

УДК 612.825.8:613.685

# Характеристика надійності операторської діяльності методами структурної лінгвістики

В. В. Кальниш<sup>1</sup>, А. В. Швець<sup>2</sup><sup>1</sup>Українська військово-медична академія, Київ<sup>2</sup>НДІ проблем військової медицини ЗС України, Ірпінь

## Резюме

У статті запропоновано оригінальний підхід для дослідження надійності операторської діяльності методами структурно-лінгвістичного аналізу, який дозволив отримати додаткову інформацію щодо формування хроноалгоритму поведінкових реакцій оператора при різній інтенсивності переробки інформації та рівні розвитку втоми. Проаналізовано сім типів помилкових реакцій людини за характеристиками їх «унікальності», «розмаїття» та «спорідненості» та встановлено залежність типології помилок за цими характеристиками від рівня втоми та інформаційного навантаження. Виявлено збільшення хаотичності дій при підвищенні втоми, що може призвести до появи зовсім непередбачуваних ситуацій при здійсненні професійної діяльності оператором та зниженні ступенів свободи в прийнятті рішень людиною в умовах дефіциту часу.

**Ключові слова:** надійність професійної діяльності, структурно-лінгвістичний підхід, тип помилкової дії, функціональна рухливість нервових процесів.

**Клин. информат. и Телемед. 2012. Т.8. Вып.9. с.112–119**

## Вступ

В наш час, у зв'язку з великим підвищенням інтенсивності та складності операторської діяльності, яка пов'язана з високою нервово-емоційною напруженістю, надійність операторської діяльності значно знижується. Особливо це проявляється під час тривалої роботи осіб різних спеціальностей, у яких розвивається надмірна втома.

Аналіз статистики нещасних випадків, викликаних неадекватними діями пілотів і диспетчерів авіаліній Аляски, показав значну роль втоми в організації безпеки польотів, помітні прояви якої сприяють виникненню фатальних помилок [15]. Було встановлено, що ризик появи помилкових подій вірогідно збільшується при наявності у персоналу втоми, а також в випадках розвитку стресу, спричиненого можливим порушенням графіка польотів. Причому 90% пілотів, у яких виявлено ознаки втоми, були змушені відмовлятися від польотів в ускладнених умовах, що вірогідно вище, ніж кількість відмов пілотів, у яких втома не проявлялась (64%). Іншими дослідниками Lockley S. W. та співавторами встановлено, що внаслідок розвитку втоми у лікаря в 2,3 рази підвищується ризик аварії при водінні автомобіля, якщо час його роботи перевищує 24 години на тиждень [22]. Причому після збільшення тривалості робочого дня щомісячний ризик появи такої аварії збільшується на 16,2%. Якщо лікар спав менше 5,8 годин, у наступний робочий день він робить на 36% більше медичних помилок, пов'язаних з лікуванням і в 6 разів більше діагностичних помилок, ніж фахівці, що працюють 16 годин на тиждень. Отримані дані дають можливість мінімізувати ризик і оптимізувати робочий день працівників.

Багато вчених також підкреслюють, що інтенсивний розвиток втоми пов'язаний із тривалістю сну. Дослідження стану австралійських залізничників (машиністів локомотивів) показало, що при зменшенні тривалості сну <5 годин з наступним 16-годинним пильнуванням значно збільшується імовірність появи помилок, пов'язаних з втомою [16]. Також було встановлено експонентне зниження рівня безпеки руху згодом, майже дворазове збільшення ймовірності нещасного випадку або ушкодження устаткування після 10-ти годин роботи відносно 8-годинної. Нічна робота додатково підвищує ризик появи помилок лікаря, діяльність якого близька до операторської. Так, робота акушера, спрямована на проведення епідуральної анестезії в нічний час, супроводжується збільшенням ризику помилкової дії, пов'язаного з розвитком втоми в умовах позбавлення сну [13]. Причому співвідношення ризиків цієї події в нічний і денний час є достовірним і досягає 6,33.

Для раціонального укомплектування екіпажів авіації США далекої дії через рік після впровадження був проведений аналіз впливу модифікованого графіка їхньої ненормованої роботи на організм пілотів [23]. Показано, що змінна робота впливає на прояви втоми, веде до зниження продуктивності праці, збільшення ризику появи помилок і нещасних випадків. Таким чином, навіть невеликий перелік наведених досліджень вказує на підвищений ризик виникнення помилок в осіб, праця яких пов'язана з виконанням операторських дій, особливо в нічний період доби.

З позицій структурної лінгвістики в основі описаних явищ лежить особливість переробки інформації, що обумовлена обмеженістю як інтелектуальних ресурсів людського організму (зокрема

мозку), так і виникаючих в результаті професійної діяльності сценаріїв [18]. У фізіології існує таке поняття, як «неспецифічна реакція організму», яка полягає в тому, що на досить різноманітну та велику кількість видів впливу зовнішнього світом організм відповідає відносно меншою (навіть досить малою) кількістю реакцій, тобто організм «узагальнює» вплив трудового середовища (фактично це – процес інтеграції інформації). Точно так, в силу обмеженості своїх ресурсів, будь-яка інтелектуальна система змушена все спростувати («узагальнювати»), вишукувати вже відомі явища або їх частини (образи), приводячи тим самим цю інформацію до раніше знайденого виду, «зручного» для зберігання і «дешифрування». При цьому вона знаходить «зміст» і «образ» там, де його, можливо, і немає. Такий процес постійного перетворення системою інформації призводить до вироблення певного сценарію її взаємодії з середовищем.

Таким чином, структурно-лінгвістичний підхід, що характеризує здатність інформаційної системи знаходити сенс там, де його немає, є продуктивним для опису різноманітних явищ, зокрема для дослідження варіабельності серцевого ритму [2].

В попередніх публікаціях нами було здійснено спробу застосувати структурно-лінгвістичний підхід для характеристики надійності професійної діяльності. Так, в роботі [3] показано особливості типології помилкових реакцій в гендерному аспекті, в інших публікаціях було здійснено оцінку надійності професійної діяльності з використанням логістичного аналізу [4, 19, 20]. Показано також необхідність врахування не тільки інформаційної, але й енергетичної складової організму для прогнозування надійності професійної діяльності психофізіологічними засобами [7]. Однак, детальної характеристики появи різних типів помилкових реакцій як умовної «мови» взаємодії людини з машиною протягом тривалого часу (добі) в умовах виконання професійної діяльності проведено не було.

