

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА БІОКІБЕРНЕТИКИ ТА АЕРОКОСМІЧНОЇ МЕДИЦИНИ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри БІКАМ

Лариса КОШЕВА

«_____» _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ « МАГІСТР »

за напрямом 163 «Біомедична інженерія»

Освітньо-професійної програми «Біомедична інженерія»

Тема: Методика аналізу реограм

Здобувач ВО: студент 205М Дмитро ПОНОМАРЕНКО

Керівник: професор Михайло БУРИЧЕНКО

Консультант з охорони праці:

професор Батир ХАЛМУРАДОВ

Консультант з охорони навколишнього середовища

доцент Євген БОВСУНОВСЬКИЙ

Нормоконтролер: асистент кафедри БІКАМ

Марина АРХИРЕЙ

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра біокібернетики та аерокосмічної медицини

Спеціальність: 163 «Біомедична інженерія»

Освітньо-професійна програма: Біомедична інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ Лариса КОШЕВА

“ _____ ” _____ 20__ р

ЗАВДАННЯ **на виконання кваліфікаційної роботи**

Пономаренку Дмитру Геннадійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної магістерської роботи: «Методика аналізу реограм»
затверджена наказом ректора від «29» серпня 2022 р. № 1148/ст.
2. Термін виконання роботи: з 26.09.2022р. по 30.11.2022 р.
3. Вихідні дані до роботи: Розробити методику аналізу реограм
4. Зміст пояснювальної записки: Опис методів отримання реограм, методи аналізу реограм в часовій і частотній області, непараметричні методи спектрального аналізу, вибір параметрів аналізу.
5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу (презентація):
опис етапів методики аналізу реограм, графіки досліджуваних реограм, графіки спектральної щільності реограм

5. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Аналіз літературних джерел	28.09.2022	Виконано
2	Вступ, завдання кваліфікаційної роботи	02.10.2022	Виконано
3	Огляд методів аналізу реограм	10.10.2022	Виконано
4	Розробка етапів оцінювання характеристик реограм у частотній області	15.10.2022	Виконано
5	Підготовка розділу з охорони праці	29.10.2022	Виконано
6	Підготовка розділу з охорони довкілля	05.11.2022	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки кваліфікаційної роботи	15.11.2022	Виконано
8	Підготовка презентації кваліфікаційної роботи	18.11.2022	Виконано

7. Консультація з окремих розділів:

Назва розділу	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Хармуладов Б.		
Охорона навколишнього середовища	Бовсуновський Є.О.		

8. Дата видачі завдання: 26 вересня 2022 р.

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Михайло БУРИЧЕНКО
 (підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Дмитро ПОНОМАРЕНКО
 (підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської кваліфікаційної роботи
«Методика аналізу реограм»

93 сторінки, 58 рисунків, 3 таблиці, 27 використано джерел.

ГАРМОНІЙНИЙ АНАЛІЗ, БІОІМПЕДАНС, МЕТОД УЕЛЧА, МЕТОД
ТОМСОНА, ПЕРІОДОГРАМА, СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ, РЕОГРАФІЯ,
РЕОГРАМА, ЧАСОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ШВИДКЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ
ФУР'Є

Об'єкт дослідження – реограма, яку отримують під час проведення
діагностування стану здоров'я людини.

Предмет дослідження – методи оцінювання параметрів реограми в
частотній області.

Мета кваліфікаційної магістерської роботи – підвищити точність
оцінювання параметрів реограми.

Результати роботи:

- розроблена методика оцінювання характеристик реограм у частотній області;
- розроблено програмне забезпечення реалізації етапів методики оцінювання характеристик реограм;
- проведено оцінювання характеристик реограм з застосуванням розробленого програмного забезпечення.

Матеріали роботи рекомендується використовувати у навчальному процесі кафедри біокібернетики та аерокосмічної медицини, в наукових дослідженнях кафедри і практичній діяльності фахівців з біомедичної інженерії.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ОТРИМАННЯ РЕОГРАМ	10
1.1. Електричні властивості біологічних тканин	10
1.2. Вимірювання імпедансу біологічних тканин	14
1.3. Функціональна схема реографа	18
Висновки до розділу 1	19
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ АНАЛІЗУ РЕОГРАМ	20
2.1. Аналіз форми реограми	20
2.1.1. Додаткові хвилі реограми	22
2.1.2. Якісна характеристика реограми	24
2.1.3. Амплітудно-часові характеристики реограми	25
2.1.4. Оцінювання індексів реограми	26
2.2. Аналіз залежності імпедансу від частоти току	28
2.3. Спектральний аналіз реограм	28
2.3.1. Моноциклічний спектральний аналіз	29
2.3.2. Мультициклічний спектральний аналіз	29
2.4. Непараметричні методи спектрального аналізу	30
2.4.1. Періодограма і корелограма	30
2.4.2. Використання функцій вікна	32
2.4.3. Метод Бартлетта	34
2.4.4. Метод Уелча	34
2.4.5. Багатовіконний метод	35
2.5. Основні етапи спектрального аналізу	37
Висновки до розділу 2	38
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА АНАЛІЗУ РЕОГРАМ	39
3.1. База даних сигналів	39
3.2. Стадії методики аналізу реограм	39
3.2.1. Завантаження сигналу із файлу	40

	6
3.2.2. Видалення постійної складової і низькочастотного тренду	48
3.2.3. Обчислення спектральної щільності методом Уелча	48
3.2.4. Вплив довжини вікна аналізу	53
3.2.5. Обчислення спектральної щільності методом Томсона	56
3.2.6. Спектрально-часова роздільна здатність	60
Висновки до розділу 3	62
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	63
4.1. Перелік небезпечних та шкідливих виробничих факторів в робочій зоні при експлуатації ПК	63
4.2. Технічні та організаційні заходи, які виключають або обмежують вплив небезпечних та шкідливих виробничих факторів	65
4.2.1. Заходи щодо регулювання температури повітря робочої зони	65
4.2.2. Заходи щодо забезпечення необхідного природного освітлення	66
4.2.3. Заходи щодо забезпечення освітлення робочої зони	66
4.2.4. Захист від ураження електричним струмом	69
4.2.5. Заходи щодо регулювання рівню шуму в робочій зоні	69
4.3. Забезпечення пожежної і вибухової безпеки	70
4.4. Розрахунок штучного освітлення в приміщенні, де знаходиться персональний комп'ютер	71
4.5. Інструкція з техніки безпеки при роботі за персональним комп'ютером	72
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	76
5.1. Основні фактори впливу технологічних процесів на навколишнє середовище	76
5.2. Законодавча база охорони навколишнього природного середовища в Україні	77
5.3. Основні принципи охорони навколишнього природного середовища	79
5.4. Характеристики ПК як джерела забруднення	80

5.5. Заходи щодо усунення негативного впливу на навколишнє середовище	85
5.6. Утилізація персонального комп'ютера	86
ВИСНОВКИ	91
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	92

ВСТУП

Друга половина XX століття ознаменувалася бурхливим розвитком нових, більш сучасних і фізіологічно обґрунтованих методів дослідження різних функцій і систем людського організму - так званої функціональної діагностики. Методи ці відрізняються відносною простотою, високим ступенем інформативності та надійності, дозволяють використовувати в клінічних умовах останні досягнення самих різних і спеціальних галузей знання. Серед цих методів особливе місце займає клінічна електрофізіологія. У цьому зв'язку треба особливо відмітити комп'ютеризацію методів функціональної діагностики, що відкрила принципово новий і дуже важливий розділ, та значно розширила межі методик, їх можливості і об'єктивність отриманих результатів.

Серед багатьох методів функціональної діагностики, особливе місце займають методи дослідження серцево-судинної системи. Це пов'язано з широкою поширеністю подібних захворювань, тяжкістю перебігу, високим відсотком інвалідності та смертності серед хворих і частою складністю об'єктивної діагностики.

Реографія (грец. rhe – текти, graph – писати) чи, у ширшому сенсі, імпедансна плетизмографія є поширеним і надійним інструментом дослідження в медицині та експериментальній фізіології, що призначений для вивчення кровонаповнення будь-якої ділянки тіла шляхом вимірювання коливань повного (активного резистивного та реактивного ємнісного) електричного опору (біоімпедансу) цієї ділянки на змінному струмі [1–9].

До переваг цього методу слід віднести, крім вищевказаних, можливість проводити дослідження практично в необмеженому числі судинних зон, тривало і в будь-яких умовах.

Перелом у ставленні методу реографії настав після широкого впровадження в практику їх використання комп'ютерних методів дослідження, що дозволило перевести реографію з методики якісної оцінки

одержуваних результатів, в сучасний метод дослідження, що дав можливість при використанні спеціальних комп'ютерних програм оцінювати одержувані параметри реографічних кривих в цифровому вираженні з достатньою точністю і обґрунтованістю, і тим самим значно розширити можливості методу.

Об'єктом дослідження в даній кваліфікаційній роботі є реограма, яку отримують під час проведення діагностування стану здоров'я людини.

Предметом дослідження є методи оцінювання параметрів реограми в частотній області.

Метою даної кваліфікаційної магістерської роботи є підвищення точності оцінювання діагностичних параметрів реограми.

Для досягнення мети роботи були поставлені такі завдання:

- розробити методику оцінювання характеристик реограм в частотній області;
- розробити програмне забезпечення реалізації розробленої методики;
- виконати аналіз реограм із застосуванням розробленої методики.

Отримані в цій роботі результати дослідження можуть дозволити реалізувати автоматичне, пришвидшене та більш точне вимірювання основних діагностичних характеристик реограм.

Апробація роботи. Результати роботи були представлені в доповіді на Міжнародній студентській науково-практичній конференції «Сучасні проблеми та перспективної біомедичної інженерії», 02 листопада 2022 р., м Київ, С. 13-14.

РОЗДІЛ 1.

ОТРИМАННЯ РЕОГРАМ

Реографія - метод графічної реєстрації змін опору живих тканин або органів, обумовлених як пульсовими, так і повільними коливаннями їх кровонаповнення. Реографію можна застосувати для дослідження кровообігу в будь-якій ділянці організму.

Коливання електричного опору обумовлені, перш за все, коливаннями кровонаповнення судин і зміною швидкості руху крові в них. Величина струму та характер його зміни в часі, знаходяться в залежності від величини опору, яка визначається структурою тканини і зміною в часі досліджуваної структури в результаті життєдіяльності організму. Задача методу в тому і складається, щоб встановити цей зв'язок. Використання електричного струму малої сили не приводить до збудження живої тканини і не порушує її структуру, а також механічних, хімічних, нервових та інших процесів життєдіяльності.

1.1. Електричні властивості біологічних тканин

Зміни імпедансу ділянок живої тканини або органів між електродами вимірювальної схеми, що викликаються коливанням їх кровонаповнення, перетворюються в зміни напруги на виході схеми, які потім посилюються за допомогою електронного підсилювача та фіксуються у вигляді реограм.

Біологічні об'єкти, з фізичної точки зору, є провідниками особливого роду, характеристики яких відрізняють їх від будь-яких інших провідників. Біологічні системи відрізняються від інших систем складністю, варіабельністю елементів електричних характеристик аналогічних об'єктів і високою динамічністю, зумовленою необхідністю постійного пристосування до мінливих умов зовнішнього середовища. Живі тканини представляють собою складну гетерогенну структуру, що складається з областей із різною провідністю. Найбільшу електропровідність мають спинномозкова рідина і

сироватка крові, дещо меншу – суцільна кров і м'язова тканина, значно менша електропровідність жирової та сполучної тканин. Поганими провідниками є роговий шар шкіри і кісткова тканина.

При дослідженні тканин біологічних об'єктів, зазвичай, визначають не електропровідність, а опір електричному струму. Перші дослідження характеристик біологічних об'єктів проводилися на постійному струмі і показали, що питомий опір живих тканин вимірюється величинами до 10^5 [Ом*см], що відносить їх до групи провідників.

Опір ділянок тіла при постійному струмі і електродах площею 4-5 см² зазвичай лежить в межах 5-10 кОм, а при точкових електродах може досягати 100 кОм.

Експериментально встановлено, що при проходженні постійного струму через живі тканини його сила I_0 не залишається постійною в часі, а відразу ж після накладення потенціалу починає безперервно падати до тих пір, поки не встановиться на більш низькому постійному рівні (I_T). Це пояснюється тим, що при проходженні струму через біосистему, в ній виникає зустрічна ЕРС і обумовлює появу в тканинах біологічної системи поляризаційної ємності:

$$Cp = \frac{\int_0^x I dt}{R(I_0 - I_T)} ;$$

де Cp – поляризаційна ємність, R – опір, I – сила струму, I_0 – початкова сила струму, I_T – кінцеве значення сили струму.

Зміна сили струму в ланцюзі має нелінійний характер, що відповідно свідчить про не лінійність опору біологічної тканини. Тоді закон Ома для біологічного об'єкта (БО) записують у вигляді:

$$I = \frac{V - P(t)}{R} ;$$

де V – розрядність потенціалів, $P(t)$ – ЕРС поляризації, як функція часу.

Поляризаційна ємність різних біологічних об'єктів, виміряна при постійному струмі, а також при струмі низької частоти від 50 до 500 Гц

досягає великих величин – від 0,1 до 10 мкФ/см².

При пропусканні змінного струму через живу тканину, в ній виникають також, хоча і в меншій мірі, ніж при постійному струмі, поляризаційні явища, що складаються, в основному, із внутрішньої тканинної поляризації і поляризаційних явищ на межі електрод - тканина.

Опір живої тканини змінному струмі визначається сумою активного і ємнісного опорів:

$$Z = R - i \cdot X_c ;$$

Модуль повного опору:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} ;$$

Електричний опір БО, в великій мірі залежить від частоти змінного струму. На низьких частотах, поляризаційні явища характеризуються великим значенням поляризаційної ємності і активного опору. Відповідно зі зростанням частоти, поляризаційні ефекти в тканинах зменшуються, а на частотах вище 500 кГц, практично відсутні.

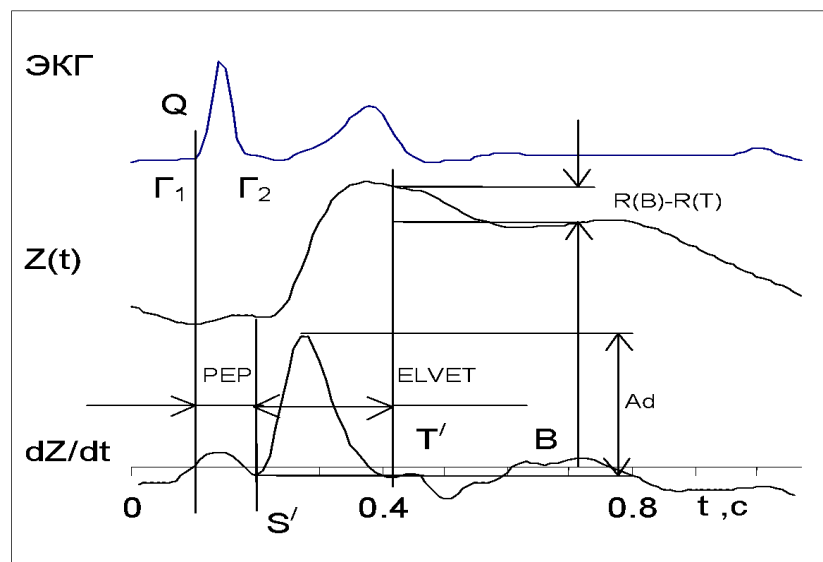


Рисунок 1.1. Амплітудно-часові параметри РКГ сигналу.

де, S' , T' - моменти початку та кінця вигону, Γ_1 , Γ_2 - зони моментів

формування Q і S зубців на ЕКГ, PEP – період ізометричного скорочення серця, ELVET – період вигону крові лівим шлуночком серця, A_d – амплітуда першої похідної сигналу РКГ, $R(B) - R(T)$ – різниця опорів між точками B і T).

Для реєстрації реограм, використовують спеціальні прилади - реографи, виконані, як правило, у вигляді приставок до багатоканальних пристроїв реєстрації (поліграфів, електрокардіографів). Основними елементами реографа різних модифікацій є генератор струму високої частоти (зазвичай не менше 30 кГц), що подається через струмовий електрод до досліджуваної ділянки тіла: датчик-перетворювач «імпеданс - напруга», що сполучається з досліджуваною ділянкою тіла електродом напруги (потенційним); детектор; підсилювач сигналів датчика-перетворювача; пристрій калібрування з резисторами стандартного опору (0,01; 0,05; 0,1; 0,2 Ом), що вмикають в електричний ланцюг.

Для запису реограм застосовують кілька систем відведень:

- біполярна (струмові і потенційні електроди накладають на полярні точки досліджуваної ділянки тіла);
- тетраполярна (між двома струмовими електродами поміщають два потенційних електрода для вимірювання змін напруги на ділянці тіла між ними);
- фокусуюча (взаємне положення потенційного і струмового електродів дозволяє проводити локальне (сфокусоване) дослідження органів і тканин, що лежать глибоко).

У реографії використовують переважно тетраполярну схему накладення електродів, рідше - біполярну.

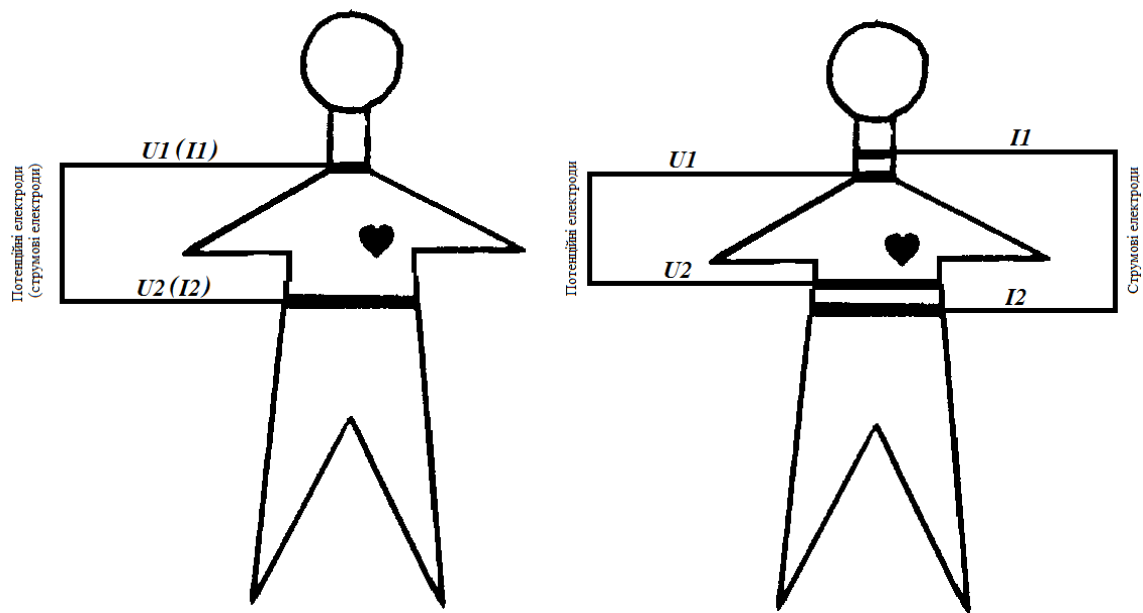


Рисунок 1.2. Схема накладання електродів: а) біполярна; б) тетраполярна

Для запису реограм використовують посріблені електроди, електроди з алюмінію, свинцю, нержавіючої сталі, міді, латуні, алюмінієвої фольги та ін. Форма і розмір електродів залежать від цілі і сфери застосування. Необхідний надійний контакт електродів зі шкірою для зменшення перехідного опору на границі електрод-шкіра. З цією метою рекомендується знежирювати шкіру під електродами спиртом; доцільне також застосування електродної пасти (змазування нею нижньої поверхні електродів) або поміщення під електроди одношарових фланелевих прокладок, змочених 20% розчином хлориду натрію. При динамічних дослідженнях, важливо щоб електроди розташовувалися в одних і тих же місцях. Запис реограм проводиться при швидкості протягування стрічки близько 25-50 мм/с. [5]

1.2. Вимірювання імпедансу біологічних тканин

Біологічні тканини, в тому числі тканини тіла людини, здатні проводити електричний струм. Основними носіями заряду в них є іони. Найбільшою питомою електропровідністю (g), тобто найменшим питомим опором (r), мають яскраво виражені електроліти - спинномозкова рідина. Жирова, кісткова тканини, а також суха шкіра, мають дуже малу електропровідність.

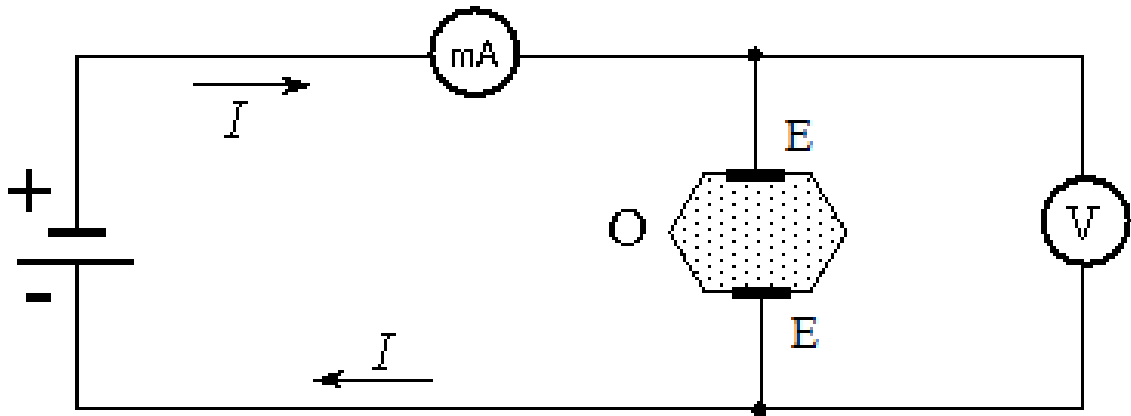


Рисунок 1.4. Схема вимірювання опору біологічного об'єкта

Розглянемо найпростішу схему вимірювання опору будь-якого органу або ділянки тіла О (рис. 1.4). Якщо I - сила струму через ділянку О, яка вимірюється міліамперметром mA ; U - напруга між електродами Е-Е, що вимірюється вольтметром V , то:

$$R = \frac{U}{I}.$$

Опір R має змінюватися в такт з серцевими скороченнями, оскільки під час них відбуваються зміни кровонаповнення органу. Проте ці зміни дуже малі (десяті долі Ом і менше) і не можуть бути надійно зареєстровані на фоні великого загального опору ділянки О, обумовленого великим опором шкіри і через поляризацію біологічних тканин.

З цих причин, у медичній реографії застосовують змінний струм високої частоти (близько 100 кГц).

При подачі на електроди Е - Е (рис. 1.5) змінної напруги,

$$U = U_0 \sin \omega t ,$$

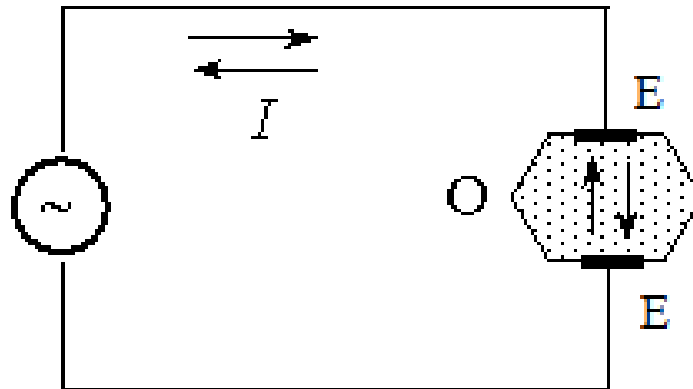


Рисунок 1.5. Схема подачі змінної напруги на електроди.

в колі об'єкта О протікає змінний струм

$$I = I_0 \sin \sin (\omega t - \varphi_0),$$

$\omega = 2\pi\nu$ - циклічна частота; ν - частота змінного струму; φ_0 - зсув по фазі між струмом і напругою.

Клітинні мембрани, а також границі розділу між різними тканинами, в певному сенсі подібні конденсаторам, тому будь-яка ділянка тіла має більш-менш значну ємність C . Ємнісний опір R_c зменшується при збільшенні частоти змінного струму ν :

$$R_c = \frac{1}{2\pi\nu C} \equiv ;$$

тому повний опір (імпеданс) ділянки тіла також буде спадати з частотою.

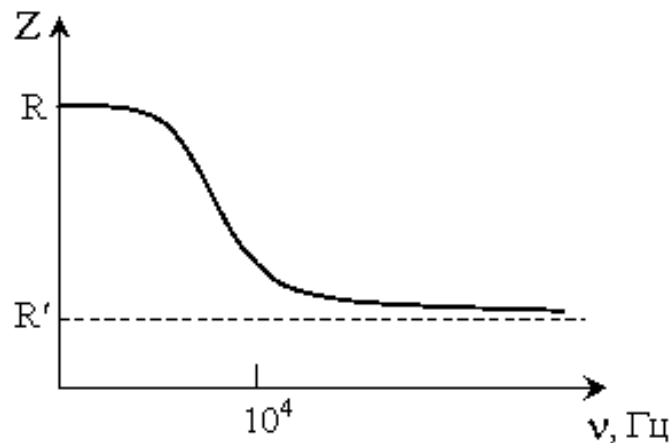


Рисунок 1.6. Залежність імпедансу від частоти змінного струму.

Залежність імпедансу живої тканини Z від частоти змінного струму має вигляд, представлений на рис. 1.6. При малих частотах ν (до 10^4 Гц) імпеданс великий, і приблизно дорівнює активному опору R тканини для постійного струму. При великих частотах Z зменшується, досягаючи $\nu \sim 10^8$ Гц деякого мінімального значення R' . Така залежність імпедансу від частоти може бути змодельована електричною схемою (рис. 1.7.)

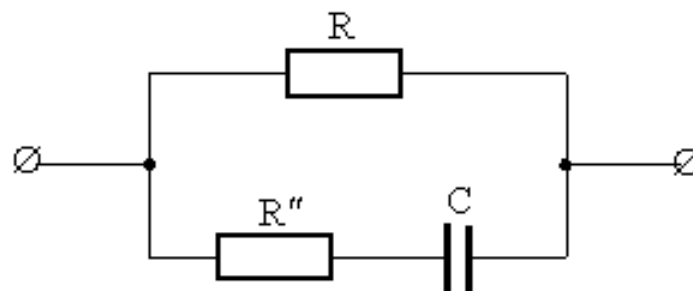


Рисунок 1.7. Змодельована залежність імпедансу від частоти.

