

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ

КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОБОТОТЕХНІКИ І МЕХАТРОНІКИ

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: «Автоматизована система підбору кадрів»

«Automated personnel selection system»

Виконав: студент 2 курсу, групи 6А
спеціальності 174 – «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

Бурлака О.О.

Керівник: д.т.н., проф. Рудакова Г.В.

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Хмельницький-Херсон – 2025 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ

КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОБОТОТЕХНІКИ І МЕХАТРОНІКИ

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Автоматизована система підбору кадрів»

«Automated personnel selection system»

Виконав: студент 2 курсу, групи 6А
спеціальності 174 – «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

Бурлака О.О.

Керівник: д.т.н., проф. Рудакова Г.В.

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Хмельницький-Херсон – 2025 рік

Херсонський національний технічний університет

Факультет

Інженерії та транспорту

Кафедра

Автоматизації, робототехніки і мехатроніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень

магістр

Спеціальність

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри Автоматизації,
робототехніки і мехатроніки
Сєліверстов І.А.

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Бурлакі Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту:

Автоматизована система підбору кадрів

(Automated personnel selection system).

керівник проекту:

д.т.н., проф. Рудакова Ганна Володимирівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «28» серпня 2025 р. № 364-с

2. Строк подання студентом проекту

« 10 » грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до проекту:

Система повинна виявляти напружений стан тестованого за біофізичними параметрами при проходженні випробувань на тренажері. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Особливості функціонування людини-оператора в організаційно-технічних системах. 2. Системи професійного підбору кадрів. 3. Математична модель людини-оператора як динамічного об'єкту. 4. Автоматизована система професійного підбору кадрів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Класифікація методів оцінки стану. 2. Фізіологічні характеристики людини.

3. Структура багатоканальної системи реєстрації електрофізіологічної інформації.

4. Рекурентний метод найменших квадратів. 5. Результати вимірювань.

6. Результати розрахунків. 7. Адаптивна система управління тестуванням.

8. Блок-схема алгоритму адаптивного управління процесом тестування.

6. Дата видачі завдання _____

« 15 » вересня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Підбір літератури	15.09.25-30.09.25	
2.	Аналіз особливостей функціонування людини- оператора	01.10.25-25.10.25	
3.	Огляд сучасних систем професійного підбору кадрів	26.10.25-12.11.25	
4.	Методи отримання і обробки фізіологічної інформації	13.11.25-30.11.25	
5.	Розробка методів ідентифікації напруженості стану людини- оператора	01.12.25-04.12.25	
6.	Розробка автоматизованої системи професійного підбору кадрів	18.11.25-22.11.25	
7.	Оформлення креслень	23.11.25-28.11.25	
8.	Оформлення пояснювальної записки	29.11.25-02.12.25	
9.	Здача роботи на перевірку	03.12.25-10.12.25	

Студент

_____ (підпис)

О.О. Бурлака

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

_____ (підпис)

Г.В.Рудакова

(прізвище та ініціали)

Номер рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	Шифр документа	Примітка
1	A4		Завдання на проектування	2		
2	A4	ХНТУ 174.КРМ.25.09.РФ	Реферат	2	РФ	
3	A4	ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Пояснювальна записка	73	ПЗ	
4	A1	Демонстраційне креслення	Класифікація методів оцінки стану .	1		
5	A1	Демонстраційне креслення	Фізіологічні характеристики людини .	1		
6	A1	Демонстраційне креслення	Структура багатоканальної системи реєстрації електрофізіологічної Інформації.	1		
7	A1	Демонстраційне креслення	Рекурентний метод найменших квадратів.	1		
8	A1	Демонстраційне креслення	Результати вимірювань	1		
9	A1	Демонстраційне креслення	Результати розрахунків	1		
10	A1	Демонстраційне креслення	Адаптивна система управління тестуванням	1		
11	A1	Демонстраційне креслення	Блок-схема алгоритму адаптивного управління процесом тестування .	1		

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ВР			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Бурлака О.О.			Відомість об'єму роботи	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.		Рудакова Г.В.					4	1
Н. Контр.						ХНТУ, гр.6А		
Затверд.		Селівєрстов І.А.						

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота складається із пояснювальної записки та графічної частини.

Пояснювальна записка містить – 73 сторінки, 18 рисунків, 3 таблиці, 1 додаток.

Графічна частина – 8 аркушів формату А1.

Метою цього проекту є створення автоматизованої системи підбору кадрів.

Проведено аналіз особливостей функціонування людини-оператора. Наведено опис причин виникнення помилок та психічних процесів. Обґрунтовано, що при тестуванні людини необхідно враховувати психофізіологічний стан для оцінювання компетенцій кандидата. Проаналізовано методи вимірювання електрофізіологічних показників стану особи.

Розроблена система визначення стану людини-оператора. Система призначена для визначення стану оператора для попередження допущення ним помилок при роботі. Розроблена структурна та функціональна електрична схеми системи визначення стану оператора. Розроблений алгоритм для реалізації системи розпізнавання стану.

Розроблену систему визначення стану оператора можна широко використовувати в сучасних системах тестування кадрів на профпригодність. А саме – спеціалізованих тренажерах.

ПІДБОР КАДРІВ, СТАН ЛЮДИНИ-ОПЕРАТОРА, ПОВЕДИНКА ОПЕРАТОРА, ШКІРНО-ГАЛЬВАНІЧНИЙ ЕФЕКТ, ЕЛЕКТРО-ШКІРЯНИЙ ОПІР, ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА.

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.РФ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Бурлака О.О.</i>			Реферат	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Рудакова Г.В.</i>					5	2
<i>Н. Контр.</i>					ХНТУ, гр.6А			
<i>Затверд.</i>		<i>Сєліверстов І.А.</i>						

THE ABSTRACT

The qualification work consists of an explanatory note and a graphic part.

The explanatory note contains 73 pages, 18 figures, 3 tables, 1 appendix.

The graphic part is 8 sheets of A1 format.

The purpose of this project is to create an automated recruitment system.

The features of the functioning of a human operator are analyzed. The causes of errors and mental processes are described. It is substantiated that when testing a person, it is necessary to take into account the psychophysiological state to assess the candidate's competencies. Methods for measuring electrophysiological indicators of a person's condition are analyzed.

A system for determining the state of a human operator has been developed. The system is designed to determine the state of the operator to prevent him from making errors during work. A structural and functional electrical diagram of the system for determining the state of the operator has been developed. An algorithm has been developed for implementing the state recognition system.

The developed system for determining the state of the operator can be widely used in modern systems for testing personnel for professional suitability. Namely, in specialized simulators.

RECRUITMENT OF PERSONNEL, HUMAN OPERATOR STATE, OPERATOR BEHAVIOR, SKIN-GALVANIC EFFECT, ELECTRO-SKIN RESISTANCE, DECISION MAKING, MICROCONTROLLER SYSTEM.

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.РФ	Арк.
						6
ЗМН.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
1 ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛЮДИНИ-ОПЕРАТОРА В ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ	11
1.1. Помилки людини-оператора.....	11
1.2. Керуючі дії людини – оператора.....	15
1.3. Психомоторні особливості людини.....	16
1.4. Психофізіологічні стани людини.....	17
1.5. Функціональні стани людини оператора	18
1.6. Професійний досвід.....	20
2 СИСТЕМИ ПРОФЕСІЙНОГО ПІДБОРУ КАДРІВ	22
2.1 Тренажерна підготовка	22
2.2 Методи оцінки стану.....	26
2.3 Основні фізіологічні показники оператора	28
2.4 Методи отримання і обробки фізіологічної інформації.....	32
2.5 Методи відтворення стресового стану.....	37
3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЛЮДИНИ-ОПЕРАТОРА ЯК ДИНАМІЧНОГО ОБ'ЄКТУ	39
3.1 Математична модель людини-оператора в «просторі станів»	39
3.2 Ідентифікація параметрів моделі в реальному часі	40
3.3 Приклад обробки експериментальних даних	42
3.4 Висновки до розділу 3	50
4 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПРОФЕСІЙНОГО ПІДБОРУ КАДРІВ. 52	
4.1 Мікроконтролерна система вимірювання електрофізіологічних параметрів людини.....	52
4.1.1 Структура мікроконтролерній системи моніторингу станів	54
4.1.2 Програмне забезпечення організації обміну інформацією	57
4.2 Контроль тестувального процесу	60
4.3 Висновки до розділу 4	61
ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64
ДОДАТОК А	68

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АСК – автоматизована система керування;

ЕЕГ – електроенцефалограма;

ЕКГ – електрокардіограма;

ЕМГ – електроміограма;

ЕОГ – електроокулограма;

ЛО – людина-оператор;

МВ - мовна відповідь;

МП – мікропроцесор;

ОС – операційна система;

ПГ – пневмограма;

ПД – помилкові дії;

ПЗП - постійний запам'ятовуючий пристрій;

ПЛК – програмований логічний контролер;

СЛМ – система "людина - машина";

ЦНС – центральна нервова система;

ЧСС - частота серцевих скорочень;

ШГР - шкірно-гальванічна реакція.

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Ефективність функціонування будь-якого підприємства тісно пов'язана з людським фактором. Основною метою функціонування кожного працівника підприємства є зведення до мінімуму ризиків, прагнення прорахування усіх можливих варіантів розвитку подій. Однією з найбільш типових причин помилкових дій, що призводять до порушення нормального ходу трудової діяльності і неможливості отримання очікуваного результату або досягнення поставленої мети, є недостатня професійна підготовка працівників та відсутність достатньо сформованих трудових навичок. Для подальшого запобігання помилкових дій, які обумовлені неправильною суб'єктивною переробкою інформації, необхідно застосовувати міри, що спрямовані на обґрунтований підбір кадрів з певною кваліфікацією.

Сучасні працівники повинні мати певні професійні знання, уміння та навички, що придбаються під час попередньої теоретичної та практичної підготовки [1]. Тому актуальним завданням є оптимізація керування процесом відбору фахівців з метою виявлення певних професійних компетенцій: як універсальних (соціально-особистісних і загальнокультурних, загальнонаукових, інструментальними), так й професійних (експлуатаційно-технологічними і сервісними, організаційно-управлінських, виробничо-технологічних, науково-дослідних, науково-педагогічних).

У зв'язку з цим актуальною науково-технічною задачею є розробка методів створення автоматизованих систем керування процесом відбору фахівців на основі компетентнісного підходу, що дозволить значно підвищити ефективність процесу оцінки кандидатів.

Метою досліджень є підвищення ефективності процесу підбору кадрів на основі компетентнісного підходу за рахунок застосування автоматизованої системи ідентифікації стану людини шляхом аналізу психофізичних показників.

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні основні завдання:

1. Проведення аналізу особливостей функціонування людини-оператора в організаційно-технічних системах.
2. Здійснення аналізу систем підбору кадрів із застосуванням тренажерної підготовки.
3. Розробка методів ідентифікації напруженого стану людини на основі обробки інформації про біофізичні показники від підсистеми моніторингу.
4. Обґрунтування структури автоматизованої системи керування процесом відбору кадрів та розробка комплексу рекомендацій щодо практичної реалізації її складових.

Об'єкт дослідження. Автоматизовані системи керування процесом відбору кадрів.

Предмет дослідження. Моделі, методи та засоби побудови автоматизованих систем керування процесом відбору кадрів при тренажерної підготовці на основі компетентнісного підходу.

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						10
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1 ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛЮДИНИ-ОПЕРАТОРА В ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

Надійність складних високо відповідальних систем істотно залежить від надійності оперативного персоналу [2-5]. Це призводить до того, що проблема забезпечення їх надійності стає ключовою проблемою сучасної техніки. Для надійності складних людино-машинних систем, таких як АСК, особливо важливе значення має вплив суб'єктивних факторів. Численними дослідженнями встановлено, що від 25 до 40% відмов АСК спричиняється дефектами обслуговування: порушенням інструкцій при експлуатації, помилками в сприйнятті сигналів, запізненням і помилками в діях оператора і т.д.

1.1. Помилки людини-оператора

Надійність роботи людини визначається як потреба успішного виконання ним роботи або поставленого завдання на заданому етапі функціонування системи протягом заданого інтервалу часу за певних вимогах до тривалості виконання роботи. Помилка людини визначається як невиконання поставленого завдання (або виконання забороненої дії), що може стати причиною пошкодження обладнання або майна або порушення нормального ходу запланованих операцій. У реальних умовах у більшості систем незалежно від ступеня їх автоматизації потрібно в тій чи іншій мірі участь людини. Там, де працює людина, з'являються помилки. Вони виникають незалежно від рівня підготовки кваліфікації або досвіду. Тому прогнозування надійності устаткування без урахування надійності роботи людини не може дати істинної картини. Помилки з вини людини можуть виникнути в тих випадках, коли оператор або будь-яка особа прагне до досягнення помилковою метою; поставлена мета не може бути досягнута через

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

неправильні дії оператора; оператор діє в той момент, коли його участь необхідної [6, 67]. Тобто помилкою можна назвати ненавмисну неправильну дію.

Помилка оператора - вид відмови ЛО, що складається в будь-якому порушенні встановленого йому алгоритму діяльності. У системах «людина - машина» (СЛМ), крім поняття "помилка", використовуються і поняття «похибка», «промах» і «відмову». Похибка - допускаються оператором в межах заданих значень регульованих параметрів, є нормативним явищем, вони не порушують нормального функціонування СЛМ; Промахом називають грубі, випадкові помилки, які обумовлені, як правило, недостатньою увагою оператора; їх виявляють зазвичай шляхом повторення вимірювання, причому роблять це через деякий час, коли оператор вже забув отримані дані [8, 9]. Відмовою систем "людина - техніка" прийнято називати втрату системою таких властивостей, без яких вона не може виконувати покладені на неї функції. Відмова оператора проявляється або у виході за допустимі межі важливих показників його життєдіяльності, або в неправильних діях, які призвели до відмови СЛМ. За природою виникнення «відмови» людини поділяються на такі категорії:

- психологічні (Ψ-відмови) проявляються у оператора в неправильному сприйнятті інформації (сенсорна помилка) або в неправильній оцінці ситуації, у прийнятті помилкового рішення (логічна помилка), або в неправильній реалізації цього рішення (помилка виконавчих дій). Такі помилки тягнуть за собою порушення нормального функціонування системи або зниження ефективності його застосування;

- фізіологічні (Ф-відмови) виражаються у виникненні таких стійких змін в організмі оператора, які тимчасово виводять його з працездатного стану;

- демографічні (Д-відмови), які проявляються в повній і безповоротній витраті оператором можливості виконання покладених на нього функцій.

Виходячи із здатності ЛО протистояти відповідних категорій відмов, іноді виділяється: Ψ - надійність, Ф - надійність і Д - надійність оператора.

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Відмови людини іноді поділяються також на активні і пасивні. До активних відмов відносяться помилки в діях, пізнанні, виконанні інструкції, а до пасивних - помилки пам'яті, уваги. Важливим, з точки зору практичного використання СЛМ, є розподіл відмов людини і техніки за характером їх наслідків. В залежності від функцій, виконуваних системою, в ній можуть діагностуватися певні категорії наслідків її відмов. Серед них виділяються аварійні відмови, які можуть стати причиною руйнування обладнання, травм або навіть загибелі людей. Крім того, "відмови" операторів, також, як і відмови технічних пристроїв, поділяються на:

- раптові і поступові (характеристики відхиляються від норми стрибком або плавно);
- часткові (коли повністю або частково перестає виконувати покладені на нього функції) або часткова ланка перестає виконувати покладені на нього функції);
- явні і неявні (коли є або відсутня інформація про виникнення відмови).

Помилки класифікуються в ряду ознак: за зовнішнім проявом, за місцем помилки в структурі діяльності, за наслідками, за характером відображення помилок у свідомості оператора, за причинами виникнення, за показником особистого фактору [10]. Класифікацію помилок людини-оператора наведено на рис. 1.1.

При аналізі причин помилок ЛО на практиці насамперед розглядається можливість людини при управлінні СЛМ. Це якоюсь мірою зводить причини помилок до негативних індивідуальних якостей оператора. Як показує практика, не менша кількість помилок допускається і цілком успішними (за своїми особистими якостями) операторами. Таким чином, на появу помилок впливають як індивідуальні характеристики конкретної людини-оператора, так і зміст, умови та організація діяльності людини [11].

Під поняттям групового фактора розуміють сукупність професійно значущих психологічних, фізіологічних, антропометричних і соціальних особливостей і можливостей людини, властивих всьому контингенту

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

операторів певного профілю діяльності і визначають особливості конкретних технічних засобів та окремих їх компонентів.



Рис. 1.1 – Класифікація помилок людини-оператора

Будь-яка велика інформаційна система не може повністю працювати в автоматичному режимі. Завжди знайдуться операції, які в силу своєї специфіки неможливо або дуже «дорого» автоматизувати [12]. Чим більше таких операцій, особливо в основний технологічному ланцюжку роботи інформаційної системи, тим більш залежною вона стає від індивідуальних властивостей людини. Зазначимо ряд типових характеристик людини, що взаємодіє з інформаційною системою, від яких залежить і його здатність приймати рішення в штатних і аварійних ситуаціях:

- здатність до адаптації;
- здатність до стомлення;
- здатність до відпочинку;

- можливість попускання помилки;
- здатність до прийняття рішення ;
- здатність до запам'ятовування інформації;
- здатність переносити інформаційне перевантаження;
- здатність до навчання.

Одним з важливих питань у обговорюваної проблеми є питання «кваліфікації» співробітника, що обслуговує інформаційну систему. Співробітники з низькою кваліфікацією і новачки повинні обов'язково проходити етапи навчання і тренування роботи з системою, яка, в свою чергу, повинна бути добре документована.

1.2. Керуючі дії людини – оператора

Будь-яка дія складається з окремих рухів. Принципова відмінність руху від дії полягає в тому, що дія завжди цілеспрямовано, а рух не обов'язково. Дія виступає змістом психічного акту, а рух - формою. Всі елементарні дії (рухи) на думку А.В. Запорожця поділяють на три групи: робочі (виконавчі), гностичні (орієнтовно-пізнавальні) і пристосувальні (пози, установки і т.п.).