Тому, **метою** роботи є виявлення особливостей появи різних типів помилок в операторів, що працюють в умовах добового чергування.

## Матеріали та методи досліджень

У якості об'єкта досліджень була обрана група чоловіків операторів-радіотелеграфістів (32 особи) віком

18–23 роки, які виконували професійні обов'язки – операторську діяльність безперервно протягом доби. Дослідження стану ЦНС цих осіб проводили в ранковий час (з 8.00 по 9.00 години) до заступання на добове чергування та безпосередньо після нього.

Психофізіологічні характеристики реєстрували з допомогою спеціального апаратно-програмного комплексу, що був розроблений в Харківському національному університеті радіоелектроніки [5, 6]. Методики оцінки психофізіологічних функцій було реалізовано з використанням захисних непрозорих окулярів, у яких вмонтовані різнокольорові світлодіоди для забезпечення стандартного пред'явлення подразників та підтримки належної контрастності фону та стимулу.

Стан ЦНС визначали за показниками функціональної рухливості нервових процесів (ФРНП, мс) при дії зорових сигналів різної модальності. Діагностування ФРНП здійснено за модифікованою методикою М. В. Макаренка [8], реалізованою зі зворотним зв'язком. За показник рівня ФРНП приймалась гранично коротка експозиція при пред'явленні 200 умовних зорових подразників червоного, зеленого та синього (гальмівний подразник) кольорів, при якій обстежуваний ще міг правильно диференціювати позитивні та гальмівні подразники. Прилад дозволяє реєструвати відповідні реакції людини на подразник, а саме: правильне натиснення правою чи лівою рукою, правильний пропуск реакції на гальмівний подразник, невірне натиснення правою чи лівою рукою, відсутність натиснення (пропуск реакції на сигнал) правою чи лівою рукою.

Статистичний аналіз результатів проводився за допомогою методів варіаційної та непараметричної (критерій Манна-Уїтні) статистики, кластерного та кореляційного аналізу з використанням пакета програм STATISTICA 8.0. [21] та методів структурного аналізу [10].

## Результати власних досліджень та їх обговорення

Аналіз діяльності людини-оператора є досить складною проблемою, оскільки необхідно враховувати не тільки поведінкові реакції людини, але

й відповідну дію машини. Динаміка цієї взаємодії віддзеркалює як можливості людини в управлінні машиною, так і реакції самої машини. Якщо розглядати таку взаємодію з точки зору структурної лінгвістики, можна вважати, що «спілкування» людини з машиною відбувається з допомогою специфічної мови, аналіз якої дасть можливість визначити ті ситуації, які сприяють успішному виконанню роботи, чи виникненню помилок [1, 11]. У цьому випадку можна застосовувати методи структурно-лінгвістичного аналізу, метою якого є створення деякої дуже простої мови з невеликим алфавітом та простим способом побудови фраз. Правила такої мови дозволяють стисло описувати події, які відбуваються у системі «людина-машина», виділяючи найбільш суттєві особливості діяльності. При цьому для роботи, що характеризується різною складністю, мабуть, може існувати спеціально пристосована мова для опису цих даних. Тобто, в процесі діяльності відбувається формування специфічного хроноалгоритму, який описує поведінкові реакції людини при її взаємодії з машиною та може бути достатньо повно описаний з допомогою цієї мови.

Використовуючи методи структурно-лінгвістичного аналізу можна виділяти фрагменти реакцій людини та машини, розглядаючи реакції цих взаємодіючих об'єктів як самостійні одиниці спостереження і, як наслідок, порівнювати їх між собою. Вибір тих чи інших ділянок представлення інформації про часову послідовність дій пов'язаний з гіпотезою про те, як розподілена ця інформація на кривій, що віддзеркалює взаємодію людини з машиною. Тому при здійсненні аналізу даної взаємодії слід провести сепарацію окремих інформативних ділянок, які віддзеркалюють поведінку людини та машини, а також класифікувати їх. В подальшому представлення інформації такої взаємодії слід будувати з допомогою опису типів виділених ділянок. В подібному описі назви типів ділянок грають роль «літер», а їх послідовності можна вважати як «слова» та «фрази» умовної мови, чи хроноалгоритму.

Під час аналізу надійності професійної діяльності перш за все слід виділити ситуації, що виникають при взаємодії людини з машиною, які можна назвати літерами конструйованої умовної мови. Перед усім, це ділянки, які пов'язані з появою помилок. У нашому випадку розглядання ефекту появи помилок дало можливість виділити сім типів («літер») помилок: 1 – відсутність реакції після правильної відповіді на збуджуючий подразник; 2 – відсутність дії після правильної реакції на гальмівний подразник; 3 – помилкова дія після від-

сутності реакції на збуджуючий сигнал; 4 – повторна відсутність реакції на збуджуючий сигнал; 5 – відсутність дії на збуджуючий сигнал після помилкової реакції на збуджуючий сигнал; 6 – помилкова дія після правильної реакції на гальмівний подразник; 7 – помилкова дія після правильної реакції на збуджуючий подразник. Вочевидь, сполучення правильних та помилкових дій може складати певні слова умовної мови. Проте у даному випадку доцільно розглянути деякі особливості та закономірності появи «літер», що визначаються помилковими діями оператора у цій «мові». Для проведення такого аналізу були застосовані три характеристики появи помилкових дій: «унікальність», «спорідненість» та «розмаїття» помилок.

«Унікальність» появи помилкової реакції певного типу відображає вірогідність виникнення цієї дії людини в процесі виконання завдання у відповідному діапазоні інформаційного навантаження та вираховується за формулою:

$$p_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^7 m_i}$$

де  $p_i$  – імовірність появи помилки  $i$ -го типу ( $i = 1, 2, \dots, 7$ );  $m_i$  – кількість помилок  $i$ -го типу при виконанні завдання оператором.

