим гіперболічності графіка. Загалом ці оператори мають тривалий час адаптації.

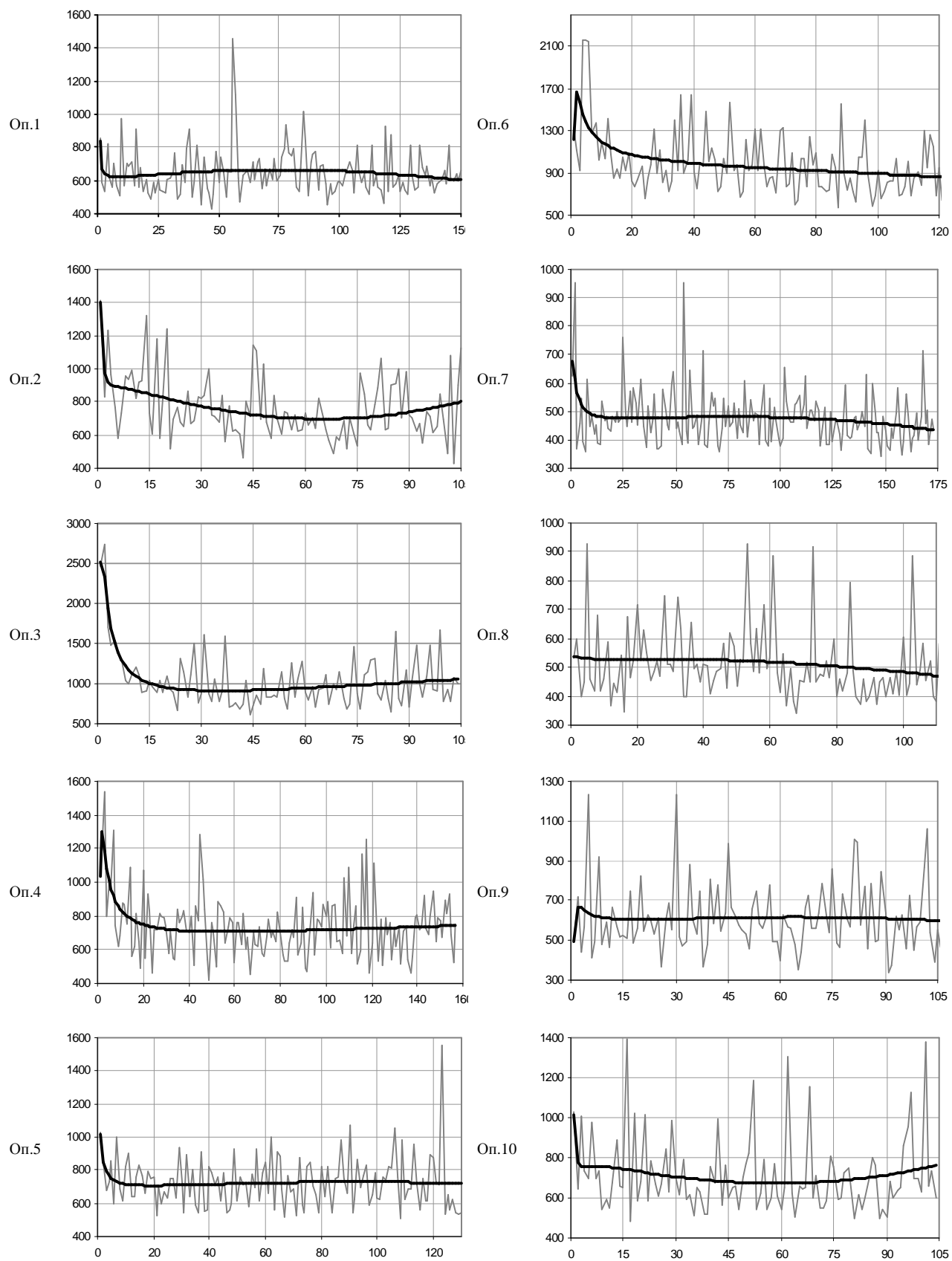


Рис. 3. Форми трендів індивідуальних часових рядів

Третій коефіцієнт a_{III} відповідає фазі нормального працездатного стану оператора і дорівнює середньому арифметичному часу опрацювання зображень, визначеному для всієї індивідуальної часової послідовності. Значення цього середнього часу може відрізнятися від даних описової статистики, наведених в табл. 2, оскільки їх отримано як результат апроксимації і вони відповідають лише за загальне подання часу опрацювання в заданому фазовому інтервалі. З таблиці можна зробити висновок, що найбільше середнє значення часу опрацювання мають оператори 2, 6 і 10, а решта операторів мають приблизно однакове значення, хоча оператори 7, 8 і 9 є найкращими за цим показником.

Четвертий коефіцієнт a_{IV} – зниження високого рівня працездатності показує, що працездатність у 4 і 8 операторів знизилась практично не більше як на 10 %, натомість у операторів 1, 5, 6, 7, 9 він в межах 10 – 20 %, а для операторів 2, 3 і 10 він має найбільше значення.

П'ятий коефіцієнт a_V , який означає істотне погіршення психофізіологічних функцій організму, можна на підставі графіків інтерпретувати так. Підйом графіка кривої в кінці послідовності найяскравіше виражений для операторів 2 і 10, що засвідчують саме величина і додатне значення цих коефіцієнтів. Невеликий підйом мають графіки 3 і 4 операторів, проте від'ємність їхніх значень можна трактувати знову як особливість апроксимації.

У загальному до викладених результатів необхідно додати такі зауваження.

По-перше, запропонована інтерпретація базується на оригінальних експериментальних даних, проте роль операторського персоналу виконують далеко не професійні оператори, а звичайні молоді люди – студенти. Крім того, до експериментів вони не знали завдання, а ознайомились з ним перед самим експериментом. Воно полягало в тому що їм була поставлена задача виявити конкретний об'єкт, тобто ніякої попередньої підготовки не було.