Виконавча дія - це придбане в результаті навчання і повторення вміння (навичка) вирішувати трудову завдання, оперуючи знаряддями праці (ручний інструмент, органи управління і т. п.) із заданою точністю та швидкістю. З цією метою він використовуються «вихідні канали»: руховий (моторний) або мовний. Методичну основу виконавчих дій склав моторно-часовий аналіз елементарних дій та операцій. Зазвичай виконавчі дії входять як компонент в більш широкі структури трудової діяльності і забезпечують її ефективне виконання поряд з такими компонентами, як пізнавальні (когнітивні), включаючи і прийняття рішення.

В залежності від виду трудової діяльності питома вага виконавчих дій може бути дуже різною [13]. Ці дії можуть вчинятися або епізодично, або займати весь робочий час. Іншими словами, в структурі діяльності в цілому

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вони можуть займати місце основної мети або виступати в якості засобу її досягнення, наприклад передачі команди, реалізації прийнятого рішення і пр. В останньому випадку виконавчі, моторні акти, як правило, прості і не вимагають тривалого навчання. У тих випадках, коли виконавчі дії складають основний зміст діяльності (робота з ручним інструментом, робота верстатника, водійські професії, робота телеграфіста, оператора, робота в режимі стеження) потрібен тривалий формування відповідних умінь і навичок, що забезпечують своєчасне і точне виконання трудової діяльності.

1.3. Психомоторні особливості людини

Розглянуті характеристики рухів переломлюються в психомоторної організації людини в його властивості. Термінологічно ці властивості позначають по-різному: «рухові здібності», «рухові якості», «фізичні якості», «психомоторні якості (або здатності)». До основних психомоторним властивостям зазвичай відносять:

Сила - граничний рівень фізичної напруги (зусилля), що розвивається основними групами скелетних м'язів індивіда.

Швидкість - притаманна індивіду швидкість (середня і максимальна) виконання рухів.

Координованість - узгодженість різних рухів в часі, просторі і по силі з метою досягнення певного рухового результату.

Спритність - високий ступінь координованості і швидкості в поєднанні з економічністю і раціональністю рухів [14].

Витривалість - здатність до підтримки заданого рівня рухових характеристик (сили, швидкості, точності, модальності, координованості, темпу, ритму) при тривалому або багаторазовому виконанні рухів.

Пластичність - узгодженість амплітуд рухів, що дозволяє плавно переходити від одного руху до іншого, об'єднуючи їх у цілісний комплекс з єдиним виразним ефектом.

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Робітничі рухи - це рухи з виконання трудових операцій і професійної діяльності. В структуру робочих рухів можуть входити і макро- і мікрорухи. В результаті багаторазового повторення безліч робочих рухів стають професійними навичками. Характерною особливістю робочих рухів є їх виконання в специфічних умовах трудової діяльності. Головна ж специфіка полягає у використанні знарядь праці, тобто різних пристосувань для ефективного впливу на предмет праці [15]. Знаряддя праці різко розширюють можливість наших природних органів щодо перетворення дійсності. У першу чергу це відноситься до руки. Еволюція робочих рухів є одночасно і процес історичного розвитку праці. Три основні характеристики одиничних рухів (точність, швидкість, сила) є і основними компонентами трудових дій.

У психолого-технологічному аспекті робочі рухи поділяють на: загальні, специфічні, основні, додаткові, необхідні, зайві, звичайні, аварійні, правильні, помилкові, технологічні, поправочні, економічні, неекономічні. Спектр робочих рухів практично невичерпний, оскільки визначається всієї сукупністю трудових дій [16].

1.4. Психофізіологічні стани людини

Ефективність багатьох видів трудової діяльності визначається успішністю виконання людиною своїх професійних функцій і можливістю подолання впливу зовнішніх екстремальних умов. Стан - непостійний нервовий статус, в якому застрягла дія подразника. Безсумнівно, він має значення. Припустимо, що стан індивіда, що знаходиться в нормі, коливається навколо деякої типової для нього середньої; ця середня, як і розмах коливань, обумовлена тією ж індивідуальністю, типом інакше й саме по собі поняття індивідуальності втрачає сенс. Напруженість нервової праці в цілому залежить від індивідуальних особливостей суб'єкта [6].

Виділимо певні, важливі для нас фізіологічні методи. Електроенцефалографія (визначення α -індексу; знаходження максимальної

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

амплітуди α -ритму, визначення рівня асиметрії висхідних і низхідних фаз хвиль, проведення кореляційного аналізу; вимір періодів хвиль; визначення синхронізаційних – десинхронізаційної реактивності; аналіз викликаних потенціалів). Переважання α -ритму - вагома умова навіть ще не дрімоти, а поки тільки емоційної розслабленості. Коли оператор починає надто хвилюватися - по електроенцефалограмі біжать відповідні ритми, а реєстратори відзначають почастищення пульсу, артеріального тиску, зміни в електричній провідності шкіри або шкірному електроопорі [17].

При виборі або розробці методів дослідження психофізіологічних станів оператора потрібно враховувати, що ці стани взаємопов'язані, динамічні і ситуативне обумовлені [14]. Тому завдання які можуть вирішуватися діагностикою функціональних станів: визначення готовності людини до майбутньої діяльності, встановлення переходу людину в стадію динамічного неузгодження , реєстрування моменту зміни стану, визначення здатності оператора виконувати роботу при заданому навантаженні, порівняння реєстрація моменту зміни стану, визначення здатності людини оператора до і після виконання дій [15].

1.5. Функціональні стани людини оператора

Поняття «стан» в даний час є загально методологічною категорією [15]. Термін «стан» відноситься до числа метапонятій, а не власне психологічних категорій поряд з термінами «функція», «система», «процес», «властивість» та ін. Існують різні підходи до розуміння сутності психічних (психофізіологічних) станів.

Психічний стан є цілісна інтегральна характеристика діяльності всіх її елементів, що беруть участь в даному психічному акті, а функціональний стан характеризує процеси регуляції у фізіологічних системах, що забезпечують психічну діяльність. В інженерній психології прийнято розглядати функціональні стани ЛО [13].

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Функціональний стан ЛО - це комплекс характеристик функцій і якостей людини, як прямо або побічно обумовлюють його трудову діяльність, це фонові активність нервової системи, в умовах якої реалізуються поведінкові акти. Функціональні стани людини оператора залежить від наступних факторів:

- 1) особливостей і характеру виконуваної діяльності;
- 2) значимість мотивів, що спонукають до діяльності;
- 3) величина сенсорної навантаження;
- 4) вихідний рівень активності нервової системи;
- 5) індивідуальні особливості ЦНС (темпераменту);
- 6) швидкості і точності рухових реакцій;
- 7) фактори зовнішнього середовища.

Психічні (функціональні) стани визначають перебіг психічних процесів: увага, сприйняття, мислення, пам'ять, уява, уявлення, що відповідальні за прийом, переробку інформації і прийняття рішення [5].

В залежності від типу діяльності, яку вони супроводжують, стани бувають:

1. Стани особистісні і ситуативні. Перші виражають індивідуальні властивості людини, Другі - особливості ситуацій, які часто викликають у людини не характерні для нього реакції. Мова йде про типові або не типових для людини реакціях на ситуацію.

2. Стани більш глибокі і більш поверхневі. Мова йде про те, наскільки сильно виражено ту чи іншу сутність людини. Стани, позитивно чи негативно діють на людину. Одні стани діють на людину благотворно, інші шкідливі для нього. Абсолютною кордону немає. Злість може як заважати людині («засліплювати» його розум), так і допомагати мобілізувати можливості.

3. Стани тривалі й короткі. Одні стану тривають хвилини, інші - добу і більше.

4. Стани більш менш усвідомлені. Неуважність є неусвідомлюваним

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

психічним станом, а рішучість – свідома [9].

Ергономіста (інженера-психолога) цікавлять ті стани, які є: наслідком якості організації праці оператора, наслідком забезпечення його інформацією, засобами управління, інтенсивності впливу на нього факторів зовнішнього середовища.

Функціональні стани людини оператора різняться ступенем активності його функціональних систем (функціональним рівнем). У зв'язку з цим можна говорити про стани спокою та робочі функціональні стани. Останні змінюються в процесі роботи людини, у зв'язку з чим виділяють фази зміни працездатності: передстартову, стартову, впрацьовування, стійкої працездатності, втоми і відновлення [15].

1.6.Професійний досвід

Професійний досвід - складна система, яка зовні виступає як сукупність способів, прийомів і правил вирішення трудових завдань. Їх виконання навчанні та професійній діяльності і забезпечують виконання трудових функцій, підтримання позитивного соціально-психологічного клімату і нормального функціонування систем організму. Професійний досвід людини вказує на його професійну майстерність, що оцінюється кількісними показниками виконання діяльності (швидкість, точність), а не тільки загальним стажем роботи, вказує, як досягнутий рівень майстерності: кількість вправ, їх характер, зацікавленість, спрямованість до високих досягнень, також зазначає, як удосконалюються механізми виконання і контролю діяльності [10]. Професійний досвід включає вказівки індивідуальних можливостей розвитку, тренування, вдосконалення. Професійний досвід може розглядатися як формування та придбання навику. Етапи формування досвіду : осмислення досвіду - виразне розуміння мети, але неясне розуміння способів її досягнення; грубі помилки при спробах виконання дії; свідоме, але невміле виконання - виразне розуміння, як треба

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконувати дію, але неточне, нестійке виконання його, незважаючи на інтенсивну концентрацію уваги, безліч зайвих рухів, відсутність позитивного перенесення даного навички; автоматизація навички - якісне виконання дії при тимчасовому зменшенні уваги [9].

Людина, як ланка будь-якої СЛМ, безумовно, впливає на показники надійності та ефективності (повноти, достовірності, своєчасності обробки інформації) інформаційної системи в цілому і її окремих підсистем і завдань. Методологія оцінки впливу людського фактору на роботу системи є змішаною дисципліною, в якій необхідно враховувати вплив помилок людини на її надійність, а також психологічні особливості людини як ланки цієї інформаційної системи. Вплив людського фактору, а саме операторів, обслуговуючого персоналу на роботу інформаційної системи може бути кількісно визначено ступенем впливу помилок персоналу на безпеку і продуктивність інформаційної системи. Багато процесів в людино-машинних системах містять потенційні можливості для помилок персоналу, особливо в тих випадках, коли час, яким володіє оператор для прийняття рішень, обмежена [15]. При цьому вірогідність того, що проблеми будуть розвиватися негативним чином, часто мала. Часом дії з боку персоналу обмежуються можливістю запобігання початкової несправності, прогресуючої в напрямку аварійної ситуації. Тим не менш, необхідно ідентифікувати різноманітні типи помилкових дій, які можуть мати місце.

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 СИСТЕМИ ПРОФЕСІЙНОГО ПІДБОРУ КАДРІВ

Забезпечення ефективності та надійності діяльності в значній мірі визначається рівнем професійної придатності людини-оператора, в формуванні якої важливе місце належить підготовці фахівців, їх навчання і тренуванню.

2.1 Тренажерна підготовка

Для професійної підготовки людини-оператора важливе значення надається створенню і використанню технічних засобів (тренажерів, стендів, спеціалізованих пристроїв). Одна з основних переваг використання технічних засобів підготовки полягає в тому, що вони надають можливість освоювати і закріплювати навички предметних дій в задачах, адекватних реальних ситуацій, а також оцінювати успішність підготовки за прямими показниками ефективності та надійності діяльності. Аналіз існуючих технічних засобів підготовки свідчить про їх недостатню конструктивну та експлуатаційну ефективність [18].

Удосконалення засобів і методів тренажерної підготовки операторів визначає необхідність вирішення комплексу проблем, в тому числі вивчення особливостей моделювання задач операторської діяльності, обґрунтування рекомендацій до засобів та методів оцінки рівня підготовленості операторів на тренажері, розробка рекомендацій по використанню технічних засобів для розвитку професійно важливих якостей (компетенцій) і формування їх професійно орієнтованих структур.

З метою досягнення психологічної подібності засобів навчання змісту і умовам реальної діяльності зростає увага до питань моделювання екстремальних ситуацій і станів людини-оператора. Найбільш типовими функціональними порушеннями в процесі діяльності є стани гострого стомлення, нер-

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вово-психічного перенапруження, зниження пильності, ряд «важких» психічних станів і інші.

Навчальна ефективність тренажерів залежить не тільки від їх якості, а й від методики застосування і прийомів оцінки рівня підготовленості оператора. Процес тренування проявляється як у вдосконаленні якості діяльності, так і в оптимізації при цьому нервово-психічних реакцій у учня. Оцінка рівня підготовленості тільки за прямими показниками успішності виконання завдання за допомогою інструктора не завжди достовірна. Зокрема висока оцінка може бути досягнута за рахунок надлишкового напруження сил, роботи на межі психофізіологічних можливостей. При цьому надійність діяльності знижується, що особливо проявляється в ускладнених ситуаціях.

Тренування пов'язане з робочим навантаженням, яке відбивається на стані ряду функціональних систем організму учня. Ступінь цього навантаження змінюється в міру засвоєння завдання, формування раціональних способів дій, економізації енергетичних і інтелектуальних зусиль. Тому для характеристики якості навички, ступеня засвоєння завдання необхідно використовувати показники не тільки успішності виконання діяльності, але і функціональної «вартості» досягнення практичних результатів.

Встановлено [19], що психофізіологічні показники в процесі виконання завдання на тренажері в першу чергу вказують на ступінь енергетичної, інформаційної та психічної навантажень, тобто об'єктивно свідчать про складність конкретної справи і окремих її елементів для даної людини. Вони відображають динаміку становлення і перебудови навичок, ступінь їх сформованості та функціональної надійності організму, тому психофізіологічні реакції під час діяльності можуть бути показником ступеня її освоєння.

У міру становлення досвіду і поліпшення якості діяльності (зменшення помилки роботи на тренажері) відзначається зниження частоти пульсу і збільшення резервів уваги до рівня, відповідного складності виконуваного завдання. При нервово-психічному (емоційному) напруженні відбувається зміна багатьох функцій організму, але для оцінки рівня підготовленості на тре-

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нажері найбільш інформативними виявилися показники частоти серцевих скорочень, об'єм легеневої вентиляції, величина резервів уваги, зусиль затиску органів управління і частота дихання [20].

Аналіз динаміки показників якості управління і психофізіологічних функцій при тренуванні на тренажері дозволяє умовно виділити в тренувальному процесі чотири стадії.

Перша - відображає процес з'ясування завдання і способів її рішення. Вона зазвичай супроводжується високими функціональними реакціями.

Друга - стадія активного формування досвіду, що характеризується істотним поліпшенням якості управління і зниженням нервово-психічної напруги.

Третя - стадія закріплення навички, стабілізації показників якості керування і психофізіологічних функцій, стадія стійкої і надійної роботи.

Четверта стадія може проявитися в тому випадку, коли процес відпрацювання якоїсь конкретної вправи надмірно затягнувся, в учнів знизився інтерес і з'явилося байдуже ставлення до тренування. При цьому поряд зі зниженням рівня нервово-емоційної напруженості відзначається збільшення помилок керування.

Динаміка показників, характерна для четвертої стадії, може спостерігатися і на початкових етапах тренування, що вказує на відсутність у учня позитивного ставлення до тренувань і прагнення якісно виконати вправу. Розглянемо результати використання показників фізіологічної оцінки діяльності для оцінки рівня підготовленості в період виконання особами, що навчаються, контрольній вправи на тренажері. При цьому зіставлення оцінки якості виконання завдання з динамікою психофізіологічних реакцій можна представити у вигляді чотирьох типових варіантів (табл. 2.1).

Таким чином, оцінка ступеня нервово-психічної напруги при виконанні кожної вправи водночас з якістю виконання завдання дозволяє виявити рівень компетенцій людини, що претендує на певну посаду. До того ж для оцінки ступеня нервово-психічної напруги і рівня підготовленості людини

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідно визначення норми психофізіологічних реакцій для кожної вправи, типу тренажера.

Таблиця 2.1 – Оцінка рівня підготовленості

№ п/п	Якість виконання завдання	Рівень фізіологічної реакції	Прийняте рішення про рівень підготовки
1.	Низька	Вище норми	Необхідно пройти повторне навчання
2.	Добра	Іноді вище норми	Необхідно відпрацювати деякі елементи
3.	Висока	В межах норми	Підготовку пройдено
4.	Низька	В межах норми	Необхідно виявити причину відсутності інтересу до навчання

Особливістю тренажерної підготовки є відтворення реалістичних умов, в яких опиняється людина при виконанні своїх професійних обов'язків та мусить приймати рішення. В цьому випадку напруженість стану оператора зазвичай підвищується при керуванні будь-яким процесом в реальному часі, особливо в умовах дефіциту часу [21]. Чим вище рівень компетентності (професійної підготовки) людини, тим нижче рівень напруженості її стану. При таких обставинах людина може швидше справлятися з більш складними завданнями.

Постійний моніторинг рівня напруженості стану людини дозволяє своєчасно виявити передстресові та стресові стани, вжити певні заходи щодо стабілізації ситуації. Для визначення рівня професійної компетентності оцінюється якість та майстерність засвоєння знань, умінь та навичок, мотивація, активність та успішно виконані завдання з розв'язання практичного навчання.

Ідентифікація стану людини може здійснюватися на підставі визначення біологічних параметрів під час виконання операцій різного характеру.

2.2 Методи оцінки стану

Метою встановлення стресового стану людини є з'ясування його можливостей щодо забезпечення нормальної трудової діяльності в різних умовах. До всіляких станів людини, які надають сприятливий або негативний вплив на перебіг трудової діяльності, відносять: стомлюваність, монотонно, напруженість, різні форми емоційного стресу, що викликаються дією екстремальних факторів. На практиці для оцінки стану людини використовують вимірювання різних біофізичних параметрів, вихід за певні межі яких свідчить про зміну стану [22]. Однак, при вирішенні діагностичних завдань з визначення стану людини, встановлено, що фізіологічні характеристики в певній ситуації широко варіюються у різних людей.