«Спорідненість» появ помилкових реакцій операторів – реально існуюча сукупність помилкових дій оператора, що поєднується їх стійкими зв'язками, утвореними в результаті конкретної діяльності, а також їх взаєминами, які відрізняються відносною цілісністю та мають ряд спільних ознак, що надають їм певну своєрідність. Розрахунок показника спорідненості здійснюється за модифікованою формулою Чекановського-С'єренсена [10]:

$$C_i = \frac{\sum_i \max |m_{ig} - m_{ik}|}{\sum_i \max (m_{ig} + m_{ik})}$$

де  $C_i$  – спорідненість появ помилок  $i$ -го типу в групі з  $n$  операторів ( $k = 1, n$ ;  $g = 1, \dots, k$ , при  $k \neq g$ ).

«Розмаїття» помилок оператора – є ортогональною характеристикою «унікальності» різних типів помилок, що утворюють деяку цілісність, або систему. По суті ця характеристика є індексом полімодальності і свідчить про те, яка кількість типів помилок присутня в гіпотетичній колекції помилок, де вони усі мають рівномірні частоти при умові, якщо вона має таке ж розмаїття, як дана колекція. «Розмаїття» помилок може бути обчислене за формулою Хілла:

$$S = \left( \sum_i p_i^2 \right)^{-1}$$

де  $S$  – показник розмаїття помилок у оператора.

Аналіз «розмаїття», «унікальності» та «спорідненості» різних типів помилок людини здійснювався в трьох діапазонах інформаційного навантаження в залежності від показника ФРНП (до 30%, тобто від ФРНП до ФРНП + 0,3 × ФРНП – «високе» інформаційне навантаження; від 30 до 60% – «низьке» інформаційне навантаження та більше 60% ФРНП – «наднизьке» інформаційне навантаження) з урахуванням їх зв'язку з характеристикою відносного зсуву ФРНП після добового чергування, що певним чином віддзеркалює рівень розвитку втомі кожного оператора в процесі добового чергування.

В наших попередніх дослідженнях [20], пов'язаних з пошуком інтегральних маркерів надійності професійної діяльності людини в широкому діапазоні інтенсивностей інформаційного навантаження, було розглянуто особливості впливу добових чергувань на психофізіологічні показники працездатності операторів та сформульовано гіпотезу про наявність у різних операторів певних компенсаторних механізмів підтримки працездатності в умовах тривалого чергування. З допомогою кластерного аналізу було виділено 2 підгрупи осіб з різними величинами зміни працездатності після добового чергування. Першу підгрупу склали 57% осіб з малим відносним зсувом ФРНП ( $0,065 \pm 0,011$ ) та менш вираженими ознаками втомі за іншими психофізіологічними показниками. Другу підгрупу осіб склали оператори, які мали достовірно більший відносний зсув ФРНП ( $0,397 \pm 0,061$ ,  $p < 0,001$ ) після добового чергування в порівнянні з першою. В даному дослідженні проведено аналіз характеристик надійності діяльності саме цих груп операторів підгрупа I – особи з помірною втомою та підгрупа II з сильно вираженими ознаками втомі.

Результати аналізу «спорідненості» різних типів помилок представлено на табл. 1. Тут видно, що перед заступанням на добове чергування в діапазоні «високого» навантаження спостерігається достовірна вища «спорідненість» в появі 1, 2 та 3 типів помилок у представників підгрупи I в порівнянні з II-ю, а «спорідненість» помилкових дій після правильної реакції на збуджуючий подразник (7 тип помилок) навпаки є істотно нижчою. В діапазоні «низького» інформаційного навантаження таке явище спостерігається лише для характеристик «спорідненості» відсутності дій після правильної

реакції на гальмівний подразник. Причому цей показник суттєво переважає аналогічний для діапазону «високого» інформаційного навантаження. У діапазоні інформаційного навантаження більше 60% ФРНП «спорідненість» відсутності реакції після правильної відповіді є достовірно вищою у представників підгрупи II, а «спорідненість» відсутності дії на збуджуючий сигнал після помилкової реакції на збуджуючий сигнал є достовірно вищою в підгрупі I. Звертає на себе увагу наявність достовірно нижчої «спорідненості» першого, другого та третього типів помилок при інтенсивній переробці інформації в порівнянні з більш повільним (більше 60% ФРНП) її надходженням у представників підгрупи II, в той час як «спорідненість» помилок після правильної реакції на збуджуючий подразник є меншою у діапазоні низького інформаційного навантаження.

При порівнянні показників «спорідненості» помилок в вище згаданому діапазоні інформаційного навантаження з середнім відмічається наявність лише достовірно вищої «спорідненості» відсутності дії після правильної реакції на гальмівний подразник та на збуджуючий сигнал після помилкової реакції на збуджуючий сигнал.

Цікаві трансформації показників «спорідненості» помилок відбуваються після добового чергування. По-перше, втрачається достовірність міжгрупової різниці. По-друге, в діапазоні високого інформаційного навантаження у осіб підгрупи I знижується спорідненість 1 типу помилок, а осіб підгрупи II – 4 та 6 типів. «Спорідненість» 4 типу помилок в середньому діапазоні інформаційного навантаження зменшується у представників підгрупи I, а для підгрупи II в діапазоні низького інформаційного навантаження спорідненість 7 типу помилок істотно зростає. По-третє, спорідненість багатьох типів помилок крім 7 типу для представників обох груп є істотно нижчою в діапазоні високого інформаційного навантаження у порівнянні з низьким (див. табл. 1.).

Аналіз «унікальності» помилкових дій надає інформацію про закономірності впливу темпу інформаційного навантаження та рівня втомі на ступінь «унікальності» хроноалгоритму людини при вирішенні операторських завдань (рис. 1.). Розгляд цих даних дозволяє виявити декілька тенденцій. Перша – найбільш розповсюдженими є помилки пов'язані з відсутністю дії після правильної реакції на гальмівний подразник (2 тип помилок) та збуджуючий сигнали (1 тип помилок), а також повторна відсутність реакції на збуджуючий сигнал (4 тип помилок), які є стабільно високими

Табл. 1. Характеристика «спорідненості» різних типів помилок,  $M \pm \sigma$ .