По-друге, тривалість експериментальних досліджень була різною і не перевищувала 90 хвилин, регламентованих навчальним процесом, оскільки цей відтинок часу вважають достатнім і нормальним для уважної, не пов'язаної з фізичним навантаженням праці. Тому значення коефіцієнтів a_{IV} і a_V важко інтерпретувати, оскільки немає даних, отриманих за таких станів. Інакше кажучи, ці значення є фіктивними або просто математичними – абстрактними, отриманими виключно за властивостей моделі (2).

По-третє, внутрішній зв'язок між коефіцієнтами у моделі вносить корективи в апроксимацію.

Незважаючи на те, що адекватність інтерпретації не є чітко вираженою, ця модель дає доволі багату інформацію для ідентифікації операторського персоналу, оскільки структура самої моделі (2), тобто функціонально розмежовані доданки, є достатньо строгою, а коефіцієнти a_i мають фізично змістовну інтерпретацію.

Іншим важливим моментом є те, що ця модель практично має для заданих рядів лише один – два дуже слабо виражених екстремуми, між якими можна вказати на характер тенденції: зростання, спадання.

6. Моделювання випадковості значень

Найзагальнішою моделлю випадкових величин є їхній вид розподілу. Якщо випадкові величини отримано експериментально, встановити вид розподілу їхніх ймовірностей можна лише двома способами.

Перший спосіб полягає у використанні такого розподілу, який можна вивести математично із загального аналітичного подання досліджуваного явища та його розвитку або поведінки, тобто як розв'язок диференціального рівняння або на підставі математико-логічного виведення, на зразок розподілів Максвелла, Больцмана чи того ж нормального.

