

Міністерство освіти і науки України

Вінницький національний технічний університет

КВАТЕРНЮК ОЛЕНА ЄВГЕНІВНА

УДК 681.784: 616-073.56

**МЕТОД І ЗАСІБ ЦИФРОВОЇ КОЛОРИМЕТРІЇ ПОВЕРХНЕВИХ
ПОШКОДЖЕНЬ БІОТКАНИН У СУДОВІЙ МЕДИЦИНІ**

Спеціальність 05.11.17 – Біологічні та медичні прилади і системи

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Вінниця – 2017

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Петрук Василь Григорович,
Вінницький національний технічний університет,
директор Інституту екологічної безпеки та моніторингу довкілля.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Ткачук Роман Андрійович,
Тернопільський національний технічний університет
ім. Івана Пулюя, професор кафедри біотехнічних систем;

доктор технічних наук, професор
Котовський Віталій Йосипович,
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського”, заступник проректора з наукової роботи.

Захист відбудеться “5” травня 2017 р. о 9³⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.06 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГНК.

Автореферат розісланий «4» квітня 2017 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

С. В. Тимчик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Для засобів дослідження поверхневих пошкоджень біотканин у судовій медицині важливим є оперативне визначення та документальна фіксація ступеня пошкодження, а також аналіз його особливих ознак. Вимірювання оптичних параметрів шкіри людини дозволяє отримати об'єктивну інформацію про просторовий розподіл у ній різних біологічних хромофорів та її структуру, що використовується для дослідження різного типу патологій в задачах судової медицини. При цьому на основі результатів опрацювання оптичних характеристик біотканин та геометричних параметрів пошкодженої ділянки досліджують ступінь пошкодження біотканини. Для судової медицини важливим є проведення швидких неінвазивних досліджень, оскільки їх результати необхідні для створення доказової бази злочину. Стан поверхневих патологій біотканин суттєво впливає на їх колір, а тому аналіз та класифікація поверхневих патологій біотканин за кольором особливо актуальні для судово-медичної експертизи. Отже, для підвищення достовірності встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами відповідно до задач судової медицини виникає необхідність вдосконалення методу колориметрії та розроблення відповідного апаратно-програмного засобу.

Значний вклад у розробку оптичних методів і засобів дослідження параметрів біотканин внесли роботи Ван де Хюлста Г., Борена К., Хафмена Д., Розенберга Г.В., Рвачова В.П., Шифріна К.С., Іванова А.П., Хайрулліної А.Я., Тучіна В.В., Лопатіна В.Н., Мальцева В.П., Петрука В.Г., Кожем'яко В.П., Павлова С.В., Сахновського М.Ю., Ушенка О.Г. та інші.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася в межах держбюджетної науково-дослідної роботи Вінницького національного технічного університету на замовлення МОНУ “Розробка методів та засобів вимірювального контролю оптичних параметрів неоднорідних середовищ на основі мультиспектральних зображень” у 2014–2015 рр. (номер державної реєстрації 0108U000651), у виконанні яких автор брала участь як виконавець.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення достовірності встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами шляхом колірної сегментації зображень та створення відповідного апаратно-програмного засобу.

Для досягнення вказаної мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Здійснити аналіз існуючих оптичних методів та засобів дослідження поверхневих пошкоджень біотканин.
2. Запропонувати математичну модель залежності координат кольору поверхневих пошкоджень м'яких тканин від давності, а також правила встановлення інтервалу давності пошкодження на основі відносних розмірів зон різного кольору поверхневих пошкоджень.
3. Вдосконалити метод встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами на основі вимірювання координат кольору інтактних і пошкоджених ділянок біотканин.

4. Розробити шкалу зразків кольорів та алгоритми обробки результатів вимірювань координат кольору поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини.

5. Розробити апаратно-програмний засіб встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами для задач судової медицини, а також дослідити його медико-технічні параметри.

6. Розробити програмне забезпечення засобу встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень тупими предметами для задач судової медицини, а також – експертну систему підтримки прийняття рішення.

7. Здійснити експериментальні дослідження засобу встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень у судовій медицині.

Об'єкт дослідження – процес встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами для задач судової медицини.

Предмет дослідження – метод і засіб встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами.