Тип помилки	Діапазон інформаційного навантаження					
	до 30% ФРНП		від 30% до 60% ФРНП		більше 60% ФРНП	
	I підгрупа	II підгрупа	I підгрупа	II підгрупа	I підгрупа	II підгрупа
	Перед робочою зміною					
1	0,62 ± 0,14#	0,50 ± 0,19*	0,50 ± 0,22	0,42 ± 0,22**	0,54 ± 0,19#	0,69 ± 0,13
2	0,52 ± 0,15**	0,41 ± 0,12*	0,42 ± 0,25***	0,44 ± 0,15	0,83 ± 0,17###	0,57 ± 0,23
3	0,64 ± 0,23##	0,45 ± 0,21***	0,61 ± 0,24	0,57 ± 0,32	0,73 ± 0,25	0,73 ± 0,28
4	0,55 ± 0,20	0,50 ± 0,17	0,45 ± 0,22^	0,49 ± 0,20	0,57 ± 0,22	0,46 ± 0,21
5	0,65 ± 0,27	0,65 ± 0,24	0,61 ± 0,25*	0,55 ± 0,29	0,76 ± 0,21#	0,61 ± 0,23
6	0,82 ± 0,25	0,89 ± 0,20	0,68 ± 0,24	0,66 ± 0,27	0,70 ± 0,21	0,76 ± 0,18
7	0,85 ± 0,17#	0,96 ± 0,14***	0,83 ± 0,25	0,92 ± 0,19**	0,74 ± 0,23	0,67 ± 0,24
	Після добової зміни					
1	0,48 ± 0,22**^	0,52 ± 0,21*	0,49 ± 0,22*	0,49 ± 0,25**	0,64 ± 0,20	0,69 ± 0,23
2	0,45 ± 0,23**	0,41 ± 0,18**	0,57 ± 0,22**	0,50 ± 0,19**	0,75 ± 0,22	0,70 ± 0,25
3	0,58 ± 0,22	0,56 ± 0,19*	0,63 ± 0,14	0,66 ± 0,18	0,61 ± 0,25	0,73 ± 0,22
4	0,49 ± 0,22	0,38 ± 0,17**^	0,31 ± 0,17***	0,43 ± 0,15	0,57 ± 0,31	0,55 ± 0,31
5	0,49 ± 0,30**	0,60 ± 0,28	0,49 ± 0,28**	0,55 ± 0,27	0,72 ± 0,23	0,65 ± 0,24
6	0,80 ± 0,21	0,71 ± 0,29^	0,72 ± 0,22	0,73 ± 0,29	0,74 ± 0,26	0,69 ± 0,27
7	0,91 ± 0,20	0,83 ± 0,25	0,97 ± 0,13**	0,89 ± 0,26	0,81 ± 0,27	0,89 ± 0,19^^

Примітки: \*, \*\*, \*\*\* – достовірність різниці середніх «спорідненостей» відповідного типу помилок в діапазоні інформаційного навантаження більше 60% ФРНП з іншими відповідними показниками для кожної з підгруп. #, ##, ### – достовірність різниці середніх «спорідненостей» відповідного типу помилок між підгрупами. ^, ^^, – достовірність різниці середніх «спорідненостей» відповідного типу помилок в залежності від етапу робочої зміни (перед та після неї). Різниці середніх значень розраховувались за критерієм Стьюдента і відповідає відповідно рівням  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$  та  $p < 0,001$ .

в усіх діапазонах інформаційного навантаження. Друга – достовірне зростання імовірності появи помилок, пов'язаної з відсутністю дії після правильної реакції на гальмівний подразник (2 тип помилки), при збільшенні інформаційного навантаження.

Третя – зростання «унікальності» помилки, пов'язаної з відсутністю дії на збуджуючий сигнал після помилкової реакції на збуджуючий сигнал (5 тип помилки) при зростанні інформаційного навантаження лише у представників підгрупи II. Четверта – зі зростанням інформаційного навантаження на початку робочої зміни підвищується унікальність помилок, пов'язаних з такими діями після правильної реакції на гальмівний та збуджуючий подразник (відповідно 6 і 7 типи помилок) для обох підгруп. П'ята закономірність притаманна лише для II підгрупи і характеризує перерозподіл 1 та 4 типів помилок після добового чергування в середньому діапазоні інформаційного навантаження.

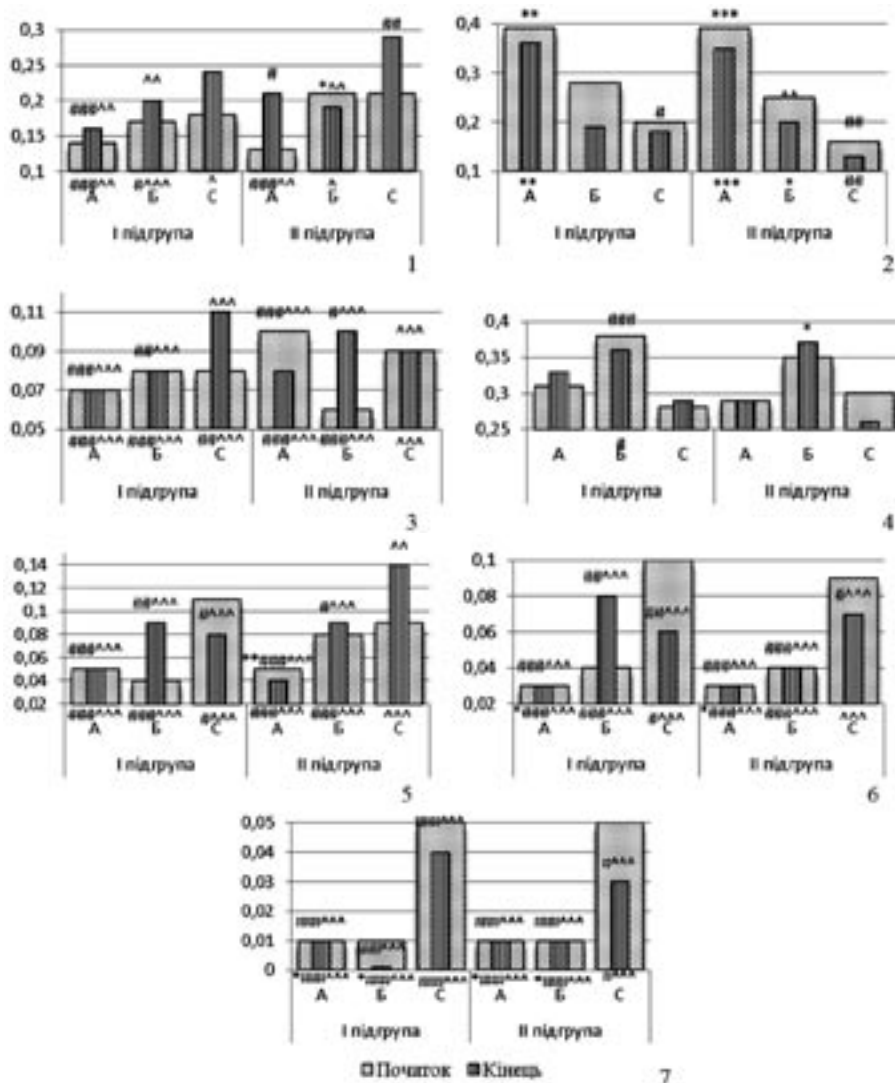
Так, імовірність відсутності реакції після правильної відповіді зменшується, а повторна відсутність реакції на збуджуючий сигнал, навпаки – збільшується.