Дійсно, при малих частотах $R_c = (\frac{1}{\omega C}) \rightarrow \infty$ і $Z \gg R$ (увесь струм іде через верхнє плече схеми), при великих частотах $R_c \rightarrow 0$ і

$$Z \approx (R'' * \frac{R}{R''} + R) \equiv R'.$$

У медичній реографії використовують частоти змінного струму близько 100 кГц. При таких великих частотах загальний імпеданс досліджуваного

органу або ділянки тіла зменшується і значно більшою мірою залежить від кровонаповнення органу. Тому відносні зміни імпедансу під час серцевих скорочень стають великими, і їх реєстрація значно полегшується. Причому ці зміни практично визначаються лише зміною активної складової R повного імпедансу досліджуваного органу, так як загальна складова на використовуваних частотах при зміні кровонаповнення змінюється зовсім небагато.

Основні чинники, що визначають вид реограми певного органу:

- 1) швидкість кровотоку в органі (при збільшенні швидкості течії крові, її питомий опір зменшується);
- 2) щільність і хімічний склад крові;
- 3) товщина і пружність (еластичність) стінок кровоносних судин;
- 4) геометрія органу.

Стан поверхневих шарів шкіри і сполучної тканини, при правильній методиці, не повинен надавати істотного впливу на вигляд реограми.

Іншою важливою перевагою змінного струму є те, що на високих частотах його подразнююча дія зменшується. А саме: величина щільності порогового струму $i_{\text{пор}}$, в діапазоні частот 50 - 300 кГц, збільшується прямо пропорційно частоті струму n . Так, на частоті реографії $n \sim 100$ кГц $i_{\text{пор}}$ - величина порядку 1 мА/см^2 , тоді як під час реографічного обстеження, щільність струму зазвичай не перевищує $0,2 \text{ мА/см}^2$ (для цього електроди повинні мати площу не менше 5 см^2 кожен). Такий струм, як правило, не відчувається пацієнтом, а реографічне обстеження є абсолютно не шкідливим і може повторюватися багато разів.

1.3. Функціональна схема реографа

Функціональну схему реографа наведено на рис. 1.8.

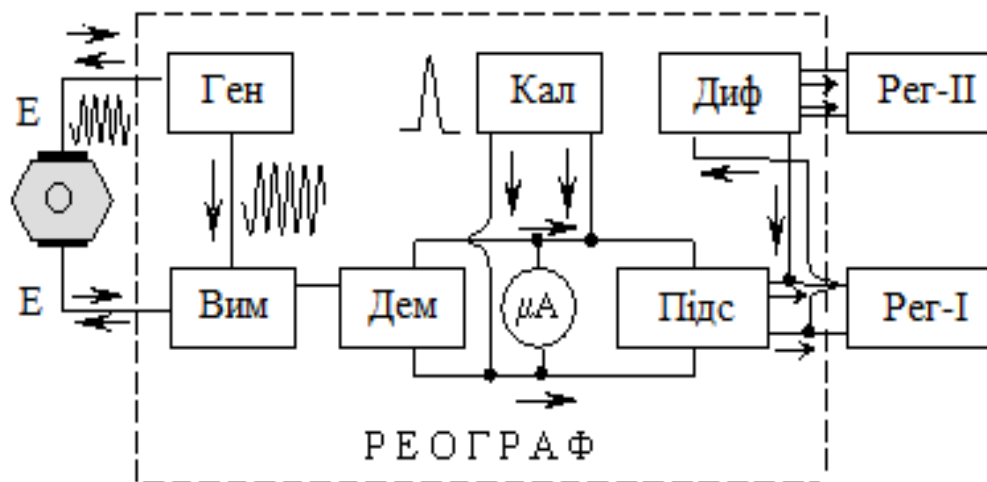


Рисунок 1.8. Функціональна схема реографа.

О - об'єкт (біологічний); Е-Е - електроди; Ген - генератор змінної напруги; Вим – вимірювальна мостова схема; Дем - демодулятор; μA - індикатор струму (мікроамперметр); Кал - калібратор; Підс - підсилювач; Диф - диференціатор; Рег I, Рег II - реєстратори.

Згідно з функціональною схемою реограф працює таким чином. Генератор змінної напруги подає імпульси на електроди, що закріплені на тілі пацієнта і паралельно подає імпульси на одне із плечей вимірювального моста. Імпульси, які пройшли через ділянки тіла з певним опором, далі ідуть на інше плече вимірювального моста. Після чого, вихідний сигнал вимірювального моста подається в демодулятор, що перетворює модульовані коливання високої частоти в низькочастотний сигнал. Індикатор відображає перетворений струм, який і надходить до блоку підсилення. Підсилений низькочастотний сигнал і надходить на реєстратори, де далі оброблюється спеціалістами.

Висновки до розділу 1

Описані електричні властивості біологічних тканин, що є фізичною основою отримання реограм. Описано принципи вимірювання опору біологічних тканин на змінному струмі, наведено модель ділянки біологічної

тканини, яка може характеризувати поведінку такої тканини при проходженні через неї крові.

Наведено функціональну схему реографа, дано короткий опис його основних функціональних елементів.

РОЗДІЛ 2.

МЕТОДИ АНАЛІЗУ РЕОГРАМ

Запис біоімпедансу (реограма) є складною квазіперіодичною кривою, на якій видно ритми серцебиття та дихання. Аналіз реограм виконують для вилучення їх діагностичної інформації про стан серцево-судинної системи людини. Аналіз реограм може виконуватися методами часової та частотної області.

Третій метод оцінювання реографічних даних – це спектральний гармонійний аналіз біоімпедансу, що дозволяє виявити і оцінити характеристики періодичних складових у реограмі.

2.1. Аналіз форми реограми

Аналіз форми реограми в часовій області полягає у аналізі координат характеристичних точок; зміна цих координат таких точок є основою для виявлення діагностичних ознак або для обчислення фізіологічних параметрів.

Аналіз форми реограми, що відображає залежність біоімпедансу від часу, виконують за допомогою визначення координат характеристичних точок (рис. 2.1). Такий часовий (time-domain) аналіз дозволяє отримати важливу інформацію про величину серцевого викиду і скоротності лівого шлуночку серця [6], а також виявити діагностичні ознаки судинних захворювань [3-8]. Зміни форми реограми відбиваються на координатах характеристичних точок, які служать основою для вироблення діагностичних ознак або для обчислення фізіологічних параметрів. Недоліком часового аналізу біоімпедансу є нестійкість форми реограми, що веде до помилок у визначенні координат характеристичних точок. Для поліпшення точності вимірювання цих координат дослідники застосовують різні методи: усереднення реограми за кількома кардіоциклами [27], диференціювання вихідного графіку (це переводить малопомітні оку «вигини» в «піки», що добре виявляються [45], фільтрація вихідного запису або його вейвлет-перетворення [46, 47]

Часовий аналіз реограм містить якісний опис кривої. Типовий вигляд реограми наведено на рис. 2.1. Графік складається із висхідної частини (А), вершини (В), низхідної частини (С), інцизури (D) і дикротичної хвилі (Е).

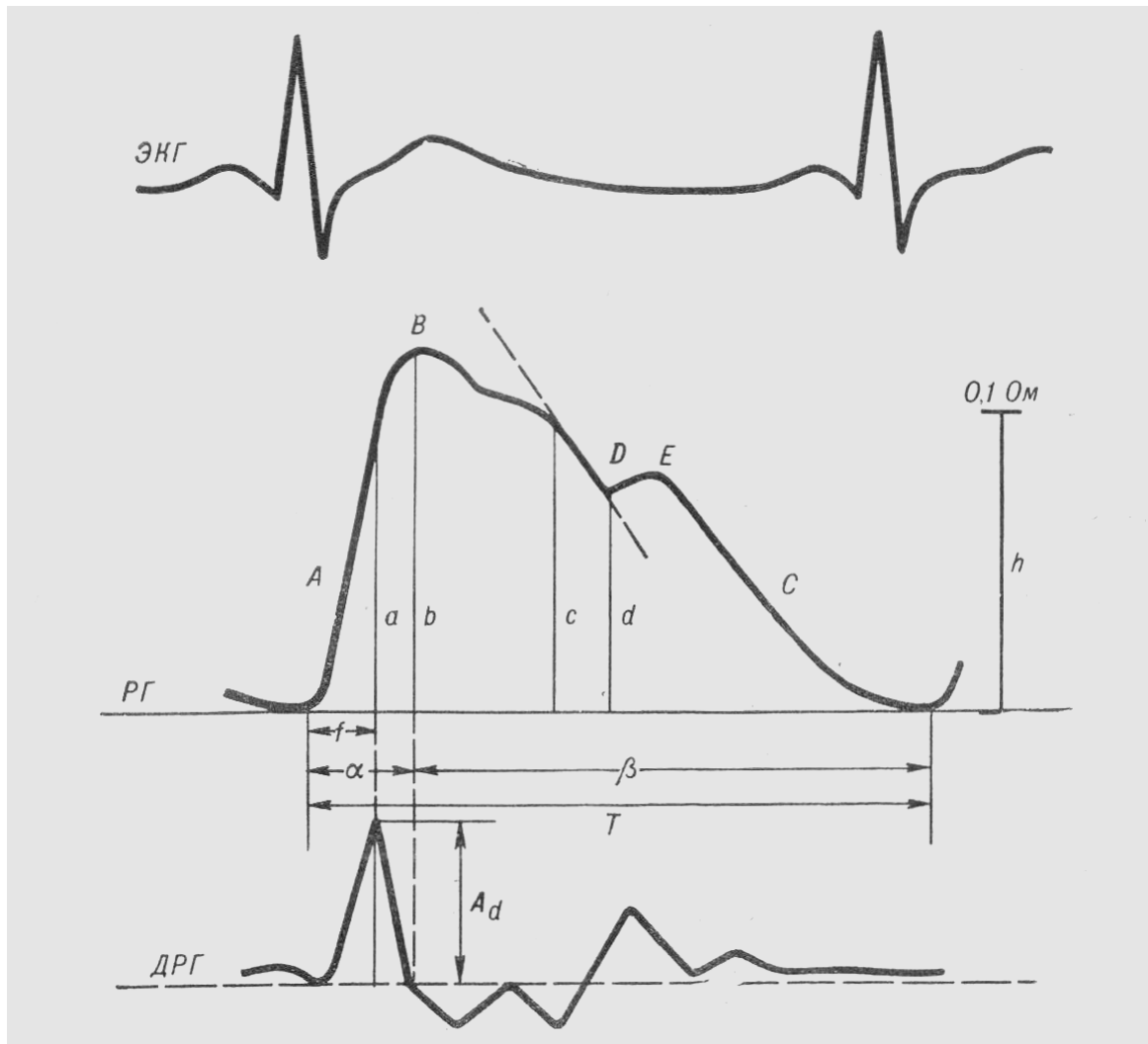


Рис. 2.1. Основні параметри реограми

ЭКГ- електрокардіограма в II стандартному відведенні; РГ – реограма; ДРГ – диференціальна реограма; А – висхідна частина; В – вершина; С – низхідна частина; D – інцизура; Е – дикротична хвиля; а – амплітуда швидкого кровонаповнення; b – основна амплітуда реограми; с – амплітуда повільного кровонаповнення; d – амплітуда інцизури реограми; f – час швидкого кровонаповнення; α – час підйому висхідної частини; T – тривалість реограми; h – амплітуда калібровочного імпульсу; A_d – амплітуда диференціальної реограми; β – час спуску низхідної частини.

При аналізі реограм враховують їх якісні характеристики та кількісні

показники.

Якісні характеристики засновані на описі форм реограми та вимірювання її амплітудних і часових параметрів (координат характеристичних точок). Кількісний показник реограм визначають при використанні тетраполярної методики на підставі розрахунку пульсового обсягу кровотоку в тканинах за формулою 4, еквівалентний обсяг яких можна виміряти за формулою 3.

В цілому форма реографічної кривої аналогічна конфігурації сфігмограми (пульсограми), отриманої при реєстрації механічних коливань судинної стінки. При аналізі форми реограми характеризують її висхідну частину (крута, полого, горбоподібна), вершину (гостра, загострена, плоска, аркоподібна, роздвоєна), низхідну частину (крута, полого), наявність і вираженість дикротичної хвилі (відсутня, згладжена, чітко виражена, розташована по середині, у верхній або нижній третині низхідної частини кривої, близька до вершини або основи кривої).

Вважають, що дикротична хвиля зумовлена зворотнім поштовхом крові при закритті аортальних клапанів в кінці систоли.

2.1.1. Додаткові хвилі реограми

При описі реограм визначають ряд додаткових хвиль:

- 1) пресистолична хвиля розташовується в самому початку висхідної частини реографічної кривої;
- 2) відображена систолічна хвиля - між вершиною та інцизурою;
- 3) венозна хвиля - в кінці низхідної частини, перед початком висхідної частини наступної реографічної кривої (рис. 2.2).

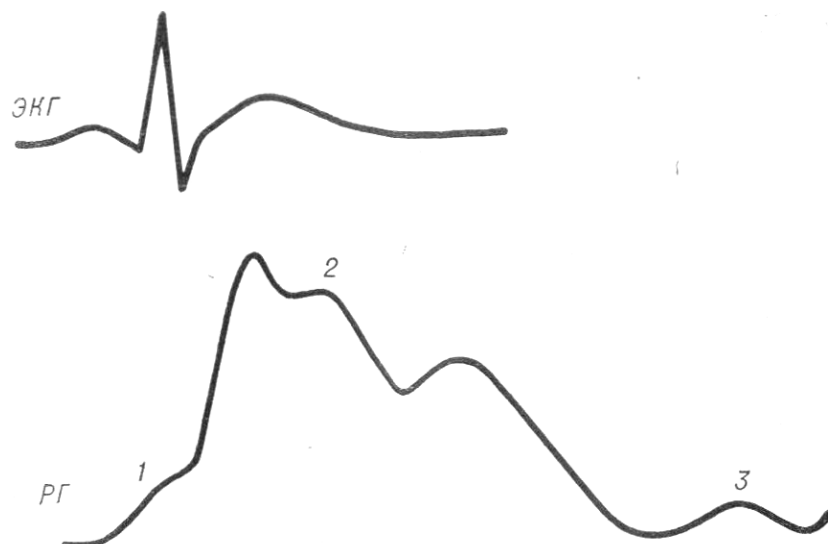


Рисунок. 2.2. Схема додаткових хвиль реограми

ЭКГ – електрокардіограма; РГ – реограма; 1 – пресистолічна хвиля; 2 – відображена систолічна хвиля; 3 – венозна хвиля.

Походження пресистолічної хвилі на реограмі пояснюють проведенням по судинах з хорошими еластичними стінками (наприклад, у молодих суб'єктів) поштовху крові, обумовленого скороченням передсердь.

Пресистолічна хвиля ускладнює розшифрування реограм, так як приховує початок висхідної частини кривої. Венозна хвиля зумовлена зворотнім поштовхом крові в судинах через підвищений тиск у венах досліджуваної області при венозному застої в ній.

Відображена систолічна хвиля характерна для судин щелепно-лицевої ділянки, які є безпосереднім продовженням гілок великої центральної артерії - сонної. При збереженні хороших еластичних властивостей (особливо у молодих осіб) судинні стінки повторюють коливання основної пульсової хвилі, зумовленої систолою серця.

Інші додаткові хвилі на висхідній і низхідній частинах реограм щелепно-лицевої ділянки в більшості випадків є артефактами, викликаними поганою фіксацією електродів до досліджуваних тканин, але можуть бути обумовлені надзвичайно ускладненим проходженням пульсової хвилі по

кровоносних судинах досліджуваної області. Поряд з основною реографічною кривою під час запису реограм реєструють хвилі другого порядку (дихальні), обумовлені дією легень на великі судини грудної порожнини, і хвилі третього порядку, що виникають внаслідок ритмічної діяльності центральної нервової системи.

2.1.2. Якісна характеристика реограми

За влучним висловом реографічної кривої визначають функціональний стан судин, а також морфологічні зміни їх стінок, наприклад, атеросклеротичного характеру. При нормальній тонічній напрузі судинних стінок досліджуваного кровоносного русла висхідна частина реограми крута, вершина - гостра, спадна частина - полого, а чітко виражена дикротична хвиля розташована в середині низхідної частини. При підвищенні тону судин висхідна і спадна частина реограми пологі, вершина - плоска, дикротична хвиля згладжена і розташована у верхній третині висхідної частини реограми.

При різкому спазмі дикротична хвиля згладжена або повністю зникає. При зниженні тону судин висхідна частина різко крута, вершина загострена, спадна частина - крута; різко виражена дикротична хвиля розташована в нижній її третині або близька до основи кривої. При атеросклерозі висхідна і спадна частини реографічної кривої пологі, вершина ракоподібна, може бути у вигляді «півнячого гребеня», дикротична хвиля слабо виражена і розташована у верхній третині низхідної частини кривої.

По конфігурації реограми можна простежити вікові зміни функціонального стану і морфологічної структури судинного русла. Про них завжди слід пам'ятати при аналізі реограм і враховувати при діагностиці патологічних змін судинної системи; зі збільшенням віку еластичність судинних стінок зменшується, зростає їх ригідність. Це, безсумнівно, ускладнює проходження пульсової хвилі по судинах, що відбивається у зменшенні крутизни висхідної частини реограми, згладжування вершини і

дикротичної хвилі і в її зміщенні до вершини.

2.1.3. Амплітудно-часові характеристики реограми

Ці характеристики дозволяють оцінити важливі кількісні індекси, що відображають швидкість кровотоку в судинах, стан їх стінок, реактивність і багато інших.

Амплітуда і часові відрізки реографічних кривих вимірюють за допомогою звичайних трикутника і циркуля-вимірювача. Цифрові значення амплітуд висловлюють в міліметрах, часових відрізків - в секундах. При розшифровці (вимірі) елементів реографічної кривої дві нижчі точки (перед початком висхідної частини кривої і після закінчення низхідній частини) з'єднують горизонтальною лінією, що є підставою (або умовної ізоелектричною лінією) реограми. За допомогою трикутника на реограм розмічають амплітуди у вигляді перпендикулярів, опущених з різних точок реографічної кривої на її підставу (див. рис. 2.3).

Основна амплітуда реограми. Цьому параметру реограми відповідає перпендикуляр, опущений з вищої точки вершини реографічної кривої - на її основу. Характеризує величину (розмах) пульсових коливань кровонаповнення тканин і разом з амплітудою диференціальної реограми (ДРГ) є показником інтенсивності кровотоку.

Диференціальна реограма. Її реєструють автоматично одночасно з реограм як першу похідну (швидкісну складову) РГ. ДРГ характеризує швидкість кровотоку в судинах досліджуваних тканин.

Амплітуда швидкого кровонаповнення (а). Являє собою частину перпендикуляра, опущеного на реограм з піку ДРГ, яка з'єднує основу реограми і точку закінчення швидкого кровонаповнення.

Період швидкого кровонаповнення (f). Являє собою час, за який відбувається розтягнення артеріальних судин досліджуваних тканин при першому ударі пульсової хвилі. На реограм визначають як відрізок підстави реограми від початку підйому реографічної кривої до її перетину з

амплітудою швидкого кровонаповнення. Величина його залежить від ступеня розтяжності судинних стінок, їх еластичності і тонусу. При структурні зміни судинних стінок і зі збільшенням віку цей час коротшає, а час, за яке під натиском пульсового тиску крові відбувається максимальне розтягнення судин, зростає.

Час підйому висхідної частини реограми (α). Цей часовий показник охоплює період максимального розтягування судин під напором пульсового тиску. На реограм визначають як відрізок підстави реограми від точки початку підйому реографічної кривої до її перетину з основною амплітудою. Значення величин α і f є постійним для вікових груп. При порівнянні реограм двох досліджуваних ділянок значення α менше там, де судинні стінки більш еластичні.

Амплітуда повільного кровонаповнення. Повільне кровонаповнення судин відбувається під напором пульсового тиску крові після першого удару пульсової хвилі до закінчення систоли серця.

2.1.4. Оцінювання індексів реограми

Важливу роль при розшифруванні і оцінюванні даних реографії визначають похідні реографічних показників - індекси.

Реографічний індекс (РИ). Ставлення амплітуди реограми до амплітуді каліброваного сигналу, виражене в Ом: $РИ = b / h \cdot 0,1 \text{ Ом}$, де b - амплітуда реограми; h - амплітуда калібрувального імпульсу. Реографічний індекс обчислюють для порівняння реограм, записаних у одного і того ж або декількох обстежуваних при різному посиленні (розгортці), при функціональних пробах та інших умовах, які передбачають порівняння отриманих показників по стандартному каліброваному сигналу, зазвичай рівному 0,1 Ом.

Показник тонусу судин (ПТС). Ставлення часу, за який відбувається максимальне розтягнення судин при проходженні по ним пульсового обсягу крові (α), до тривалості всього періоду проходження цього обсягу (T),

виражене у відсотках ($\text{ПТС} = \alpha / T \cdot 100\%$) і рівне в нормі 13- 15%. Очевидно, що максимальне розширення судин під напором пульсового обсягу відбувається швидше і легше в судинах з не напруженою, легко розтяжимою стінкою і зі зниженим тонусом, ніж в судинах, гладкі м'язи яких знаходяться в стані підвищеної тонічного напруги, або зі зміненою морфологічної структурою. ПТС не завжди точно відображає величину тонічного напруги судин, так як тривалість проходження пульсового обсягу по судинах (T) залежить від частоти серцевих скорочень. Тому у пацієнтів з тахі- або брадикардією цей показник не розраховують.

Індекс еластичності (ІЕ). Ставлення амплітуд швидкого (a) і повільного (c) кровонаповнення, виражене у відсотках ($\text{ІЕ} = a / c \cdot 100\%$) і рівне в нормі 80-90%. Цей показник зростає зі збільшенням віку, при змінах стінки судин, пов'язаних з атеросклерозом або гіалінозом. При різкому зниженні тонусу судин він значно зменшується.

Індекс периферичного опору (ІПС). Ставлення амплітуди нижчої точки інцизури реограми (d) до амплітуди швидкого кровонаповнення (a), виражене у відсотках ($\text{ІПС} = d / a \cdot 100\%$) і рівне в нормі 70-80%.

Периферичний опір - це опір, який чиниться току крові в судинах за рахунок її шарів. Воно залежить від в'язкості крові, довжини судин і їх діаметра, але оскільки в досліджуваній ділянці тканин довжина судинного русла і в'язкість крові практично за час дослідження істотно не змінюються, їх значущість в гемодинамічних змінах не враховують, тоді опір судин визначається величиною їх діаметра. Воно може змінюватися пасивно при дії ряду гідродинамічних і структурних факторів; може змінюватися активно і швидко, і тоді ці зміни визначаються скорочувальної діяльністю судинної мускулатури, яка позначається як тонус судин.

При функціональних пробах зниження величини ІПС свідчить про розширення судин і навпаки. Для судинного спазму характерні високі значення ІПС, для зниженого тонусу - низькі. При структурні зміни судин

ІПС різко зростає, але зниження його під впливом функціональних проб свідчить про оборотності змін судинних стінок. ІПС і ІЕ не визначаються при відсутності дикротичної хвилі, що має місце при значних морфологічних змінах судинних стінок.

За допомогою розглянутих вище індексів кількісного аналізу реограмм визначають функціональний стан судин досліджуваних тканин і органів. Отримані при розрахунках значення індексів заносять в карту реографічного дослідження і на підставі їх аналізу роблять відповідні висновки.

2.2. Аналіз залежності імпедансу від частоти току

Аналіз залежності імпедансу датчика від частоти струму через нього (частотну характеристику біоімпедансу) застосовують для оцінки водно-жирового балансу тканин організму, в тому числі для діагностики ефективності діалізу або контролю онкологічних захворювань [9]. Така залежність характеризує пасивні властивості біологічної тканини, її застосовують для оцінки водно-жирового балансу тканин організму.

2.3. Спектральний аналіз реограм

Ця область реографії пов'язана з виявленням періодичних складових коливань біоімпедансу та називається спектральним аналізом біоімпедансу (аналіз у частотній області, (frequency-domain analysis). Він заснований на припущенні про стаціонарність реограми: (незмінності всіх статистичних характеристик у часі, наприклад, незмінності середнього значення реограми) та її періодичності. Ці властивості виявляються з обмеженою точністю, оскільки для живого організму типовою є варіабельність біологічних ритмів.

В результаті спектрального аналізу вихідна реограма з її складною формою представляється як сума кількох гармонік, що відрізняються один від одного амплітудою та відносним зсувом по осі часу (фазою). Таким чином, сукупність характеристичних точок реограми, багато з яких визначають зі значними похибками через нестійку форму кривої, що аналізується,

заміняють об'єктивно обчисленими амплітудами, фазами і частотами складових гармонік. Для ритмічних (періодичних) кривих складові синусоїди відрізняються кратними частотами. Завдяки цій властивості найповільнішу синусоїду називають основною (1-ою) гармонікою, а інші – відповідно 2-ю, 3-ю і т. д.

2.3.1. Моноциклічний спектральний аналіз

Перші дослідники виконували спектральний аналіз реограм не тривалого відрізка (епохи) реограми, та її короткого «типового» фрагмента, що включав лише один кардіоцикл (так званий моноциклічний спектральний аналіз). Отримуваний спектр відповідав не реально вимірюваної, а деякої ідеалізованої реограмі, в якій обраний «типовий» фрагмент математично повторений нескінченне число разів. В результаті амплітудний спектр реограми складався тільки з гармонік з частотами, які кратні частоті серцевих скорочень (ЧСС). У такому спектрі неможливо отримати піки на інших частотах, які виявляють за допомогою мультициклічного гармонійного аналізу реальної реограми, що включає сотні неідентичних кардіоциклів. Незважаючи на ці недоліки, моноциклічний спектральний аналіз виявився ефективним діагностичним інструментом.

Перевага спектрального аналізу, порівняно з аналізом у часовій області, полягає в тому, що таким методом можуть бути виявлені незначні зміни форми реограми. Гармонічний аналіз призводить до двох наборів чисел (амплітуди та фази гармонік), які «рівноправні» як параметри, що описують форму реограми. Незважаючи на це, для подання результатів спектрального аналізу дослідники вважають за краще використовувати лише амплітуди гармонік, але не їх фази.

2.3.2. Мультициклічний спектральний аналіз

Мультициклічний варіант спектрального аналізу реограм використовує довгі епохи реограми, що включають сотні кардіоциклів. Він має дві переваги перед моноциклічним варіантом спектрального аналізу, що оперує з

фрагментом реограми довжиною в один серцевий цикл. Перша перевага полягає в розширенні частотного діапазону, що вивчається, у бік низьких частот, тому що нижня границя цього діапазону дорівнює зворотній величині тривалості аналізованого фрагмента (епохи) реограми. Друга перевага мультициклічного спектрального аналізу полягає в тому, що всі частоти, представлені спектрі з допомогою перетворення Фур'є, є кратними величинами найменшої частоти, т. е. нижньої границі частотного діапазону. Це означає, що нижня частотна границя одночасно призводить до поліпшення роздільної здатності аналізу за частотою. Таким чином, розширення аналізованого частотного діапазону у бік низьких частот одночасно покращує роздільну здатність аналізу за частотою, відкриваючи можливість аналізу його тонкої структури.