У той же час спостерігається відносна сталість реакції в однієї людини в фіксованих умовах [22]. Це дозволяє оцінювати стан певної людини шляхом вимірювань і їх відповідної обробки різними існуючими методами. Класифікація існуючих методів оцінки стану людини приведена на рис. 2.1. Права гілка оцінки стану (1, 4, 12, 13) відповідає найбільш складному методу, який ґрунтується на використанні даних, отриманих шляхом взяття аналізів.

Іншим (психологічним) засобом діагностики стану є використання різного роду тестів, що відповідає гілки (1, 3, 9, 10, 11). Для діагностики в цьому випадку використовуються тести, що характеризують ефективність різних психічних процесів при вирішенні відповідних поведінкових завдань [17]. Для діагностики стану в цьому випадку використовується будь-яка методика, розроблена в експериментальній психології, за допомогою якої можливо оцінити ефективність процесів сприйняття, пам'яті, мислення. Такі тести широко використовуються в сучасній діагностичній практиці, в основному при профвідборі. До психологічних методів оцінки стану зазвичай включають і

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

часні технічні засоби дають можливість здійснювати одночасно реєстрацію кількох різних параметрів. Безпосередній аналіз отриманих даних у разі різноспрямованого вимірювання параметрів досить складний [21]. Тому при визначенні стану пріоритетним є використання математичної обробки результатів вимірювань.

2.3 Основні фізіологічні показники оператора

Застосування фізіологічних методів в інженерній психології обумовлено наступними обставинами [23]:

- Фізіологічні характеристики мають важливе значення для контролю стану оператора.
- Будь-який психологічний прояв має фізіологічну основу.
- У клінічній практиці і фізіології праці накопичено певний досвід обробки і аналізу фізіологічних характеристик; є також багатий арсенал приладів для проведення фізіологічних вимірювань. Приклади фізіологічних характеристик наведено на рис. 2.2.

В якості можливих індикаторів стану розглядаються найрізноманітніші показники [24]. До їх числа, насамперед, відносяться електрофізіологічні показники: електроенцефалограма (ЕЕГ), електроміограма (ЕМГ), шкірно-гальванічна реакція (ШГР), частота серцевих скорочень (ЧСС), електрокардіограма (ЕКГ), тонус судин, величина діаметра зіниці, артеріальний тиск, спірометрія, пневмограма і інші.

1. Електроенцефалограма (ЕЕГ) характеризує спонтанну електричну активність головного мозку. В спектрі ЕЕГ містяться різні складові: дельта-ритм (частота коливань 0,5 - 4,0 Гц), тета-ритм (5,0 - 7,0 Гц), альфа-ритм (8,0-12,0Гц), бета-ритм (15 - 35 Гц), гамма-ритм (35-100 Гц). Переважання низькочастотних коливань (дельта- і тета-ритми) свідчить про настання гальмівного процесу (сон, ослаблення пильності та уваги, стомлення і т.п.). Наявність альфа-хвиль характеризує стан нормальної синхронізації основних нер-

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вових процесів. Вони є домінуючими у здорової людини, що знаходиться в стані оперативної готовності до діяльності. Переважання високочастотних коливань вказує на процес «збудження» в корі головного мозку. Це буває характерним при виникненні психофізіологічної напруженості під час роботи, свідчить про виникнення емоційних станів.

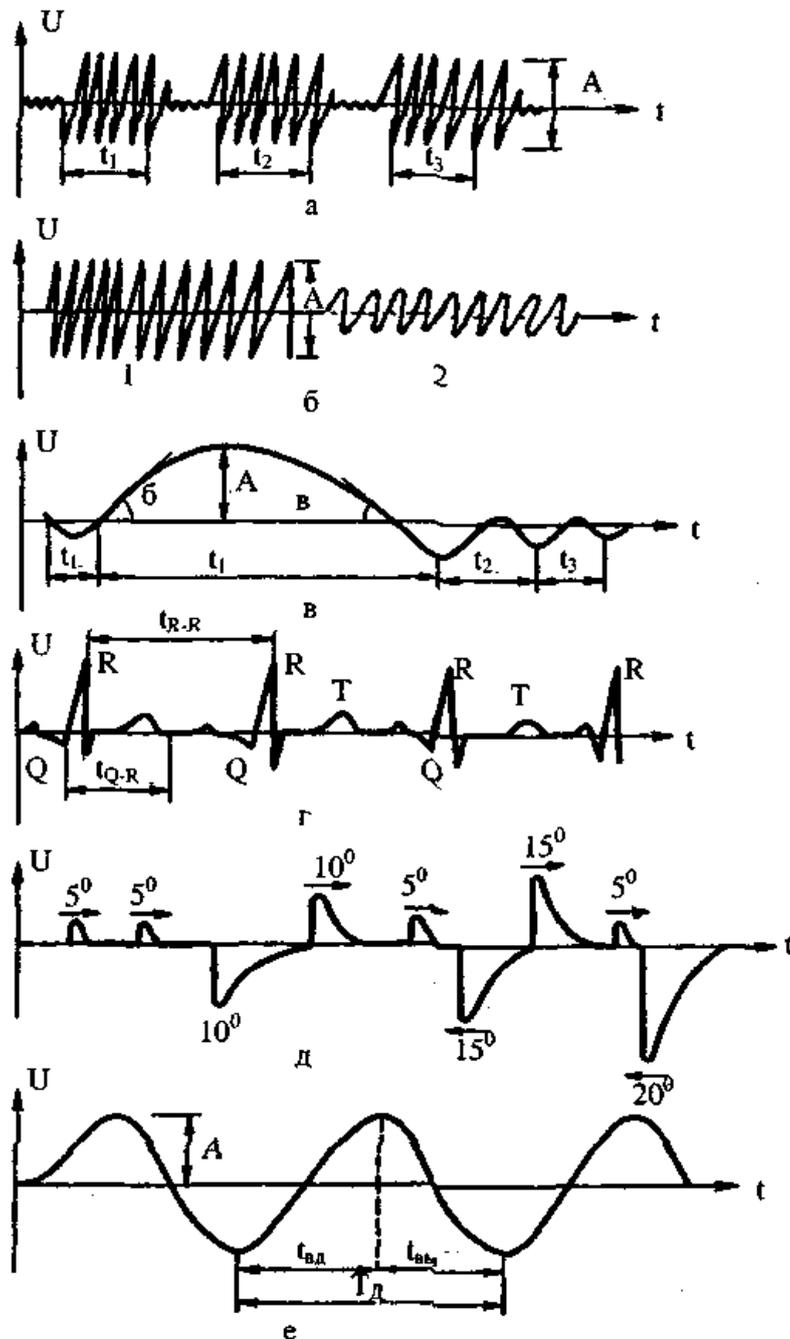


Рис. 2.2 – Приклад фізіологічних характеристик людини:

а) – електроенцефалограма; б) – електроміограма; в) – шкірно-гальванична реакція; г) – електрокардіограма; д) – електроокулограма; е) - пневмограма

2. Електроміограма (ЕМГ) являє реєстрацію біопотенціалів м'язів людини. ЕМГ служить досить чутливим об'єктивним показником включення в динамічну або статичну роботу окремих груп м'язів. Такий аналіз необхідний при вивченні робочої пози і керуючих рухів оператора. Сумарна біоелектрична активність м'язів оцінюється показником

$$A_M = \frac{\sum_{i=1}^n A_i t_i}{T},$$

де A_i і t_i - відповідно амплітуда і тривалість i -го м'язового скорочення; T - період спостереження. За допомогою ЕМГ можна реєструвати також стомлення людини. При втомі зменшується сумарна активність м'язів і середня амплітуда коливань [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

3. Шкірно-гальванічна реакція (ШГР) характеризує зміну електричного опору або різниці потенціалів шкіри. ШГР є одним з найбільш результативних способів реєстрації виникнення емоційної напруженості у оператора. При цьому спостерігається падіння електричного опору шкіри або збільшення різниці потенціалів між двома точками шкірної поверхні (від 10 - 30 мВ/см в нормальному стані до 100 мВ/см і більше при виникненні емоційної напруженості).

4. Електрокардіограма (ЕКГ) полягає в реєстрації електричних явищ, що виникають у серцевій м'язі. ЕКГ складається (див. рис. 1.4, г) з ряду зубців, що характеризують протікання тих чи інших процесів в серцевій м'язі, і інтервалів між ними. Зубець R відповідає моменту збудження шлуночків серця, а зубець T - моменту виходу їх зі стану збудження. Інтервал R-R характеризує тривалість серцевого циклу, а інтервал Q-T відповідає періоду від початку збудження шлуночків серця до закінчення їх збудження.

В інженерній психології ЕКГ використовується для визначення напруженості роботи оператора. Для цього вимірюються: частота серцевих скорочень (ЧСС), систолічний і гістографічний показники:

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1). Частота серцевих скорочень визначається величиною, зворотної тривалості R- R інтервалів.

2). Систолічний показник визначається процентним співвідношенням часу скорочення шлуночків серця до всього часу серцевого циклу, тобто

В інженерній психології ЕКГ використовується для визначення напруженості роботи оператора. Для цього вимірюються: частота серцевих скорочень (ЧСС), систолічний і гістографічний показники: Частота серцевих скорочень визначається величиною, зворотною тривалості R- R інтервалів

$$P_C = \frac{t_{QT}}{t_{RR}} 100\%.$$

Для визначення гістографічного показника визначається N послідовних значень величин t_{RR} [26, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Весь діапазон зміни t_{RR} розбивається на m інтервалів однакової довжини. Якщо через t_i позначити середину i-го інтервалу, а через n_i - число значень t_{RR} , що потрапили в i-й інтервал, то величину гістографічного показника можна обчислити за формулою

$$P_C = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{t_i}.$$

При виникненні напруженості в роботі оператора розглянуті показники ЕКГ, як правило, збільшуються.

5. Електроокулограма (ЕОГ) характеризує електричну активність очних м'язів. Зазвичай використовується роздільна реєстрація вертикальних і горизонтальних рухів очей. При цьому знак потенціалу ЕОГ вказує напрямок переміщення погляду, а його величина - кут переміщення. ЕОГ застосовується для аналізу роботи зорової системи людини із засобами відображення інформації, для аналізу розподілу і перемикання уваги оператора в процесі роботи і інших цілей.

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Пневмограма (ПГ) являє собою запис зовнішнього дихання. Вона використовується для оцінки психофізіологічної напруженості. У стані збудження або напруги частота дихання збільшується до 50 - 60 коливань в хвилину, спостерігається також зменшення глибини дихання і скорочення фази видиху ($t_{\text{вид}}$) щодо фази вдиху ($t_{\text{вд}}$).

7. Мовна відповідь (МВ) вивчається по спектральним і часовим характеристикам мови оператора. За зміною інтонації голосу, яка супроводжується зміною спектрального складу звукових коливань, можна судити про виникнення емоційних станів оператора, напруженості і втоми в його роботі. Інформація про ці стани міститься також у тимчасових параметрах МВ. Наприклад, при розвитку втоми збільшуються тривалість слів і пауз між ними, а також їх дисперсії.

Характеристики розглянутих фізіологічних процесів людини наведено в табл. 2.2. Ознаки, що характеризують людину, у різних індивідуумів при переході від норми до стресу змінюються не однаковою мірою [25, 26]. Вони можуть бути отримані безпосередньо з експериментів або ж розрахунковим шляхом за допомогою обробки даних, отриманих в результаті експериментів.

2.4 Методи отримання і обробки фізіологічної інформації

Розглянуті фізіологічні показники мають різні електричними характеристиками, і перш за все ширину спектра сигналів і амплітуду. Орієнтовні значення цих характеристик наведено в табл. 2.2. З неї видно, що найбільші труднощі в реєстрації подає ЕЕГ. Для її реєстрації потрібна наявність екранованого приміщення, що істотно ускладнює застосування цього методу в реальних умовах. Найменші труднощі для реєстрації викликає МВ, ЕМГ, ШГР. Електричні сигнали цих показників мають порівняно велику величину, тому знімання сигналів і їх посилення не уявляють особливих труднощів [34].

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Таблиця 2.2 – Характеристики фізіологічних процесів людини

Досліджувані процес	Предмет дослідження	Електричні характеристики		Досліджувані показники
		Амплітуда, мкВ	Частота, Гц	
Електроенцефалограма (ЕЕГ)	Електрична активність головного мозку	5-10	0,5-100	Сумарна біоелектрична активність ЕЕГ, характеристики окремих ритмів (амплітуда, тривалість, число хвиль ритму, питома вага ритму в ЕЕГ)
Електроміограма (ЕМГ)	Електрична активність м'язів	20-200	20-500	Сумарна біоелектрична активність м'язів, амплітуда і тривалість окремих м'язових скорочень
Шкірно-гальванічна реакція (ШГР)	Електричний опір шкіри	100-200	1-10	Латентний період (t_l), амплітуда (A), тривалість i -ї фази (t_1, t_2, t_3), швидкість наростання (β) і швидкість спаду (ν). Загальна площа під кривою ШГР
Електрокардіограма (ЕКГ)	Електрична активність серця	300-3000	0,15-300	Інтервали ЕКГ (R-R, Q-T і ін.), частота серцевих скорочень, систолічний і гістографічний показники
Електроокулограма (ЕОГ)	Окорухова активність	20-200	0,1-3,5	Кількість рухів і миготінь в одиницю часу. Амплітуда і тривалість руху (переміщення погляду). Тривалість фіксації погляду
Пневмограма (ПГ)	Характер дихання	Залежить від способу вимірювання	0,8-4	Тривалість і глибина вдиху ($t_{вд}$) і видиху ($t_{вид}$), тривалість дихального циклу, частота дихання

Деякі сигнали (наприклад, ШГР, ЕОГ) повільно змінюються в часі і являють собою відображення напруги постійного струму. Оскільки безпосереднє посилення постійної напруги важко, ці сигнали необхідно попередньо перетворити в високочастотні і вести посилення на підвищеній частоті, що з точки зору технічної реалізації є більш простим. Принцип вимірювання од-

ного фізіологічного показника розглянемо за допомогою узагальненої схеми зображеної на рис. 2.3.

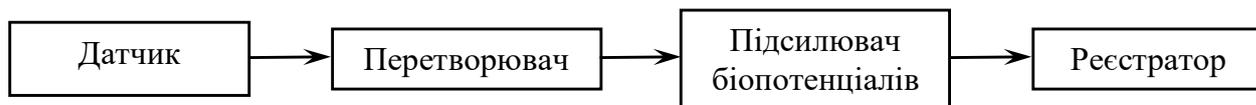


Рис. 2.3 – Структурна схема вимірювання фізіологічного показника

Датчики (електроди) служать для відведення потенціалів з поверхні тіла людини. До конструкції і способу кріплення датчиків висуваються такі вимоги: забезпечення надійного і постійного контакту зі шкірою людини, відсутність зсуву при рухах піддослідного, можливість швидкого і легкого встановлення і знімання електродів, виключення занепокоєння піддослідного або заподіяння йому болю. За способом кріплення датчики можуть бути притискними (що накладаються) або що приклеюються. Класифікація найбільш часто використовуваних датчиків приведена в табл. 2.3.

Перетворювач служить для перетворення вихідного сигналу до виду, з яким легко вести подальше посилення сигналу. Основним видом перетворення є перетворення повільно змінної напруги у високочастотну. В цьому випадку перетворювач являє собою амплітудний або частотний модулятор.

Підсилювач біопотенціалів необхідний для посилення вихідного сигналу до величини, яка може бути легко зафіксована за допомогою реєструючих пристроїв. Підсилювачі повинні відповідати таким вимогам: забезпечити необхідний коефіцієнт посилення, мати рівномірному амплітудну характеристику у всьому діапазоні спектра сигналів, мати малі нелінійні спотворення.

Реєстратор служить для візуальної реєстрації (запису) досліджуваного сигналу протягом необхідного часу. У багатьох випадках крім реєстрації та ручної розшифровки інформації використовують також її автоматичну обробку, використовуючи спеціалізовані пристрої або універсальні ЕОМ, що працюють за певною програмою.

Таблиця 2.3 – Характеристики датчиків фізіологічних показників

Фізичний принцип конструкції датчика	Форма енергії, що є носієм фізіологічної інформації				
	механічна	акустична	теплова	електрична	хімічна
Електричний	СФГ	—	—	ЭКГ, ЭЭГ, ЭМГ, КТР	—
Зміна ємності конденсатора	АТ, ВТ, СФГ, ПГ, ФКГ	АТ	—	—	—
Зміна активно-го опору	АТ, СФГ, БКГ, ДКГ	—	АТ, ПГ, ТМ	—	—
Електромагнітна індукція	СФГ, ПГ, ДКГ, БКГ	ФКГ, АД	—	—	—
П'єзоелектричний ефект	АТ, СФГ	ФКГ	—	—	—
Механічне переміщення	АТ, ВТ, АГ, СФГ, ФКГ	—	—	АГ	—
Термоелектричний ефект	—	ТМ	—	—	—
Біохімічний і хіміко-електричний	—	—	—	—	C_{Ca} , рН

У табл. 2.3 прийнято наступні скорочення: АТ - артеріальний тиск; ВТ - венозний тиск; СФГ - сфігмограма; ПГ - пневмограма; ФКГ - фонокардіограма; БКГ - баллістограма; ДКГ - динамо-кардіограма; ТМ - термометрія; рН - концентрація водневих іонів; C_{Ca} , C_{K} - вміст відповідно катіонів кальцію і калію в рідинах організму; АГ - актограма.