На відміну від «спорідненості» та «унікальності» помилок їх «розмаїття» дає додаткову інформацію про рівень хаотичності появи певних помилок при роботі операторів. В цьому показнику враховуються поява всіх 7 досліджуваних типів помилок у операторів з різним рівнем розвитку втоми, що працюють в відповідних діапазонах інтенсивностей переробки інформації (табл. 2).

Звертає на себе увагу наявність загальної тенденції до збільшення «розмаїття» помилок людини після добової роботи в діапазони високої та середньої інтенсивності переробки інформації. Достовірне збільшення цього показника характерне для обох підгруп, однак в різних діапазонах інформаційного навантаження. Для представників підгрупи I «розмаїття» помилок збільшується в діапазоні від 30 до 60% ФРНП, а для II підгрупи, навпаки – зменшується у діапазоні більше 60% ФРНП. Це може бути пов'язане

з наявністю достовірно більшого «розмаїття» помилкових реакції перед робочою зміною у осіб підгрупи II у порівнянні з підгрупою I. Тенденції і достовірні зсуви, що відображають зниження «розмаїття» помилок зі збільшенням темпу переробки інформації свідчать про зниження ступенів свободи в прийнятті рішень оператором в умовах дефіциту часу. В цьому випадку навіть помилки стають більш «стандартними» не зважаючи ні на рівень розвинутої втоми, ні на її відсутність на початку зміни. Такий ефект, мабуть, призводить до появи «індивідуалізованих» помилок, притаманних конкретному оператору, наслідком чого може бути визнання його непридатності для виконання даної роботи за рахунок того, що поява певних помилок в умовах дефіциту часу може викликати виникнення фатальних аварійних ситуацій. Описаний феномен має не тільки значиме теоретичне, але й важливе практичне значення. Тому його дослідження та уточнення потрібно продовжувати.

Певний інтерес може представляти аналіз зв'язків між рівнями «унікальнос-



**Рис. 1.** «Унікальність» різних типів помилок (1–7) у операторів досліджених підгруп до початку та після добового чергування. А – діапазон до 30% ФРНП, Б – діапазон від 30 до 60% ФРНП, С – діапазон більше 60% ФРНП; \*, \*\*, \*\*\* – достовірність різниці середніх значень «унікальності» помилок в діапазоні інформаційного навантаження більше 60% з іншими відповідними показниками для кожної з підгруп; #, ##, ### – достовірність різниці середніх значень «унікальності» 2 типу помилок з іншими для кожного діапазону інформаційного навантаження та етапу робочої зміни (початок зміни – нижні маркери, кінець – верхні); ^, ^^, ^^, – достовірність різниці середніх значень «унікальності» 4 типу помилок з іншими для кожного діапазону інформаційного навантаження та етапу робочої зміни за критерієм Стьюдента відповідно на рівнях  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,001$ .

ті» та «розмаїття» помилок з показником відносного зсуву значення ФРНП. Це дослідження дасть змогу зрозуміти вплив рівня втоми на надійність операторської діяльності у осіб з наявністю певних механізмів розвитку втоми (рис. 2). Разом з тим спостерігається яскрава відмінність в прийнятті рішень представниками підгруп з різними проявами втоми. Підгрупа I характеризується наявністю негативних кореляційних зв'язків між проявами втоми та «унікальністю» помилок 3 типа до роботи, а також зв'язком рівня втоми і «унікальністю» помилок типа 4 після

роботи. В підгрупі, в якій рівень втоми операторів достовірно вищий (підгрупа II), залежність «унікальності» помилок і рівня втоми проявляється лише після роботи та охоплює 1 та 2 типи помилок. Таким чином, наявність чи відсутність зв'язку окремих типів помилок з рівнем втоми може слугувати класифікаційною ознакою для визначення механізмів, що обумовлюють її розвиток.

При аналізі «унікальності» помилок можна відзначити, що, в основному, залежності між цією характеристикою і рівнем втоми немає. Спостерігається

лише один значимий коефіцієнт кореляції ( $r=0,7$ ;  $p < 0,05$ ), який констатує наявність зв'язку між «розмаїттям» помилок і рівнем втоми у осіб підгрупи II, працюючих в умовах максимального дефіциту часу після добового чергування (діапазон темпу роботи до 30% ФРНП). Ці дані дозволяють отримати додаткову інформацію про поведінку операторів в умовах дефіциту часу.

Крім вже описаного зменшення ступенів свободи продукування різних типів помилок, можна констатувати, що в підгрупі дуже втомлених осіб (під-

Табл. 2. «Розмаїття» помилкових реакцій досліджуваних підгруп ( $M \pm m$ ), у.о.