Методи дослідження. У роботі використані методи колориметрії біотканин; методи обробки кольорових зображень поверхневих пошкоджень, а саме: їх колірної сегментації, фільтрації, виділення поверхневих пошкоджень на фоні інтактної шкіри та розрахунку відносних розмірів зон різного кольору з метою встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень; методи теорії вимірювань для оцінювання достовірності встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами на основі вдосконаленого методу цифрової колориметрії та розробленого апаратно-програмного засобу.

Наукова новизна одержаних результатів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розв'язанні актуального науково-технічного завдання – підвищення достовірності встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами відповідно до задач судової медицини з урахуванням їх оптико-фізичних параметрів шляхом вдосконалення методу колориметрії та розроблення відповідного апаратно-програмного засобу.

У роботі отримані такі наукові результати.

1. Вперше запропоновано емпіричну математичну модель, яка встановлює взаємозв'язок множини точок у колірному просторі поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини і давності їх виникнення, що дозволило врахувати зміну із часом концентрацій продуктів деструкції гемоглобіну в них, які впливають на колір поверхневих пошкоджень і встановити давність їх виникнення.

2. Вдосконалено метод встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами, який на відміну від відомих, враховує колірну сегментацію зображень на основі вимірювання координат кольору інтактних і пошкоджених ділянок біотканин з подальшим розрахунком відносних розмірів зон різного кольору, що дозволило підвищити достовірність встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень до 0,93.

3. Вперше експериментально виявлено залежність відносних розмірів зон різного кольору від давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини шляхом розрахунку повної колірної відмінності з використанням вдосконаленої шкали зразків кольорів, що дозволило врахувати колір інтактною шкіри та виділити поверхнєве пошкодження на її фоні.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні засобу встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами на основі вдосконаленого методу колориметрії відповідно до задач судово-медичної експертизи. До результатів, одержаних у дисертаційній роботі, що мають практичну цінність, належать:

1. Розроблено засіб встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини на основі методу колориметрії.

2. Розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення автоматизованого засобу встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини для впровадження у обласних бюро судово-медичної експертизи та інших закладах патологічної анатомії та судової медицини.

3. Розроблено методику встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини за допомогою розробленого засобу.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у Вінницькому обласному бюро судово-медичної експертизи – впроваджено метод встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами, автоматизований апаратно-програмний засіб та його алгоритмічне і програмне забезпечення (акт впровадження від 13.09.2016 р.), що дозволило підвищити достовірність встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень; у навчально-методичному процесі Вінницького національного медичного університету ім. М.І. Пирогова при виконанні практичних робіт – впроваджено метод та автоматизований апаратно-програмний засіб встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень (акт впровадження від 23.09.2016 р.). Дані результати використані при підготовці методичних рекомендацій №176.14/392.15 «Метод визначення і реєстрації кольору та розмірів ушкоджень у судово-медичній практиці», які затверджені МОЗ України.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення і результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві, такий: розвинуто метод цифрової колориметрії біотканин та алгоритм опрацювання результатів [1]; досліджено вплив характеристик епідермісу шкіри на її оптичні параметри [2]; досліджено достовірність встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини на основі вдосконаленого методу цифрової колориметрії з використанням нейромережі [3]; проаналізовано параметри сучасних оптичних засобів дослідження біотканин на основі цифрової колориметрії [4]; проаналізовано особливості застосування методу цифрової колориметрії для дослідження різного типу патологій [5]; досліджено вплив концентрацій основних хромофорів дерми шкіри на її оптичні параметри [6]; досліджено залежності координат кольору нормальних і патологічних

біотканин шкіри за умови використання стандартних джерел освітлення [7]; проаналізовано похибки вимірювання координат кольору засобу дослідження нормальних і патологічних біотканин [8]; досліджено зміну параметрів кольору нормальних і патологічних біотканин на основі розрахованих спектральних коефіцієнтів дифузного відбиття [9]; вдосконалено метод та розроблено засіб цифрової колориметрії поверхневих пошкоджень біотканин шкіри людини [10]; проаналізовано характеристики сучасних методів та засобів дослідження параметрів біотканин [11]; розроблено математичну модель вимірювання координат кольору пошкодженої шкіри [12]; розроблено метод визначення біофізичних характеристик поверхневих патологій біотканин за кольором у судово-медичній експертизі [13]; проаналізовано оптичні засоби дослідження поверхневих пошкоджень біотканин у судовій медицині [14]; вдосконалено метод колориметричного неінвазійного контролю параметрів біотканин [15]; вдосконалено метод вимірювання координат кольору пошкодженої ділянки біотканини [16]; розроблено макетний зразок засобу дослідження поверхневих пошкоджень біотканин на основі вимірювань параметрів кольору для прикладних задач судово-медичної експертизи [17]; досліджено колір інтактною шкіри та його зміну в зоні травматизації за допомогою шкали кольорів [18]; розроблено методику судово-медичного оцінювання кольору і розміру синців на основі цифрової обробки зображень [19], розроблено методику реєстрації розмірів пошкоджень в судово-медичних дослідженнях [20]; розроблено методику дослідження параметрів кольору поверхневих пошкоджень у судово-медичній експертизі [21]; розроблено методику цифрової колориметрії поверхневих пошкоджень біотканин у судово-медичній практиці [22].