Верхня частота діапазону дорівнює половині частоти дискретизації аналогового сигналу. Роздільна здатність спектра по амплітуді залежить від інструментального шуму реографа і від параметрів аналого-цифрового перетворювача. Роздільну здатність можна покращити збільшенням тривалості аналізованого фрагмента реограми з усередненням спектрів, отриманих за кількома епохами.

2.4. Непараметричні методи спектрального аналізу

Серед непараметричних методів спектрального аналізу широко використовують класичні методи, що базуються на перетворенні Фур'є. До них належать методи на основі періодограми (періодограмний, модифікованої періодограми, методи Бартлетта, Уелча, багатовіконний метод та ін.) і метод на основі автокореляційної функції сигналу (корелограмний, або метод Блекмана–Тьюкі). В іншій групі непараметричних методів спектрального аналізу не використовується перетворення Фур'є; це методи банку фільтрів (метод мінімуму дисперсії, або Кейпона, метод оцінювання амплітуди і фази та ін.)

2.4.1. Періодограма і корелограма

Відповідно до непараметричного підходу моделлю сигналу є дискретний стаціонарний у широкому розумінні дискретний випадковий процес $x(n)$. Про статистичний розподіл даних цього процесу не роблять ніяких припущень. Спектром потужності $P_{xx}(\omega)$ стаціонарного випадкового процесу $x(n)$ є перетворення Фур'є його кореляційної функції.

Для послідовності $x(n)$ кінцевої довжини N кореляційна послідовність оцінюється як

$$r_{xx}(m) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1-m} x(k+m)x^*(k),$$

де значення $r(m)$, якщо $m < 0$, визначається співвідношенням симетрії $r_{xx}(-m) = r_{xx}^*(m)$ і $r_{xx}(m) = 0$ для $|m| \geq N$.

Дискретне перетворення Фур'є кореляційної функції дає змогу отримати спектр потужності (з використанням нормованої частоти)

$$P_{xx}(\omega) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} r_{xx}(m) \exp(-j\omega m).$$

Використовуючи заміну $\omega = 2\pi f/f_s$, де f_s – частота дискретизації, вираз можна записати як функцію частоти f у герцах (Гц):

$$P_{xx}(f) = \frac{1}{f_s} \sum_{m=-\infty}^{\infty} r_{xx}(m) \exp(-j2\pi f m / f_s).$$

Спектр потужності є дійсною, невід'ємною парною функцією частоти і має розмірність $[x^2 \cdot c]$, де x – розмірність процесу.

Метод обчислення спектра потужності називають опосередкованим (корелограмним), оскільки сигнал $x(n)$ безпосередньо не використовується для оцінювання спектра потужності.

Припущення про ергодичність процесу можна зробити, ґрунтуючись на періодограмному методі обчислення спектра потужності. Цей метод є прямим, оскільки для обчислення спектра потужності використовують безпосередньо відліки сигналу $x(n)$. Періодограмою називають оцінку спектра потужності (вибірковий спектр), що обчислюють як квадрат модуля

дискретного перетворення Фур'є від даних $x(n)$ кінцевої довжини:

$$P(f) = \frac{T}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \exp(-j2\pi f n T) \right|^2 = \frac{T}{N} |X(f)|^2 = \frac{1}{Nf_s} |X(f)|^2.$$

За періодограмою оцінюється спектр потужності на фундаментальних частотах $f_k = f_s k / N$, $k = 0, 1, \dots, N/2$.

Графік спектра потужності можна інтерполювати між сусідніми відліками спектра: для цього дискретний сигнал треба доповнити нульовими відліками (нулями).

2.4.2. Використання функцій вікна

У непараметричних класичних методах спектрального оцінювання спільною операцією є оброблення даних за допомогою вікна. Вікно є ваговою функцією: за її допомогою відліку сигналу надається більша або менша вага, тому операцію оброблення вікном також називають зважуванням даних [10]. Якщо для обчислення спектра потужності використовують вікно $w(n)$, то отриману оцінку потужності називають модифікованою періодограмою:

$$P(f) = T \frac{\left| \sum_{n=0}^{N-1} x(n) w(n) \exp(-j2\pi f n T) \right|^2}{\sum_{n=0}^{N-1} |w(n)|^2}.$$

Безпосереднє застосування ДПФ сигналу неявно вказує, що сигнал множиться на прямокутне вікно

$$w(n) = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \leq N-1, \\ 0, & n > 0. \end{cases}$$

Реалізацію сигналу кінцевої довжини можна записати як добуток прямокутного вікна $w(n)$ довжиною N відліків і сигналу $x(n)$ нескінченної довжини:

$$x_w(n) = x(n)w(n).$$

Перетворення Фур'є реалізації сигналу, зваженої вікном, є згорткою

перетворень Фур'є сигналу і вікна:

$$X_i(f) = X(f) * W(f).$$

Згортка дискретного перетворення Фур'є даних з частотною характеристикою вікна призводить до згладжування спектральних оцінок, погіршення роздільної здатності спектрального аналізу і розтікання спектра. Останнє явище полягає у тому, що потужність сигналу на певній частоті розподіляється по сусідніх частотах аналізу спектра. Для зменшення розтікання спектра використовують вагові функції, що плавно зменшуються на межах вікна. Зменшення бічних пелюсток у частотній області досягається лише за рахунок розширення головної пелюстки вікна, тобто зниження роздільної здатності аналізу за частотою.

У непараметричному спектральному аналізі застосовується декілька типів вікон: прямокутне, Бартлетта, Ханна, Хеммінга, Гауса та ін. Характеристики вікон, що найчастіше використовуються у спектральному аналізі, наведено в табл. 2.1 [10].

Таблиця.2.1

Характеристики вікон для спектрального аналізу

Тип вікна	Функція $w(n)$ на інтервалі $0 \leq n \leq N-1$	Рівень бічних пелюсток, дБ	Еквівалентна смуга
Прямокутне	1	-13,3	1,00
Бартлетта	$1 - 2 n /N$	-26,5	1,33
Ханна	$0,5 + 0,5 \cos(2\pi n/N)$	-31,5	1,50
Хеммінга	$0,54 + 0,46 \cos(2\pi n/N)$	-43,0	1,36

Вибір вікна. Важливими параметрами частотної характеристики вікна є ширина головного пелюстка і рівень бічних пелюстків. Вузкий головний пелюсток дозволяє отримати вищу роздільну здатність аналізу, а низькі бічні пелюстки покращують згладжування спектральних оцінок. Проте чим вузкий головний пелюсток частотної характеристики вікна, тим вищий рівень бічних пелюсток. Тому вибір вікна передбачає компроміс між роздільною здатністю спектрального аналізу і дисперсією періодограми.

Ширина головного пелюстка вікна обернено пропорційна його довжині. Для обраного типу вікна ширина головного пелюстка може бути зменшена за рахунок подовження вікна (тобто більшої кількості відліків).

Тип вікна вибирають залежно від інформації про спектральний зміст сигналу: за невідомого спектрального змісту, комбінації гармонічних сигналів, вузькосмугових випадкових сигналів рекомендується використовувати вікно Ханна, за рівномірного спектра – вікно Хеммінга, для корелограмного методу – вікно Бартлетта. У деяких ситуаціях можна використовувати прямокутне вікно: хоча воно має найвищий рівень бічних пелюстків, проте його головний пелюсток найвужчий, що забезпечує найвищу роздільну здатність за частотою. За результатами спектрального аналізу сигналу можна використовувати й інші типи вікон [10].

2.4.3. Метод Бартлетта

Цей метод реалізує усереднення періодограм, за якого одна реалізація даних $x(n)$ довжиною N розділяється на K блоків, що не перетинаються, і кожний блок має по $L = N/K$ відліків. Таким чином, створюється псевдоансамбль реалізацій даних (вважається, що сигнали в блоках стаціонарні). Для кожного i -го блока обчислюється періодограма

$$P_i(f) = \frac{1}{L} \left| \sum_{k=0}^{L-1} x_i(k) \exp(-j2\pi f k) \right|^2.$$

Усередненням обчислених періодограм оцінюють спектр потужності методом Бартлетта

$$P_B(f) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K P_i(f).$$

Якщо кореляційна функція сигналу достатньо швидко зменшується в межах блоків ($r(m) \rightarrow 0$, якщо $m \geq L$), то періодограми блоків можна вважати статистично незалежними і дисперсія оцінки $P_B(f)$ зменшується в K разів. Між даними у блоках існує невелика кореляція, отже, дисперсія спектральних оцінок зменшується майже в K разів. Оцінка спектральної щільності,

отримувана методом Бартлетта, є асимптотично незміщеною, спроможною і її роздільна здатність

$$\Delta f \propto f_s / L = f_s K / N,$$

тобто в K разів менше, ніж для звичайної періодограми.

2.4.4. Метод Уелча

Метод Уелча реалізовує усереднення модифікованих періодограм. Він аналогічний методу Бартлетта, але використовує перекриття блоків даних і застосовує до них непрямокутне вікно. Послідовність даних довжиною N розділена на блоки довжиною L , що мають зміщення на D відліків між сусідніми блоками ($D \leq L$), тобто перекриття між сусідніми блоками $x_i(n)$ і $x_{i+1}(n)$ дорівнює $L - D$ відліків. Якщо K блоків перекривають усі N відліків, то $N = L + D(K - 1)$, а максимальна кількість блоків визначається цілою частиною числа $K = (N - L)/D + 1$.

Для кожного блока обчислюється модифікована періодограма

$$P_i^{(m)}(f) \Rightarrow \frac{1}{ULf_s} \left| \sum_{k=0}^{L-1} w(n)x_i(k) \exp(-j2\pi f k T) \right|^2,$$

де $w(n)$ – непрямокутне вікно даних; U – коефіцієнт, пропорційний енергії цього вікна, він усуває вплив енергії вікна на зміщення спектральних оцінок:

$$U = \sum_{n=0}^{M-1} w^2(n).$$

Оцінку спектра методом Уелча отримують усередненням модифікованих періодограм

$$P_w(f) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K P_i^{(m)}(f).$$

Перекриття блоків збільшує їх кількість порівняно з методом Бартлетта, а отже, зменшує дисперсію спектральних оцінок, проте збільшує статистичну залежність даних у сусідніх блоках. Рекомендується використовувати перекриття блоків близько 50 % [10]. У такому разі дисперсія спектральних оцінок методом Уелча становить близько 9/16 дисперсії оцінок методу

Бартлетта. Створення однакової з методом Бартлетта кількості блоків перекриття дозволяє отримати блоки більшої довжини, що підвищує роздільну здатність аналізу. Отже, порівняно з методом Бартлетта метод Уелча має більше можливостей для зменшення дисперсії спектральних оцінок на відміну від роздільної здатності аналізу.

2.4.5. Багатовіконний метод

Багатовіконний метод (Multitaper method – MTM) також називають методом Томсона [10]. Згідно з ним відліки сигналу поелементно помножуються на набір вікон спеціального виду і таким чином отримують набір зважених реалізацій сигналу, обчислюють відповідні періодограми, усереднюють їх і отримують спектральні оцінки досліджуваного сигналу. Набір вікон задається дискретними витягнутими сфероїдальними послідовностями, або послідовністю Слєпіана. Такі послідовності є власними векторами, що задовольняють матричне рівняння

$$\mathbf{C}\mathbf{v}_k = \lambda_k \mathbf{v}_k,$$

де $\mathbf{v}_k$ і λ_k – відповідно власні вектори і власні значення матриці $\mathbf{C}$.

Елементами матриці $\mathbf{C}$ є дискретні нормовані sinc-функції

$$c_{mn} = \frac{\sin(\pi(W - |m - n|))}{\pi(m - n)}, \quad m, n = 1, 2, \dots, N,$$

де W – параметр роздільної здатності (частота зрізу головного пелюстка вікна), визначає ширину частотної смуги аналізу. У цьому методі застосовують $K = 2NW - 1$ вікон, для яких $\lambda_k \approx 1$ (для решти вікон значення $\lambda_k \approx 0$).

Графіки трьох послідовностей Слєпіана $\mathbf{v}_k$ ($k = 1, 2, 3$ з параметром роздільної здатності $W = 2/N$ ($N = 128$)) зображено на рис. 9.9.

Типові значення W мають діапазон $2/N \dots 20/N$: за малих значень спектральні оцінки мають більшу дисперсію, за великих погіршується

роздільна здатність. Значення W підбирають послідовними ітераціями, поки не отримають компроміс між роздільною здатністю і дисперсією спектральних оцінок.

Періодограма для k -го вікна даних

$$P_k(f) = \frac{1}{N} \left| \sum_{n=1}^N x(n) v_k(n) \exp(-j 2 \pi f n T / N) \right|^2$$

Ортогональність віконних функцій $v_k(n)$ забезпечує статистичну незалежність оцінок спектра $P_k(f)$.

Багатовіконна оцінка спектра потужності обчислюється як

$$P_{MW}(f) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K P_k(f),$$

де K – кількість вікон.

Для застосування методу використовують модель сигналу як суму декількох періодичних компонентів з адитивним білим шумом

$$x(n) = \sum_{i=1}^K A_i e^{j \omega_i n T} + \eta(n).$$

Якщо ця модель неправильна, то за цим методом отримують помилкові піки в оцінках спектра. Адекватність цієї моделі визначають за допомогою F-тесту (Фішера). Метод дає змогу отримати спроможні оцінки спектра потужності. Завдяки усередненню дисперсія спектральних оцінок зменшується у K разів порівняно з періодограмою. Усереднення спектрів за ансамблем у методі забезпечує більш стабільну оцінку, ніж методи з одним вікном. Більша довжина набору даних дозволяє використати більшу кількість вікон зі збереженням потрібної роздільної здатності за частотою. Оптимальний вибір параметрів W і K методу залежить від довжини та інших властивостей сигналу.

2.5. Основні етапи спектрального аналізу

Спектральний аналіз сигналів доцільно починати із графічного подання даних у часовій області. Візуальне вивчення вхідних даних часто дозволяє

виявити наявність постійної складової чи низькочастотної компоненти (тренд). Важливими операціями є видалення із сигналу низькочастотного тренду і постійної складової.

Для вилучення тренду необхідно задати його модель. Зазвичай природа тренду не відома і як модель використовують апроксимацію тренду лінійною комбінацією поліномів, параметри моделі тренду визначають МНК.

Постійну складову сигналу, як правило, потрібно видаляти: якщо вона не дорівнює нулю, то спектр потужності сигналу має імпульс на нульовій частоті. За значної постійної складової цей імпульс домінуватиме в спектрі, що утруднює виявлення низькочастотних компонентів сигналу. Після видалення із сигналу тренду і постійної складової отримують центровані дані. У реалізації методів непараметричного спектрального аналізу можна виокремити такі основні етапи [10].

1. Вибір методу і параметрів спектрального аналізу. Цей вибір залежить від бажаної роздільної здатності і дисперсії спектральних оцінок.

2. Обчислення спектральних оцінок вибраним методом із заданими параметрами.

3. Оцінювання роздільної здатності аналізу і дисперсії спектральних оцінок (аналітично або за графіком спектра потужності).

4. Порівняння отриманих характеристик з бажаними значеннями. Якщо результати не задовільні, то необхідно змінити параметри алгоритму (збільшити довжину сегментів – з використанням періодограми, або кількість відліків кореляційної функції – для корелограми). Можливо необхідно буде вибрати інший алгоритм.

5. Повторення обчислення (п.п. 2–4) доти, доки не буде отримано задовільні результати.

Процедуру спектрального аналізу починають з низької роздільної здатності і малої дисперсії спектральних оцінок (найбільш гладкі оцінки), а потім змінюють параметри алгоритму таким чином, щоб підвищити

роздільну здатність аналізу (при цьому дисперсія оцінок спектральної щільності збільшується). Процедуру повторюють доти, доки роздільна здатність дозволить виявити найважливіші деталі спектра, а подальше підвищення роздільної здатності не призводить до видимих змін спектральних оцінок.

Висновки до розділу 2

В розділі описані методи аналізу реограм в часовій і частотній області. Основна увага приділена спектральному аналізу. Наведено властивості моноциклічного спектрального аналізу і мультициклічного спектрального аналізу. Описані характеристики декількох непараметричних методів спектрального аналізу, розглянуті основні етапи реалізації спектрального аналізу біомедичних сигналів.

РОЗДІЛ 3.

МЕТОДИКА АНАЛІЗУ РЕОГРАМ

В даному розділі наведено опис методики аналізу реограм і результати аналізу реограм даним методом. Для реалізації методики розроблено фрагменти програмного забезпечення в програмному середовищі MATLAB.

3.1. База даних сигналів

Для аналізу реограм в даній роботі використовувались сигнали бази даних сайту physionet.org. Інформаційна система бази даних (CHARIS DB) містить багатоканальні записи ЕКГ, артеріального тиску (АТП) та внутрішньочерепного тиску (ІЧС) пацієнтів з діагнозом травми головного ураження (ТГУ). Метою проекту CHARIS є систематизація аналізу відповідних фізіологічних сигналів та створення алгоритмів управління даними для пошуку потенційних вказівників гострих клінічних подій для пацієнтів з гострим ураженням головного мозку.

Сигнали отримані з клінічних моніторів, частота дискретизації становила 50 Гц, з роздільною здатністю по амплітуді 1,41 мВ при вхідному діапазоні аналогового сигналу ± 5 В, що еквівалентно роздільній здатності вимірювання тиску 0,14 мм рт. ст. і динамічному діапазону ± 500 мм рт. ст. Файли даних надаються у стандартному форматі WFDB, пронумерованому за номером пацієнта. Додаткова інформація про пацієнта міститься у файлах заголовків. Для виконання аналізу в даній кваліфікаційній роботі виконано перетворення у формат *.mat системи програмування MATLAB.

3.2. Стадії методики аналізу реограм

Методика аналізу реограм може реалізовуватись декількома стадіями.

1. Завантаження сигналів реограми з файлу.

Сигнали реограми записані як структура даних у бінарний файл, до нього в базі даних додаються файл заголовка та інформаційний файл. Структура даних містить значення частоти дискретизації, відліки сигналів

даних та іншу інформацію. Після завантаження даних необхідно із отриманої структури отримати необхідні дані і побудувати графік досліджуваного сигналу.

2. Видалення із сигналу постійної складової і тренду.

Необхідність видалення постійної складової сигналу і низькочастотного тренду можна оцінити за видом графіку сигналу. Постійну складову доцільно видалити перед початком спектрального аналізу.

3. Вибір методу обчислення спектральної щільності потужності.

Вибір методу і параметрів спектрального аналізу залежить від бажаної роздільної здатності і дисперсії спектральних оцінок. В дані роботи для спектрального аналізу реограм вибрані непараметричні методи.

4. Обчислення спектральної щільності потужності.

Для обчислення спектральної щільності потужності застосовані метод Уелча і багатовіконний метод (Томсона). За результатами обчислення необхідно побудувати графік спектральної щільності потужності. Оцінити роздільну здатність аналізу і дисперсію спектральних оцінок (аналітично або за графіком спектра потужності). Порівняння отримані характеристики з бажаними значеннями; якщо результати не задовільні, то необхідно змінити параметри алгоритму (кількість точок швидкого перетворення Фур'є, тип вікна тощо). Прийняти рішення про закінчення обчислень або продовження з іншими параметрами.

Для реалізації кожної зазначеної стадії методики в даній роботі розроблено програмний код, що описано далі в підрозділах цього розділу.

3.2.1. Завантаження сигналу із файлу

Програмний код завантаження сигналів з файлу такий

```
fname = 'charis1';
x = load([fname,'.mat']);
tm = x.tm; sig = x.sig; abp = sig(:,1); ecg = sig(:,2);
fs = x.Fs; N = x.N;
abp = sig(:, 1); ecg = sig(:, 2);
```

Код завантажує із фала структуру даних, що має такі поля:

F_s – частота дискретизації сигналів (скаляр);

N – кількість відліків (скаляр);

$fname$ – ім'я файлу даних;

sig – відліки сигналів реограми (матриця $N \times 3$);

tm – відліки часу даних (вектор $N \times 1$).

Отримані дані використовуються в подальших підрозділах роботи.

Програмний код для побудови графіків сигналу реограми і ЕКГ сигналу

```
subplot(211)
plot(tm, abp), grid on           % сигнал реограми
ylabel('Reogram'), title(str)
subplot(212)
plot(tm, ecg), grid on          % сигнал ЕКГ
ylabel('ECG'), xlabel('t, c')
```

Результатом виконання такого коду є побудова графіків реограми і відповідного ЕКГ сигналу. Отримані графіки програми наведено на рис. 3.1...3.13.