Дослідження тільки одного фізіологічного показника, як правило, не може надати однозначної відповіді про стан оператора. Тому в практиці інженерно-психологічних досліджень застосовується зазвичай так званий поліефекторний метод дослідження, що полягає в одночасному записі і аналізі цілого комплексу показників, званого симптомокомплексом. Застосування поліефекторної методики дозволяє значно підвищити надійність і достовірність діагностики станів оператора при виконанні даної діяльності.

При виборі показників, що входять до складу симптомокомплексу, необхідно керуватися такими міркуваннями:

1. Показник повинен бути інформативним, тобто з його допомогою має бути забезпечено встановлення стану оператора.

2. Реєстрація показника не повинна впливати на роботу оператора, не повинна заважати йому і обмежувати його рухів.

3. Реєстрація показника повинна бути легко технічно реалізувати, не повинна вимагати громіздкої і складної апаратури, створення для оператора спеціальних умов, при яких можлива реєстрація цього показника.

4. Повинна бути забезпечена можливість безперервної реєстрації показника протягом всього часу роботи оператора.

Для практичної реалізації поліефекторної методики створюються спеціальні системи знімання та обробки електрофізіологічної інформації [27].

Приклад структури такої системи наведено на рис. 2.4.

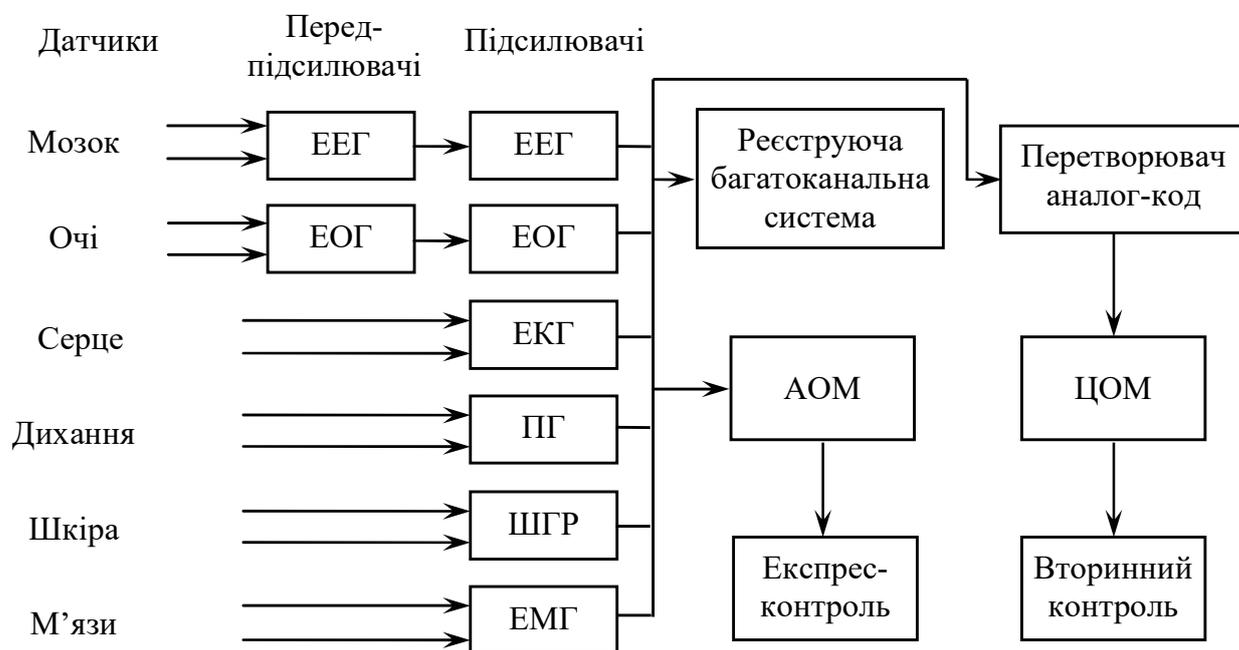


Рис. 2.4 – Структурна схема багатоканальної системи реєстрації електрофізіологічної інформації

У цих системах передбачається автоматизований знімання і реєстрація електрофізіологічних показників з можливістю як первинного математичного аналізу для експрес-контролю за допомогою АОМ, так і вторинного аналізу для виявлення тонкої статистичної структури реєстрованої інформації за допомогою ЦОМ.

При аналізі отриманої фізіологічної інформації перевагу слід віддавати методам обробки, заснованим на нестационарній моделі випадкового процесу [25]. Для математичної обробки вимірних параметрів найчастіше використовуються: методи кореляційного аналізу, ентропійного аналізу по гістограмі розподілу, децильне-рангового аналізу, порівняння з еталоном, кластерного аналізу.

2.5 Методи відтворення стресового стану

Відтворити в лабораторних умовах стресовий стан ідентичний стану викликаному реальною обстановкою дуже важко або практично неможливо. Для отримання штучного стану стресу використовують різні стресогенні чинники [28]. Найбільш простим стресором є демонстрація фільмів страхітливого змісту. Більш значущим стресором можна вважати завдання, виконання яких викликає значні негативні емоції, що вимагають іноді і мобілізації волі.

У практичному відношенні найбільш легко реалізованим стресором є створення часового дефіциту при виконанні певної роботи. При цьому можливість виконання виданого завдання повинна знаходитися за межами здібностей випробуваного. При виконанні завдання можна «нагнітати» зовнішню обстановку введенням побічних зовнішніх чинників (чергування яскравості джерел світла, увімкнення різних джерел дратівливого або надмірного звуку, загроза ураження електричним струмом і т.п.).

Стресовий стан можна досягати також створенням конфліктних ситуацій.

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Можливість прогнозу діяльності людини в критичних умовах зростає з наближенням рівня відтворення екстремальності ситуації до рівня реальної екстремальної ситуації.

Основними факторами, від яких залежить екстремальність стресорів, є наступні:

- 1) суб'єктивна оцінка небезпеки стресу для цілісності суб'єкта (фізичної цілісності, цілісності соціального статусу, можливості здійснення бажань і т.д.);
- 2) суб'єктивна чутливість до стресору (значимість стресора для суб'єкта);
- 3) ступінь несподіванки стресора (значимість стресора для суб'єкта);
- 4) близькість дії стресора до крайніх точок суб'єктивної шкали «приємно-неприємно»;
- 5) тривалість дії стресора при збереженні його суб'єктивної значущості (чутливості суб'єкта до нього).

Можна пов'язати описову неоднозначність реагування людини на стрес і успішність виконання поставленого завдання в умовах стресу або його відсутності з чіткими формалізованими поняттями системного підходу, використовуючи результати обробленого експерименту.

З точки зору системного підходу при описі реагування людини-оператора на стрес, людина ставиться до неповністю керованих і не повністю спостережуваних систем. Це істотно ускладнює з точки зору системного підходу його використання як ланки системи управління, оскільки досить складно судити про його передаточну функцію в цій системі і його стійкість (по відношенню до стресу). Це обумовлено тим, що передаточна функція, що традиційно використовується як основна характеристика будь-якої ланки, характеризує тільки повністю керовану і повністю спостережувану частину системи [29]. Тому доцільно аналізувати поведінку такої складної ланки системи управління як людина-оператор, ґрунтуючись на моделі, отриманій з позиції «простору станів».

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЛЮДИНИ-ОПЕРАТОРА ЯК ДИНАМІЧНОГО ОБ'ЄКТУ

Стан людини може бути визначений за біофізичними параметрами, які змінюються під час виконання операцій різного характеру та можуть вимірюватися за допомогою датчиків [6, 7]. На основі аналізу даних, що фіксуються за результатами вимірів, можна виявити рівень напруженості стану людини та оцінити складність оперативної ситуації. Виникає задача побудови математичної моделі, на основі якої можна адекватно ідентифікувати стан людини-оператора.

3.1 Математична модель людини-оператора в «просторі станів»

Людина-оператор як ланка системи керування є динамічною системою, тобто його поведінку можна описати за допомогою системи диференціальних рівнянь. В зв'язку з тим, що людина як динамічна система з точки зору системного підходу відноситься до класу не повністю керованих та не повністю спостережуваних систем, для її дослідження доцільно використовувати математичну модель в просторі станів [30]. Рівняння стану людини-оператора в просторі станів задаються наступним чином

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) + \mathbf{v}(t), \quad (3.1)$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}\mathbf{u}(t) + \mathbf{n}(t),$$

де \mathbf{A} - матриця стану об'єкта (коефіцієнтів людини-оператора); \mathbf{B} - матриця впливу вхідних сигналів на зміни стану об'єкта; \mathbf{C} - вихідна матриця (матриця спостережень); \mathbf{D} - матриця вхід-вихід; $\mathbf{x}(t)$ - вектор біофізичних параметрів людини, які реєструються певною вимірювальною підсистемою; $\mathbf{u}(t)$ - вектор вхідних впливів; $\mathbf{v}(t)$ - вхідний шум; $\mathbf{n}(t)$ - шум вимірювань.

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розв'язок першого рівняння системи (3.1) на інтервалі $[0, t]$ має вигляд

$$\mathbf{x}(t) = \Phi(t)\mathbf{x}(0) + \int_0^t \Phi(t - \tau)B\mathbf{u}(\tau)d\tau, \quad (3.2)$$

де $\Phi(t) = e^{At}$ - матриця переходів зі стану $\mathbf{x}(0)$ в стан $\mathbf{x}(t)$ [30].

Розв'язок другого рівняння системи (3.1) визначається співвідношенням

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\Phi(t)\mathbf{x}(0) + \int_0^t \mathbf{C}\Phi(t - \tau)B\mathbf{u}(\tau)d\tau + \mathbf{D}\mathbf{u}(t). \quad (3.3)$$

Для отримання значень векторів стану та виходу необхідно визначити перехідну матрицю $\Phi(t)$. Це не викликає труднощів при відомій матриці \mathbf{A} .

Біофізичні параметри суттєво змінюються в залежності від зовнішніх обставин, тому визначення ступеня напруженості стану людини можна здійснювати шляхом ідентифікації параметрів моделі (3.1) та подальшому аналізі значень компонент матриці стану \mathbf{A} .

3.2 Ідентифікація параметрів моделі в реальному часі

Комплекс біофізичних параметрів людини, що реєструються синхронно, відноситься до класу багатомірних часових рядів, для опису яких зазвичай використовують дискретизовану форму рівняння (3.1), а саме

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{A}\mathbf{x}(k) + \mathbf{b}\mathbf{v}(k). \quad (3.4)$$

Для ідентифікації параметрів моделі (3.4) в реальному часі, доцільно використовувати повторювані процедури, які дозволяють отримати оцінку параметрів моделі при надходженні нових вимірювань.

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Періодичні процедури оцінки визначаються залежністю

$$P[k+1] = P[k] + \gamma[k+1] \cdot f(P[k], y[k+1], u[k+1]), \quad (3.5)$$

де $P[k]$ – поточне значення параметрів; $\gamma[k+1]$ - коефіцієнт посилення; $f()$ - деяка функція, що залежить від поточного значення та визначає величину і спрямування наступного кроку; $y[k+1]$ і $u[k+1]$ - вихідні і вхідні сигнали, які йдуть за поточним значенням.

Найбільш відомими повторюваними процедурами є метод стохастичної апроксимації і метод найменших квадратів. Однак, згідно з [31], точність методу стохастичної апроксимації досягається при досить великій кількості ітерацій, тому його недоцільно використовувати при знаходженні параметрів моделі для вирішення задач ідентифікації динамічного об'єкта в реальному часі.

Для реалізації метода задаються початкові значення вектора станів об'єкту і моделі $\mathbf{x}_0[0] = \mathbf{x}_m[0]$, а також матриці $\mathbf{A}[0]$. При відомій динаміці управління $\mathbf{u}[k]$ і вектора станів об'єкту $\mathbf{x}_0[k]$ для $k=1,2,3,\dots$ визначають значення вектора стану моделі

$$\mathbf{x}_m[k] = \mathbf{A}[k-1] \cdot \mathbf{x}_m[k-1] + \mathbf{B} \cdot \mathbf{u}[k-1] \mathbf{x}_m[k], \quad (3.6)$$

вектор відхилення станів об'єкта і моделі

$$\mathbf{e}[k] = \mathbf{x}_0[k] - \mathbf{x}_m[k], \quad (3.7)$$

і матрицю

$$\Gamma[k] = \Gamma[k-1] - \Gamma[k-1] \cdot \mathbf{x}_0[k] \cdot \gamma[k-1] \cdot \mathbf{x}_0^T[k] \cdot \Gamma[k-1], \quad (3.8)$$

$$\gamma[k-1] = [1 + \mathbf{x}_o^T[k] \cdot \Gamma[k-1] \cdot \mathbf{x}_o[k]]^{-1}. \quad (3.9)$$

Тоді рекурентний алгоритм настройки може бути записаний як

$$\mathbf{A}[k] = \mathbf{A}[k-1] + \Gamma[k] \cdot \mathbf{e}[k] \cdot \mathbf{x}_m^T[k]. \quad (3.10)$$

Умовою завершення етапу ідентифікації є $|a_{ij}[k] - a_{ij}[k-1]| < \delta$, для всіх значень i, j .

3.3 Приклад обробки експериментальних даних

Обчислення оцінок параметрів моделі здійснено для трьох динамічних процесів, що характерні для людини: $x_1(k)$ - кардіограма, $x_2(k)$ - реограма, $x_3(k)$ - пневмограма. Довжина вибірки даних $N = 200$ точок, що фіксувалися на протязі 4 с з інтервалом $\Delta t = 0,02\text{с}$. Данні спостережень було отримано для двох випадків: 1) – при спокійному (фоновому) стані людини та 2) – при напруженому (стресовому) стані. Результати вимірювань для фонового стану наведено на рис. 3.1; а для стресового стану – на рис. 3.2.

Для оцінювання початкових параметрів моделі (3.4) при наявності достатньо великої вибірки спостережень використаємо наступні вирази [33]

$$\hat{\mathbf{A}}_n = \left[\sum_{i=2}^n \mathbf{x}(n+2-i) \mathbf{x}^T(n+1-i) \right] \cdot \left[\sum_{i=2}^n \mathbf{x}(n+1-i) \mathbf{x}^T(n+1-i) \right]^{-1}; \quad (3.11)$$

$$\hat{\mathbf{b}}^2 = \frac{1}{p(n-1)} \text{tr} \left[\sum_{i=2}^n \mathbf{x}(n+1-i) \mathbf{x}^T(n+1-i) - \hat{\mathbf{A}}_n \sum_{i=2}^n \mathbf{x}(n+1-i) \mathbf{x}^T(n+2-i) \right], \quad (3.12)$$

де n – кількість вимірів; p - порядок моделі (розмірність вектору $\mathbf{x}(k)$).