Діапазон ФРНП	Етап робочої зміни	підгрупа I	підгрупа II
До 30 %	Початок	3,19 ± 0,24	3,42 ± 0,18
	Кінець	3,66 ± 0,21	3,71 ± 0,21
Від 30 до 60 %	Початок	3,45 ± 0,18	3,57 ± 0,24
	Кінець	3,98 ± 0,18#	3,75 ± 0,19
Більше 60%	Початок	3,70 ± 0,23*	4,17 ± 0,23
	Кінець	3,71 ± 0,33	3,68 ± 0,19#

Примітка: \* – достовірність різниці середніх значень за критерієм Манна-Уїтні між підгрупами на рівні  $p < 0,05$ , # – достовірність різниці середніх значень між етапом робочої зміни за критерієм Манна-Уїтні на рівні  $p < 0,05$ .

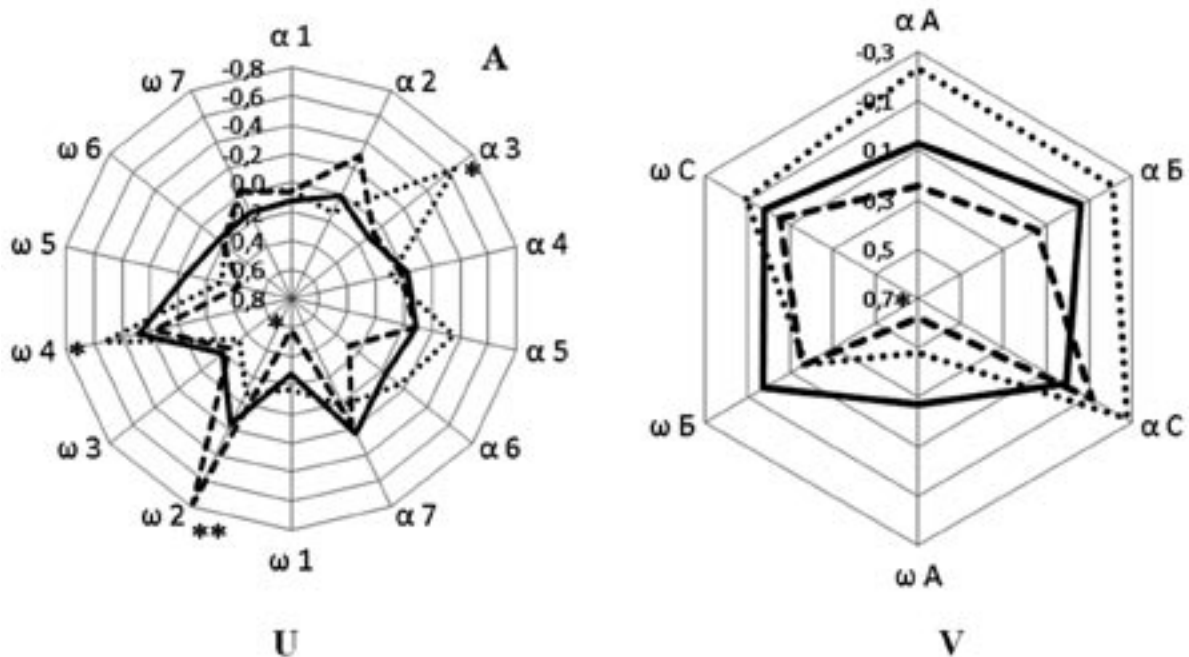


Рис. 2. Зв'язок відносного зсуву функціональної рухливості нервових процесів з показниками «унікальності» (U) в діапазоні до 30% ФРНП (A) та «розмаїття» (V) помилок за критерієм кореляції Спірмена.

— — загальна група, ..... — підгрупа I, - - - підгрупа II;  $\alpha$  — показники до зміни,  $\omega$  — показники після зміни; 1–7 — типи помилок; A — діапазон до 30% ФРНП, B — діапазон від 30 до 60% ФРНП, C — діапазон більше 60% ФРНП; \*, \*\* — достовірність критерію кореляції відповідно на рівні  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$ .

група II) в рамках виявленого обмеження хаотичність дій при підвищенні втоми все ж таки дещо збільшується. Такий ефект може призвести до появи зовсім непередбачуваних ситуацій при здійсненні професійної діяльності цього контингенту працівників.

Дослідження надійності операторської діяльності, рівень якої суттєво впливає на економічний, соціальний та екологічний стан суспільства і довкілля, стає все важливішим з розвитком сучас-

них технологій, збільшенням потужності використовуваних машин, підвищенням відповідальності за дії оператора тощо. Проте констатація наявності помилок без поглибленого аналізу умов, в яких вони формуються, що власне притаманно більшості сучасних досліджень, вже не задовольняє вимогам науки. Наприклад, норвезькі вчені, аналізуючи помилкові реакції 255 чоловік при швидкісних когнітивних навантаженнях, встановили наявність уповільнення наступної будь-

якої реакції людини на подразник після помилкової дії, що в декілька разів підвищує ймовірність появи цілої серії помилок [12]. Це явище на їх думку пов'язане з особливостями синхронізації великих нейронів білого тіла головного мозку [17], що супроводжувалось зростанням тета-активності на ЕЕГ та підтверджує наявність «детектора помилок» між мозолистим тілом та дорсомедіальними префронтальними шляхами білого тіла [14, 24]. Не дивлячись на високий

рівень проведеного аналізу, не яким все ж залишається питання в яких умовах виникають відповідні помилки. Виходом з цієї ситуації є застосування методів структурно-лінгвістичного аналізу для поглиблення розуміння ситуацій, які сприяють виникненню того чи іншого типу помилок.