Другий спосіб полягає в тому, що закон розподілу вибирає сам дослідник на підставі кумуляти або гістограми. За допомогою кумуляти за положенням точки перегину встановлюють, чи існує мода і розподіл є одномодальним, а також виявляють його асиметричність. Ці ж властивості визначаються і за допомогою гістограми. Проте у першому випадку існує лише один об'єктивний метод побудови кумуляти, який дає для функції її апроксимації N вузлів, де N – обсяг часової

послідовності, тоді як гістограма суб'єктивно залежить від вибору кількості інтервалів групування (існує кілька десятків емпіричних формул для вибору інтервалів), причому кількість цих інтервалів практично не перевищує $k \leq 0.1N$, тобто суттєво меншою є кількість вузлів апроксимації, що впливає на точність визначення параметрів розподілу. В цьому дослідженні використано другий спосіб і за законом розподілу прийнято однопараметричний розподіл Релея. Вибір цей зроблено за таких міркувань.

Однопараметричний розподіл Релея є одномодальним, з правосторонньою асиметрією і додатною областю значень. Він широко використовується в теорії надійності й добре вивчений. Його залежність від одного параметра є зручною для ідентифікації індивідуальних розподілів, оскільки легко створити порядкову шкалу.

Функція розподілу Релея та його щільність мають такий вигляд [15]

$$F(x; s) = 1 - \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot s^2}\right), \quad x \geq 0, \quad s > 0, \quad (3)$$

$$f(x; s) = \frac{x}{s^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot s^2}\right), \quad x \geq 0,$$

де s – параметр розподілу, який ще називають параметром масштабу.

Розподіл Релея має додатну асиметрію, а його єдина мода розміщена в точці $x = s$. Усі його моменти є додатними. В теорії надійності його використовують для опису поведінки зношення вузлів, деталей. З ергономічного погляду, в сенсі надійності оператора, його можна використати для опису значень часу розпізнавання послідовності зображень людиною-оператором протягом тривалого часу T , коли суттєво проявляється стан втоми та пов'язаного з ним зростання нервової напруженості. Тоді ймовірність розпізнавання всіх зображень послідовності визначається як

$$P(t) = \exp\left(-\frac{T^2}{2 \cdot s^2}\right),$$

інтенсивність нерозпізнання зображень

$$I(t) = \frac{T}{s^2},$$

а середній час до першого нерозпізнаного зображення

$$\bar{t} = \sqrt{\frac{p}{2}} \cdot s.$$

Очевидно, що такі оцінки можна визначити на підставі моделі операторської діяльності, побудованої за результатами експериментальних досліджень.

У запропонованій моделі індивідуальної інтелектуальної діяльності оператора (1) статична складова $U(t)$ характеризує випадковість. Її параметри загалом подаються описовою статистикою значень відхилень від тренду, проте описова статистика не дає підстав для визначення закону розподілу цих значень. Тому для її аналізу і визначення параметрів вибраного закону розподілу здійснюють елімінацію тренду, в результаті якої отримують значення відхилень від тренду з різними знаками. Для апроксимації розподілом Релея ці значення приведені в область додатних значень Z^+ додаванням до них найменшого від'ємного значення. Для отриманих сукупностей приведених значень кожної індивідуальної послідовності, які є вибірками, за допомогою опції «Гістограма» MS Excel 2003 побудовано кумуляти. У опції «Гістограма» це здійснюють так.

1. Використовуючи з опції «Описова статистика» в MS Excel 2003 значення «Інтервалу», яке фактично відповідає розмаху $R = x_{\max} - x_{\min}$ та значення обсягу n даних, зменшене на одиницю, тобто $n-1$, визначають розмір «кишені» як відношення $k = \frac{R}{n-1}$.

2. Вказуємо на побудову результату «Інтегральний процент». В результаті виконання опції «Гістограма» отримуємо стовпчик даних «Інтегрального процента» з розмірністю відсотків.

3. Переводимо отримані значення з відсотків у числовий формат з точністю до сотих і будуємо їхній графік за допомогою «Майстра діаграм».