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

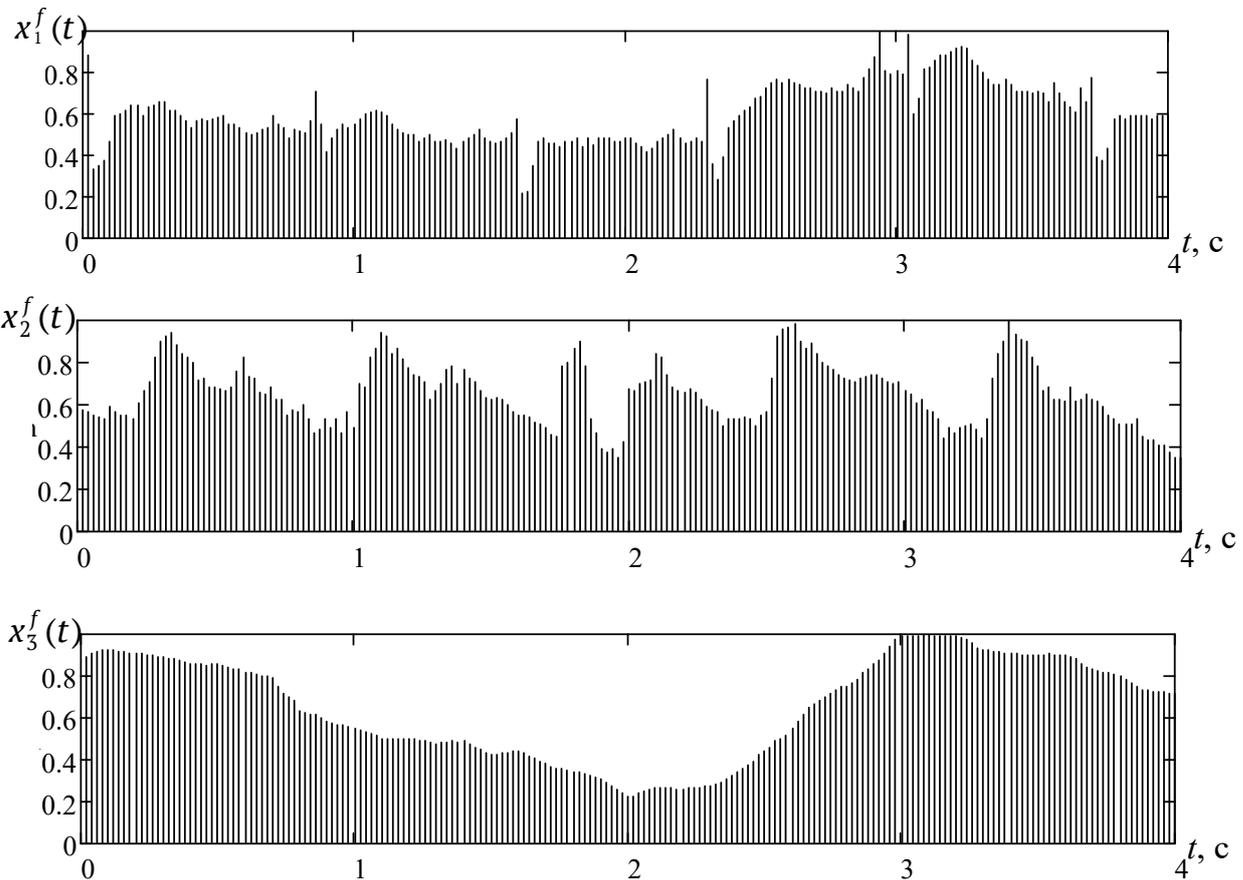


Рис. 3.1 – Результати вимірювань для фоновому стану

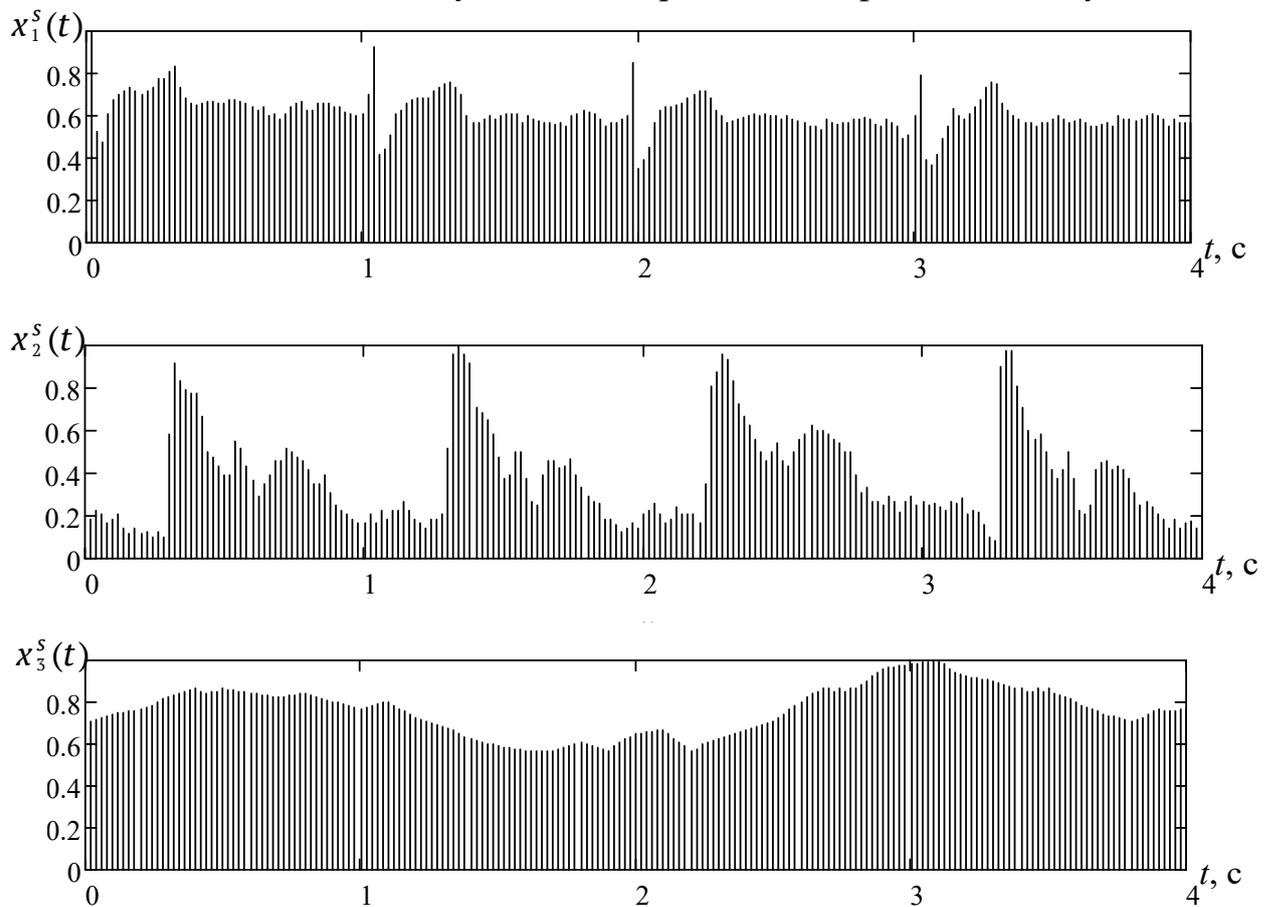


Рис. 3.2 – Результати вимірювань для стресового стану

В результаті розрахунків отримано початкові оцінки матриці $\hat{\mathbf{A}}_n$ та параметра $\hat{\mathbf{b}}$ на основі вибірки довжиною $n = 50$ точок.

1) Для фоновому стану:

$$\hat{\mathbf{A}}_{f50} = \begin{pmatrix} 0.510 & 0.166 & 0.192 \\ 0.056 & 0.858 & 0.075 \\ -0.024 & -0.018 & 1.023 \end{pmatrix}, \quad (3.13)$$

вектор власних значень матриці $\hat{\mathbf{A}}_{f50}$ одержано у наступному вигляді:

$$\lambda_f = (0.491 \quad 0.909 \quad 0.991)^T; \quad (3.14)$$

оцінка коефіцієнту впливу зовнішніх обурень $\hat{b}_f = 0.1$.

2) Для стресового стану:

$$\hat{\mathbf{A}}_{s50} = \begin{pmatrix} 0.3964 & -0.092 & 0.531 \\ 0.24 & 0.9 & -0.152 \\ 0.039 & 0.0009 & 0.968 \end{pmatrix}, \quad (3.15)$$

вектор власних значень матриці $\hat{\mathbf{A}}_{s50}$ має вигляд

$$\lambda_s = (0.405 \quad 1.001 \quad 0.858)^T; \quad (3.16)$$

оцінка коефіцієнту впливу зовнішніх обурень $\hat{b}_s = 0.088$.

На основі отриманих початкових оцінок параметрів матриць $\hat{\mathbf{A}}_{f50}$ і $\hat{\mathbf{A}}_{s50}$ та із застосуванням рекурентного методу найменших квадратів шляхом послідовного розрахунку за наступними вимірюваними даними ($n = 51 \dots 200$) одержано наступні результати:

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

1) Для фонового стану:

$$\hat{\mathbf{A}}_{f200} = \begin{pmatrix} 0.519 & 0.174 & 0.201 \\ 0.065 & 0.867 & 0.084 \\ -0.015 & -0.009 & 1.031 \end{pmatrix}, \quad (3.17)$$

вектор власних значень матриці $\hat{\mathbf{A}}_{f200}$ одержано у наступному вигляді:

$$\lambda_f = (0.493 \quad 0.99 \quad 0.916)^T. \quad (3.18)$$

2) Для стресового стану:

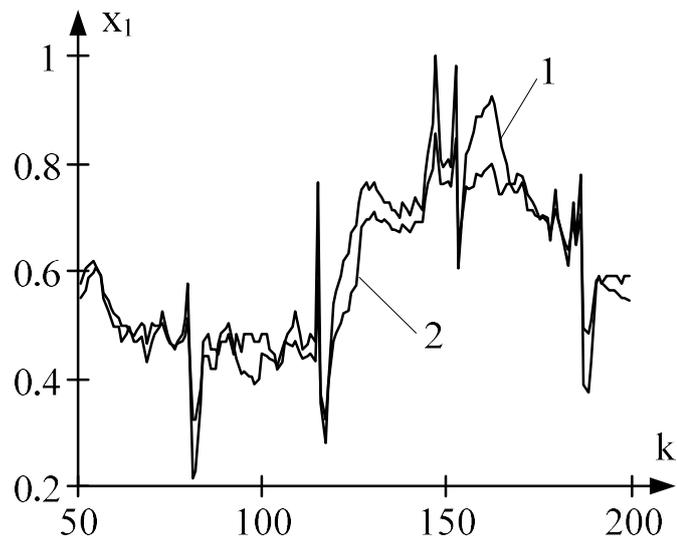
$$\hat{\mathbf{A}}_{s200} = \begin{pmatrix} 0.404 & -0.084 & 0.539 \\ 0.249 & 0.908 & -0.144 \\ 0.048 & 0.009 & 0.976 \end{pmatrix}, \quad (3.19)$$

вектор власних значень матриці $\hat{\mathbf{A}}_{s200}$ має вигляд

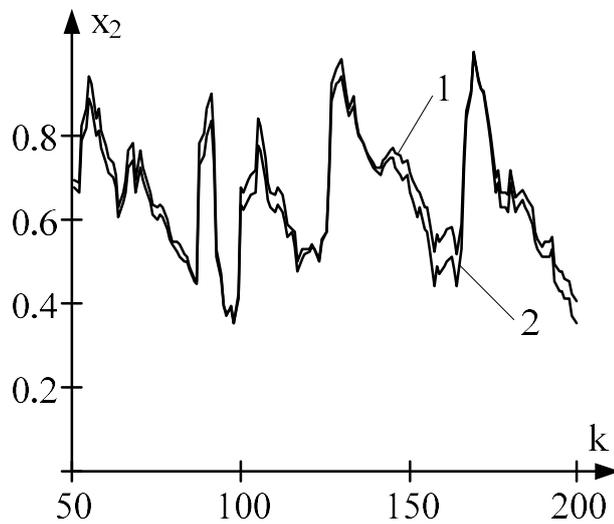
$$\lambda_s = (0.406 \quad 1.019 \quad 0.863)^T. \quad (3.20)$$

Листінг розрахунків параметрів моделі за рекурентним методом найменших квадратів та динаміку зміни оцінок з часом наведено у додатку А.

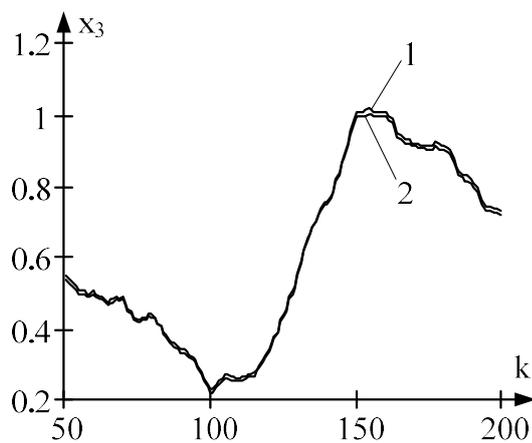
Експериментальні залежності та отримані за моделлю для фонового стану наведені на рис. 3.3. На рис. 3.4 показано їхню відносну похибку. Для стресового стану ці залежності наведені на рис. 3.5; відносну похибку показано на рис. 3.6.



а)

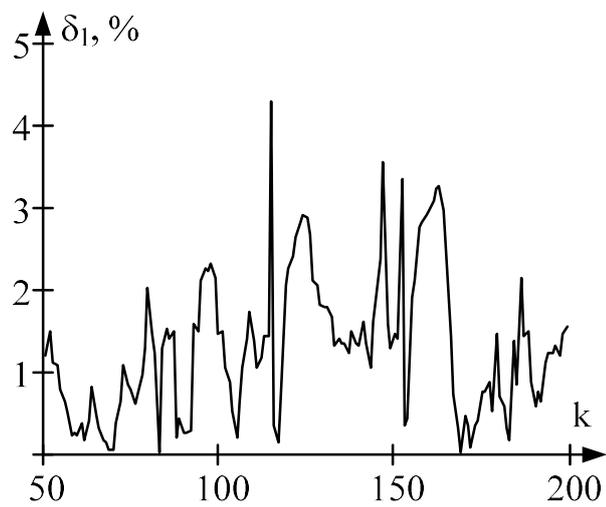


б)

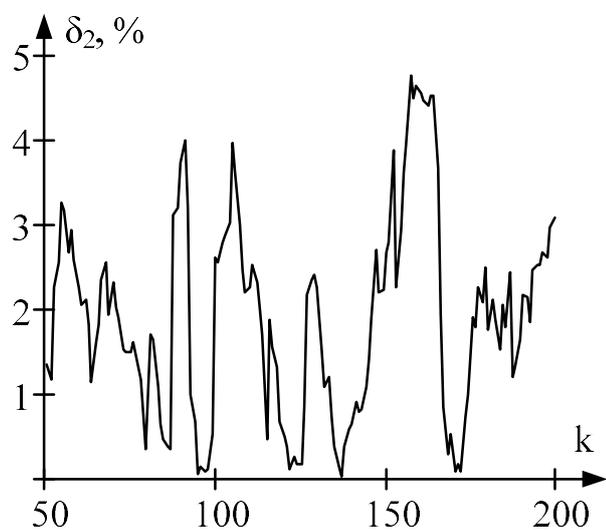


в)

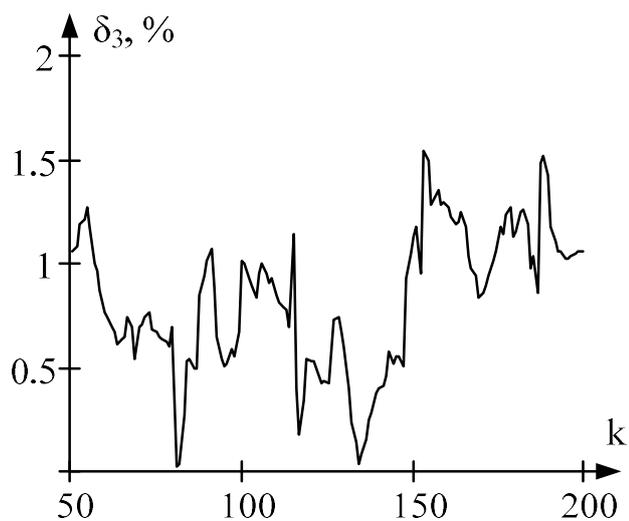
Рис. 3.3 – Експериментальні та розраховані залежності для фоновому стану



а)

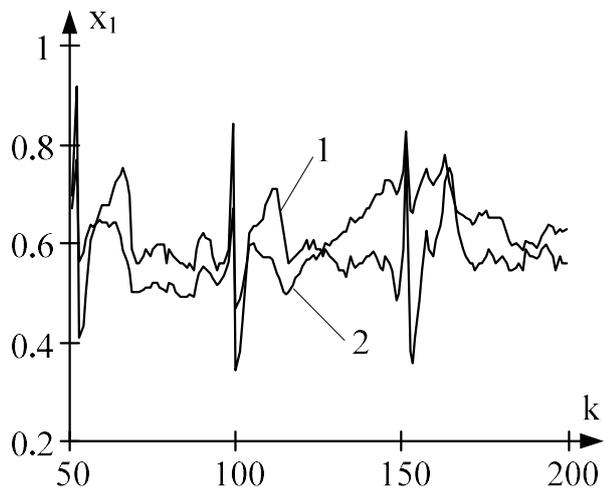


б)

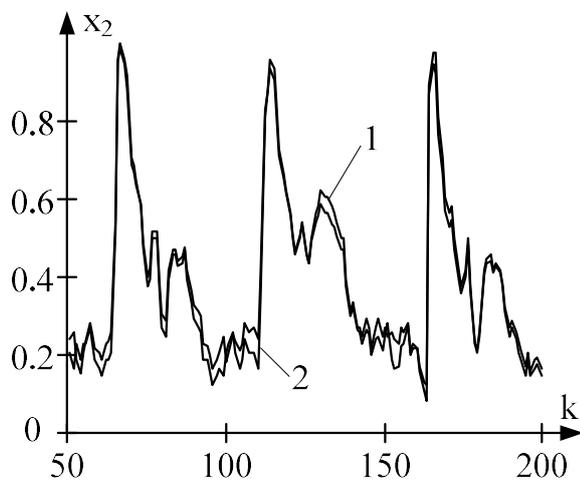


в)

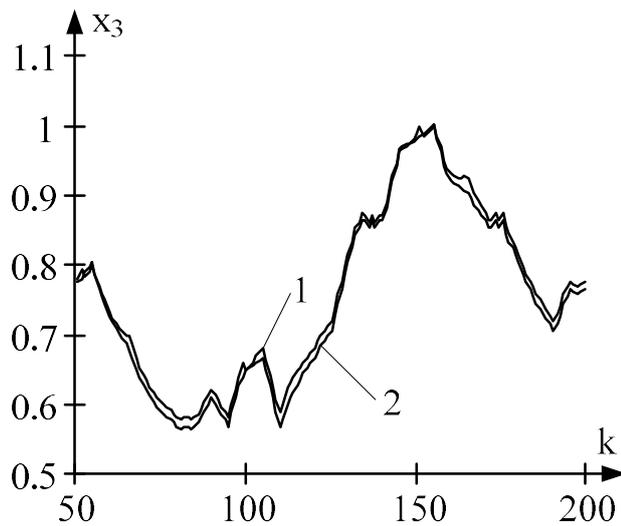
Рис. 3.4 – Похибки моделі для фонового стану



а)

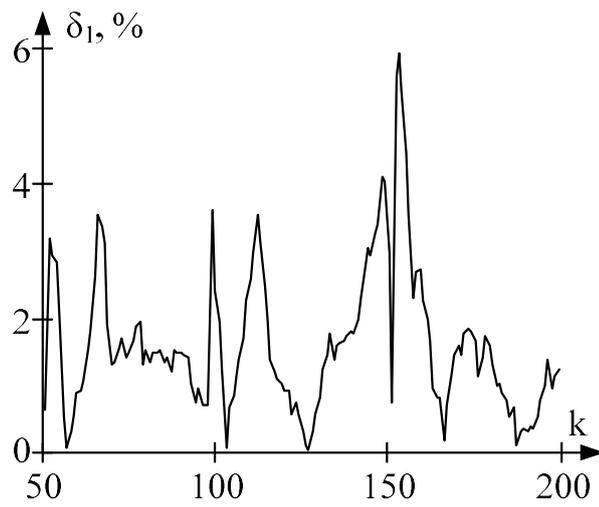


б)

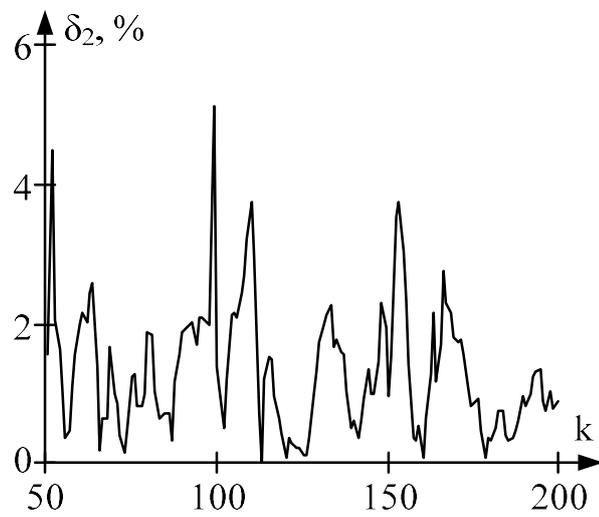


в)

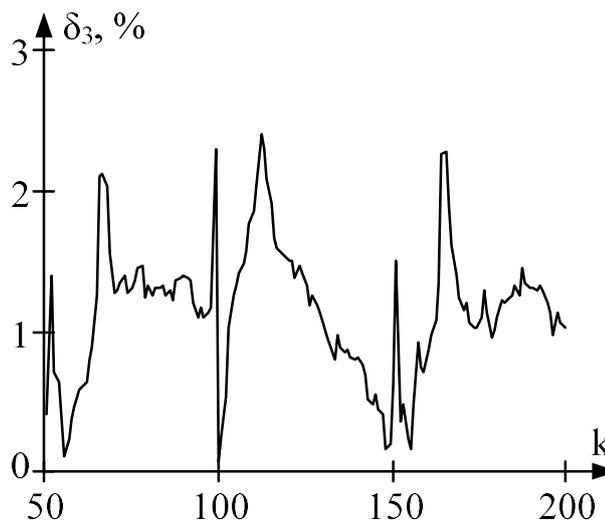
Рис. 3.5 – Експериментальні та розраховані залежності для стресового стану



а)



б)



в)

Рис. 3.6 – Похибки моделі для стресового стану

На основі аналізу отриманих результатів розрахунків можна відмітити, що:

1. Значення всіх власних чисел (3.18) матриці \hat{A}_f за абсолютною величиною менше одиниці. Це свідчить про стаціонарність процесу (3.4) при фоновому стані людини.