Узагальнюючи інформацію, отриману при аналізі «спорідненості» помилок у осіб з меншим і більшим рівнем втоми потрібно зауважити, що як до чергування (висока працездатність), так і після чергування (розвинута втома) на «спорідненість» багатьох типів помилок впливає темп інформаційного навантаження. «Спорідненість» помилок у представників різних підгруп суттєво вища при «низькому» темпі роботи та зменшується при його підвищенні, особливо при зростанні ознак втоми. Така закономірність, за окремими випадками, не простежується для 4, 5 та 6 типів помилок до початку робочої зміни оператора, проте, з'являється після роботи (розвиток втоми) для 4 та 5 типів помилок. Помилкові дії після правильної реакції на збуджуючий подразник (тип 6) мають високий рівень «спорідненості» як до, так і після роботи. Залежність «спорідненості» від рівня втоми (потенційного) простежується за декількома типами помилок – 1, 2, 3, 5, 6 і сконцентровано в діапазонах, що характеризують надвеликі та дуже низькі рівні інформаційного навантаження (дані отримані до роботи оператора). Тут можна припустити, що оператори, у яких об'єктивно існують різні механізми розвитку втоми, неоднаково будують свій хроноалгоритм діяльності навіть після відпочинку. Цю особливість взаємодії з машиною можна буде застосовувати при розробці заходів щодо завчасного попередження їх ненадійної роботи.

Ще однією особливістю динаміки «спорідненості» помилок є те, що тільки після зміни, в основному, у дуже втомлених осіб (підгрупа II) стають помітними трансформації «спорідненості» помилок (за типами помилок 4, 6, та 7). Це свідчить про інформативність цих показників до проявів вже розвинутої втоми.

Таким чином, показано, що характеристика «спорідненості» певних типів помилок є важливою для диференціації операторів за темпом інформаційного навантаження та залежить від механізму розвитку втоми при здійсненні добового чергування.

Що стосується показника «унікальності» помилок, то його трансформація свідчить про наявність певних закономірностей, які віддзеркалюють процеси переробки інформації оператором. Перш за все виявлені суттєві односпрямовані зміни рівня «унікальності»

помилок при збільшенні темпу інформаційних навантажень на оператора як до, так і після роботи. Такі зміни для деяких типів показників зустрічаються у обох підгрупах (помилки 1 та 2 типів). Певні показники таким же чином змінюються тільки у осіб підгрупи I (помилки типу 3), а також у осіб підгрупи II (помилки типу 5, 6 та 7). Всі інші трансформації рівня «унікальності» помилок носять або «П», або «U» характер. Все це свідчить про наявність залежності «унікальності» помилок від темпу роботи та рівня прояву втоми операторів. Взагалі, можна відмітити, що при дії зовнішніх (темпу роботи) та внутрішніх (рівень розвитку втоми операторів) факторів у радіо-телеграфістів відбувається відповідна трансформація поведінкових реакцій, що забезпечують надійність виконання завдань. Ця трансформація свідчить про спрямовані перебудови хроноалгоритму оператора, що сприяють підтримці високої надійності діяльності. Характеристика «унікальності» помилок може бути використана для уточнення механізмів появи помилок, а також для розробки критеріїв ненадійного функціонування оператора при прогнозуванні успішності його діяльності.

Таким чином, потрібно констатувати, що застосування методів структурно-лінгвістичного аналізу для дослідження надійності діяльності оператора дає додаткову цінну інформацію, яка допомагає виявленню особливостей впливу трудового середовища і функціонального стану працівників на якість виконання ними виробничих завдань.

## Висновки

1. Дослідження надійності операторської діяльності методами структурно-лінгвістичного аналізу дає додаткову інформацію щодо формування хроноалгоритму його поведінкових реакцій при різній інтенсивності переробки інформації та різних рівнях розвитку втоми.

2. Показано, що характеристика «спорідненості» певних типів помилок є важливою для диференціації операторів за темпом інформаційного навантаження та залежить від механізму розвитку втоми при здійсненні добового чергування.

3. Виявлено наявність загальної тенденції до збільшення «розмаїття» помилок людини після добової роботи в діапазоні високої та середньої інтенсивності переробки інформації, що залежить від проявів втоми та свідчить про зниження ступенів свободи в прийнятті рішень оператором в умовах дефіциту часу.

4. Виявлено суттєві односпрямовані зміни рівня «унікальності» помилок при збільшенні темпу інформаційних навантажень на оператора як до, так і після роботи у підгрупах з різним проявом втоми (відсутність реакції після правильної відповіді на збуджуючий чи гальмівний подразник), а також наявність інших специфічних особливостей трансформації рівня «унікальності» помилок, що залежить від темпу інформаційного навантаження та проявів втоми.

5. Аналіз зв'язку між даними відносного зсуву показника функціональної рухливості нервових процесів за зоровим аналізатором та рівнями «унікальності» та «розмаїття» помилок свідчить, що для підгрупи дуже втомлених осіб хаотичність дій при підвищенні втоми все ж таки збільшується, що може призвести до появи зовсім непередбачуваних ситуацій при здійсненні професійної діяльності оператором.

## Література

1. Засорина Л. Н. Введение в структурную лингвистику: учебное пособие для студентов филологических специальностей ун.-тов. – М.: Высшая школа, 1974. – 319 с.
2. Ільїн В. М., Кальниш В. В., Курданов Х. А. Структурно-лінгвістичний підхід до оцінки функціонального стану організму людини // Доповіді Національної академії наук України, 2001. – № 6. – С. 185-189.
3. Кальниш В. В., Швець А. В., Левіт Й. Р. Гендерні особливості надійності операторської діяльності // Журнал Академії медичних наук України. – 2009. – Т.15, №4. – С. 755-768.
4. Кальниш В. В., Швець А. В., Єщенко О. І. Зміни розумової працездатності операторів за умов добової трудової діяльності // Фізіологічний журнал, 2011. – Т. 57. – № 2. – С. 49-57.
5. Кочина М. Л., Фирсов А. Г. Информационная технология оценки временных и частотных показателей организма человека // Системы обработки информации. – 2010. – 83, №2. – С. 243-247.
6. Кочина М. Л., Фирсов А. Г. Многофункциональный прибор для проведения психофизиологических исследований // Прикл. радиоэлектроника. – 2010. – Т.9, № 2. – С.260-265.
7. Левит И. Р. К оценке психофизиологической надежности операторской деятельности / И. Р. Левит, А. В. Швець // Надежность. – 2010. – №3. – С. 77-85.
8. Макаренко М. В. Основи професійного відбору військових спеціалістів та методики вивчення індивідуальних психофізіологічних відмінностей між людьми. – К.: Ін-т фізіології імені О. Богомольця НАН України;