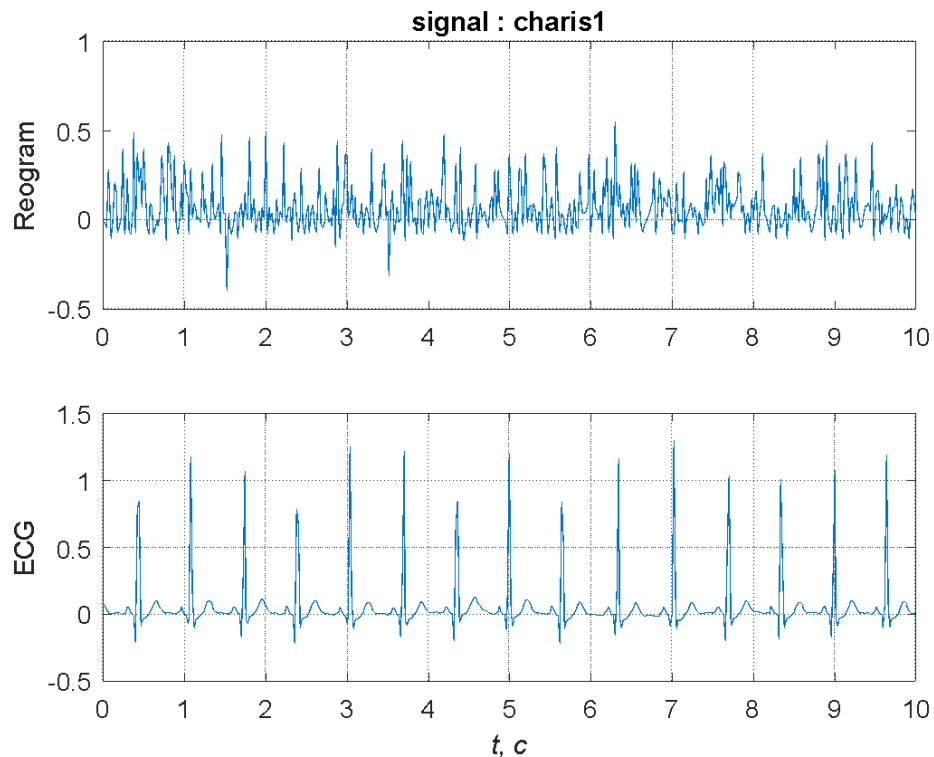


Рисунок 3.1.– Реограма charis1 та ЕКГ

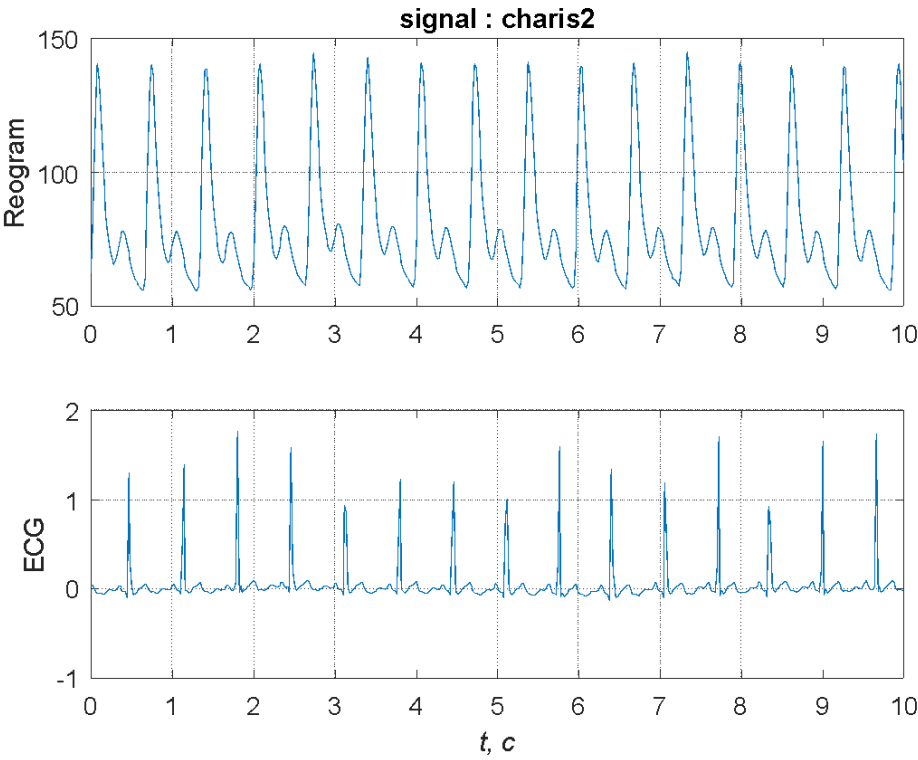


Рисунок 3.2. – Реограма charis2 та ЕКГ

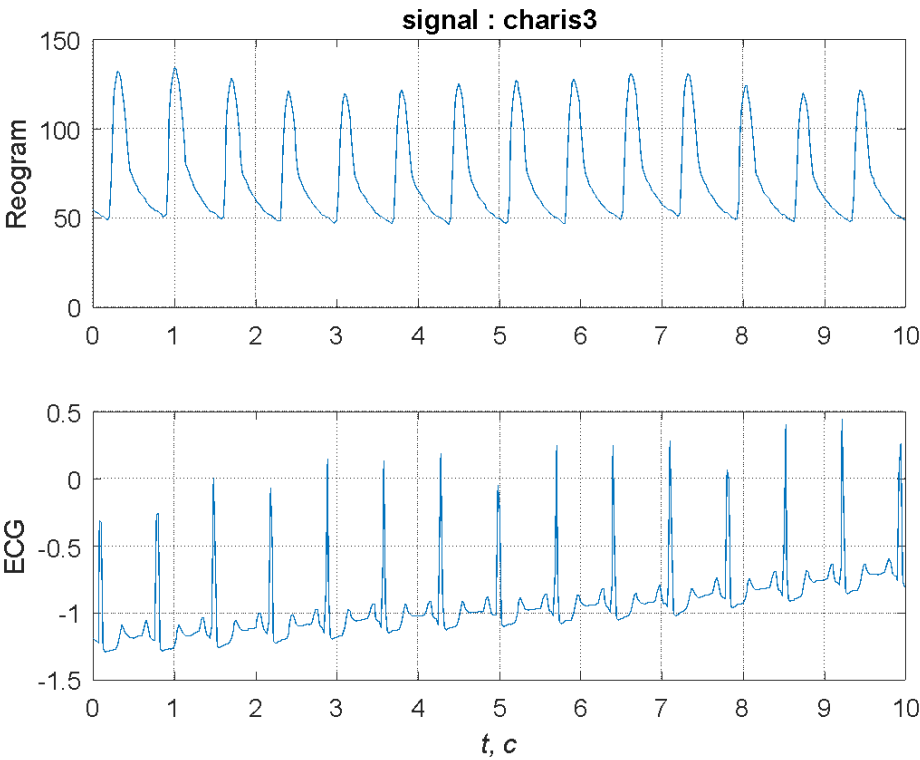


Рисунок 3.3. – Реограма charis3 та ЕКГ

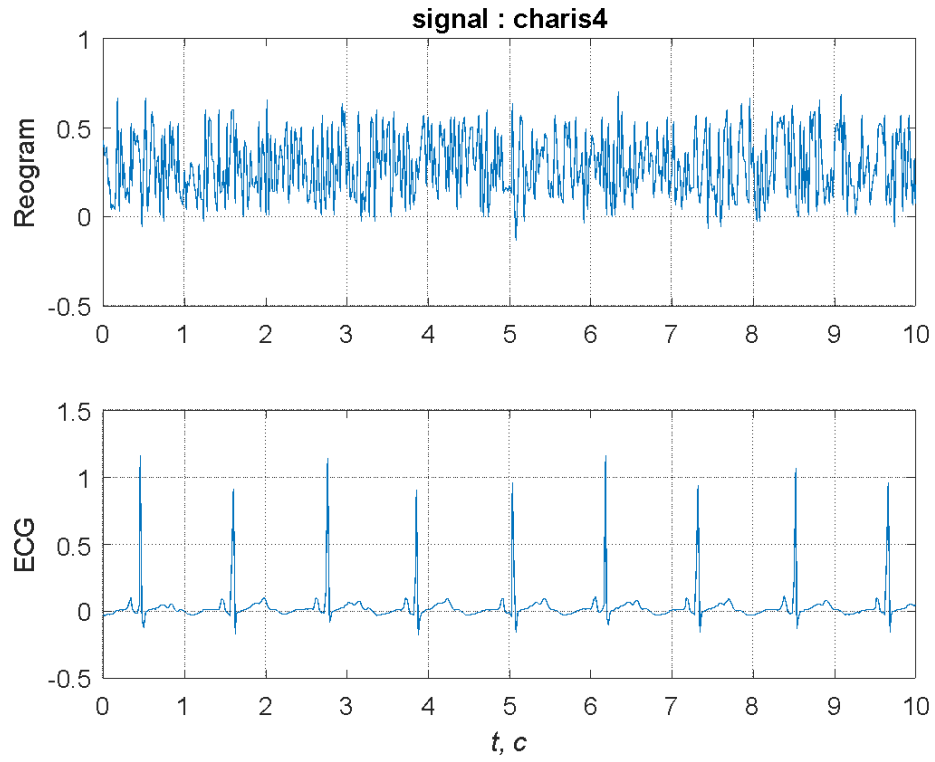


Рисунок 3.4. – Реограма charis4 та ЕКГ

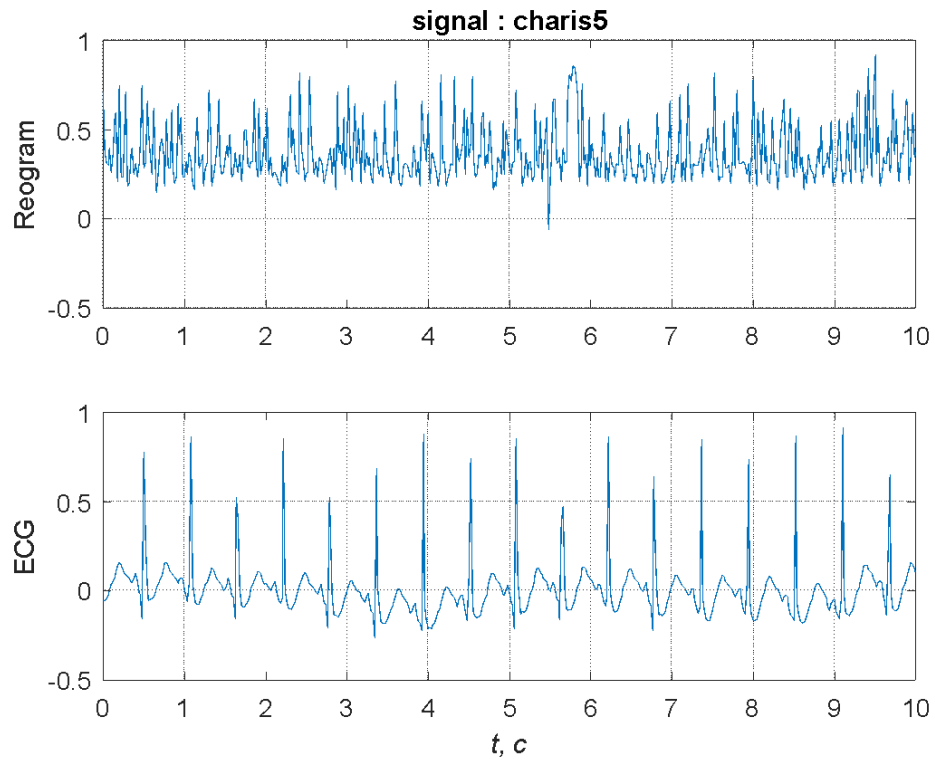


Рисунок 3.5. – Реограма charis5 та ЕКГ

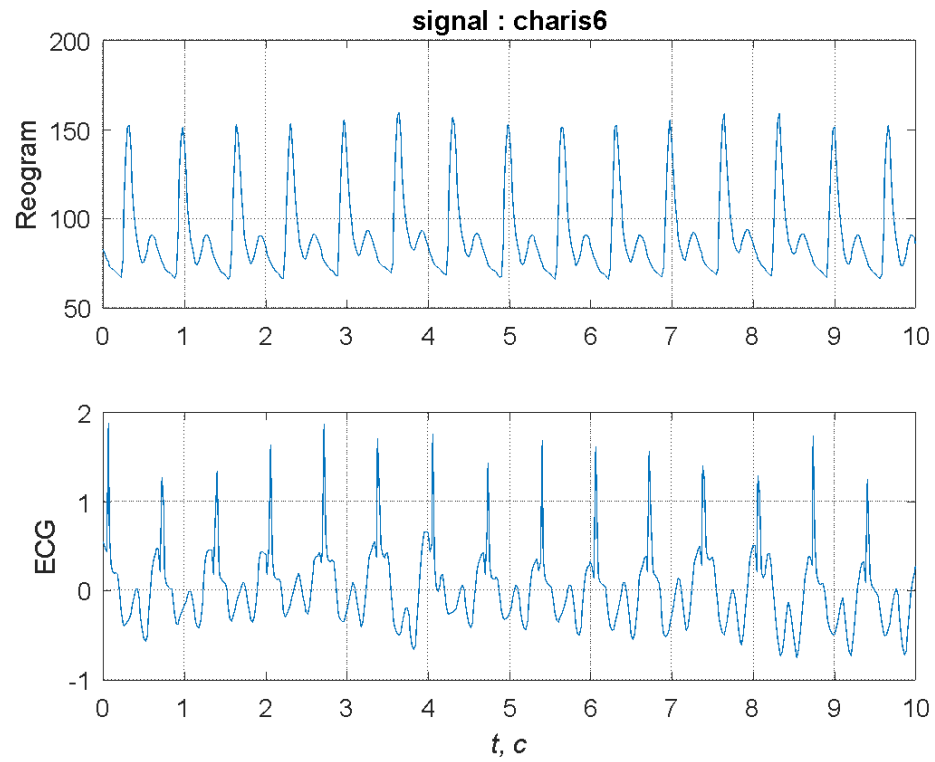


Рисунок 3.6. – Реограма charis6 та ЕКГ

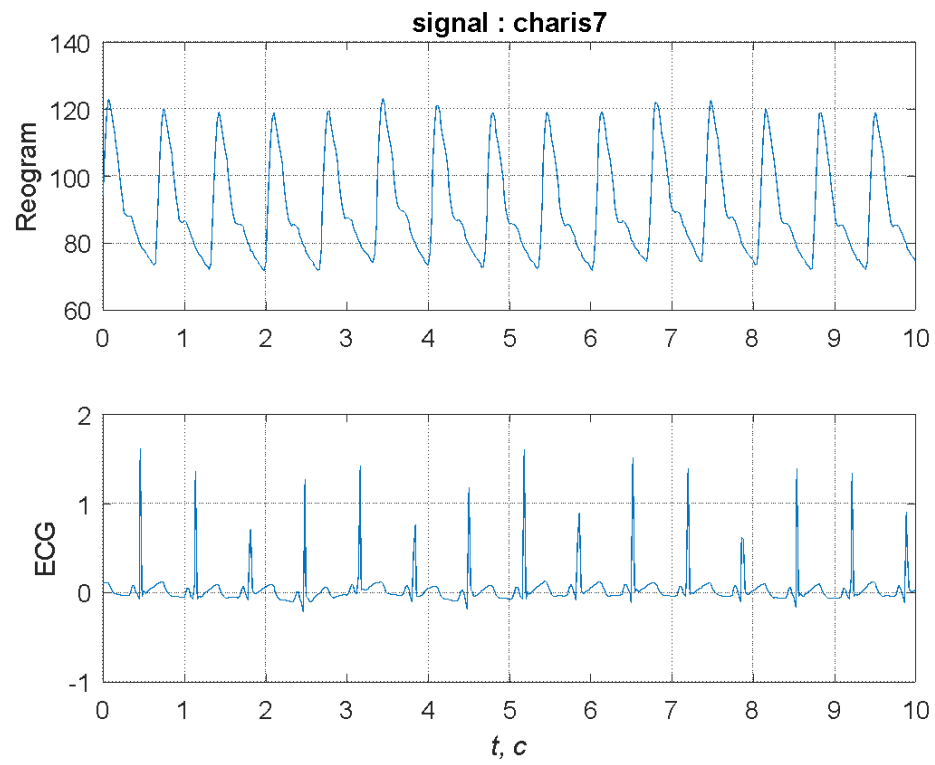


Рисунок 3.7. – Реограма charis7 та ЕКГ

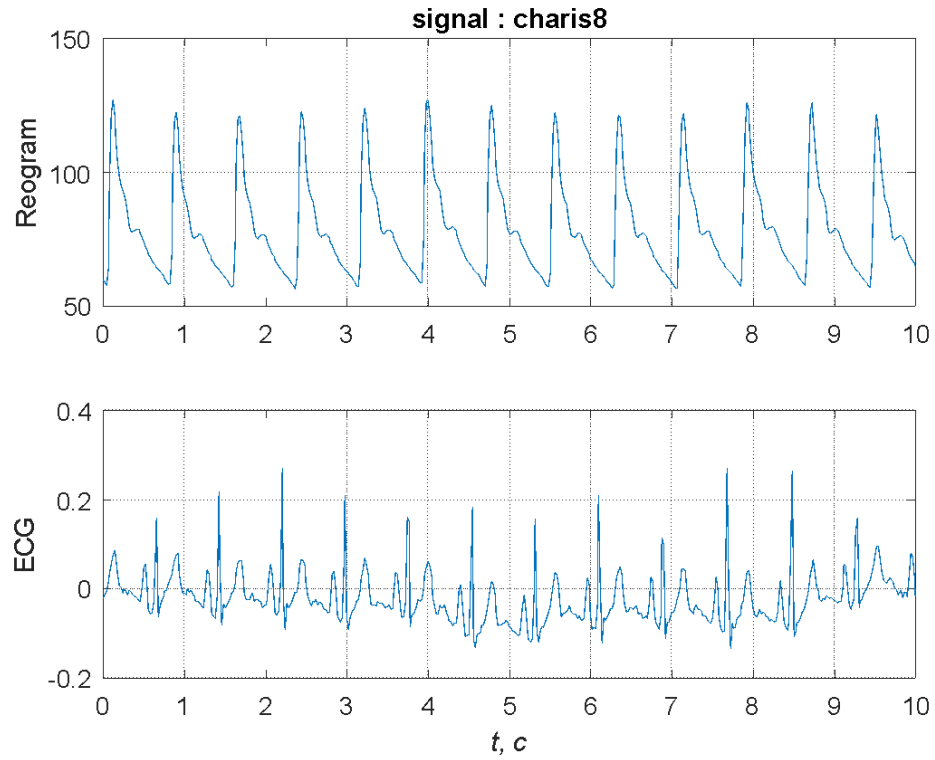


Рисунок 3.8. – Реограма charis8 та ЕКГ

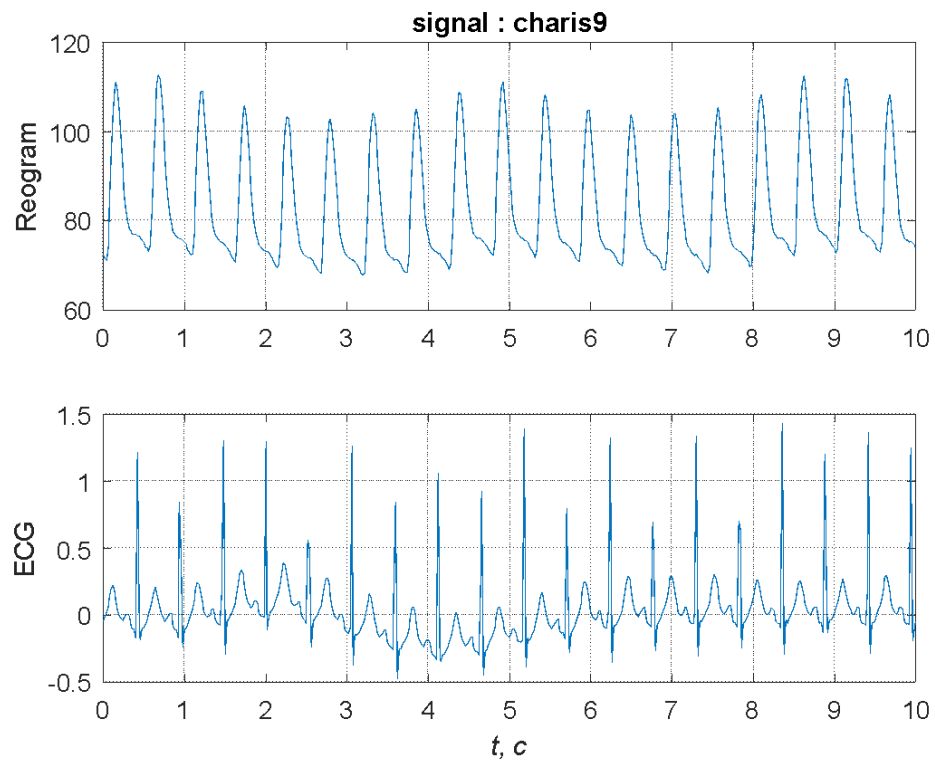


Рисунок 3.9. – Реограма charis9 та ЕКГ

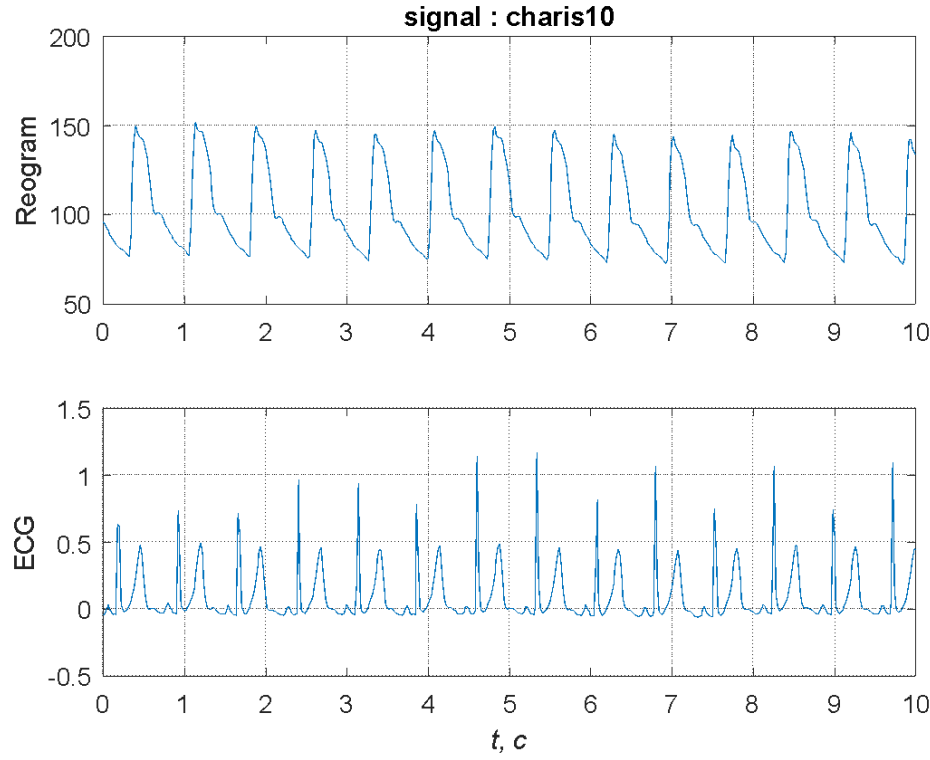


Рисунок 3.10. – Реограма charis10 та ЕКГ

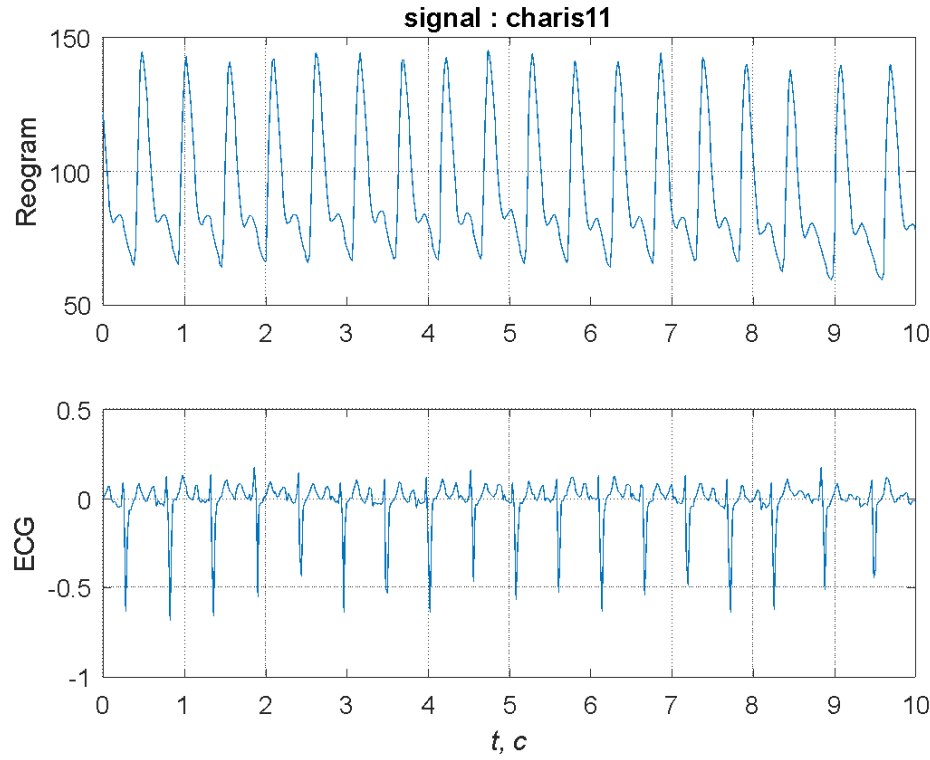


Рисунок 3.11. – Реограма charis11 та ЕКГ

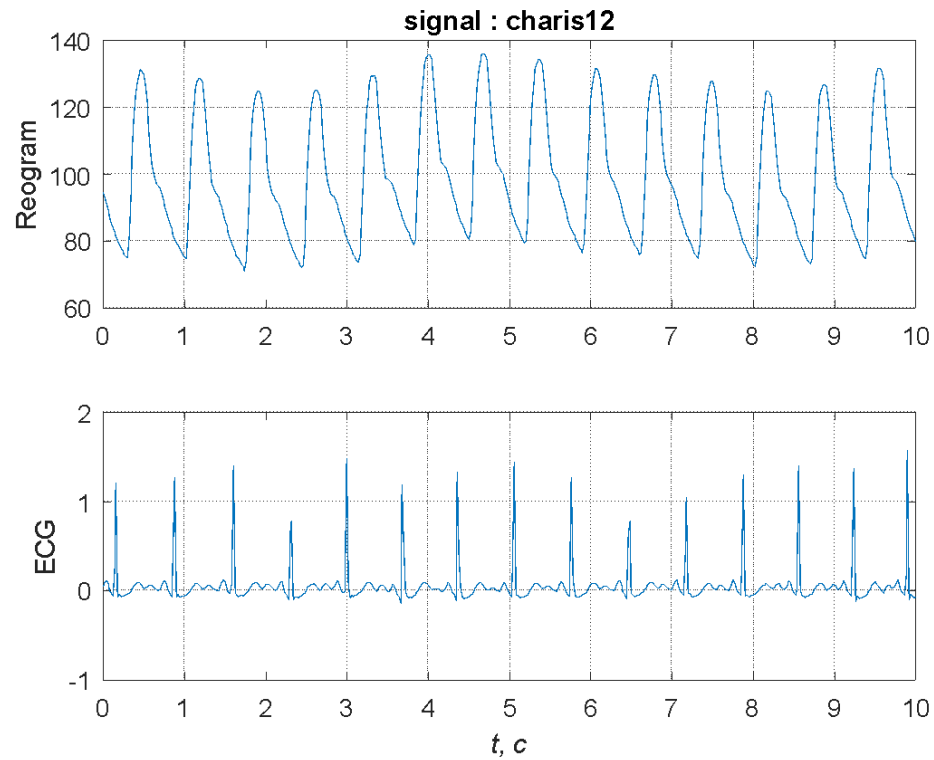


Рисунок 3.12. – Реограма charis12 та ЕКГ

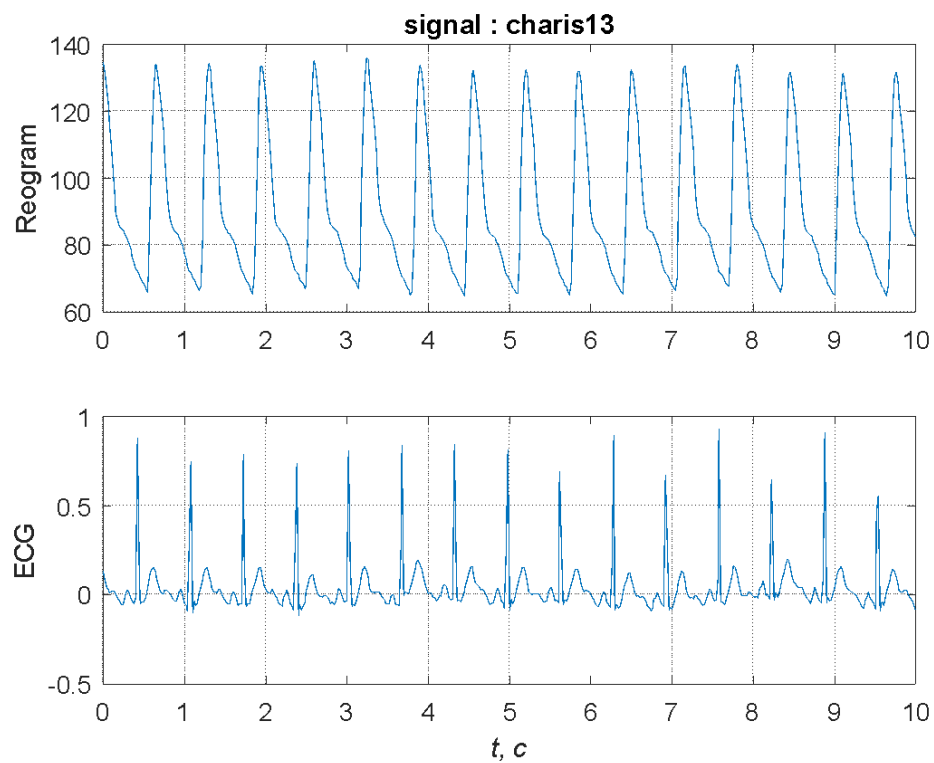


Рисунок 3.13. – Реограма charis13 та ЕКГ

Графіки реограм **charis1**, **charis4**, **charis5** мають дуже сильний рівень шуму і не придатні для аналізу в часовій області. Інші графіки показують

наявність значних нелінійних спотворень, зокрема у формі додаткових хвиль.

3.2.2. Видалення постійної складової і низькочастотного тренду

Візуальне вивчення вхідних даних дає змогу виявити постійну складову в сигналі чи низькочастотний тренд. Ці компоненти треба видалити перед початком спектрального аналізу. Для вилучення тренду необхідно задати його модель. Зазвичай природа тренду не відома і як модель використовують апроксимацію тренду лінійною комбінацією поліномів, параметри моделі тренду визначають МНК.

Постійну складову сигналу, як правило, потрібно видаляти: якщо вона не дорівнює нулю, то спектральна щільність потужності сигналу буде мати імпульс на нульовій частоті, якій може бути значної амплітуди і ускладнить виявлення низькочастотних компонент в спектрі сигналу. Після видалення із сигналу тренду і постійної складової отримують центровані дані.

Для вилучення постійної складової використовується функція `detrend`, відповідний фрагмент коду наведено в наступному підрозділі.