2. Для напруженого стану одне з власних значень (3.20) матриці \hat{A}_s становить більш за одиницю, тобто стаціонарність процесу (3.4) у стресовому стані людини порушується.

3. Оцінка коефіцієнту зовнішніх обурень при стресовому стані зменшується на 12% відносно тієї ж оцінки у фоновому стані ($\hat{b}_f > \hat{b}_s$). Це можна пояснити як зменшення здатності сприйняття зовнішніх вхідних сигналів.

3.4 Висновки до розділу 3

Поведінку людини-оператора як динамічного об'єкту можна описати за допомогою математичної моделі у вигляді системи диференціальних рівнянь. В зв'язку з тим, що людина як динамічна система з точки зору системного підходу відноситься до класу не повністю керованих та не повністю спостережуваних систем, для її дослідження доцільно використовувати математичну модель в просторі станів. Завдяки аналізу зміни параметрів моделі можна отримати оцінку рівня напруженості стану людини.

Розрахунки виконані за експериментальними даними, отриманими для індивідуумів в різних станах – спокою та напруженості. Аналіз результатів виказав, що параметри моделі в просторі станів змінюються при зміні напруженості оператора.

Для визначення параметрів моделі в реальному часі, доцільно використовувати повторювані процедури, які дозволяють отримати оцінку параметрів моделі при надходженні нових вимірювань.

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання рекурентного методу найменших квадратів дозволяє отримувати оцінки параметрів моделі динамічного об'єкту на основі обробки даних від підсистеми моніторингу, які можна застосовувати для діагностики стану в реальному часі. Це відкриває шляхи для своєчасного виявлення перевантажень і запобігання екстремальних умов функціонування. Доцільно здійснити дослідження закономірностей зміни параметрів моделей для різного типу людей та при різному ступені напруженості.

Стан людини може бути визначений за біофізичними параметрами, які змінюються під час виконання операцій різного характеру та можуть вимірюватися за допомогою датчиків. На основі аналізу даних, що фіксуються за результатами вимірів, можна виявити рівень напруженості стану людини та оцінити складність оперативної ситуації.

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						51
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

4 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПРОФЕСІЙНОГО ПІДБОРУ КАДРІВ

Рівень професійної придатності людини-оператора до роботи в сучасних технологічних комплексах може визначатися шляхом проходження тестування на спеціалізованих тренажерах з урахуванням психофізіологічного стану людини.

Побудова автоматизованих вимірювальних мікрокомп'ютерних біотехнічних систем є новим напрямком розвитку вимірювання електрофізіологічних параметрів людини. Розробка такої системи вимірювання електрофізіологічних параметрів людини і впливу на його біологічно активні точки вимагає вирішення проблеми дискретного вимірювання опору шкіри в режимі поділу реального часу для випадків спокою і руху біооб'єкту при мінімальному впливі тестового сигналу на стан біооб'єкту.

4.1 Мікроконтролерна система вимірювання електрофізіологічних параметрів людини

Визначення біопоказників є одним з найважливіших експлуатаційних заходів при дослідженні роботи ЛО під час виконання операцій різного характеру. У результаті аналізу схемотехнічних рішень приладів реєстрації біопотенціалів була побудована узагальнена структура, що дозволяє оцінювати можливі функціональні варіанти побудови приладів в залежності від поставлених завдань [35]. Незалежно від класу і функціонального призначення пристроїв їх можна представити у вигляді блоків показаних на рис. 4.1.

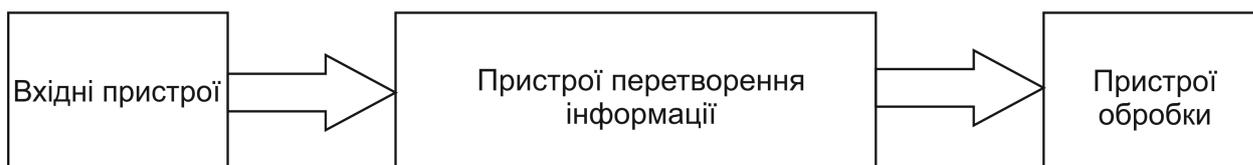


Рис. 4.1 – Узагальнена структура пристроїв реєстрації біопотенціалів

Деталізацію блоків узагальненої структури можна відобразити у вигляді блок-схеми, з характерною для типових випадків реалізації пристроїв реєстрації біопотенціалів показано на рис. 4.2.



Рис. 4.2 – Деталізована структура пристроїв реєстрації біопотенціалів

Вхідні пристрої та пристрої перетворення інформації належать до пристроїв первинної обробки біопотенціалів. Одна з найважливіших операцій, здійснюваних в пристроях первинної обробки є аналого-цифрове перетворення [36]. Для отримання високих дозволених можливостей при широкому вхідному діапазоні необхідний АЦП з ефективною розрядністю при перетворенні не менше 12 біт і частотою перетворення $f = 2f_{\max}$.

Для реєстрування електрокардіосигналу $f_{\max} = 120$ Гц верхня позначка самої інформаційної частини спектру електрокардіосигналу. Необхідна кількість рівнів квантування (N) при заданому вхідному діапазоні (U_{in}) та ефективній роздільній здатності (r_{eff}) дорівнює

$$N = \frac{\Delta U_{in}}{r_{eff}}. \quad (4.1)$$

4.1.1 Структура мікроконтролерній системи моніторингу станів

У структурі системи «людина – машина» вимірювання параметрів здійснюється трьома датчиками, що визначають температуру тіла людини, опір шкіряних покривів та швидкість серцевих скорочень. Данні з результатами вимірів рівня опору шкіри, інформацію про стан температури тіла, та роботу серця передаються безпосередньо на сам пристрій а потім до ПК. Зіставляючи отримані дані, приймається рішення про стан оператора , вибір режиму роботи. Така робота вимагає коректної роботи й підвищеної точності, а так само злагодженості й оперативності роботи датчиків. Таким чином, найважливішим питанням залишається проблема адекватності прийнятих рішень щодо стану оператора у сформованій ситуації [37]. Для вирішення цієї проблеми доцільно застосувати методи нечіткої логіки.

Дані про рівень фізичного стану оператора та про його готовність до безпомилкової роботи передаються з датчиків на пристрій та ПК. Структурна схема мікроконтролерній системи визначення станів ЛО приведена на рис. 4.3.

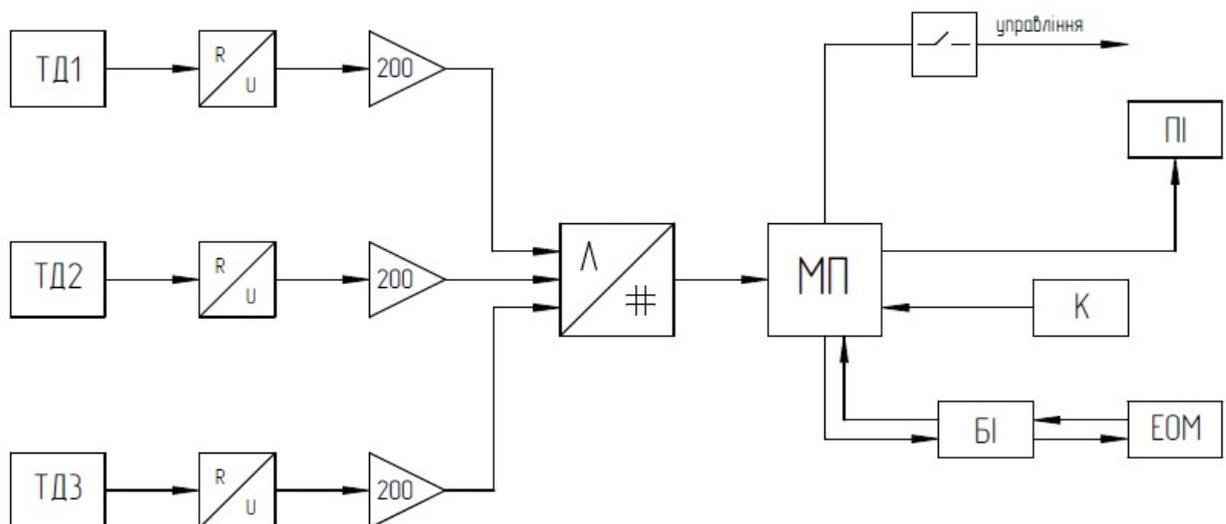


Рис. 4.3 – Структурна схема системи визначення станів ЛО:

ТД1-ТД3 - датчики біопараметрів; МП - мікропроцесор; БІ - блок інтерфейса;
К - клавіатура; ПІ – пристрій індикації

Система складається з таких основних блоків:

- датчиків біопараметрів ТД1-ТД3;
- операційних підсилювачів (коефіцієнт підсилення дорівнює 200, як відношення максимальної напруги входу АЦП до максимальної напруги виходу з тензодатчика);
- аналого-цифрового перетворювача;
- мікропроцесора МП;
- блока індикації БІ;
- клавіатури К;
- інтерфейсної схеми;
- виходу на управління.

Згідно технологічного процесу, для безперервної роботи системи передбачено три потоки, по яких визначаються параметри і стан . Опитування датчиків відбувається по черзі. Потрапляючи до пристрою, дані повинні оброблятися системою підтримки прийняття рішень, в основу якої може бути покладено систему нечіткого логічного виводу.

У даній схемі сигнал, що надходить від датчика і проходячи перетворення у блоці АЦП у вигляді цифрового коду поступає на мікропроцесор (МП). МП виконує обробку інформації (формує адреси команд, видає команди з пам'яті, дешифрує їх, виконує над ними операції - передбачені команди, при необхідності записує результат у пам'ять, формує керуючі сигнали для обміну) з урахуванням зовнішнього сигналу від клавіатури. Дії МП управляються даними, що зберігаються в його внутрішньому ПЗП [38].

Клавіатура служить для корегування роботи мікропроцесора. Використовуючи набір з семи кнопок (конкретні функції яких закладені у програмному забезпеченні), оператор формує корегуючі сигнали, на які реагує МП.

Пристрій індикації призначений для візуального відображення результатів обробки інформації мікропроцесором [39].

Для організації зв'язку з ЕОМ верхнього рівня в схемі передбачена інтерфейсна частина, що реалізує обмін інформацією між ЕОМ та мікроконт-

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ролером через інтерфейс RS-232.

Згідно процесу контролю, для безперервної роботи системи передбачено три потоки, по яких визначаються параметри і стан оператора. Опитування датчиків відбувається по черзі. Потрапляючи до пристрою, дані повинні оброблятися системою підтримки прийняття рішень, в основу якої покладено систему нечіткого логічного виводу, що наведена вище. Алгоритм роботи програмованої ділянки системи міститься у наступному:

Програма входить в цикл безперервного опитування датчиків щодо стану біопараметрів щоб на їх основі визначити стан оператора. Для переходу на опитування наступного біодатчика значення лічильника збільшується на одиницю і отриманий результат порівнюється з граничними значеннями.

При виявленні критичного стану МП видає сигнал на пристрій індикації про перевантаження оператора та високу вірогідність допущення ним помилки. При недосягненні необхідного значення параметру продовжується визначення біопараметрів, а МП в порядку черговості продовжує цикл датчиків.

При включенні живлення в нижньому рядку дисплея з'явиться повідомлення "Тестування" і проводиться тестування основних вузлів системи. У разі виявлення несправності на дисплей виводиться відповідне повідомлення. Після чого в нижньому рядку дисплея з'явиться повідомлення "Перезавантаження" і подається команда на перезавантаження системи для звільнення його від випадкових предметів. На час калібрування виводиться повідомлення "Калібрування 0 шкали". Після закінчення калібрування в нижньому рядку з'явиться повідомлення «ОЧІКУВАННЯ», а МП перейде в режим очікування з безперервним визначенням станів.

При коректному завершенні калібрування нуля шкали на дисплеї повинне бути значення "оптимальній стан". При необхідності перезавантаження системи можна виконати натисненням клавіші "Перезавантаження".

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

4.1.2 Програмне забезпечення організації обміну інформацією

Програмне забезпечення організації обміну інформацією між мікроконтролером й ПК повинне забезпечувати: запис інформації в програмно - доступні вузли МК; читання інформації з пам'яті програм МК; читання інформації із програмно - доступних вузлів МК; передавання інформації на ПК.

Алгоритм основного циклу програми наведено на рис. 4.4.

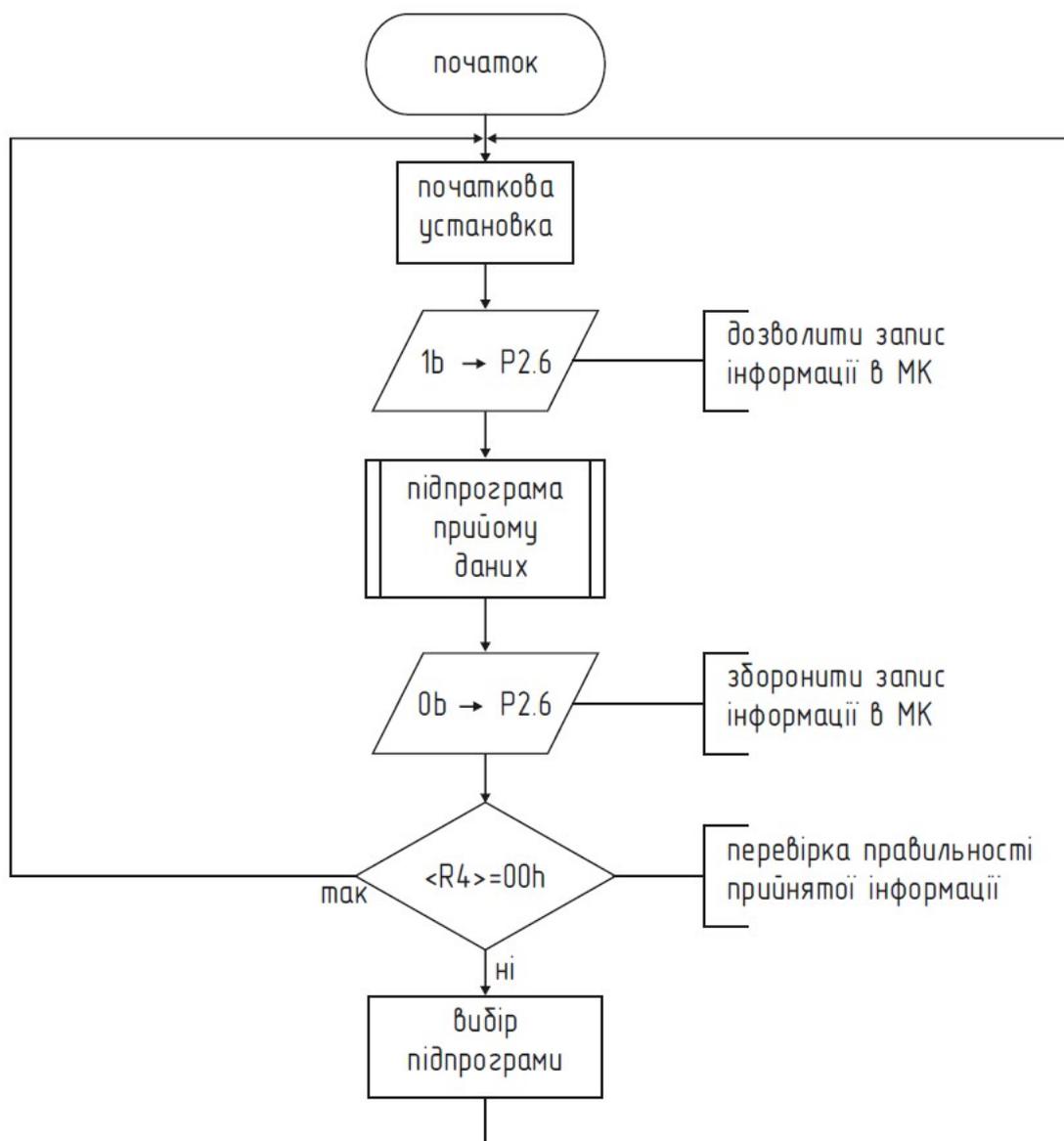


Рис. 4.4 – Алгоритм основної програми

На початку роботи основного циклу програми відбувається початкова установка. В процесі цієї установки повинні бути виконані дії:

- вибрати БАНК 2 пам'яті даних мікроконтролера, для зберігання тимчасових змінних, необхідних для роботи програми;
- установити значення керуючого біта SMOD в регістрі спеціальних функцій в 1;
- видати повідомлення ПК про початок роботи програми.