Апробація результатів дисертації. Викладені у дисертації положення доповідалися на 7 наукових конференціях: VII Міжнародній науково-технічній конференції «Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка-ОДС»» (м. Вінниця, 2015 р.); XII та XVI Міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування: стан і перспективи» (м. Київ, 2013 р., 2015 р.); XI Міжнародній конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2012)» (м. Вінниця, 2012 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю» (м. Вінниця, 2011 р.); VII Міжнародному конгресі з інтегративної антропології (м. Вінниця, 2013 р.); I Міжнародній науковій конференції «Сучасні досягнення в галузі судової медицини та експертизи» (м. Ужгород, 2015 р.).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані у 22 наукових публікаціях, у тому числі 8 статтях у наукових виданнях, які входять до переліку фахових видань України та наукометричної бази РІНЦ, 2 закордонних публікаціях у наукових виданнях, які входять до наукометричної бази Scopus, 9 тезах доповідей у збірниках матеріалів науково-технічних конференцій, 2 патентах України на корисну модель та методичних рекомендаціях для використання в судово-медичній практиці, які погоджено МОЗ України.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів (які містять 42 рисунки і 14 таблиць), висновків, 6 додатків і списку використаних літературних джерел (266 бібліографічних посилань).

Загальний обсяг дисертації складає 186 сторінок, з яких основний зміст викладено на 122 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі до дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми досліджень, сформульовано мету роботи та задачі досліджень. Дана характеристика наукової новизни та практичної цінності отриманих результатів. Показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

У першому розділі проведено аналіз особливостей біотканин, як об'єктів медичних досліджень оптичними методами; проведено аналіз існуючих оптичних методів дослідження поверхневих пошкоджень біотканин, структурних схем та параметрів сучасних колориметричних засобів досліджень біотканин, що показав їх недосконалість та неспроможність вирішення прикладної задачі для потреб судово-медичної експертизи із достовірного встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами. Це зумовило необхідність вдосконалення методу цифрової колориметрії та розроблення засобу встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами для задач судової медицини на основі вимірювання координат кольору, що є, у свою чергу, неодмінною умовою забезпечення зростаючих вимог до достовірності досліджень у судово-медичній експертизі.

У другому розділі розроблена емпірична математична модель, що дозволила визначити залежності координат кольору в системі RGB поверхневого пошкодження при зміні давності виникнення травми тупим предметом. Оскільки координати кольору поверхневих пошкоджень біотканин пов'язані з концентраціями продуктів деструкції гемоглобіну, які змінюються від давності виникнення поверхневих пошкоджень, то з'являється можливість визначити залежність координат кольору поверхневого пошкодження від давності виникнення. Результати вимірювань залежності координат кольору в системі координат RGB від давності пошкодження наведено на рис. 1.

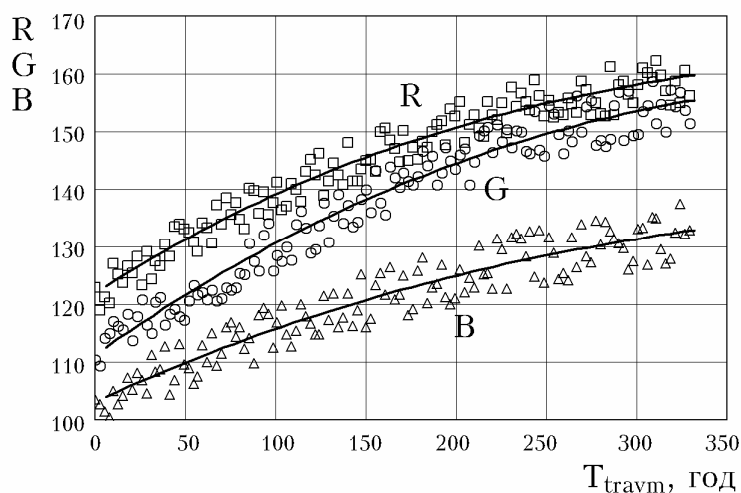


Рисунок 1 – Залежності координат кольору поверхневих пошкоджень у системі координат RGB від давності виникнення травми