3.2.3. Обчислення спектральної щільності методом Уелча

Обчислення спектральної щільності методом Уелча виконано із застосуванням такого програмного коду

```
abp = detrend(abp)/std(abp);
win = hamming(nfft/4);
nover = length(win)/2;
[P1,f1] = pwelch(abp, win, nover, nfft, fs);
df = f1(2)-f1(1); fprintf('df = %5.4f Hz\n',df)
```

Для обчислення спектральної щільності використана функція `pwelch()`, що реалізує метод Уелча усереднення модифікованих періодограм. Згладжування періодограм виконано вікном Хеммінга, перекриття сегментів вибрано 50%. В програмному коді також обчислена роздільна здатність

спектрального аналізу. Графік спектральної щільності потужності побудований в окремому графічному вікні в логарифмічних осях координат.

```
figure(3)
set(gcf,'Position', [488 380 560 240])
semilogx(f1,10*log10(P1)); grid on
xlim([0.1 30]), ylim([-20 -5])
title(str)
xlabel('Frequency, Hz'), ylabel('PSD, dB')
```

Спектральний аналіз виконано для 512 і 256 відліків сигналу, що використовують при швидкому перетворенні Фур'є. Графіки спектральної щільності, що отримані після виконання програмного коду наведені на рис. 3.14 – 3.25

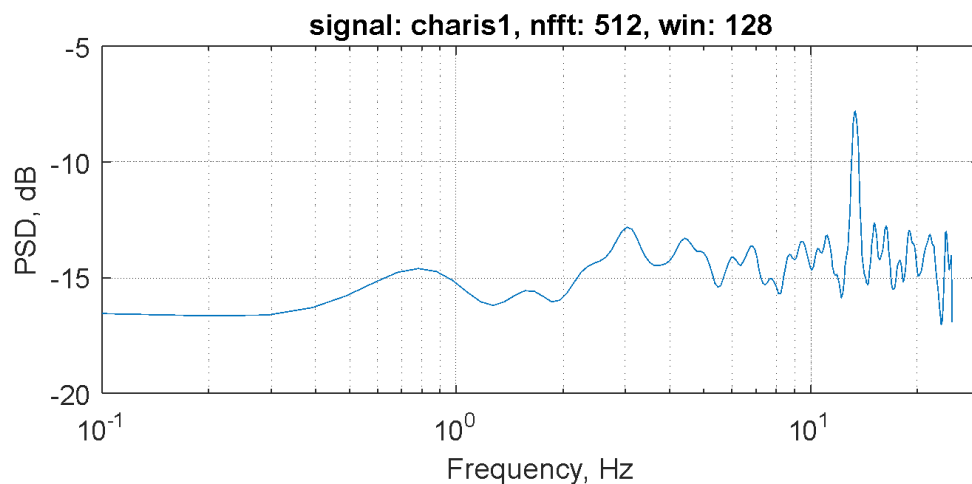


Рисунок 3.14. – Спектральна щільність сигналу charis1

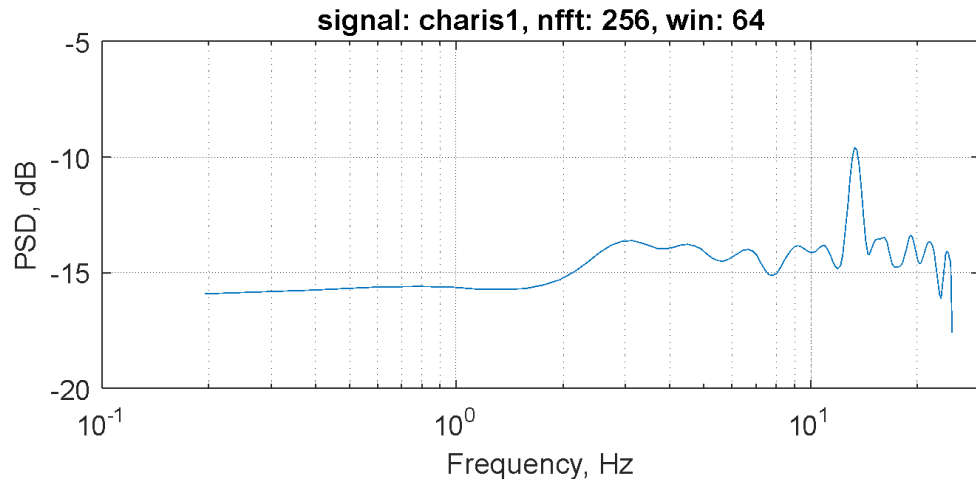


Рисунок 3.15. – Спектральна щільність сигналу charis1

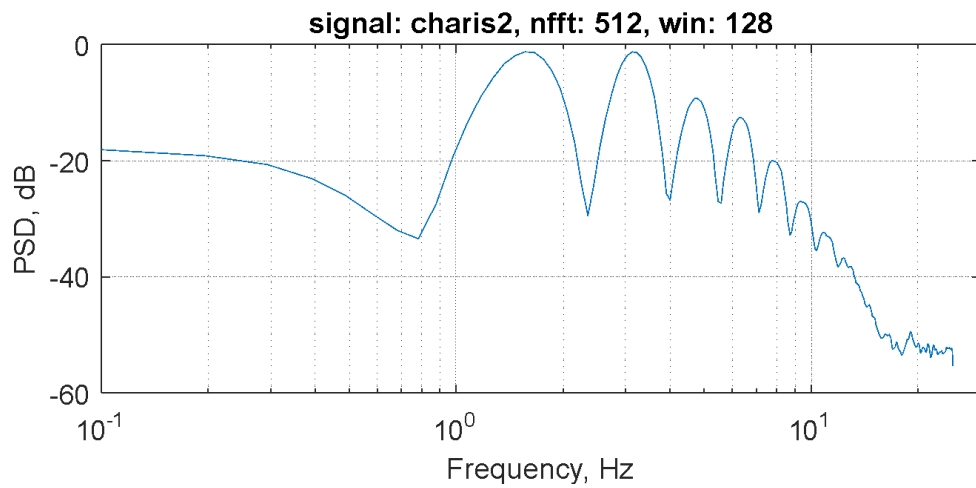


Рисунок 3.16. – Спектральна щільність сигналу charis2

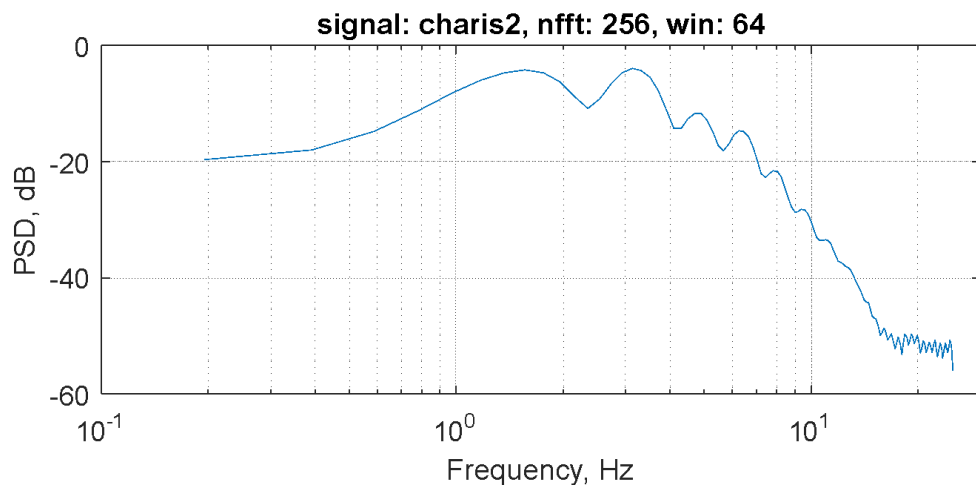


Рисунок 3.17. – Спектральна щільність сигналу charis2

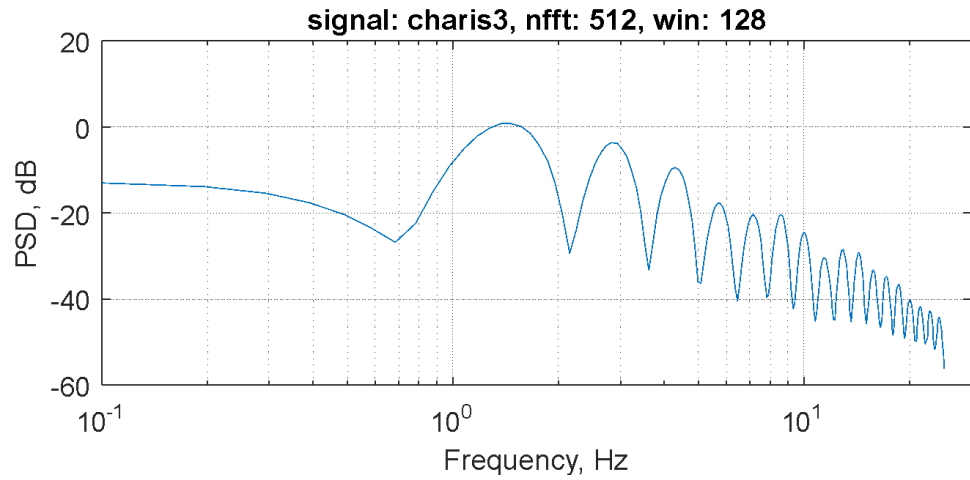


Рисунок 3.18. – Спектральна щільність сигналу charis3

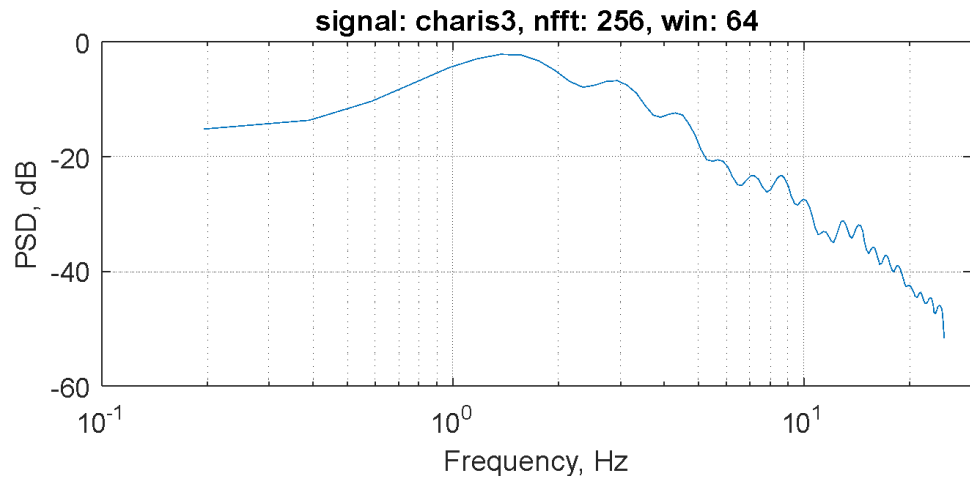


Рисунок 3.19. – Спектральна щільність сигналу charis3

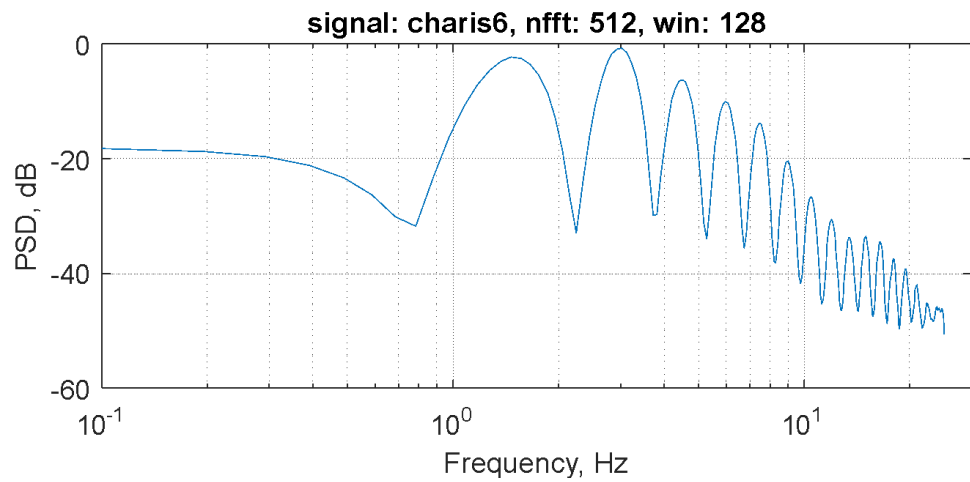


Рисунок 3.20. – Спектральна щільність сигналу charis6

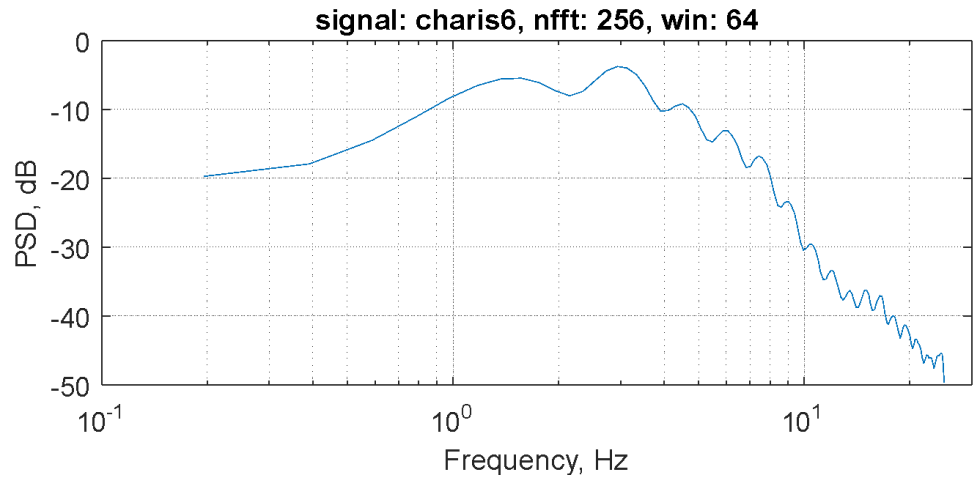


Рисунок 3.21. – Спектральна щільність сигналу charis6

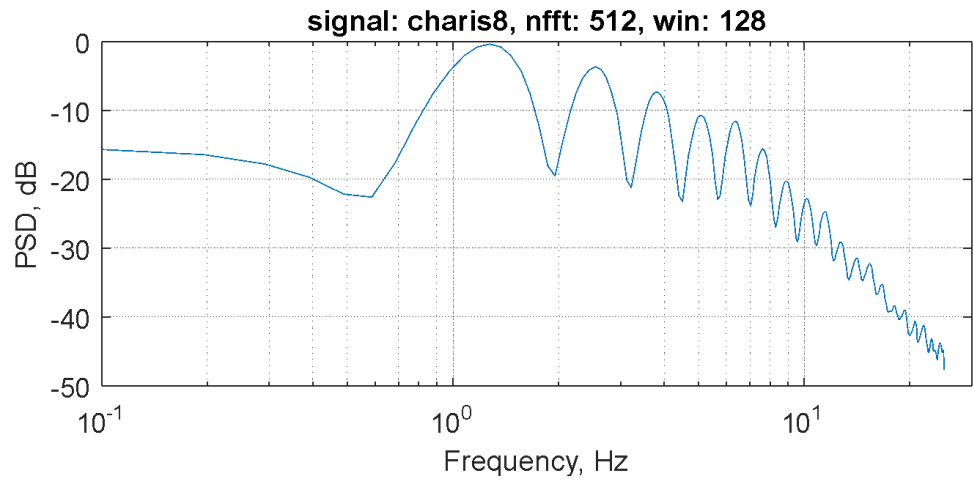


Рисунок 3.22. – Спектральна щільність сигналу charis8

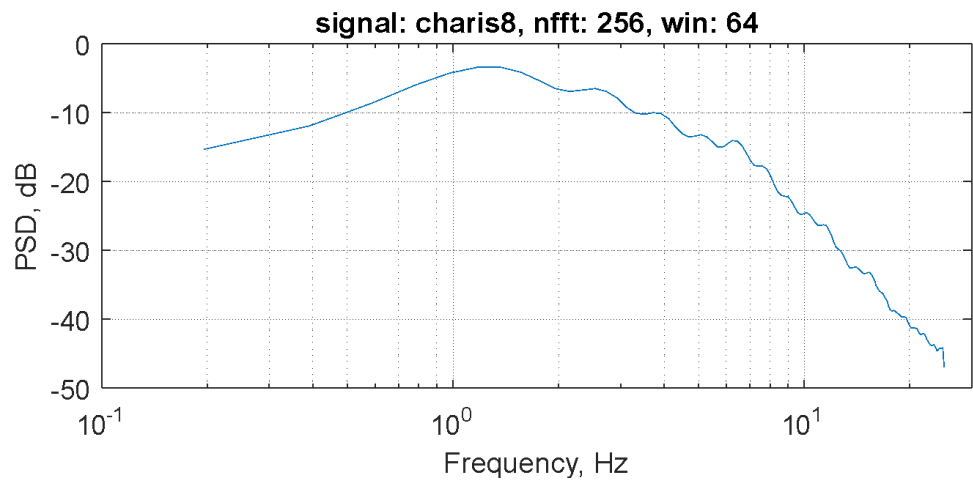


Рисунок 3.23. – Спектральна щільність сигналу charis8

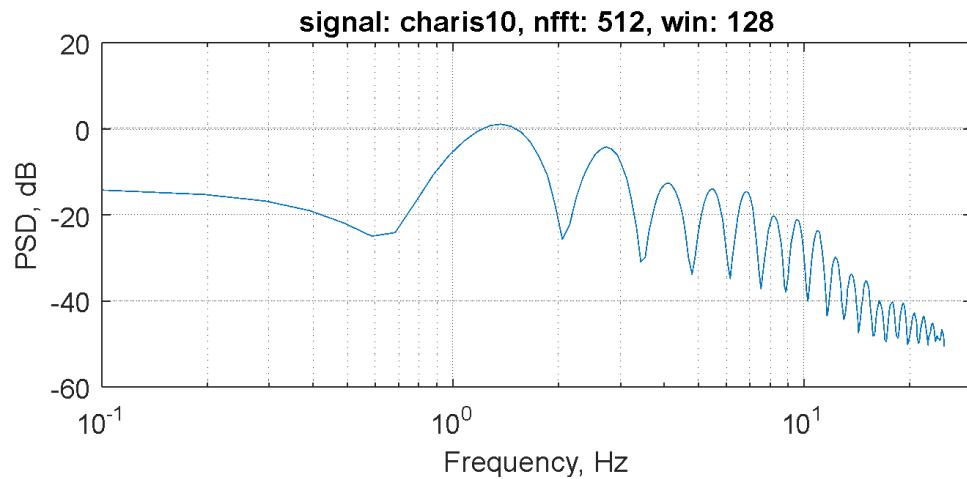


Рисунок 3.24. – Спектральна щільність сигналу charis10

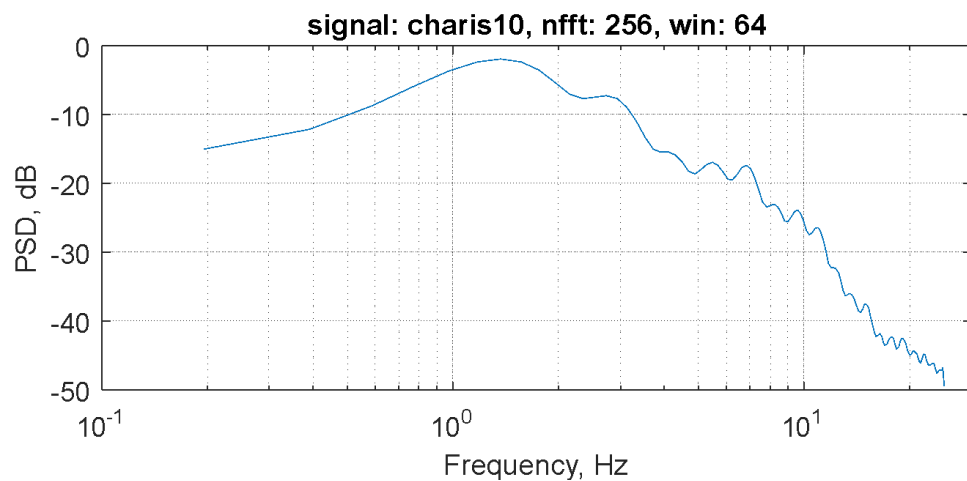


Рисунок 3.25. – Спектральна щільність сигналу charis10

3.2.4. Вплив довжини вікна аналізу

В роботі досліджена залежність результатів спектрального аналізу від довжини вікна даних (для сигналу charis2). Швидкому перетворення Фур'є виконано для 2048 відліків сигналу, довжина вікна змінювалась від 1024 до 64 відліків. Результати досліджень у графічній формі подані на мал. 3.26 – 3.30

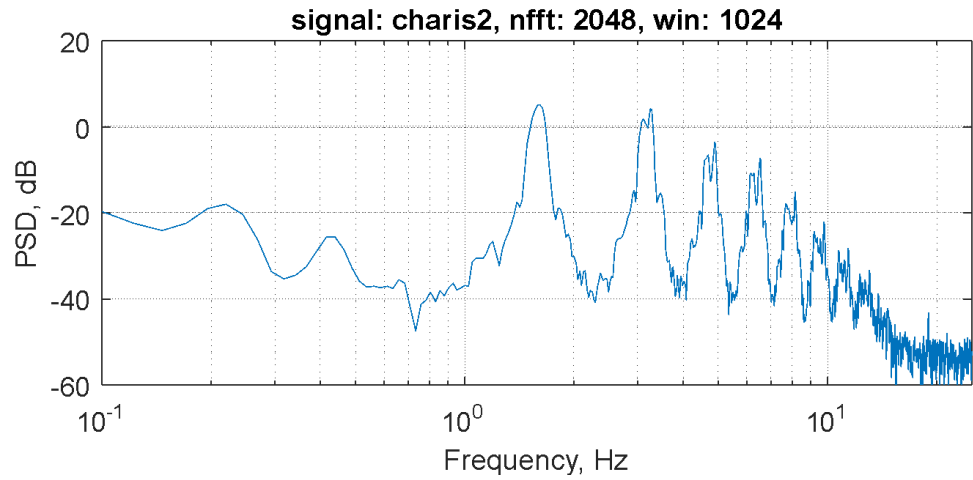


Рисунок 3.26. – Спектральна щільність реограми при win = 1024

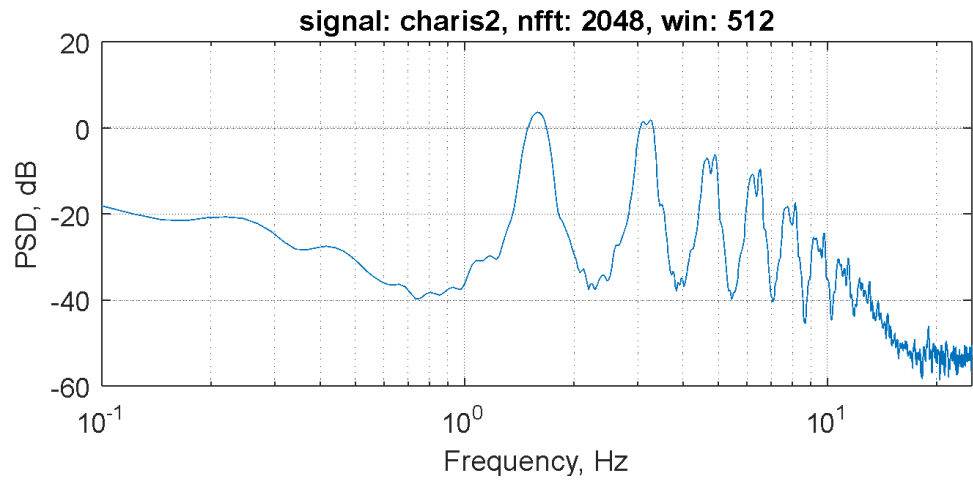


Рисунок 3.27. – Спектральна щільність реограми при win = 512

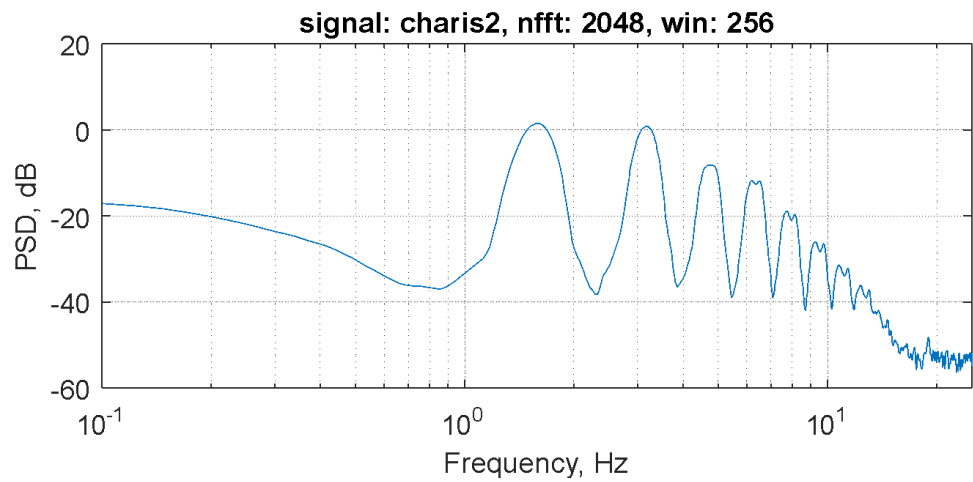


Рисунок 3.28. – Спектральна щільність реограми при win = 256

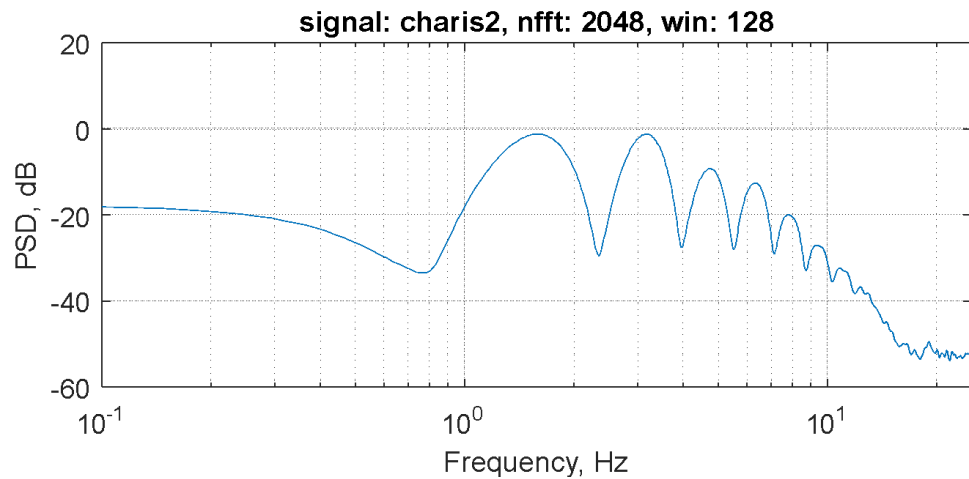


Рисунок 3.29. – Спектральна щільність реограми при win = 128

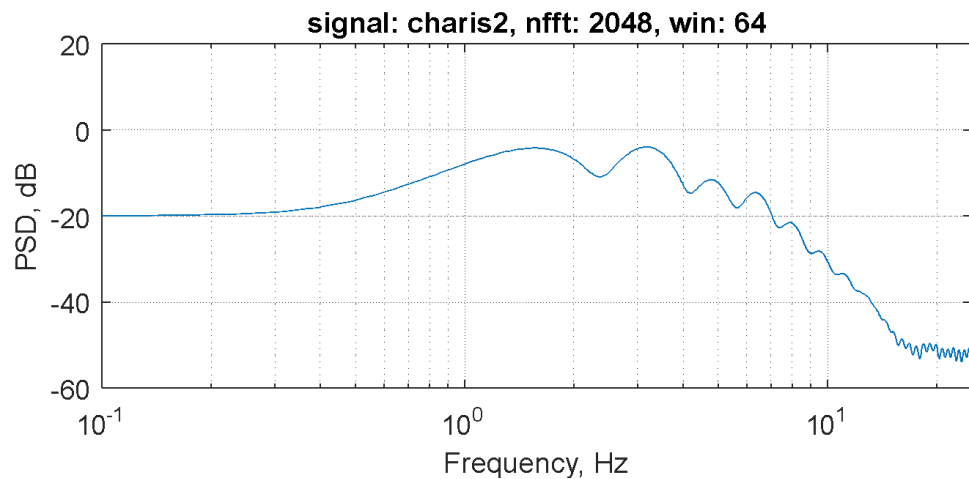


Рисунок 3.30. – Спектральна щільність реограми при win = 64

З графіків можна зробити висновки, що задовільне згаджування оцінок спектральної щільності для сигналів реограми може бути при довжині вікна 512 і 256 відліків.