Програма приймає від ПК код виконуваної операції, декодує його й запускає відповідну підпрограму.

Підпрограма прийому одного байта даних очікує приходу інформації, перевіряє правильність даних і заносить прийнятий байт у регістр R0. Якщо дані були прийняті не вірно, то підпрограма прийому одного байта даних заносить у регістр R4 нульове значення.

У випадку не вірно прийнятого коду операції мікроконтролер пропонує ПК повторно передати команду.

На початку роботи, підпрограма задає лічильник помилок, лічильник тактів очікування й дозволяє передачу інформації із ПК у мікроконтролер.

Після цього підпрограма очікує прийому інформації, перевіряє її й, якщо дані прийняті вірно, зберігає результат у регістрі R0.

У випадку виникнення помилок, мікроконтролер передає в ПК повідомлення про помилку й пропонує повторити передачу.

Алгоритм підпрограми прийому одного байта інформації представлений на рис. 4.5.

У випадку багаторазового повторення помилок, підпрограма завершує свою роботу й виставляє в регістрі R4 код 00h, що символізує помилковість прийнятих даних. Якщо від ПК довгий час не буде передана інформація, підпрограма також завершить свою роботу й виставить у регістрі R4 код 00h, що символізує помилковість прийнятих даних.

Як лічильник часу очікування використовується регістр R6.

У МП закладено гнучкий алгоритм визначення станів, тобто, при проходженні циклу немає жорсткої фіксації проходження етапів. Крім того, якщо

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

особливо в умовах дефіциту часу.

Чим вище рівень компетентності (професійної підготовки) людини, тим нижче рівень напруженості її стану. При таких обставинах людина може швидше справлятися з більш складними завданнями.

4.2 Контроль тестувального процесу

Постійний моніторинг рівня напруженості стану людини дозволяє своєчасно виявити передстресові та стресові стани та формувати рішення щодо індивідуальних компетенцій фахівця.

Адаптивна система управління тестуванням, яка будується на основі компетентнісного підходу, повинна складатися з трьох взаємопов'язаних модулів (рис. 4.6): підсистеми оцінки результатів діяльності оператора, підсистеми виявлення його психофізіологічного стану та підсистеми формування інтелектуального інформаційного середовища тренажера [1].

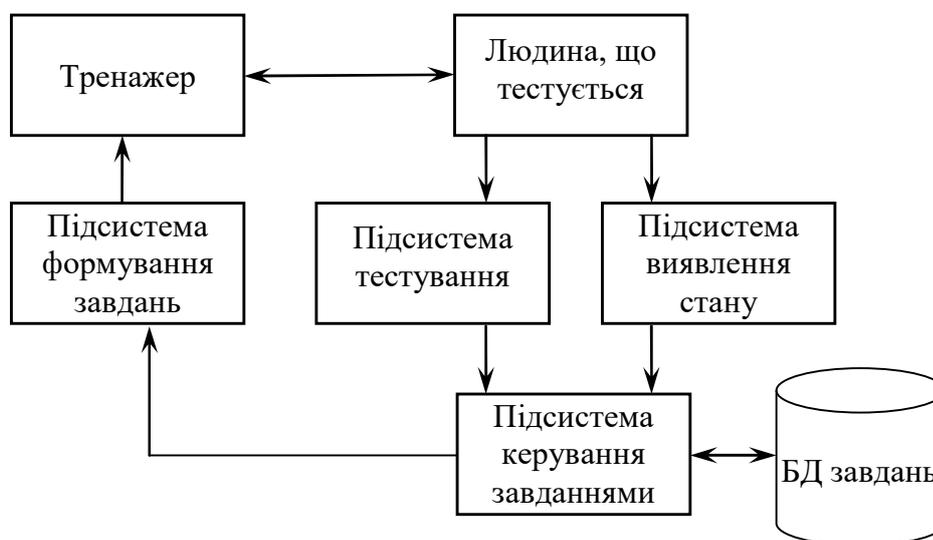


Рис. 4.6 – Адаптивна система управління тестуванням

Для визначення рівня професійної компетентності оцінюється якість та майстерність засвоєння знань, умінь та навичок, мотивація, активність та успішно виконані завдання. Контроль традиційно здійснюється у формі тестування під час практичних вправ.

Стан людини може бути визначений за біофізичними параметрами, які змінюються під час виконання операцій різного характеру та можуть вимірюватися за допомогою датчиків. На основі аналізу даних, що фіксуються за результатами вимірів, можна виявити рівень напруженості стану людини та оцінити складність оперативної ситуації.

У структурі системи «людина-машина» урахування параметрів стану можна здійснювати трьома датчиками, що визначають температуру тіла людини, опір шкіряних покривів та швидкість серцевих скорочень. Данні з результатами вимірів повинні передаватися на пристрій попередньої обробки сигналів, а потім на персональний комп'ютер для ідентифікації стану оператора.

Ідентифікація стану людини може здійснюватися на підставі визначення біофізичних параметрів під час виконання операцій різного характеру. Блок-схему алгоритму управління процесом тестування наведено на рис. 4.7.

В залежності від ступеня напруженості доцільно зменшувати складність завдань, що пропонуються для виконання під час тестування або взагалі зупинити процес тестування.

4.3 Висновки до розділу 4

В структурі системи «людина-машина» можна здійснювати оцінювання параметрів стану оператора на основі вимірювань, які реєструються трьома датчиками, що визначають температуру тіла людини, опір шкіряних покривів та швидкість серцевих скорочень. Наведено структуру системи диспетчерського контролю і управління. Данні з результатами вимірів передаються безпосередньо на сам пристрій, а потім до ПК. Зіставляючи отримані дані, приймається рішення про стан оператора, вибір режиму роботи. Така робота вимагає коректної роботи й підвищеної точності, а так само злагодженості й оперативності роботи датчиків. Для отримання своєчасної оцінки щодо стану оператора у сформованій ситуації доцільно застосувати методи нечіткої логіки.

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

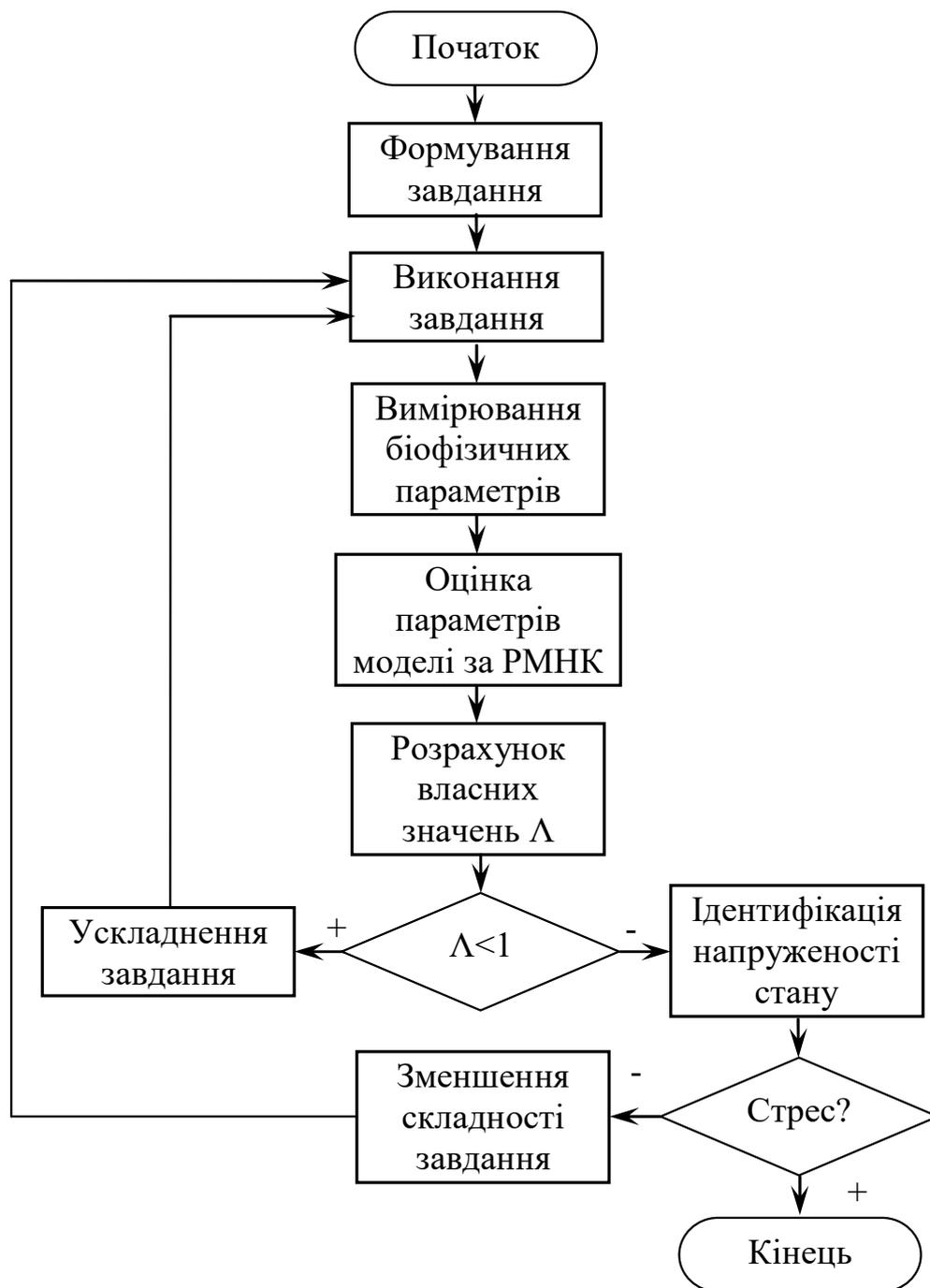


Рис. 4.7 – Блок-схема алгоритму управління процесом тестування

ВИСНОВКИ

Метою цієї кваліфікаційної роботи є створення автоматизованої системи підбору кадрів, яка використає перевірку професійних навичок за допомогою спеціалізованих тренажерів.

Проведено аналіз особливостей функціонування людини-оператора. Наведено опис причин виникнення помилок та психічних процесів. Обґрунтовано, що при тестуванні людини необхідно враховувати психофізіологічний стан для оцінювання компетенцій кандидата. Проаналізовано методи вимірювання електрофізіологічних показників стану особи.

Основною перевагою системи визначення стану людини-оператора є достатньо висока точність показників з урахування потрібних біопараметрів. Важливим є те, що система може попереджувати допускання помилок та підвищувати можливість без помилкової роботи. За допомогою даної системи можливий відбір операторів які мають менший ступінь впливу зовнішніх подразників та психологічних факторів на рівень кількості помилок, що допускаються.

Сучасні технологічні рішення дозволяють створювати більш портативні еротометри, експлуатаційні параметри яких - чутливість та безвідмовна робота на великому проміжку часу. Як приклад була представлена функціональна та структурна схема можливого пристрою та системи, а також описана елементна база, на основі якої можна власне побудувати таку систему.

Розроблена система призначена для визначення стану оператора для попередження допущення ним помилок при роботі. Розроблену систему визначення стану оператора можна широко використовувати в сучасних системах тестування кадрів на профпридатність. А саме – спеціалізованих тренажерах.

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гамаш Д.Л., Бідюк П.І. Людський фактор та ергономіка. Київ: «Корнійчук», 2001. 280 с.
2. Меньков А.В., Острейковский В.А. Теоретические основы автоматизированного управления. Учебник для вузов. М.: Издательство Оникс, 2005. 640 с.
3. Саркисян С.А. Большие технические системы [Текст] : Анализ и прогноз развития / С. А. Саркисян, В. М. Ахундов, Э. С. Минаев ; МВ ССО СССР. АН СССР. М-во приборостроения, средств автоматизации и систем упр. СССР. – М. : Наука, 1977. – 350 с.
4. Ломов Б.Ф. Деятельность оператора в системе «человек—машина» / Основы инженерной психологии. Под ред. Б.Ф. Ломова. М.: Высшая школа. 1986. С. 169–196.
5. Цибулевский И.Е. Ошибочные реакции человека-оператора. М.: Сов.радио, 1979. 208с.
6. Носенко Э.Л., Аршава И.Ф. Теоретико-психологические основы компьютерной диагностики эмоциональной устойчивости человека: Монография. Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 2006. 236 с.
7. Устюжанин, А. Д., Пупков, К. А. Динамическая идентификация и оценивание состояния человека-оператора в системах «человек – машина» [Текст] : учеб. Пособие. М. : РУДН, 2011. 180 с.
8. Моргунов Е.Б. Человеческие факторы в компьютерных системах. М.: Тривола, 1994. 272с.
9. Кэррол Э. Изард. Психология эмоций. СПб.: «Питер», 2000. 464 с.
10. Васильева Т.Н., Габдреева Г.Ш., Прохоров А.О. Психология состояний. Хрестоматия. / Под ред. проф. А.О. Прохорова. М.: ПЕР СЭ; СПб.: Речь, 2004. 608 с.
11. Стрелков Ю.К. Инженерная и профессиональная психология: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия»; Высшая школа, 2001. 360 с.
12. Вилюнас В. Психология эмоций. СПб.: Питер, 2004. 496 с.
13. Стрелков Ю.К. Психологическое содержание операторского труда. М.:

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Российское психологическое общество, 1999. 196 с.

14. Практикум по психологии состояний: Учебное пособие / Под ред. проф. А.О. Прохорова. СПб: Речь, 2004. 480 с.

15. Прохоров А.О. Психология неравновесных состояний. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 1998. 152с.

16. Испытательная техника. Кн.1/Под ред. В.В. Клюева. М.:Машиностроение, 1982, 432с.

17. Ильин Е.П. Психофизиология состояний человека. СПб.: Питер, 2005. 412 с.

18. Психологические проблемы подготовки специалистов с использованием тренажных средств. Сб.научных трудов. Отв. ред. В.А.Бодров. М.: ИП АН СССР, 1988. 283 с.

19. Рудный Н.М., Бодров В.А. С учетом психофизиологических показателей // Авиация и космонавтика. 1977. № 6. С. 14–15.

20. Орлов В.Я. К вопросу оценки уровня подготовки операторов. Проблемы оценивания в психологии. Саратов: СГУ, 1984. С. 102–108.

21. Бодров В.А., Орлов В.Я. Психология и надежность: человек в системах управления техникой. - М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 1998. 288 с.

22. Бобков А.И., Далматов С.Б., Преснякова Г.В., Шашин Г.В. Принципы построения адаптивных аналоговых систем обучения и контроля знаний. Учеб. пособие. Л.: Лен. инст. авиац. приборостроения, 1987. 80с.

23. Сергиенко С. К., Бодров В.А., Писаренко Ю.Э. и др. Практикум по инженерной психологии и эргономике: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений /; Под ред. Ю.К.Стрелкова. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 400 с.

24. Денисов В.Г., Онищенко В.Ф., Скрипец А.В. Авиационная инженерная психология. М.: Машиностроение, 1983.

25. Шмидт, Р. Физиология человека. В 3-х томах. Т.3 [Текст] / Р. Шмидт – М.: Мир, 1996. 313 с.

26. Рангайян, Р. М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход [Текст] / Пер. с англ. Под ред. А. П. Немирко. М.: Физматлит, 2007. 440 с.

27. Носенко Э.Л., Аршава И.Ф. Теоретико-психологические основы

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата		65

компьютерной диагностики эмоциональной устойчивости человека. Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 2006. 236 с.

28. Сергеев Г.Л., Романенко В.Г., Евграфов В.Г. Статистическая обработка электрофизиологической информации. Проблемы инженерной психологии, вып.2. М.: Об-во психологов СССР, 1973, с. 188-189.

29. Мельникова М. Л. Психология стресса: теория и практика : учебно-методическое пособие . — Урал. гос. пед. ун-т; науч. ред. Л. А. Максимова. Электрон. дан. — Екатеринбург : [б. и.], 2018.

30. Деруссо П., Рой Р., Клоуз Ч. Пространство состояний в теории управления. М.: Наука, 1970.

31. Ким В.М. Формальное описание показателей электропунктурной диагностики и их структурная факторизация для популяционных задач. М., Паимс, 1998, 224с.

32. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1986. 512 с.

33. Черныш И.М. Глава 8 «Инструментальная рефлексодиагностика» в Кн. «Лекции по рефлексотерапии» (Василенко А.М. с соавт.). М.: «Су-Джок Академия», 2002. С.172-180.

34. Аш, Ж. и др. Датчики измерительных систем: В 2-х Книгах. М.: Мир, 1992. 480 с.

35. 24-битный прецизионный АЦП с 8051 микроконтроллерным ядром и Flash памятью. [Электронный ресурс] - режим доступа: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/ic/Texas_Instruments/adc/integrating/mscl210.htm.

36. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. М.: Горячая линия Телеком, 2009. 608 с.

37. Брусенцов В.Г., Ворожбян М.И., Брусенцов О.В., Бугайченко И.И., Гончаров А.В. Контроль уровня функциональной надежности как условие обеспечения профессиональной надежности человека-оператора // Комунальне господарство міст 120(1) 2015 Харків 2015 – С.85-87.

38. Справочник по микросхемам. Составитель Рахимов Т.М. М.: Эхо 1991. 250 с.