Отриманий графік має область визначення, задану значеннями розмаху R , а область його значень належить інтервалу $[0,1]$, що відповідає області значень функції розподілу випадкових величин. На рис. 4 зображено емпіричні кумуляти двох операторів.

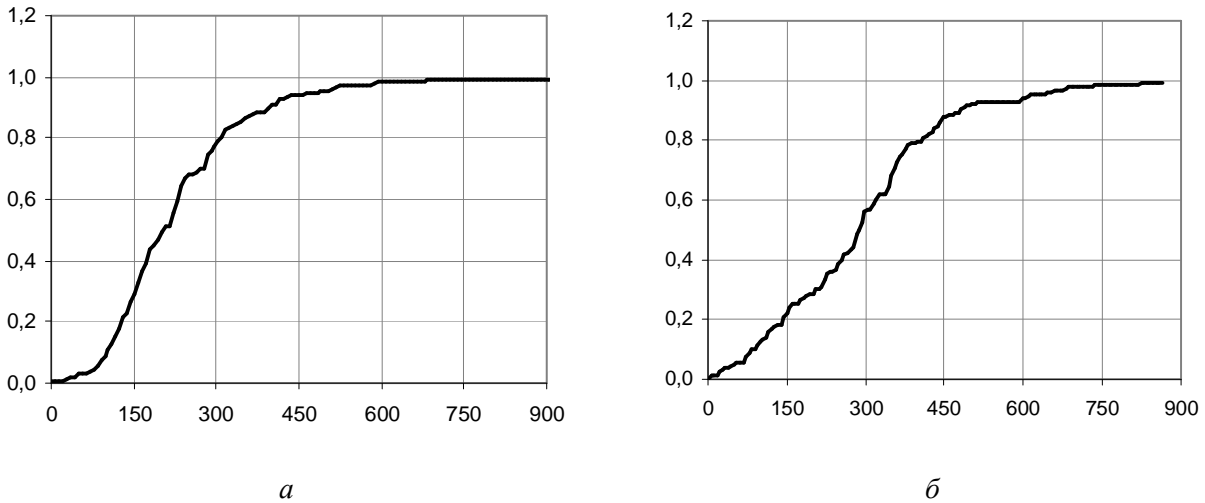


Рис. 4. Зображення емпіричних кумулят: а – оператора Оп. 1, б – оператора Оп. 4

Вибравши апроксимаційною функцією функцію розподілу Релея (3) і початковим значенням його параметр середньоквадратичного відхилення s , визначений за описовою статистикою, будуємо модель функції розподілу. Як показав попередній аналіз, використання параметра s безпосередньо дає зміщення теоретичної кумуляти відносно емпіричної практично для всіх операторів. Це зміщення показано на рис. 5.