На степінь згладжування спектральних оцінок мало впливає розмір вектора даних, до якого застосовано швидке перетворення Фур'є, що показує порівняння мал. 3.30 і 3.31

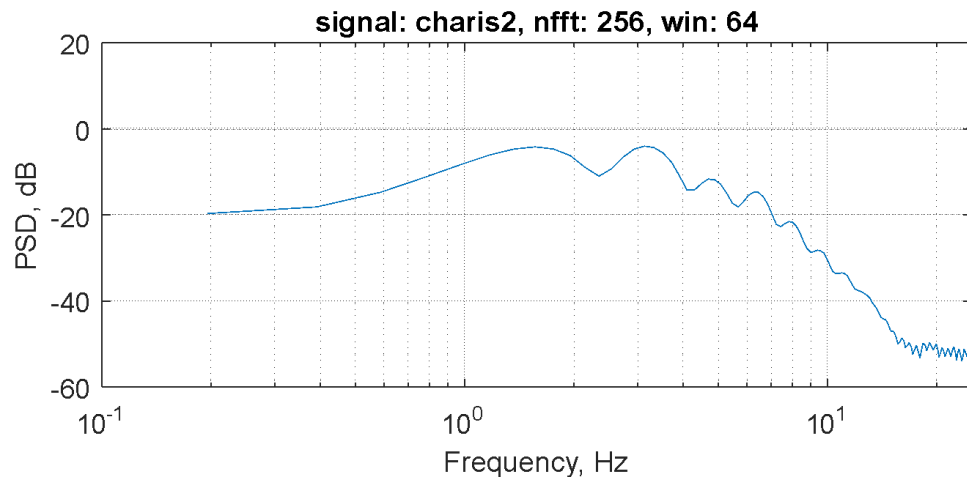


Рисунок 3.31.– Спектральна щільність реограми при win = 64

З графіків також можна зробити висновок, що спектральна щільність потужності має спектральні складові, що кратні частоті 1.587 Гц. Отже сигнал реограми можна моделювати як суму гармонійних сигналів, тому для оцінювання спектральної щільності можна застосувати багатовіконний метод Томсона.

3.2.5. Обчислення спектральної щільності методом Томсона

Обчислення спектральної щільності багатовіконним методом (метод Томсона) виконано із застосуванням такого програмного коду

```
abp = detrend(abp)/std(abp);
nfft = 512; nw = 7.5;
[P1,f1] = pmtm(abp, nw,[],fs);
```

Для обчислення спектральної щільності використана функція pmtm(), що реалізує багатовіконний метод Томсона. В програмному коді також обчислена роздільна здатність спектрального аналізу.

Графік спектральної щільності потужності побудовано в окремому графічному вікні в логарифмічних осях координат.

```
semilogx(f1,10*log10(P1)); grid on
xlim([0.01 30])
title(str)
```

```
xlabel('Frequency, Hz'),  
ylabel('PSD, dB')
```

Графіки спектральної щільності, що отримані після виконання програмного колу наведені на мал. 3.32 – 3.43

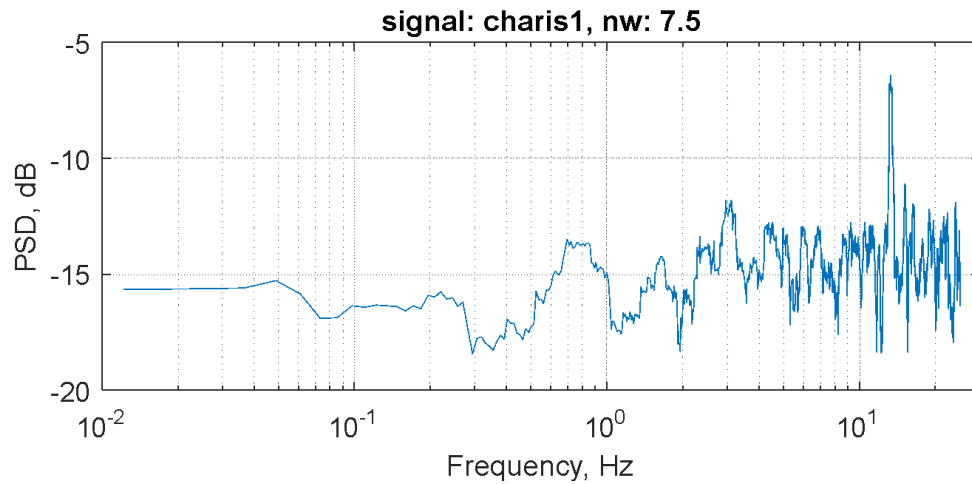


Рисунок 3.32. – Спектральна щільність реограми charis1

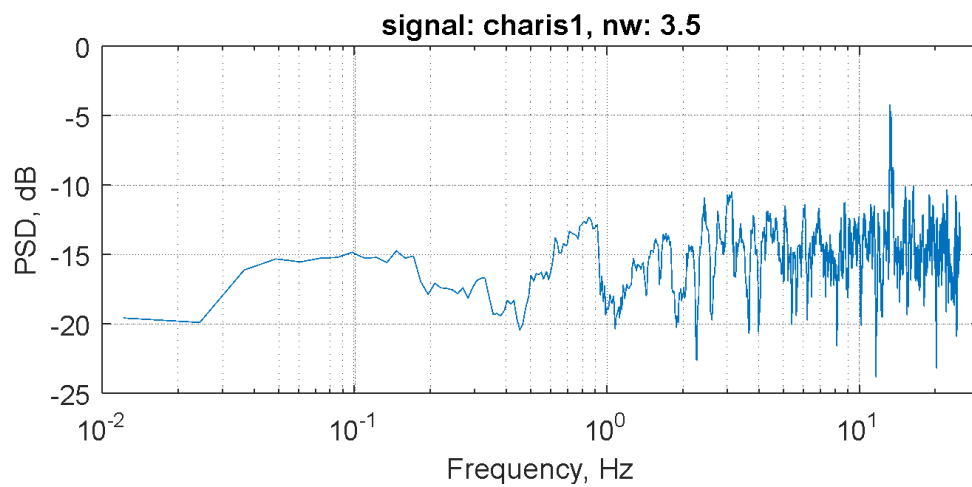


Рисунок 3.33. – Спектральна щільність реограми charis1

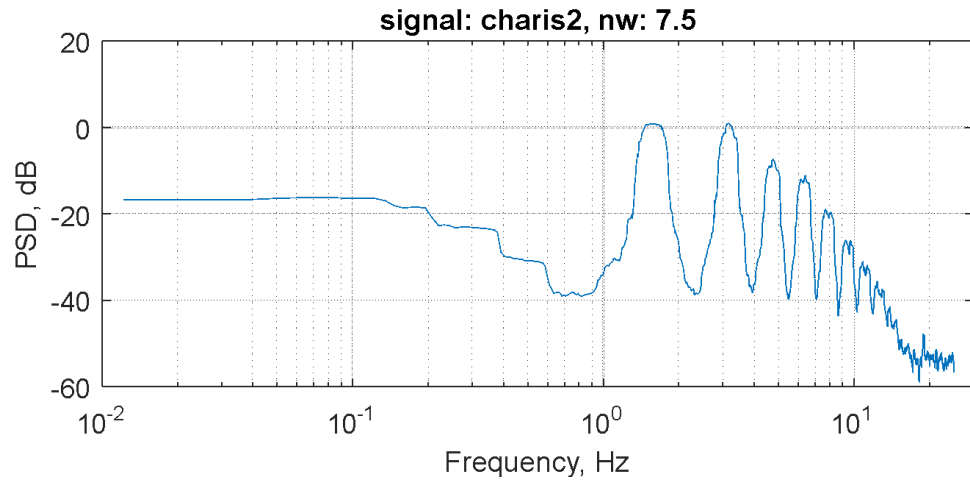


Рисунок 3.34. – Спектральна щільність реограми charis2

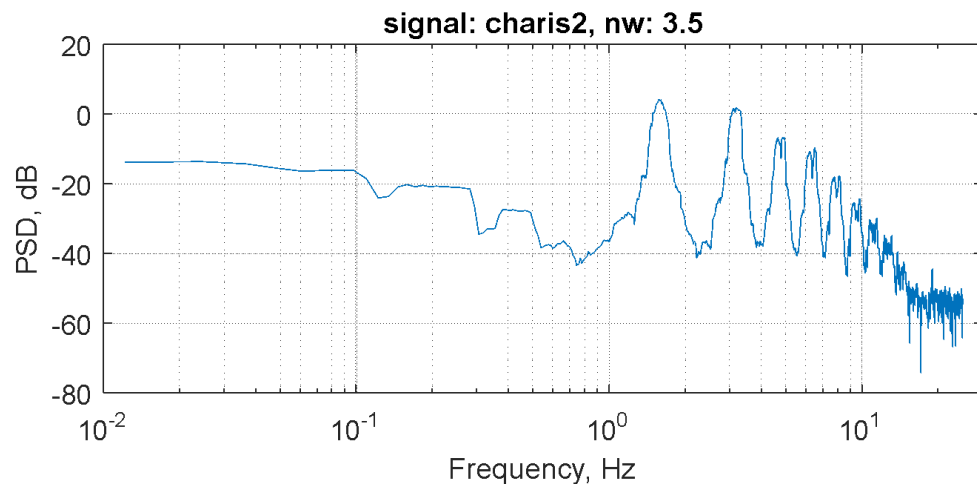


Рисунок 3.35. – Спектральна щільність реограми charis2

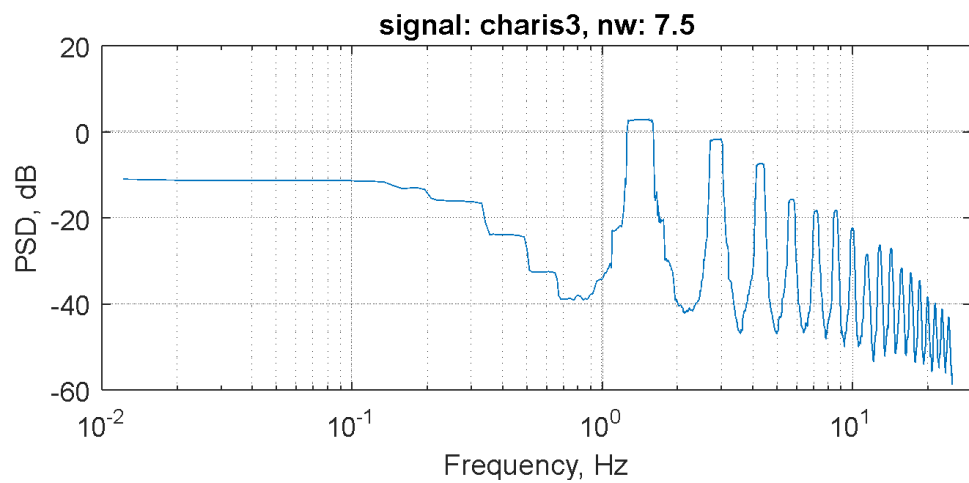


Рисунок 3.36. – Спектральна щільність реограми charis3

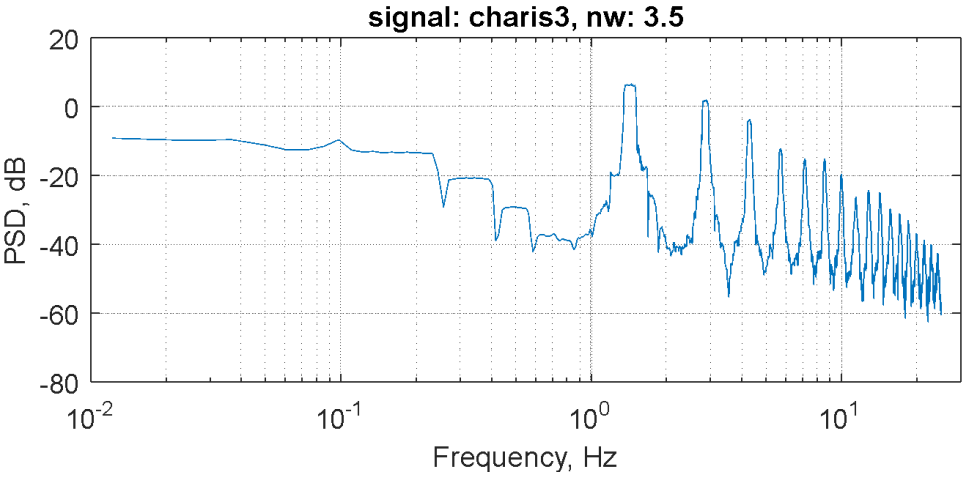


Рисунок 3.37. – Спектральна щільність реограми charis3

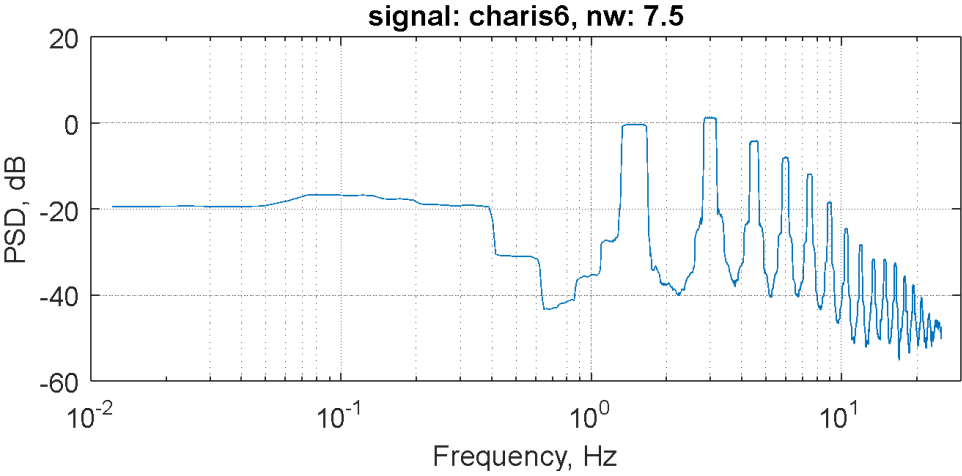


Рисунок 3.38. – Спектральна щільність реограми charis6

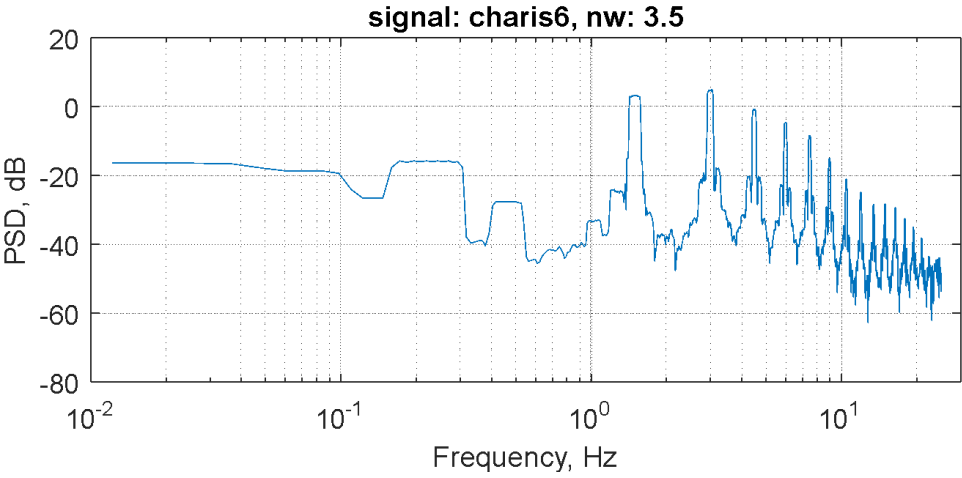


Рисунок 3.39. – Спектральна щільність реограми charis6

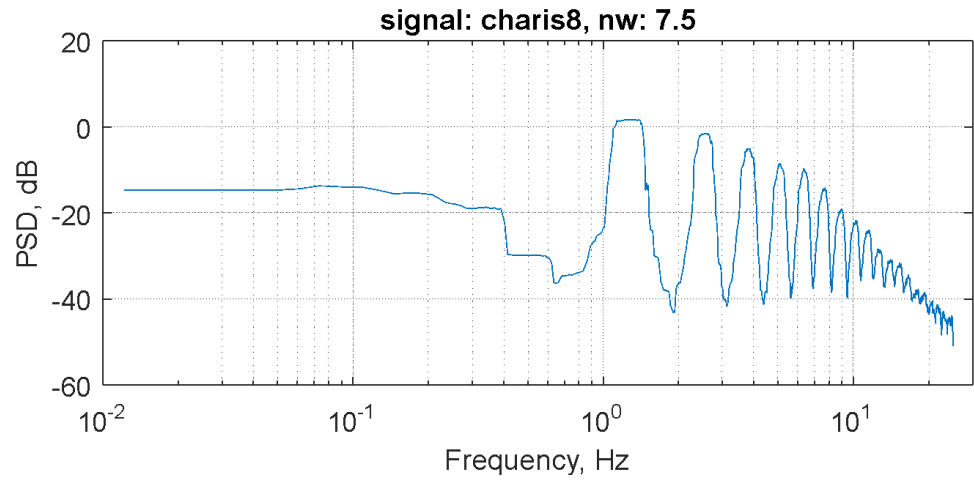


Рисунок 3.40. – Спектральна щільність реограми charis8

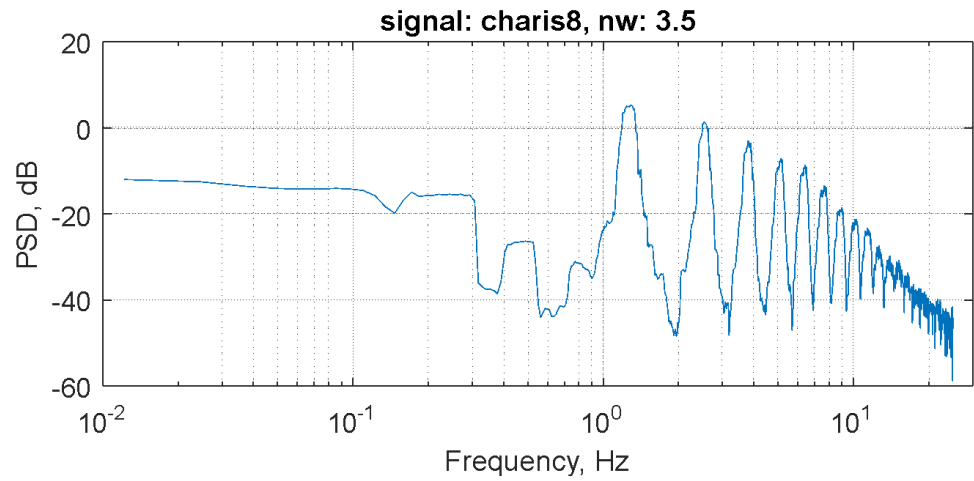


Рисунок 3.41. – Спектральна щільність реограми charis8

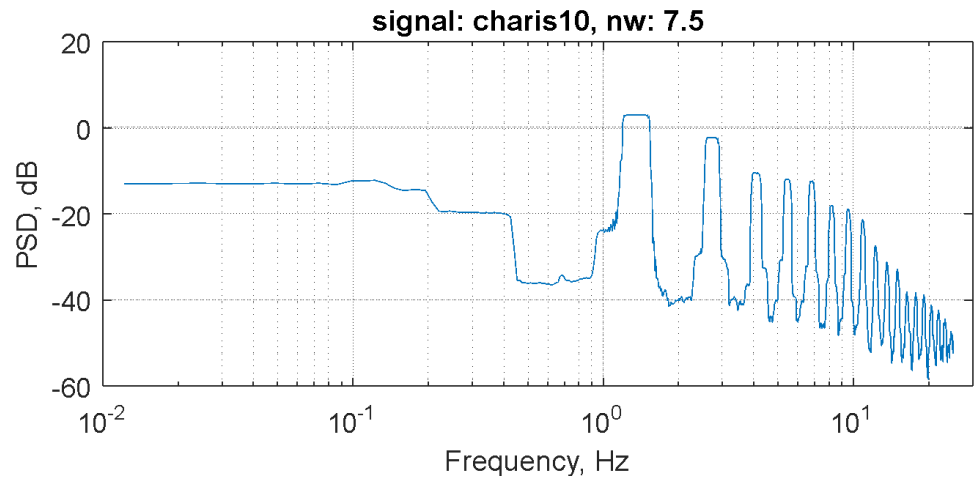


Рисунок 3.42. – Спектральна щільність реограми charis10

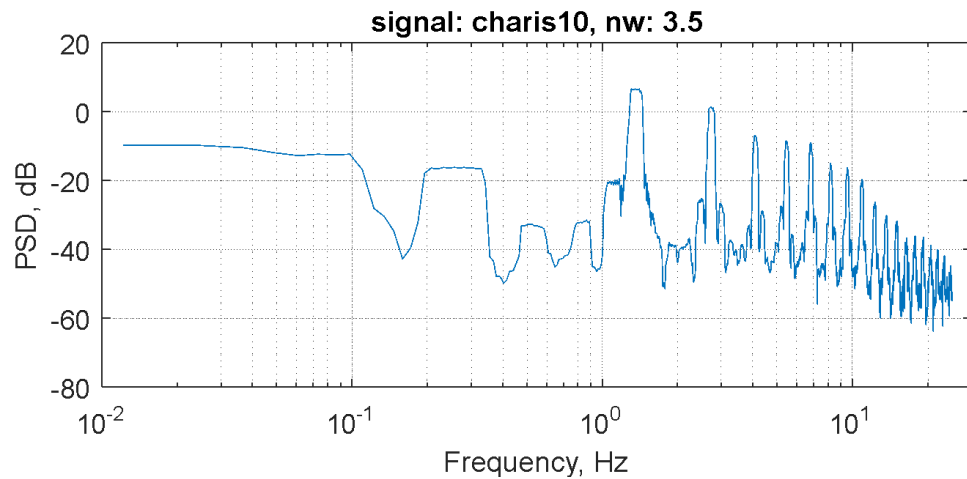


Рисунок 3.43. – Спектральна щільність реограми charis10

3.2.6. Спектрально-часова роздільна здатність

В роботі досліджена залежність результатів спектрального аналізу від спектрально-часової роздільної здатності багатовіконного методу. Дослідження виконано для 2048 відліків сигналу, параметр NW набував значення 2; 2,5; 3; 4; 7,5. Кількість вікон аналізу дорівнює $2 \cdot NW - 1$. Результати досліджень у графічній формі подані на рис. 3.44 – 3.48