- Наук.- дослід. центр гуманітар. проблем Збройних Сил України, 2006. – 395 с.
9. Макаренко Н. В., Кальниш В. В. Интегральный показатель переработки зрительной информации // Физиология человека. – 1989. – Т.15, № 4. – С. 97–102.
  10. Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. – М.: Наука, 1982. – 288 с.
  11. Ярушкина, Н. Г. Интеллектуальный анализ временных рядов : учебное пособие / Н. Г. Ярушкина, Т. В. Афанасьева, И. Г. Перфильева. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – 320 с.
  12. A multi-modal investigation of behavioral adjustment: post-error slowing is associated with white matter characteristics / A. M. Fjell, L. T. Westlye, I. K. Amlien, K. B. Walhovd // *Neuroimage*. – 2012. – V.61, №1: – P. 195–205.
  13. Aya A. G. Increased risk of unintentional dural puncture in night-time obstetric epidural anesthesia / A. G. Aya, R. Mangin, C. Robert, J. M. Ferrer, J. J. Eledjam // *Canadian Journal of Anaesthesij*. – 1999. – №46(7). – P.665–669.
  14. Cohen M. X. Error-related medial frontal theta activity predicts cingulate-related structural connectivity // *Neuroimage*. – 2011. – V.55, №3. – P. :1373–1383.
  15. Conway G. A. Flight safety in Alaska: comparing attitudes and practices of high- and low-risk air carriers/G.A. Conway, N. A. Mode, M. D. Berman, S. Martin, A. Hill // *Aviation Space and Environmental Medicine*. – 2005. – №76(1). – P.52–57.
  16. Dorrian J. Work hours, workload, sleep and fatigue in Australian Rail Industry employees/ J. Dorrian, S. D. Baulk, D. Dawson // *Applied ergonomics*. -2011.-№42(2). – P.202–209.
  17. Error-related negativity is mediated by fractional anisotropy in the posterior cingulate gyrus—a study combining diffusion tensor imaging and electrophysiology in healthy adults. / L. T. Westlye, K. B. Walhovd, A. Bjørnerud [et al] // *Cereb Cortex*. – 2009 V.19, №2. – P. 293–304.
  18. Harris Z. S. Structural Linguistics / Zellig Harris. – General Books LLC, 2010. – 292 p.
  19. Kalnysh V., Shvets A. Effect of strained work on operators' reliability in 24-hour shift work // *J. of ecology and health*. – 2011. – № 3. – P. 136–141.
  20. Kalnysh V. V., Shvets A. V. Effect of intense 24-hour shift work on reliability of operators' activity // *Human Physiology*. – 2012. – Vol. 38, No. 3. – PP. 294–302.
  21. Lewicki P. STATISTICS Methods and Applications. A comprehensive reference for science, industry, and data mining / Pawel Lewicki and Thomas Hill. – Tulsa OK, USA: StatSoft Inc., 2006. – 832 p.
  22. Lockley S. W. When policy meets physiology: the challenge of reducing resident work hours/S.W.Lockley, C. P. Landrigan, L.K.Barger, C. A. Czeisler; Harvard Work Hours Health and Safety Group// *Clinical orthopaedics and related research*. – 2006. – №449. – P.116–127.
  23. Tvaryanas A. P. Fatigue in pilots of remotely piloted aircraft before and after shift work adjustment/ A. P. Tvaryanas, G. D. MacPherson // *Aviation Space and Environmental Medicine*. – 2009. – №80(5). – P.454–461.
  24. Van Veen V., Carter C. S. Error detection, correction, and prevention in the brain: a brief review of data and theories / Van V. Veen, C. S. Carter // *Clin EEG Neurosci*. – 2006. – V.37, №4. – P. 330–335.

### Characteristic of operators' working reliability using the structural linguistics methods

V. V. Kalnysh<sup>1</sup>, A. V. Shvets<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ukrainian military medical Academy, Kiev

<sup>2</sup>Ri of military medicine AF of Ukraine, Irpen

#### Abstract

In article the original approach for operators' activity reliability research using methods of the structurally-linguistic analysis that allow to receive the additional information concerning formation of operator's chronoalgorithm behavioral reactions under different intensity of information processing and rising a fatigue level has been offered. It has been analyzed seven types of incorrect human reactions using characteristics of their «uniqueness», «variety» and «generality». The relation of this errors' typology from fatigue level and information overloading has been established. The randomness increasing in actions both with fatigue increasing can lead to occurrence of absolutely unpredictable situations at the occupational activity realization by operator and decrease the freedom degrees in decision-making at time deficiency conditions has been revealed.

**Key words:** reliability of occupational activity, the structurally-linguistic approach, erroneous action type, functional mobility of nervous processes.

### Характеристика надежности операторской деятельности методами структурной лингвистики

В. В. Кальниш<sup>1</sup>, А. В. Швец<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Украинская военно-медицинская академия, Киев

<sup>2</sup>НИИ проблем военной медицины ВС Украины, Ирпень

#### Резюме

В статье предложен оригинальный подход для исследования надежности операторской деятельности методами структурно-лингвистического анализа,

который позволил получить дополнительную информацию относительно формирования хроноалгоритма поведенческих реакций оператора при разной интенсивности переработки информации и уровне развития утомления. Проанализировано семь типов ошибочных реакций человека используя характеристики их «уникальности», «разнообразия» и «общности», а также установлена зависимость типологии ошибок по этим характеристикам от уровня утомления и информационной нагрузки. Выявлено увеличение хаотичности действий при повышении утомления, которое может привести к появлению совсем непредсказуемых ситуаций при осуществлении профессиональной деятельности оператором и снижении степеней свободы в принятии решений человеком в условиях дефицита времени.

**Ключевые слова:** надежность профессиональной деятельности, структурно-лингвистический подход, тип ошибочного действия, функциональная подвижность нервных процессов.

#### Переписка

д. биол. наук, профессор В. В. Кальниш  
Украинская военно-медицинская академия  
ул. Саксаганского, 75  
Киев, 01033, Украина  
тел.: +380 (44) 289 46 05  
эл. почта: kalnysh@mail.ru