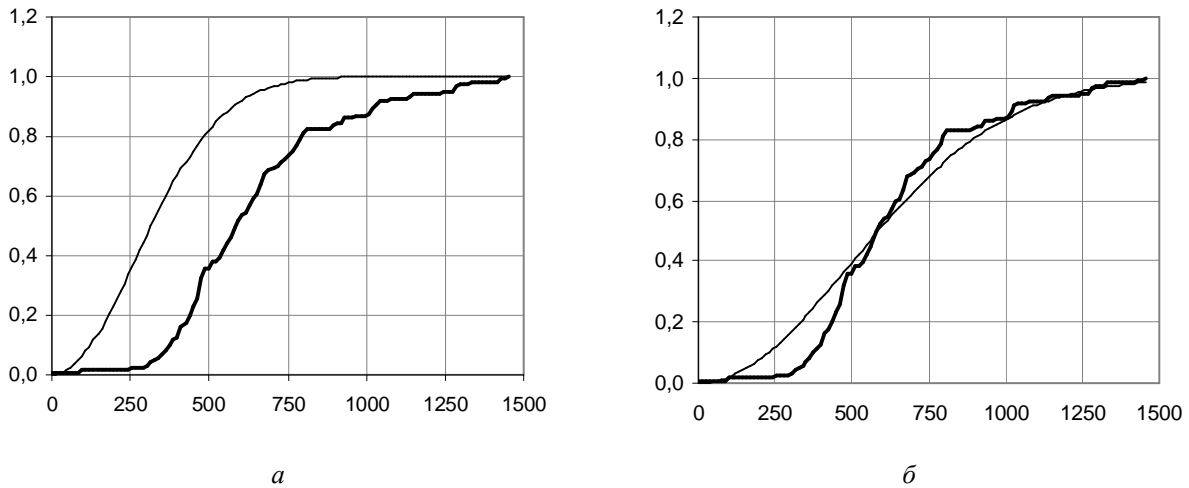


Рис. 5. Зміщення кумуляти за рахунок параметра s : а – для визначеного описовою статистикою і б – після його оптимізації

Тому для визначення адекватного індивідуальній емпіричній кумуляті параметра s виконано оптимізацію функції розподілу з параметром s . Як критерій адекватності побудованої моделі – відповідника емпіричній кумуляти використано суму квадратів різниць. Показник $skv(s)$ відповідає сумі квадратів різниць моделі з параметром s , визначеним за описовою статистикою, а показник $skv(s)$ відповідає сумі квадратів різниць після оптимізації. Для оптимізації – отримання мінімального значення суми $skv(s)$ використано опцію «Пошук рішення». Дані для порівняння

наведено в табл. 3. У результаті такої оптимізації виявлено зміщення емпіричної кумуляти від теоретичної з параметром s . Ступінь зміщення $z(s)$ визначено відношенням параметрів $\frac{s}{S}$ у такий спосіб

$$z(s) = \left(1 - \frac{s}{S}\right) \cdot 100\% .$$

Значення зміщення кумуляти наведено в табл. 3. Зміщення для цієї групи операторів міститься у межах 2÷46 відсотків. Оскільки розподіл Релея добре вивчений, а сам параметр визначено теоретично, немає підстав заперечувати його визначення за допомогою алгоритмів описової статистики, оскільки правомірно припустити, що емпірична кумулята є сумішшю з різних розподілів. Інакше кажучи, якщо потрібні точні висновки із закону розподілу, як в цьому випадку, то необхідно оптимізувати параметр s .

Наведені в табл. 3 дані свідчать про те, що отримане за описовою статистикою значення середньоквадратичного відхилення використовувати як параметр вибраного розподілу Релея небажано, оскільки вони дають зміщену кумуляту. Величини цього зміщення зображено графічно на рис. 5. Можливо, дані мають цілком інший розподіл, але для задачі ідентифікації алгоритми обробки та побудови моделі повинні бути тими самими для всіх реципієнтів. З цього погляду показник зміщення кумуляти також можна використати і як певну характеристику для ідентифікації персоналу.

Таблиця 3

Значення параметрів розподілу та критерію суми квадратів відхилень за описовою статистикою та після їхньої апроксимації розподілом Релея

Операторський персонал	Параметри і показники				Зміщення кумуляти
	Модель з параметром s , взятим з описової статистики, та величина критерію суми квадратів відхилень		Модель з параметром S після оптимізації та відповідне значення критерію суми квадратів відхилень		
	параметр	skv	параметр	skv	
Оп. 1	135,77	1,03	175,791	0,057	23
Оп. 2	170,08	5,195	284,08	0,184	40
Оп. 3	237,52	0,436	270,498	0,201	12
Оп. 4	164,19	2,934	232,883	0,099	30
Оп. 5	148,72	0,404	174,588	0,099	15
Оп. 6	268,54	8,805	498,568	0,449	46
Оп. 7	90,71	6,766	155,211	0,324	42
Оп. 8	123,74	0,321	136,053	0,192	8
Оп. 9	171,36	0,659	209,803	0,103	18
Оп. 10	182,69	0,208	187,086	0,202	2

Наведені результати математичного моделювання та самі моделі індивідуальної інтелектуальної діяльності учасників експериментального дослідження дають низку показників, які можна використати для оцінювання ефективності їхньої роботи, атестації кваліфікації, організації робочих колективів, бригад тощо. До них належать: перелік показників, визначених описовою статистикою, індивідуальні параметри тренду, параметр розподілу, а також до них можна зарахувати величину зміщення кумуляти.