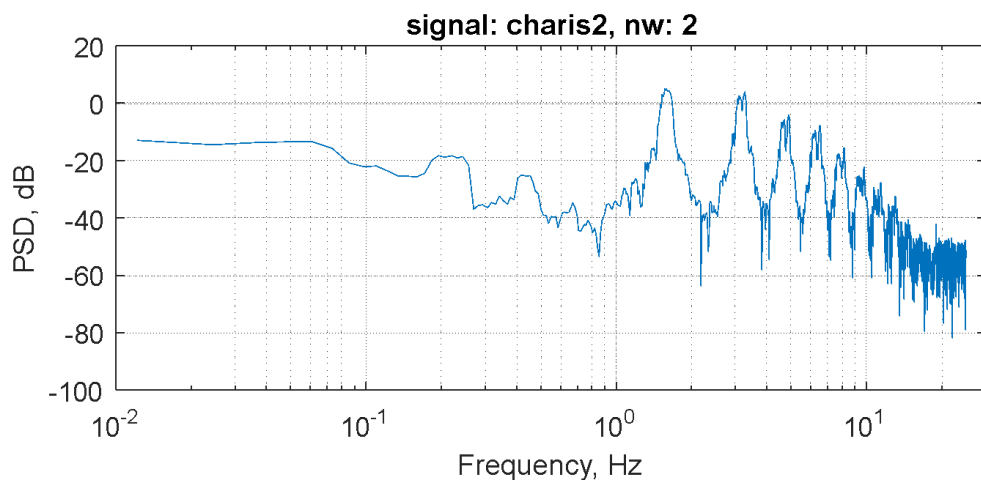


Рисунок 3.44. – Спектральна щільність реограми charis2 при $NW = 2$

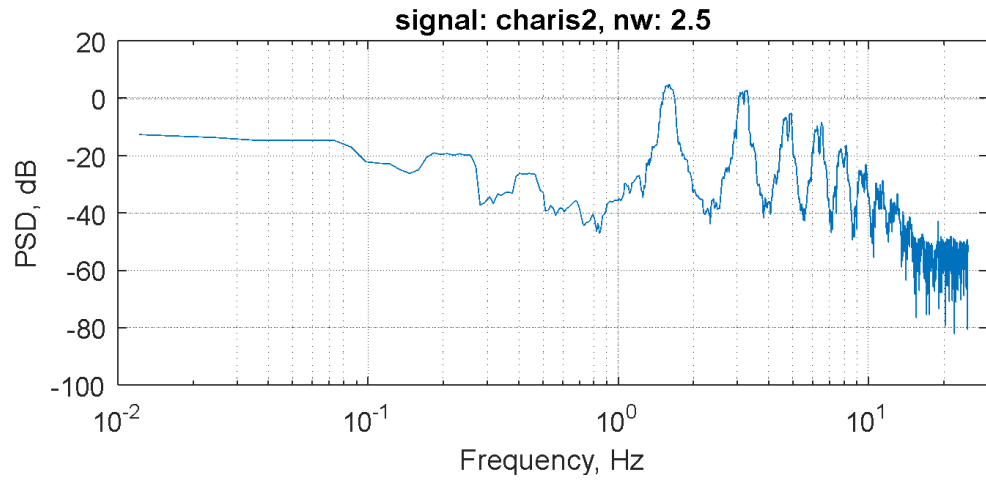


Рисунок 3.45. – Спектральна щільність реограми charis2 при NW = 2.5

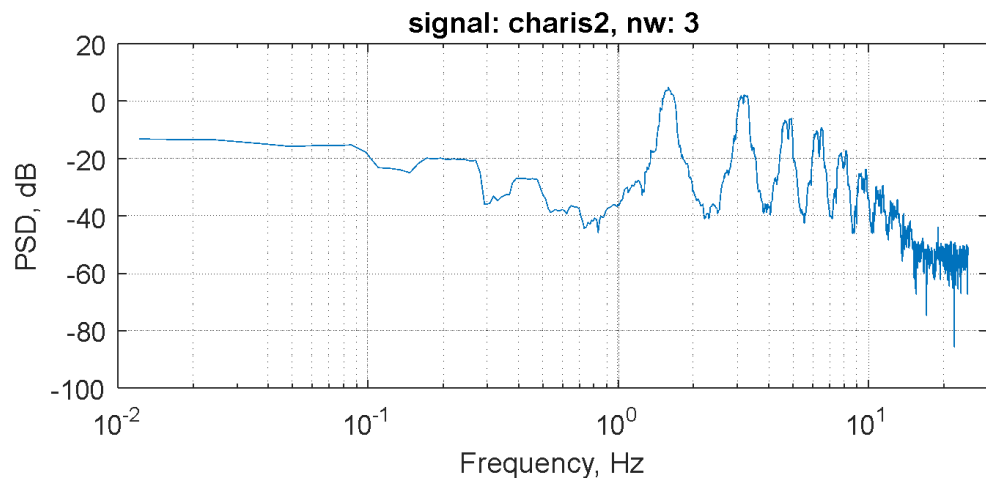


Рисунок 3.46. – Спектральна щільність реограми charis2 при NW = 3

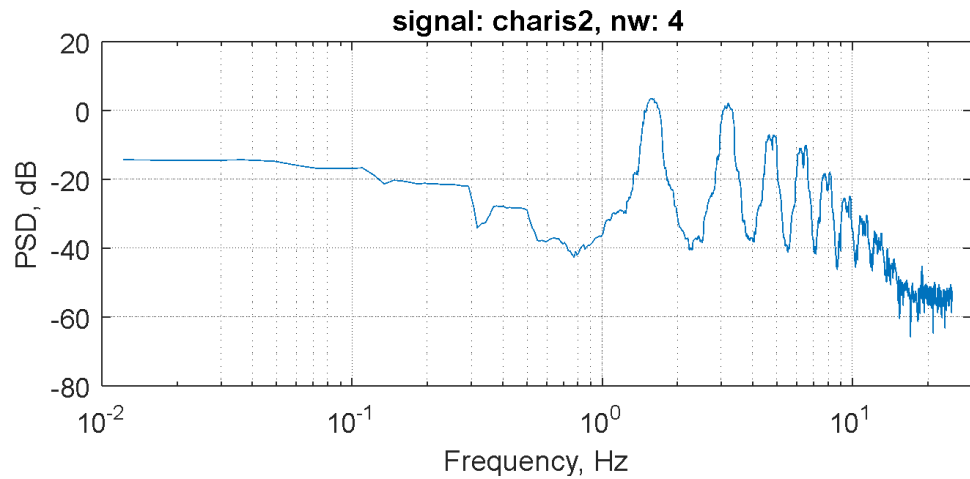


Рисунок 3.47. – Спектральна щільність реограми charis2 при NW = 4

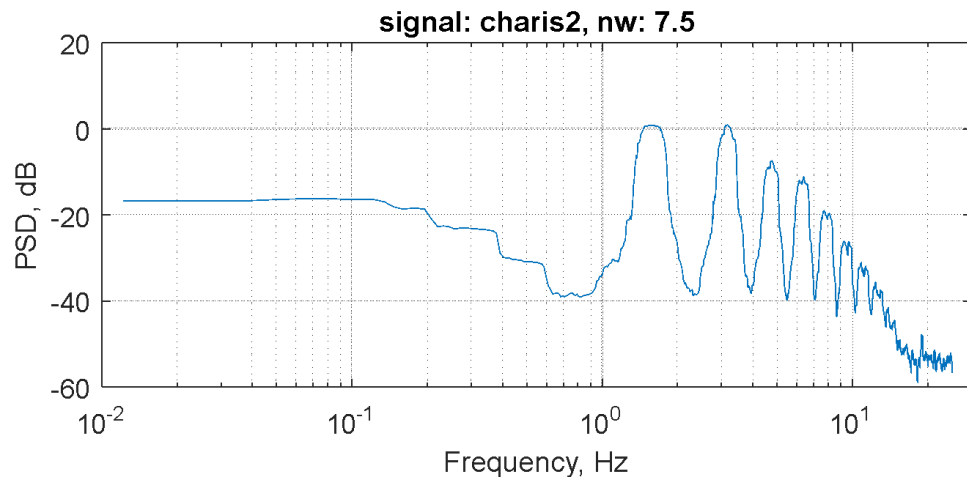


Рисунок 3.48. – Спектральна щільність реограми charis2 при $NW = 7.5$

З графіків також можна зробити висновок, що спектральна щільність потужності має спектральні складові, що кратні частоті 1.575 Гц, що відповідає значенням, отриманим методом Уелча. Отже сигнал реограми можна подати як суму гармонійних сигналів.

Висновки до розділу 3

Розроблено програмне забезпечення для оцінювання спектральної щільності реограм, проведено спектральний аналіз реограм методами Уелча і Томсона. Методи потребують правильного вибору параметрів аналізу. Метод Томсона дозволяє впевнено виявити 10 гармонік високого порядку, метод Уелча 8 гармонік.

РОЗДІЛ 4.

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Перелік небезпечних та шкідливих виробничих факторів в робочій зоні при експлуатації ПК

Роботи є методика аналізу реограм на основі розробленого програмного забезпечення. Розглянемо типове робоче місце користувача персонального комп'ютера (ПК), для того щоб оцінити вплив шкідливих виробничих факторів. Згідно з ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы» виділяють такі групи небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

фізичні фактори:

- вироби заготівлі, що переміщаються, незахищені рухливі елементи виробничого обладнання;
- підвищена загазованість, запиленість робочої зони;
- підвищений рівень шуму;
- підвищений рівень напруги в електричній мережі, замикання якого може відбутися в тілі людини;
- підвищений рівень іонізуючого випромінювання;
- підвищений рівень електромагнітних полів;
- підвищений рівень ультрафіолетового випромінювання;
- недостатня освітленість робочої зони.

хімічні фактори:

- подразнювальні речовини.

біологічні фактори:

- макро- і мікроорганізми.

психофізіологічні фактори:

- фізичні перевантаження;
- статичні навантаження;
- динамічні навантаження;
- гіподинамія.

нервово-емоційні навантаження:

- розумова перенапруга;
- перевтома;
- перенапруга аналізаторів (шкірні, зорові, слухові і т.д.);
- монотонність праці;
- емоційні перенавантаження.

4.1.1. Небезпечні та шкідливі фактори при роботі з ПК

1. Підвищений рівень шуму на робочому місці.

Внутрішній шум в приміщенні створюють апаратура, механізми, машини, що встановлені в них. Загальноприйняте, що щоденне середнє значення шумів менше 80 дБ не представляє загрози для здоров'я людей. Рівні шумів більше 90 дБ є шкідливими. Люди, схильні до впливу шумів в

межах від 85 до 90 дБ, повинні перебувати під наглядом фахівців, так як при довгостроковій роботі в таких умовах у найбільш чутливих до шумів людей розвивається погіршення слуху. ПК можна віднести до малOSHумної категорії апаратури, яка створює шум в межах допустимих норм (65 дБ).

У приміщеннях з ЕОМ рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.003 "ССБТ Шум. Общие требования безопасности", "Гігієнічні рекомендації по встановленню рівнів шуму на робочих місцях з урахуванням напруженості та тяжкості праці", затверджених Міністерством охорони здоров'я України.

Рівні шуму на робочих місцях осіб, що працюють з відео терміналами та ЕОМ, визначені ДСанПіН 3.3.2-007-98 [13].

2. Підвищена температура повітря робочої зони.

Причиною підвищеної температури робочої зони можуть бути освітлювальні пристрої, величина тепловиділень яких становить 35-60 Вт/м², а також комп'ютер, середня величина тепловиділень якого становить 310 Вт/м².

3. Недостатність природного освітлення.

Причиною недостатності природного освітлення може бути неправильно спроектоване розміщення робочого місця відносно джерел природного освітлення (вікон), слабе світлопроникнення вікон через їх забрудненість.

4. Недостатня освітленість робочої зони.

Причиною недостатньої освітленості робочої зони може бути невірно спроектоване та виконане освітлення – недостатність світильників місцевого освітлення.

5. Підвищене значення напруги в електричному колі, замикання якого може пройти через тіло людини. Причиною виникнення електричного струму на не струмоведучих елементах конструкції, а також ушкодження ізоляції електропровідних елементів приладу можуть призвести до замикання й проходження струму крізь тіло людини.

6. Нервово-психічні перенавантаження, такі як: розумове перенавантаження та емоційне.

Такі перенавантаження можуть виникати у оператора ПК, оскільки його робота потребує постійної уваги та зосередженості під час постійного отримування інформації. Робота може супроводжуватися перервами різної тривалості та характеризуватися як робота з напруженням зору (маленькі знаки на екрані), нервовими навантаженнями (високі вимоги до точності виконуваної роботи). Причиною цього фактору може бути невдало розроблений графік чергувань, тому що системи видають, особливо в робочий час об'єкту, досить великі об'єми оперативної інформації [14].

4.2. Технічні та організаційні заходи, які виключають або обмежують вплив небезпечних та шкідливих виробничих факторів

4.2.1. Заходи щодо регулювання температури повітря робочої зони

Температура повітря робочої зони становить 22°C , що відповідає нормованим параметрам мікроклімату та іонного складу повітря згідно з ГОСТ 12.1.005-88. Для забезпечення необхідної температури 22°C повітря, вологості 60 %, швидкості руху повітря 0,5 м/с необхідно:

- встановити систему вентиляції та кондиціонування у приміщенні;
- створити зелені куточки [5].

4.2.2. Заходи щодо забезпечення необхідного природного освітлення

Приміщення з ЕОМ повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до СНиП II-4-79 “Естественное и искусственное освещение”. Природне світло повинно проникати через бічні світлопрорізи, зорієнтовані, як правило, на північ чи північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Розрахунки КПО проводяться відповідно до СНиП II-4-79. При виробничій потребі дозволяється експлуатувати ЕОМ у

приміщеннях без природного освітлення за узгодженням з органами державного нагляду за охороною праці та органами і установами санітарно-епідеміологічної служби.

Вікна приміщень з відео терміналами повинні мати регулювальні пристрої для відкривання, а також жалюзі, штори, зовнішні козирки тощо [1]. Приміщення робочої зони має природне освітлення 300 лк відповідно до ОСТ 54 72003-82. Для забезпечення більшої ефективності природного освітлення застосовують наступні заходи:

- правильно спроектоване та виконане освітлення;
- освітлення має здійснюватись через світлові прорізи, орієнтовані переважно на північ чи на північний схід;
- забезпечення коефіцієнта природної освітленості не нижче 1,5 [2].

4.2.3. Заходи щодо забезпечення освітлення робочої зони

Штучне освітлення приміщення з робочими місцями, обладнаними відео терміналами ЕОМ загального та персонального користування, має бути обладнане системою загального рівномірного освітлення. У виробничих та адміністративно-громадських приміщеннях, де переважають роботи з документами, допускається вживати систему комбінованого освітлення (додатково до загального освітлення встановлюються світильники місцевого освітлення).

Загальне освітлення має бути виконане у вигляді суцільних або переривчатих ліній світильників, що розміщуються збоку від робочих місць (переважно зліва) паралельно лінії зору працівників. Допускається застосовувати світильники таких класів світлорозподілу:

- світильники прямого світла - П;

- переважно прямого світла - Н;
- переважно відбитого світла - В.

Для загального освітлення необхідно застосовувати світильники із розсіювачами та дзеркальними екранними сітками або віддзеркалювачами, укомплектовані високочастотними пускорегулювальними апаратами (ВЧ ПРА). Застосування світильників без розсіювачів та екранних сіток забороняється.

Як джерело світла при штучному освітленні повинні застосовуватися, як правило, люмінесцентні лампи типу ЛБ. При обладнанні відбивного освітлення у виробничих та адміністративно-громадських приміщеннях можуть застосовуватися метало галогенові лампи потужністю до 250 Вт. Допускається у світильниках місцевого освітлення застосовувати лампи розжарювання.

Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50^0 до 90^0 відносно вертикалі в подовжній і поперечній площинах повинна складати не більше 200 кд/м^2 , а захисний кут світильників повинен бути не більшим за 40^0 . Коефіцієнт пульсації повинен не перевищувати 5% і забезпечуватися застосуванням газорозрядних ламп у світильниках загального і місцевого освітлення.

Рівень освітленості на робочому столі в зоні розташування документів має бути в межах 300-500 лк. У разі неможливості забезпечити даний рівень освітленості системою загального освітлення допускається застосування світильників місцевого освітлення, але при цьому не повинно бути відблисків на поверхні екрану та збільшення освітленості екрану більше ніж до 300 лк.

Світильники місцевого освітлення повинні мати напівпрозорий відбивач світла з захисним кутом не меншим за 40^0 . Необхідно передбачити обмеження прямої близькості від джерела природного та штучного освітлення, при цьому яскравість поверхонь, що світяться (вікна, джерела штучного світла) і

перебувають у полі зору, повинна бути не більшою за 200 кд/м².

Необхідно обмежувати нерівномірність розподілу яскравості в полі зору осіб, що працюють з відеотерміналом, при цьому відношення значень яскравості робочих поверхонь не повинно перевищувати 3:1, а робочих поверхонь і навколишніх предметів (стіни, обладнання) - 5:1.

Необхідно використовувати систему вимикачів, що дозволяє регулювати інтенсивність штучного освітлення залежно від інтенсивності природного, а також дозволяє освітлювати тільки потрібні для роботи зони приміщення.

Для забезпечення нормованих значень освітлення в приміщеннях з відео терміналами ЕОМ загального та персонального користування необхідно очищати віконне скло та світильники не рідше ніж 2 рази на рік, та своєчасно проводити заміну ламп, що перегоріли [1].

Освітленість робочої зони, що відповідає вимогам ОСТ 54 72003-82 становить 300-500 лк [6].

Заходи виключення недоліку недостатньої освітленості:

- правильно спроектоване та виконане освітлення;
- відповідність рівня освітленості робочих місць характеру виконуваної роботи;
- оптимальна направленість випромінюваного освітлювальними приладами світлового потоку;
- рівномірний розподіл яскравості на робочих поверхнях та в навколишньому середовищі.

Від стану виробничого освітлення у приміщеннях, на робочих місцях і на території підприємства у значній мірі залежить безпека праці, продуктивність праці і якість продукції.

Згідно з ОСТ 54 72003-82 для зазначених робіт мінімальна освітленість

при одному загальному освітленні має бути:

- при використанні люмінесцентних ламп – 200 лк;
- при використанні ламп накаливання – 150 лк [6].

4.2.4. Захист від ураження електричним струмом

Для захисту робітника від ураження електрострумом внаслідок пошкодження ізоляції і переході напруги на струмопровідні частини застосовують:

- захисне заземлення струмопровідних частин;
- занулення металевих струмонепровідних частин;
- захисне відімкнення;
- блокування (в ПК використовують блочні схеми).

Поява електричного струму на струмопровідних елементах конструкції, а також ушкодження ізоляції електропровідних елементів приладу можуть призвести до замикання й проходження струму крізь тіло людини. Відповідно до «Правил устрою електроустановок» всі електроустановки поділяються на два класи: із напругою до 1000 В та з напругою вище 1000 В. Заходи щодо забезпечення електробезпечності розробляються, у першу чергу, виходячи з того, до якого з цих класів відноситься проектувана електроустановка. Відповідно до ГОСТ 12.2.007.6-93 опір заземлюючого пристрою повинен дорівнювати 4 Ом [7].

4.2.5. Заходи щодо регулювання рівню шуму в робочій зоні

Для забезпечення нормованих рівнів шуму у виробничих приміщеннях та на робочих місцях застосовуються шумопоглинальні засоби, вибір яких обґрунтовується спеціальними інженерно-акустичними розрахунками. Як засоби шумопоглинання повинні застосовуватися негорючі або важкогорючі спеціальні перфоровані плити, панелі, мінеральна вата з максимальним

коефіцієнтом звукопоглинання в межах частот 31,5 - 8000 Гц, або інші матеріали аналогічного призначення, дозволені для оздоблення приміщень органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду. Крім того, необхідно застосовувати підвісні стелі з аналогічними властивостями [1].

4.3. Забезпечення пожежної і вибухової безпеки

Пожежна безпека - це такий стан об'єкта, при якому з регламентованою імовірністю виключається можливість виникнення і розвитку пожежі, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Вибухонебезпечність - це такий стан об'єкта, при якому виключається можливість вибуху або у випадку його виникнення виключається можливість впливу його на людей.

Пожежну безпеку регламентує ГОСТ 12.1.004-91, ГОСТ 12.1.010-76, ДНАОП 0.01 - 1.01 - 95, ГОСТ 12.1.030 - 81, міжгалузеві і галузеві правила пожежної безпеки. В лабораторіях рекомендуються установки гасіння пожеж газовими вогнегасниками, у яких вогнегасильним агентом є вуглекислота або рідинні пінновипаровуючі вогнегасильні склади з аерозолями на основі бромистого етилу. Установки газового гасіння швидко заповнюють приміщення вогнегасильним складом. Для гасіння РТЗ можна застосовувати повітряно-механічну піну, але при цьому необхідно попередньо знеструмити установки, тому що піна проводить електричний струм.

Імовірність впливу на людей небезпечних факторів пожежі не повинна перевищувати нормативну, що дорівнює 10^{-6} на рік, у розрахунку на кожну людину. До шкідливих факторів пожежі, що впливає на організм людини, відносяться відкритий вогонь і іскри, дим, мала концентрація кисню, підвищена температура, елементи конструкцій, агрегатів і устаткування, що падають.

Пожежну безпеку забезпечуємо:

- використанням методів та пристроїв запобігання іскріння;

- своєчасним контролем за справним станом обладнання;
- систематичною очисткою вентиляційних каналів від пилу і перевіркою системи вентиляції;
- підтримкою чистоти та порядку всередині приміщення;
- відсутністю всередині приміщення легкозаймистих та вибухових речовин;
- застосуванням запобіжників;
- дотриманням протипожежних вимог до електрообладнання.

Пуск стаціонарної системи пожежогасіння виробляється автоматично і вручну. У випадку пожежі подаються світловий і звуковий сигнали.

4.4. Розрахунок штучного освітлення в приміщенні, де знаходиться персональний комп'ютер

Розрахунок за світловим потоком.

Визначення площі приміщення: $S = a * b$

Визначення необхідної кількості світильників:

$$N = E_n * S * K * Z / F * \eta ,$$

де E_n – необхідна освітленість горизонтальної площини, л.к.

S – площа приміщення, м²

K – коефіцієнт запасу ($K = 1,3$)

Z – коефіцієнт нерівномірності освітленості

$F_{\text{л}}$ – світловий потік однієї лампи, лм

F – світловий потік двох ламп

n – кількість ламп в одному світильнику

η – коефіцієнт використання випромінювального світлового потоку

світильниками на площині

Розглянемо узагальнене робоче місце користувача, що працює зі спроектованим приладовим комплексом. Адміністративне приміщення, світла стеля, темно-сіра підлога.

Вихідні дані:

Приміщення $a = 9$ м, $b = 6$ м

Світильник серії ЛСП 2

Лампи люмінесцентні ЛБ 2-40 , в одному світильнику 2 лампи, $\Phi_{\text{л}} = 1180$ лм

Норми освітленості $E_{\text{н}} = 300$ лк , коефіцієнт запасу $K = 1,3$.

Розрахунок:

1. Визначаємо площу приміщення: $S = a * b = 9 * 6 = 54$ м²

2. Визначаємо світловий потік двох ламп в одному світильнику

$$F = \Phi_{\text{л}} * 2 = 1180 * 2 = 2360$$

3. Визначаємо необхідну кількість світильників:

$$N = 300 * 54 * 1,3 * 1,5 / 2360 * 0,8 = 16,34 = 16.$$

При розрахунках було отримано 16 світильників, розміщуємо їх по вісім світильників в два ряди.

4.5. Інструкція з техніки безпеки при роботі за персональним комп'ютером

I. Вимоги безпеки перед початком роботи

Користувач при роботі із ПК зобов'язаний:

1. Оглянути й упорядкувати робоче місце.
2. Відрегулювати освітленість на робочому місці, переконатися в достатності освітлення.
3. Перевірити правильність підключення устаткування в електромережу.
4. Перевірити справність провідних проводів і відсутність оголених ділянок проводів.
5. Протерти серветкою поверхню екрану.
6. Переконатися у відсутності дискет у дисководах процесора

персонального комп'ютера.

7. Перевірити правильність установки стола, стільця (крісла), положення устаткування, кута нахилу екрана, положення клавіатури, положення "миші" на спеціальному коврику, при необхідності зробити регулювання робочого столу крісла, а також положення комп'ютера відповідно до вимог ергономіки, з метою виключення незручних поз і тривалих напруг тіла.

Користувачеві при роботі з персональним комп'ютером забороняється приступати до роботи при:

- відсутність спеціальної вилки з підключенням заземлення;
- виявленні несправності устаткування;
- робити протирання вологою або мокрою серветкою електроустаткування, що перебуває під напругою (вилка вставлена в розетку), вологе або інше прибирання робити при відключеному устаткуванні.

8. Користувач зобов'язаний повідомити керівникові підрозділу про виявлену несправність устаткування. Не користуватися несправним устаткуванням. Приступати до роботи після усунення порушень у роботі або несправностей устаткування.

9. Користувач вмикає електроустаткування в мережу шляхом вставки справної вилки в справну спеціальну розетку для ПК.

10. Користувач повинен переконатися, що включення устаткування нікого не наражає на небезпеку.

11. Користувач не повинен дозволяти працювати особам, що не мають допуску до роботи із ПК

II. Вимоги безпеки під час роботи

Користувач під час роботи зобов'язаний:

1. Виконувати ту роботу, що визначена його посадовою інструкцією, що була йому доручена та по який він був проінструктований.
2. Протягом всього робочого часу тримати в порядку й чистоті робоче місце.
3. Тримати відкритими вентиляційні отвори, якими обладнані прилади й персональні комп'ютери.
4. Не захаращувати встаткування сторонніми предметами, які знижують тепловіддачу.
5. При необхідності припинення роботи на якийсь час коректно закрити всі активні задачі.
6. Виконувати санітарні норми й дотримуватись режиму роботи й відпочинку.
7. При роботі з текстовою інформацією вибирати найбільш фізіологічний режим подання чорних символів на білому фоні.
8. Дотримувати правил експлуатації електроустаткування або іншого встаткування відповідно до інструкції по експлуатації.
9. Дотримувати встановлених режимів робочого часу, регламентовані перерви в роботі й виконувати фізичні вправи для рук, тулуба, ніг, око, ший.
10. Дотримувати відстані від очей до екрана в межах 60-70 см, але не ближче 50 см з урахуванням розмірів алфавітно-цифрових знаків і символів.

Користувачеві при роботі на ПК забороняється:

- торкатись одночасно екрану монітора й клавіатур;
- торкатись до задньої панелі системного блоку (процесора) при включеному живленні;
- перемикати рознімання інтерфейсних кабелів периферійних пристроїв при включеному живленні;
- допускати потрапляння вологи на поверхню системного блоку

(процесора), монітора, робочу поверхню клавіатури, дисководів, принтерів й інших пристроїв;

- робити самостійне відкривання й ремонт устаткування.

12. Користувач зобов'язаний дотримувати послідовності включення ПК:

- включити блок харчування;
- включити периферійні пристрої (принтер, монітор, сканер й ін.);
- включити системний блок (процесор).

13. Користувач зобов'язаний відключити ПК від електромережі:

- при виявленні несправності;
- при раптовому знятті напруги електромережі;
- під час чищення й збирання устаткування.

III. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях при роботі із ПК

Користувач зобов'язаний:

1. У всіх випадках виявлення обриву проводів живлення, несправності заземлення й інших ушкоджень електроустаткування, появи гару негайно відключити живлення й повідомити про аварійну ситуацію керівникові.

2. При будь-яких випадках збою в роботі технічного устаткування або програмного забезпечення негайно викликати представника технічної служби.

3. У випадку появи різі в очах, різкому погіршенні видимості, неможливості сфокусувати погляд або навести його на різкість, появі болю в пальцях і кистях рук, посиленні серцебиття негайно покинути робоче місце, повідомити керівникові.

4. Не приступати до роботи на ПК до усунення несправності.

5. При одержанні травм або раптовому захворюванні негайно сповістити свого керівника, організувати першу долікарську допомогу або викликати швидку медичну допомогу за телефоном "103".

6. При виявленні людини, що потрапила під напругу, негайно відключити електроживлення та звільнити його від дії струму, надати долікарську допомогу й викликати швидку медичну допомогу по телефоні "03".

IV. Вимоги безпеки після закінчення роботи із ПК

Користувач зобов'язаний дотримувати наступної послідовності вимикання ПК:

- зробити закриття всіх активних задач;
- переконатися, що в дисководі немає дискет;
- виключити живлення системного блоку (процесора);
- виключити живлення всіх периферійних пристроїв;
- відключити блок живлення;
- по закінченню роботи (при тривалих перервах більше однієї години)
або, ідучи з роботи, вийняти справну вилку зі справної розетки.

РОЗДІЛ 5.

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1. Основні фактори впливу технологічних процесів на навколишнє середовище

Досягнення науки і техніки, бурхливий розвиток науково технічної революції, впливають на всю сферу людської діяльності, вимагають подальшого вдосконалення управління, стилю і методів роботи, підвищення якості та ефективності управлінської праці. Будь-який технологічний процес у тій або іншій мірі впливає на навколишнє середовище, забруднюючи його. Внесені в середовище нових, не характерних для нього фізичних, хімічних і біологічних елементів, або перевищення природної концентрації цих елементів у середовищі називається забрудненням [1].

Відходи за джерелами забруднення ділять на такі види:

- фізичні;
- хімічні;
- біологічні;

До фізичних відходів відносять: шум, ультразвук, вібрація, випромінювання, електрохімічні поля, тощо.

До хімічних відходів відносять: хімічні речовини та їх сполуки, що утворюються в процесах виробничої та інших видів діяльності, які підлягають утилізації та подальшій переробці.

До біологічних відходів відносять: антибіотики, шкідливі мікроорганізми, віруси, гриби, спори рослин, тощо [3].