39. Жан М. Рабаи, Ананта Чандракасан, Боривож Николич. Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования = Digital Integrated

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Circuits. М.: Вильямс, 2007. 911 с.

40. Котик М.А., Емельянов А.М. Природа ошибок человека-оператора. М.: Транспорт, 1993. 252 с.

41. Гитис Э.И., Пискулов Е.А. Аналого-цифровые преобразователи: Учебное пособие для вузов. М.: Энергоиздат, 1981. 360 с.

42. Черныш И.М., Гуров А.А. Обоснование выбора реперных точек в электропунктурной диагностике. Сборник материалов конгресса «Традиционная медицина — 2000». Элиста, 27-29 сентября 2000 г. М., 2000. 590с.

					ХНТУ 174.КРМ.25.09.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата		

ДОДАТОК А. ЛИСТІНГ РОЗРАХУНКІВ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ ЗА РЕКУРЕНТНИМ МЕТОДОМ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ

Номер відліку

$T := (0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10 \ 11 \ 12 \ 13 \ 14 \ 15 \ 16 \ 17 \ 18 \ 19 \ 20 \ 21 \ 22 \ 23 \ 24 \ 2 \ 2)$

Зареєстровані значення:

Кардіограма

$U_{kaf} := (0 \ 2640 \ 1000 \ 1040 \ 1120 \ 1400 \ 1760 \ 1800 \ 1840 \ 1920 \ 1920 \ 1760 \ 1880 \ 1920)$

Реограма

$U := (0 \ 1180 \ 1160 \ 1120 \ 1100 \ 1080 \ 1200 \ 1160 \ 1120 \ 1120 \ 1080 \ 1240 \ 1360 \ 1440 \ 16)$

Пневмограма

$U_{raf} := (0 \ 2200 \ 2240 \ 2260 \ 2280 \ 2280 \ 2280 \ 2260 \ 2260 \ 2240 \ 2240 \ 2232 \ 2220 \ 2208)$

Нормалізація даних

$U_{kafmax} := \max(U_{kaf})$

$U_{rafmax} := \max(U_{raf})$

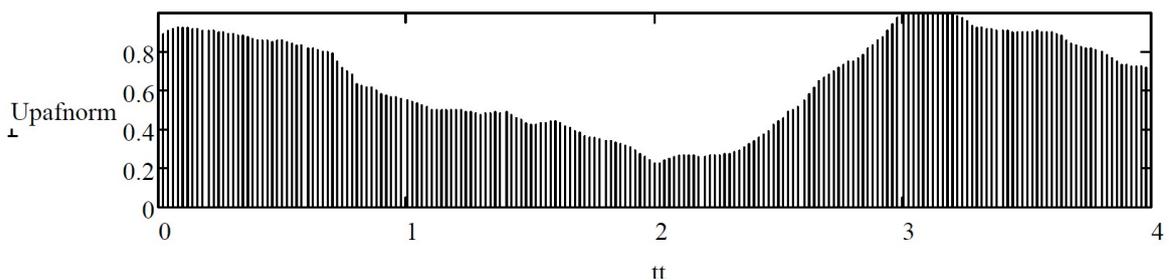
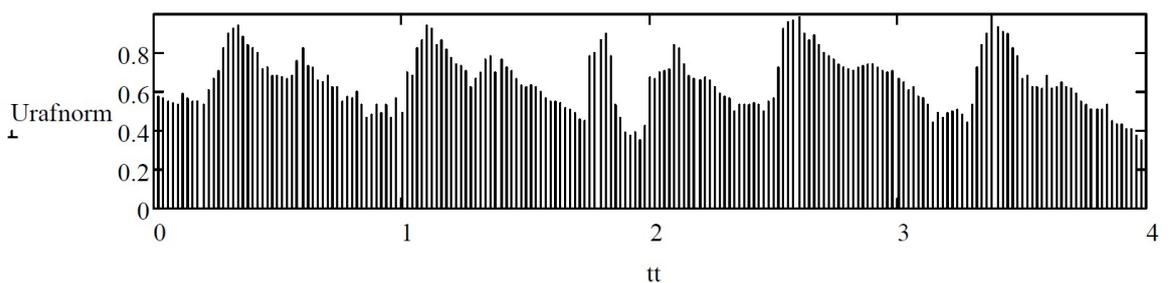
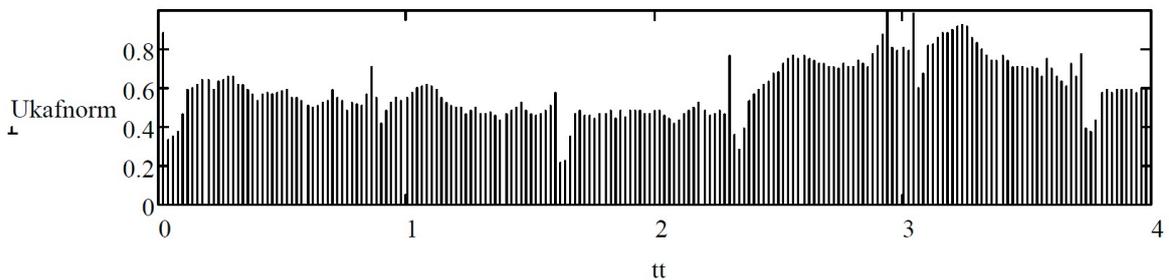
$U_{pafmax} := \max(U_{paf})$

$U_{kafnorm} := \frac{U_{kaf}}{U_{kafmax}}$

$U_{rafnorm} := \frac{U_{raf}}{U_{rafmax}}$

$U_{pafnorm} := \frac{U_{paf}}{U_{pafmax}}$

$tt := 0.02 \cdot T$



Масив вихідних даних

$X := \text{stack}(\text{Ukafnorm}, \text{Urafnorm}, \text{Urafnorm})$

	0	1	2	3	4	5	6
X =	0	0.886	0.336	0.349	0.376	0.47	0.591
	1	0	0.578	0.569	0.549	0.539	0.588
	2	0	0.894	0.911	0.919	0.927	...

Розрахунок початкової матриці

$$S := \left[\sum_{i=2}^{ns} \left(X^{\langle ns+2-i \rangle} \cdot X^{\langle ns+1-i \rangle T} \right) \right] \cdot \left[\sum_{i=2}^{ns} \left(X^{\langle ns+1-i \rangle} \cdot X^{\langle ns+1-i \rangle T} \right) \right]^{-1}$$

$$S = \begin{pmatrix} 0.51 & 0.166 & 0.192 \\ 0.056 & 0.858 & 0.075 \\ -0.024 & -0.018 & 1.023 \end{pmatrix}$$

Власні значення

$$LS := \text{eigenvals}(S) \quad LS = \begin{pmatrix} 0.491 \\ 0.909 \\ 0.991 \end{pmatrix}$$

Коефіцієнт впливу зовнішніх збурень

$$B2 := \text{tr} \left[\sum_{i=2}^{ns} \left(X^{\langle ns+1-i \rangle} \cdot X^{\langle ns+1-i \rangle T} \right) - S \cdot \sum_{i=2}^{ns} \left(X^{\langle ns+1-i \rangle} \cdot X^{\langle ns+2-i \rangle T} \right) \right]$$

$$b2 := \frac{B2}{3 \cdot (ns - 1)} \quad b2 = 0.01$$

$$b := \sqrt{b2} \quad b = 0.1$$

$nn := \text{длина}(Ukaf^T)$

$nn = 201$

Рекурентний метод найменших квадратів

$$D_{ns} := S$$

$$I := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A0 := \left\{ \begin{array}{l} xm_{ns} \leftarrow X^{(ns)} \\ A_{ns} \leftarrow D_{ns} \\ \text{for } k \in ns + 1 .. nn - 1 \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} xm_k \leftarrow A_{k-1} \cdot X^{(k-1)} \\ \epsilon_k \leftarrow X^{(k)} - xm_k \\ \gamma_{k-1} \leftarrow \left(1 + X^{(k)T} \cdot D_{k-1} \cdot X^{(k)} \right)^{-1} \\ D_k \leftarrow D_{k-1} - D_{k-1} \cdot X^{(k)} \cdot \gamma_{k-1} \cdot X^{(k)T} \cdot D_{k-1} \\ A_k \leftarrow A_{k-1} + \gamma_{k-1} \cdot X^{(k)T} \cdot D_{k-1} \cdot \frac{I}{k} \cdot \epsilon_k \\ A5_k \leftarrow \text{augment}(A_k, xm_k) \end{array} \right. \\ A5 \end{array} \right.$$

Матриця, одержана в результаті розрахунків

$$nn1 := nn - 1$$

$$nn1 = 200$$

$$A0_{nn1} = \begin{pmatrix} 0.519 & 0.174 & 0.201 & 0.512 \\ 0.065 & 0.867 & 0.084 & 0.405 \\ -0.015 & -8.877 \times 10^{-3} & 1.031 & 0.729 \end{pmatrix}$$

Власні значення

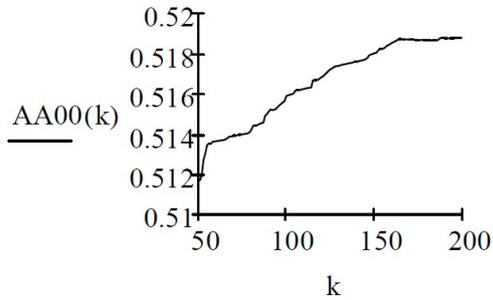
$$\Lambda := \text{eigenvals}(\text{submatrix}(A0_{nn-1}, 0, 2, 0, 2))$$

$$\Lambda = \begin{pmatrix} 0.493 \\ 0.99 \\ 0.916 \end{pmatrix}$$

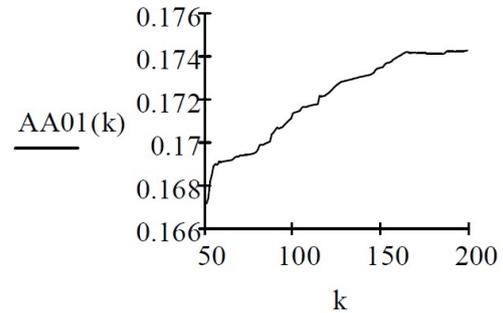
Динаміка значень коефіцієнтів матриці А

$$k := ns + 1 .. nn - 2 \quad AA(k) := A0_k$$

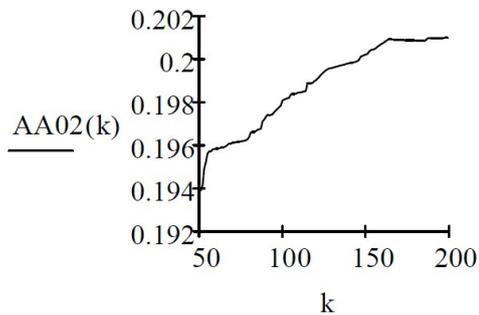
$$AA00(k) := AA(k)_{0,0}$$



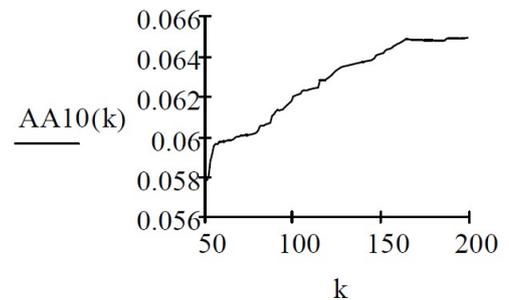
$$AA01(k) := AA(k)_{0,1}$$



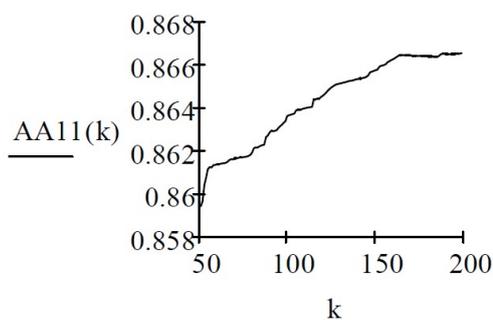
$$AA02(k) := AA(k)_{0,2}$$



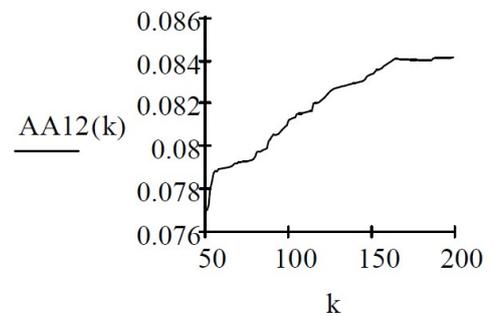
$$AA10(k) := AA(k)_{1,0}$$



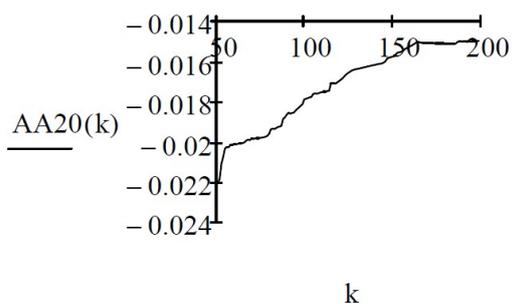
$$AA11(k) := AA(k)_{1,1}$$



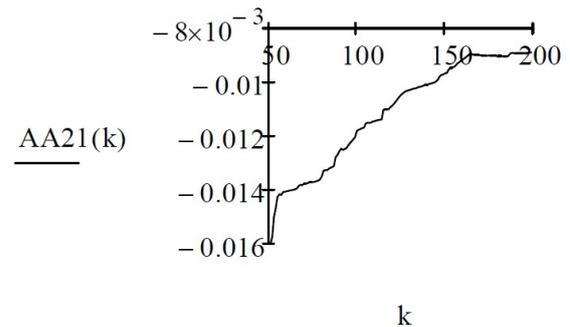
$$AA12(k) := AA(k)_{1,2}$$



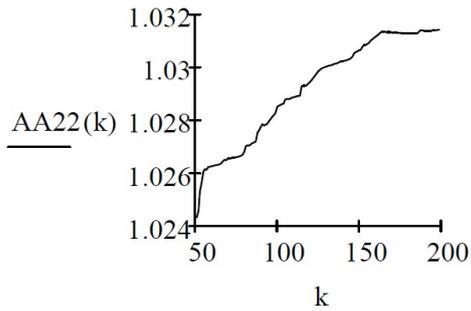
$$AA20(k) := AA(k)_{2,0}$$



$$AA21(k) := AA(k)_{2,1}$$



$$AA22(k) := AA(k)_{2,2}$$



Порівняння експериментальних та розрахункових даних

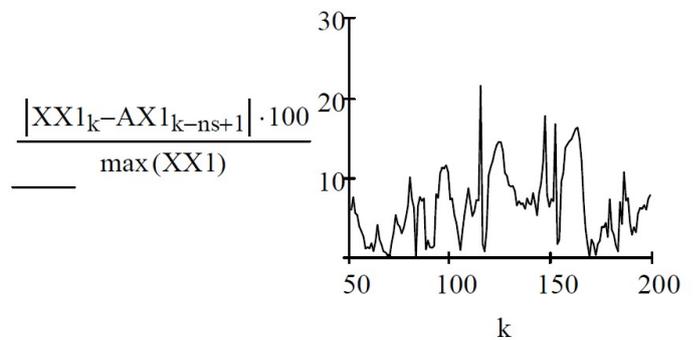
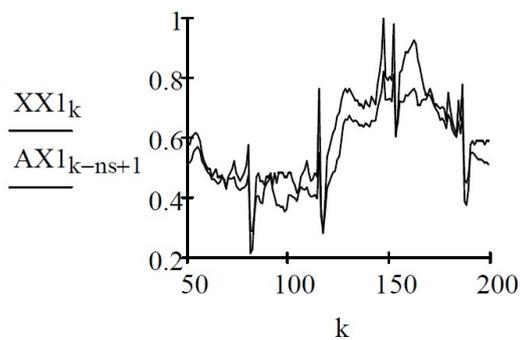
$$Ax := \begin{cases} Xx \leftarrow AA(ns + 1)^{\langle 3 \rangle} \\ \text{for } k \in ns + 1 .. nn - 1 \\ Xx \leftarrow \text{augment}(Xx, AA(k)^{\langle 3 \rangle}) \\ Xx \end{cases}$$

$$XX := X^T \quad AX := Ax^T$$

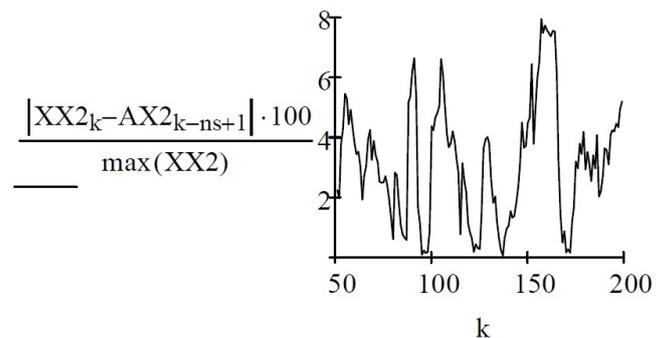
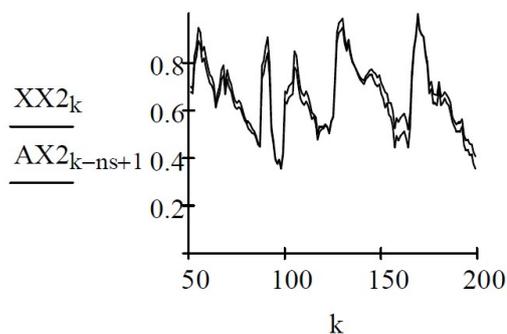
Залежності

Похибка

$$XX1 := XX^{\langle 0 \rangle} \quad AX1 := AX^{\langle 0 \rangle}$$



$$XX2 := XX^{\langle 1 \rangle} \quad AX2 := AX^{\langle 1 \rangle}$$



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

$$XX3 := XX^{(2)} \quad AX3 := AX^{(2)}$$