Висновок

У результаті експериментальних досліджень індивідуальної інтелектуальної операторської діяльності, зв'язаної з пошуком, виявленням, розпізнаванням об'єктів заданого класу на наданих на моніторі зображеннях обґрунтовано і побудовано математичну модель цього виду діяльності. На підставі характеристик і параметрів цієї моделі отримано результати групи учасників цих досліджень. Параметри побудованих індивідуальних моделей та додаткові описові й допоміжні (зміщення кумуляти) характеристики дають об'єктивний матеріал для ідентифікації операторського персоналу, зокрема в тренажерних системах професійного відбору, навчання та атестації, а також формування однорідних за ступенем кваліфікації груп.

Наведену методологію можна реалізувати практично на будь-яких пакетах прикладних програм і безпосередньо використати в практичних додатках.

1. Шеридан Т.Б., Феррелл У.Р. Системы человек-машина: Модели обработки информации, управления и принятия решений человеком-оператором: пер. с англ. / Под ред. К.В.Фролова. – М.: Машиностроение, 1980. 2. Завалишина Д.Н. Психологический анализ оперативного мышления: Экспериментально-теоретическое исследование. – М.: Наука, 1985. – 222 с. 3. Готтсданкер Р. Основы психологического эксперимента: учебн. пособие.; пер. с англ. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. – 464 с. 4. Зараковский Г.М., Павлов В.В. Закономерности функционирования эргатических систем. – М.: Радио и связь, 1987. – 232 с. 5. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах “человек–техника”. – М.: Машиностроение. – 1983. – 263 с. 6. Кузьмина К.И., Сёмик Т.М., Андон Т.А. Современные информационные технологии для изучения механизмов индивидуальной психофизиологической адаптации человека // Проблемы програмування: спец. вип. – 2008. – № 2–3. – С. 695 – 702. 7. Кирхар Н.В., Ходаков Д.В. Модели деятельности пользователя компьютеризованной системы // Вестник ХНТУ: Информационные технологии. – № 4(27). – 2007. – С. 370 – 378. 8. Архипов А.Е., Архипова С.А. Моделирование и обработка данных систем тестового контроля закрытого типа // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. – 2001. – № 2. – С. 70 – 76. 9. Камінський Р.М. Моделювання динаміки оперативності космонавта в умовах тривалого перебування на пілотованих системах // Космічна наука і технологія. – 1998. – Т.4. – № 4. – С. 156 – 165. 10. Лоскутова Т.Д. Оценка функционального состояния центральной нервной системы человека по параметрам простой двигательной реакции // Физиологический журнал СССР им. И.М.Сеченова. – LXI. – № 1. – 1975. – С. 3 – 12. 11. Горчаков А.А. Математический аппарат для инвестора // Аудит и финансовый анализ. – № 3. – 1997. – С. 1 – 57. 12. Лялин В.С. Статистика: теория и практика в Excel: учеб. пособие / В.С. Лялин, И.Г. Зверева, Н.Г. Никифорова. – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2010. – 448 с. 13. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере / Под ред. В.Э.Фигурнова. – Изд. 3-е, перераб. и доп. — М.: ИНФРА-М, 2002. — 528 с. 14. Грицюк П.М. Комплексний аналіз динаміки сонячної активності // Штучний інтелект. – 2008. – № 1. – С. 85 – 91. 15. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.