Механізація і автоматизація праці вимагають від людей постійного підвищення своєї ділової кваліфікації, більш глибоких знань високих технологій. Широке поширення мікроелектроніки, комп'ютерів

індивідуального користування, потужних засобів автоматизованої обробки тексту і графічної інформації, високо ефективних пристроїв зберігання і пошуку, сучасних засобів зв'язку та мереж електронно-обчислювальних машин дозволяють деяким фахівцям ставити питання про перспективи створення електронних офісів та робочих кабінетів майбутнього.

Робота операторів, програмістів і просто користувачів безпосередньо пов'язана з комп'ютерами, а відповідно з додатковими шкідливими впливами цілої групи факторів, що істотно знижує продуктивність їх праці.

Вивчення і рішення проблем, пов'язаних із забезпеченням здорових та безпечних умов, в яких протікає труд людини - одна з найбільш важливих завдань в розробці нових технологій і систем виробництва. Вивчення та виявлення можливих причин виробничих нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж, і розробка заходів та вимог, спрямованих на усунення цих причин дозволяють створити безпечні та сприятливі умови для праці людини.

Комфортні та безпечні умови праці - один з основних факторів, що впливають на продуктивність людей які працюють з ПЕОМ. Зараз практично в будь-якому робочому кабінеті можна знайти комп'ютер. Він значно спрощує процес діловодства, але перш, ніж оснащувати цим приладом свій офіс, або робочий кабінет, необхідно ознайомитися з нормативно-правовою базою, що включає: державні і галузеві стандарти, вимоги, рекомендації, сумісність, екологічну безпеку і т.д.

5.2. Законодавча база охорони навколишнього природного середовища в Україні

В Основному законі України — Конституції України, прийнятій 28 червня 1996 р., визначено майже всі головні засади для сприяння поліпшенню екологічної ситуації в Україні. Наприклад, у ст. 50 Конституції передбачається, що "кожен має право на безпечне для життя і здоров'я довкілля та на відшкодування завданої порушенням цього права шкоди".

Також у цій самій статті кожному гарантується "право вільного доступу до інформації про стан довкілля, якість харчових продуктів і предметів побуту, а також право на її поширення", і така інформація "ніким, не може бути засекречена". На жаль, донині все це є декларативним стосовно сучасного екологічного стану України, але дуже важливим з правового погляду.[4]

У відповідності до теми даної дипломної роботи, і зважаючи на те, що у якості апаратного забезпечення використовуються персональні електронно-обчислювальні машини, то слід вказати наступні нормативно-правові акти, що складають законодавчу базу охорони навколишнього природного середовища в Україні:

- Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища” від 25 червня 1991 р. № 1264-XII;
- Закон України «Про екологічну експертизу» від 9 лютого 1995 р. №46/95-ВР;
- ГОСТ 12.2.007.0 «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности»;
- ГОСТ 25861-83 «Машины вычислительные и системы обработки данных. Требования электрической и механической безопасности и методы испытаний»;
- ДНАОП 0.00-1.21-98 «Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів»;
- ГОСТ 17187-81 «Шумометры. Общие технические характеристики и методы испытаний»;
- ГОСТ 12.1.003 ССБТ "Шум. Общие требования безопасности";

- СН 3223-85 "Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях";
- ГР N 2411-81 "Гігієнічні рекомендації по встановленню рівнів шуму на робочих місцях з урахуванням напруженості та тяжкості праці";
- ДСанПіН 3.3.2-007-98 «Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин»;
- СН N 4557-88 "Санітарні норми ультрафіолетового випромінювання у виробничих приміщеннях;
- ГОСТ 12.1.045 "ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля";
- СН N 1757-77 "Санитарно-гигиенические нормы допустимой напряженности электростатического поля" [7].

5.3. Основні принципи охорони навколишнього природного середовища

Основними принципами охорони навколишнього природного середовища є:

- а) пріоритетність вимог екологічної безпеки, обов'язковість додержання екологічних стандартів, нормативів та лімітів використання природних ресурсів при здійсненні господарської, управлінської та іншої діяльності;
- б) гарантування екологічно безпечного середовища для життя і здоров'я людей;
- в) запобіжний характер заходів щодо охорони навколишнього природного середовища;

г) екологізація матеріального виробництва на основі комплексності рішень у питаннях охорони навколишнього природного середовища, використання та відтворення відновлюваних природних ресурсів, широкого впровадження новітніх технологій;

д) збереження просторової та видової різноманітності і цілісності природних об'єктів і комплексів;

е) науково обґрунтоване узгодження екологічних, економічних та соціальних інтересів суспільства на основі поєднання міждисциплінарних знань екологічних, соціальних, природничих і технічних наук та прогнозування стану навколишнього природного середовища;

є) обов'язковість екологічної експертизи;

ж) гласність і демократизм при прийнятті рішень, реалізація яких впливає на стан навколишнього природного середовища, формування у населення екологічного світогляду;

з) науково обґрунтоване нормування впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище;

и) безоплатність загального та платність спеціального використання природних ресурсів для господарської діяльності;

і) стягнення збору за забруднення навколишнього природного середовища та погіршення якості природних ресурсів, компенсація шкоди, заподіяної порушенням законодавства про охорону навколишнього природного середовища;

ї) вирішення питань охорони навколишнього природного середовища та використання природних ресурсів з урахуванням ступеня антропогенної змінності територій, сукупної дії факторів, що негативно впливають на екологічну обстановку;

й) поєднання заходів стимулювання і відповідальності у справі охорони навколишнього природного середовища;

к) вирішення проблем охорони навколишнього природного середовища

на основі широкого міждержавного співробітництва.

5.4. Характеристики ПК як джерела забруднення

Вплив комп'ютера на навколишнє середовище сьогодні виражається в наступних факторах:

- шум і вібрація від пристроїв охолодження;
- електромагнітне випромінювання від моніторів з ЕПТ;
- зростання енергоспоживання з ростом числа комп'ютерів;
- погіршення зору оператора від постійної роботи за ПК;
- токсичність при створенні й утилізації.

Перші три пункти постійно зменшуються через прагнення виробників ІТ-обладнання завоювати ринок і обігнати конкурентів, але останній пункт випереджає за своїм впливом всі три разом узяті.

Дослідники Університету об'єднаних націй у Токіо стверджують, що в середньому при створенні одного комп'ютера загальна вага різних хімічних реагентів і органічного палива в середньому в 10 разів перевищує вагу готового продукту. Іншими словами, за майже невагомими елементами комп'ютерів і інших пристроїв ховаються гори матеріалів, більшість з яких аж ніяк не можна назвати нешкідливими по відношенню до навколишнього середовища.

До основних факторів негативного впливу роботи комп'ютера можна віднести:

- ЕМП монітора в діапазоні частот 20 Гц-1000Гц;
- статистичний електричний заряд на екрані монітора(відсутній

- при використанні РК монітора);
- ультрафіолетове випромінювання в діапазоні 200-400нм(відсутній при використанні РК монітора);
 - інфрачервоне випромінювання в діапазоні 105нм-1мм;
 - рентгенівське випромінювання $>1.2\text{keV}$ (відсутній при використанні РК монітора);

Інші фактори наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Додаткові фактори негативного впливу ПК

Джерело впливу	Діапазон частот (перша гармоніка)
Монітор (мережний трансформатор блоку живлення)	50 Гц
Джерело безперебійного живлення	50 Гц, 20-100 кГц
Пристрої вводу/виводу інформації	50 Гц
Статистичний перетворювач напруги в імпульсному блоці живлення	20-100 кГц
Системний блок (процесор)	50-3060 кГц
Блок кадрової розгортки та синхронізації	48-160 Гц
Блок рядкової розгортки та синхронізації	15-110 Гц

ЕМП, що створює ПК, має складний спектральний склад в діапазоні частот від 0 до 1000 МГц. ЕМП має електричну (Е) і магнітну (Н) складові, взаємозв'язок яких досить складний, тому оцінку Е і Н виконують окремо.

Кожен пристрій, який виробляє або споживає електроенергію, створює електромагнітне випромінювання. Це випромінювання концентрується довкола пристрою у вигляді електромагнітного поля. Такі прилади, як телевізори, високовольтні лінії, монітори комп'ютерів створюють досить

високі рівні випромінювання.

Електромагнітне випромінювання не можна побачити, почути, понюхати, спробувати на смак або потримати, проте воно присутнє всюди. Хоча шкідливий вплив звичайних рівнів електромагнітного випромінювання на здоров'я оператора ніким доки не доведено, але багатьох хвилює ця проблема. У багатьох цей термін асоціюється з рентгенівськими променями (або так званим іонізуючим випромінюванням), тобто високочастотною формою радіації, яка, як доведено, збільшує шанс захворювання раком людей і тварин.

Насправді ж, незначна кількість іонізуючого випромінювання, що створюється катодно-променевою трубкою усередині монітора, ефективно екранується склом трубки. Що стосується впливу на людський організм електромагнітного випромінювання нижчих частот - випромінювання дуже низької частоти і наднизької частоти, що створюється комп'ютерами і іншими побутовими електроприладами, то тут вчені і захисники прав споживачів доки не прийшли до єдиної думки. Дослідження в цій області, перевірені останніми роками, лише підсилили занепокоєння і поставили нові питання, що залишаються без відповіді.

Якщо питання про вплив електромагнітних полів на здоров'я ще спірний, то вже напевно на зір комп'ютер впливає негативно. У будь-якому випадку, коли оператори зайняті роботою, пов'язаною з напругою зору, їх очі стомлюються. Ця проблема добре знайома автоаматорові, що довгий час знаходиться в дорозі, або будь-якому читачеві, що годинами не відривається від книги. М'язи, які управляють очима і фокусують їх на певному предметі, просто втомлюються від надмірного навантаження. Потенційна втома очей існує при будь-якій роботі, в якій бере участь зір, але найбільш велика вона, коли потрібно розглядати об'єкт на близькій відстані.

Проблема ще більш зростає, якщо така діяльність зв'язана з використанням пристроїв високої яскравості, наприклад, монітора

комп'ютера. Читання понад міру, необмежене за часом просиджування перед телевізором або комп'ютером вимагають від очей серйозної напруги. Найчастіше стомлюваність зору приводить до того, що люди стають млявими і дратівливими.

Надмірне захоплення роботою за комп'ютером може також посилити вже наявні проблеми із зором. Багато людей страждають незначним погіршенням зору, який можна розцінювати як "неприємність". З часом можливо буде потрібна корекція зору.

Також ще один показник значно впливає на навколишнє середовище, це використання в великому обсязі електроенергії. Компанії, зазвичай використовують велику кількість ПК, тому використання електроенергії зростає і приводить до значних збитків. Але підвищуючи енергетичну ефективність скорочується енергоспоживання без зниження віддачі від пристрою, у чому б вона не вимірялася. Це знижує вплив комп'ютерів на навколишнє середовище й заощаджує кошти споживачів і компаній, у яких використовується велика кількість комп'ютерів.

Використання системи контролю і управління доступом, яка працюватиме за допомогою комп'ютерного регулювання та контролю є споживання електроенергії, що завдає шкоди навколишньому середовищу.

Витрату електроенергії при використанні ПК визначимо як:

$$\mathcal{J}_{\text{ПЕОМ}} = M \cdot \Phi \cdot K_3 \cdot K_0 \cdot \mu \cdot K_B \quad \mathcal{J}_{\text{ПЕОМ}} = M \cdot \Phi \cdot K_3 \cdot K_0 \cdot \mu \cdot K_B$$

(5.1)

де M – загальні витрати електроенергії (кВт/г);

Φ – дійсний фонд часу (г);

K_3 – коефіцієнт завантаження ПЕОМ;

K_0 - коефіцієнт оновлення;

μ - коефіцієнт корисної дії;

K_B - коефіцієнт втрат у ланцюгах.

Виберемо вихідні дані для розрахунку:

$M_1 = 0,15$ кВт для комп'ютера типу IBM PC/AT;

$M_2 = 0,05$ кВт для комп'ютера типу Notebook;

$\Phi = 1000$ г;

$K_3 = 0,7$;

$K_0 = 0,8$;

$\mu = 0,8$;

$K_B = 0,9$.

Отже:

$$Ж_{\text{ПЕОМ}} = 0,15 \cdot 1000 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 60,48 \text{ кВт/г.}$$

Витрати електроенергії на освітлення:

$$Ж_0 = \frac{P \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K}{1000} \quad (5.2)$$

Де P - питома витрата електроенергії на 1 м^2 ;

Π – площа ділянки (м^2);

Φ – кількість годин горіння освітлення;

K – коефіцієнт втрат.

$P=20$ Вт; $\Pi=25$; $\Phi=345$; $K=1,15$.

Загальні витрати електроенергії на освітлення:

$$Ж_0 = \frac{20 \cdot 25 \cdot 345 \cdot 1,15}{1000} = 198,38 \text{ кВт/г.}$$

Таким чином збиток навколишньому середовищу визначаємо за формулою 4.3:

$$З = Ж_{\text{ПЕОМ}} \cdot У + Ж_0 \cdot У \quad (5.3)$$

Отже, економічний збиток становить:

$$З = 60,48 \cdot 0,37 + 198,38 \cdot 0,37 = 95,77 \text{ грн}$$

При використанні комп'ютера типу Notebook:

$$Ж_{\text{ПЕОМ}} = 0,05 \cdot 1000 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 20,16 \text{ кВт/г.}$$

Економічний збиток в цьому випадку становитиме:

$$З = 20,16 \cdot 0,37 + 198,38 \cdot 0,37 = 80,85 \text{ грн.}$$

Отже, при використанні комп'ютера типу Notebook економічні збитки менші на

$$\Delta = 95,77 - 80,85 = 14,92 \text{ грн.}$$

Тобто збитки зменшились на 16 %

5.5. Заходи щодо усунення негативного впливу на навколишнє середовище

Необхідність у запобіганні забруднення навколишнього середовища з кожним днем стає усе гостріше і гостріше. Тому у всіх галузях народного господарства на стадіях розробок нових технологій і їх впровадження, необхідно здійснювати всілякі заходи щодо запобігання забруднення навколишнього середовища.

Основний принцип захисту навколишнього середовища від забруднення, у тому числі й атмосферного повітря, полягає в розробці комплексу заходів щодо обмеження або виключення надходження забруднень у навколишнє середовище – це технологічні, планувальні та екологічні заходи, важливим також є використання нових матеріалів та технологій, що мінімізують шкідливий вплив на навколишнє середовище. Орієнтація на розвиток, також сприяє виробництву техніки з найменшою шкодою для довкілля, організації процесів, що не знищують озоновий шар та виробництва продукції, що споживає під час використання мінімальну кількість енергії.

Зберігання частоти навколишнього середовища – велика соціальна проблема, пов'язана з оздоровленням умов життя людей. У той же час вона поєднується з важливою економічною задачею, поверненням у виробництво значної кількості цінних продуктів сировини та матеріалів. Часта ліквідація відходів, утримання в чистоті робочої території, є найважливішим заходом в комплексі робіт по захисту навколишнього середовища.

5.6. Утилізація персонального комп'ютера

Звичайний ПК складається як з цінних металів - міді, срібла і золота, так

і з небезпечних матеріалів - кадмію, свинцю, цинку, нікелю, ртуті. До них додаються пластмаси, індикатори, монітори на рідких кристалах, батареї - всього понад 90 компонентів. В табл. 5.1 зазначені орієнтовні матеріали, з яких складається ПК, представлений монітором, системним блоком, клавіатурою та мишею.

Таблиця 5.1.

Конструктивні матеріали складових ПК

Благородні метали		Кольорові і чорні метали			Полімери і скло	
Au, г	Ag, г	Al, кг	Cu, кг	Fe, кг	ABS, кг	Скло, кг
0,05-0,09	0,8-1,1	0,1-0,4	0,1-0,2	3-4	3-3,5	10-20

Відповідно до законодавства України персональні комп'ютери відносяться до основних засобів і підлягають бухгалтерському обліку на підприємстві із зазначенням кількості дорогоцінних металів, які в них містяться. Мало того, на цю техніку поширюється правило про амортизацію протягом 4 років. Іншими словами, списати і утилізувати дане обладнання можна тільки через 4 роки.

Однак ми знаємо, що персональна техніка морально застаріває набагато раніше. Це пов'язано зі стрімким розвитком електроніки та програмного забезпечення. У такому випадку юридична особа повинна звернутися до спеціалізованих підприємств, які займаються виробництвом, ремонтом і обслуговуванням персональної техніки для проведення технічної експертизи обладнання з отриманням висновку про те, що персональна техніка морально застаріла, знята з виробництва, ремонтна база відсутня, підлягає списанню та утилізації в встановленому порядку. Тільки після цього необхідно укласти договір з підприємством, яке займається роботою з відходами і має відповідну ліцензію державного органу.

В Україні робота з відходами регламентується законодавством. Підприємствам при роботі з відходами, що містять:

дорогоцінні метали - необхідна ліцензія Міністерства фінансів України;
кольорові метали - ліцензія Міністерства промислової політики України;
чорні метали - ліцензія Міністерства промислової політики України;
полімери - ліцензія Міністерства екології України;
екологічно небезпечні відходи - ліцензія Міністерства екології України.

ПК містить всі види відходів. Тому здавати їх слід на підприємства, які мають ліцензію на роботу з дорогоцінними металами. Ці підприємства-переробники дорогоцінних металів, у свою чергу, укладають договори з підприємствами, що мають інші ліцензії і таким чином персональна техніка розбирається і утилізується згідно з законодавством України .

Комп'ютерами і оргтехнікою в Україні в основному володіють фізичні і юридичні особи. Фізичні особи утилізують оргтехніку викиданням на смітник, або розбирають на частини задля її подальшого застосування, що в результаті також потрапляє на звалище. Іноді керівники, ніж зв'язуватися з утилізацією, просто дарують стару техніку дитячим домам, школам, установам культури. Проте сама проблема залишається. З юридичними особами все значно складніше. Згідно з законодавством, персональні комп'ютери відносяться до основних засобів і підлягають бухгалтерського обліку для підприємства із кількості дорогоцінних металів, що в ньому містяться. Понад те, з цього техніку поширюється правило про амортизацію протягом 10 років (списувати і утилізувати дане устаткування можна тільки через 10 років). Проте персональна техніка морально застаріває набагато швидше. Це пов'язано з стрімким розвитком електроніки та програмного забезпечення. У разі юридична особа має звернутися до спеціалізованих підприємств, які займаються ремонтом і обслуговуванням персональної техніки щодо технічної експертизи устаткування із отриманням висновку про те, що персональна техніка морально застаріла, знята з виробництва, ремонтна база відсутня та підлягає списанню і утилізації у встановленому

порядку. Тільки після цього можливо укласти договір з підприємством, який займається роботою з відходами.

Персональний комп'ютер містить всі види відходів. У разі устаткування, яке містить дорогоцінні метали, кольорові, чорний метал, полімери, воно здається до підприємств, які мають ліцензію працювати з дорогоцінними металами. Ці підприємства – переробники дорогоцінних металів, у свою чергу, укладають договори з підприємствами, які мають інші ліцензії. Отже персональна техніка має демонтуватися й утилізуватися згідно з законодавством [6].

Будь-який комп'ютер чи телефон можна переробити і пустити у вторинне використання. При утилізації близько 95% відходів техніки можуть бути знову використані у виробництві, близько 5% вирушають на смітники або федеральні заводи з переробки твердих побутових відходів.

Співвідношення ручної і автоматизованої праці на фабриках із переробки комп'ютерної техніки залежить від її типу. Для монітора це співвідношення приблизно 50 на 50 - розбирання старих кінескопів є досить трудомістким процесом. Для системних блоків і оргтехніки частка автоматичних значно операцій вища.

Перший етап завжди проводиться вручну. Це – видалення всіх небезпечних компонентів. У складі сучасних настільних ПК і принтерах таких компонентів майже немає. Але переробці піддаються, зазвичай, комп'ютери, що випущені у кінці 90-х - на самому початку 2000-х років, коли плоских рідкокристалічних моніторів майже не було на ринку. На кінескопних моніторах міститься чимало сполук свинцю.

Інша категорія продукції, що містить небезпечні елементи, – ноутбуки. У акумуляторах і екранах застарілих моделей є певна кількість ртуті, що також дуже небезпечна для організму. Важливо, що у нових моделях ноутбуків від цих шкідливих компонентів позбулися.

На наступному етапі видаляються всі великі пластикові частини.

Найчастіше ця операція також здійснюється вручну. Пластик сортують залежно від типу, і подрібнюють для того, щоб потім його було використовувати повторно. Решту частин посилають у великий подрібнювач-шредер. Усі подальші операції автоматизовані. Багато в чому технології переробки запозичені з гірського справи – приблизно так само отримують цінні метали з породи. Подрібнені в гранули залишки комп'ютерів піддаються сортуванню. Спочатку з допомогою магнітів беруться все залізні частини. Потім розпочинають виділення кольорових металів, що у ПК значно більше. Алюміній видобувають з брухту у вигляді електролізу. У сухому залишку виходить суміш пластику та міді. Мідь виділяють способом флотації – гранули розміщують у спеціальну рідину, пластик спливає, а мідь залишається на дні [5].

Висновки

Розробка заходів та засобів, що зменшать негативний вплив ПК на навколишнє середовище є важливою задачею. Основний принцип захисту навколишнього середовища від забруднення, полягає в розробці та застосуванні комплексу заходів щодо обмеження або виключення надходжень забруднень у навколишнє середовище – це технологічні, планувальні і екологічні заходи. Необхідно приділити більше уваги таким аспектам:

- Зниження негативного впливу на навколишнє середовище за рахунок підвищення надійності, забезпечення безпечної та безаварійної роботи в приміщеннях з ПК.
- Забезпечити розвиток діяльності, пов'язаної з екологічним менеджментом та забезпечити її необхідними ресурсами.
- Дотримуватися вимог законодавства в сфері природокористування, забезпечення екологічної та радіаційної безпеки, а також екологічних вимог, що встановлюються на підставі міжнародно-визнаних норм.

- Сприяти впровадженню передових наукових розробок і технологій з метою поетапного скорочення питомого використання природних ресурсів, надходження забруднюючих речовин в навколишнє середовище та зменшення обсягів утворення відходів.
- Оцінювати вплив роботи ПК на навколишнє природне середовище та здоров'я людей.
- Дотримуватись правил та норм щодо експлуатації та утилізації ПК встановлених відповідними законодавчими документами.

Належне виконання даних заходів забезпечить захист навколишнього природного середовища при роботі з ПК [2]. Цей розділ присвячений саме цьому і використання заходів, що розглянуті в ньому, забезпечать зменшення негативного впливу ПК на навколишнє середовище.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі описані електричні властивості біологічних тканин, що є фізичною основою отримання реограм. Описано принципи вимірювання опору біологічних тканин на змінному струмі, наведено модель ділянки біологічної тканини, яка може характеризувати поведінку такої тканини при проходженні через неї крові. Наведено функціональну схему реографа, дано короткий опис його основних функціональних елементів.

Описані методи аналізу реограм в часовій і частотній області. Основна увага приділена спектральному аналізу. Наведено властивості моноциклічного спектрального аналізу і мультициклічного спектрального аналізу. Описані характеристики декількох непараметричних методів спектрального аналізу, розглянуті основні етапи реалізації спектрального аналізу біомедичних сигналів.

В ході кваліфікаційної роботи були виконані такі завдання:

- розроблено методику аналізу реограм;
- розроблено програмне забезпечення реалізації методу оцінювання спектральних характеристик реограм;
- проведено оцінювання спектральних характеристик реограм з використанням розробленого методу.

Розроблено програмне забезпечення для оцінювання спектральної щільності реограм. Для спектрального аналізу вибрано методи Уелча і Томсона. Вибрано параметри методів з метою досягнення задовільної роздільної здатності аналізу. Виявлено, що метод Томсона дозволяє впевнено виявити 10 гармонік високого порядку, метод Уелча – 8 гармонік.

Також розглянуто заходи з охорони праці і охорони навколишнього середовища.

Отже, мета кваліфікаційної роботи досягнута.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зенков Л.Р. Функциональная диагностика нервных болезней (издание третье) / Л.Р. Зенков, М.А. Ронкин. – М.: Медпресс-информ, 2004;
2. Иванов Л. Б., Макаров В. А. Лекции по клинической реографии / Л.Б. Иванов, В.А. Макаров, - М.: АОЗТ "Антидор", 2000. — 320 с.;
3. Дженкер Ф.Л. Реоэнцефалография / Ф.Л. Дженкер,; пер. с англ. - М., 1966;
4. Яруллин Х.Х. Клиническая реоэнцефалография / Х.Х. Ярулин, - М., 1983;
5. Зенков Л.Р. и Ронкин М.А. Функциональная диагностика нервных болезней. - М., 1982;
6. Cerebral Haemodynamic Autoregulatory Information System Database (CHARIS DB) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://physionet.org/physiobank/database/charisdb/>
7. Реографические исследования [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://medbe.ru/materials/ortopedicheskaya-stomatologiya/reograficheskie-issledovaniya/>
8. Расшифровка и анализ реограмм [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://stomekspert.ru/rasshifrovka-i-analiz-reogramm.html>
9. L. I. Kalakutskiy and S. A. Akulov, “Modeling of the bioelectrical impedance of blood by synthesis of the equivalent electrical circuits,” Proc. IFMBE 25/VII, pp. 575-577, 2009;
10. Оброблення біомедичних сигналів. Навчальний посібник / М. Ю. Буриченко, О. В. Булигіна, Ю. Ю. Оникієнко, М. В. Архирей, – К.: НАУ, 2017. – 220 с.
11. НПАОП 0.00-1.31-99 Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин
12. Закон України Про охорону праці.

13. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин.
- 14.ГОСТ 12.1.019-79
- 15.ГОСТ 12.1.038-82
- 16.ГОСТ 12.1.004-91
- 17.ДНАОП 0.01 - 1.01 - 95
- 18.Купчик М.П., Гандзюк М.П., Степанець І.Ф., Вендичанський В.Н., Литвиненко А.М., Іваненко. О. В. Основи охорони праці. - К.: Основа, 2000. - 416 с.
- 19.В. Г. Грибан, О. В. Негодченко ОХОРОНА ПРАЦІ Навчальний посібник Київ «Центр учбової літератури» 2009
- 20.ДСанПіН 3.3.2-007-98
- 21.Джигерей В. С., Сторожук В. М., Яцюк Р. А. Основи екології та охорона навколишнього природного середовища (Екологія та охорона природи). Навч. посібник. – Вид. 2-ге, доп. – Львів, Афіша, 2000. – 272 с.
- 22.Джигерей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища. — К.: «Знання», 2002.-203 с.
- 23.Закон України Про відходи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/187/98-вр>
- 24.Конституція України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/254к/96-вр>
- 25.Правове регулювання поведження з небезпечними побутовими відходами в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nbuviap.gov.ua/>
- 26.Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>
- 27.Санітарно гігієнічні норми допустимої напруги електростатичного поля [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.libussr.ru/doc_ussr

/usr_9451.htm