Отже, використовуючи регресію за допомогою поліномів третього порядку, визначаємо функціональні залежності координат кольору в системі координат RGB поверхневого пошкодження при зміні давності виникнення травми тупим предметом і отримуємо емпіричну модель:

$$\begin{cases} R = 121,776 + 0,204T - 3,388 \cdot 10^{-4}T^2 + 2,067 \cdot 10^{-7}T^3; \\ G = 111,042 + 0,224T - 3,073 \cdot 10^{-4}T^2 + 1,056 \cdot 10^{-7}T^3; \\ B = 102,937 + 0,146T - 2,029 \cdot 10^{-4}T^2 + 1,033 \cdot 10^{-7}T^3, \end{cases} \quad (1)$$

де R, G, B – координати кольору поверхневих пошкоджень у системі RGB, T – давність виникнення травми тупим предметом.

Відповідно до рекомендацій Міжнародної комісії з освітленості (МКО) за координатами кольору поверхневих пошкоджень біотканин у системі RGB розраховано координати кольору у системах XYZ та LAB в залежності від давності пошкодження. З використанням регресії розраховано функціональні залежності координат кольору поверхневого пошкодження біоканіни у системі LAB від давності пошкодження, а також розв'язана обернена задача знаходження залежності давності пошкодження від координат кольору.

$$\begin{cases} a = -1,951 - 0,029T + 2,297 \cdot 10^{-5}T^2 + 2,295 \cdot 10^{-8}T^3; \\ b = 3,041 + 0,035T - 6,042 \cdot 10^{-5}T^2 + 2,366 \cdot 10^{-8}T^3; \\ L = 47,6 + 0,085T - 1,307 \cdot 10^{-4}T^2 + 6,513 \cdot 10^{-8}T^3, \end{cases} \quad (2)$$

де a, b, L – координати кольору поверхневих пошкоджень у системі LAB, T – давність виникнення травми тупим предметом.

При розв'язанні оберненої задачі, а саме встановлення давності, виходячи з координат кольору поверхневого пошкодження, можливо обчислити координати кольору, що характерні для кожного з інтервалів для встановлення давності та використати їх для створення шкали зразків кольорів. Це дозволить на основі визначення найближчого за кольором до поверхневого пошкодження елемента із шкали зразків кольорів встановити його давність виникнення:

$$T = \begin{cases} \text{від 0 до 1 год, якщо } (-1,980 < a \leq -1,951) \wedge (3,041 < b \leq 3,075) \wedge (47,600 < L \leq 47,685); \\ \text{від 1 до 3 год, якщо } (-2,037 < a \leq -1,980) \wedge (3,075 < b \leq 3,144) \wedge (47,685 < L \leq 47,855); \\ \text{від 3 до 6 год, якщо } (-2,122 < a \leq -2,037) \wedge (3,144 < b \leq 3,247) \wedge (47,855 < L \leq 48,108); \\ \text{від 6 до 12 год, якщо } (-2,292 < a \leq -2,122) \wedge (3,247 < b \leq 3,450) \wedge (48,108 < L \leq 48,606); \\ \text{від 12 до 24 год, якщо } (-2,627 < a \leq -2,292) \wedge (3,450 < b \leq 3,841) \wedge (48,606 < L \leq 49,575); \\ \text{від 24 до 48 год, якщо } (-3,275 < a \leq -2,627) \wedge (3,841 < b \leq 4,574) \wedge (49,575 < L \leq 51,404); \\ \text{від 48 до 72 год, якщо } (-3,893 < a \leq -3,275) \wedge (4,574 < b \leq 5,242) \wedge (51,404 < L \leq 53,094); \\ \text{від 72 до 96 год, якщо } (-4,478 < a \leq -3,893) \wedge (5,242 < b \leq 5,846) \wedge (53,094 < L \leq 54,650); \\ \text{понад 96 год, якщо } (a \leq -4,478) \wedge (5,846 < b) \wedge (54,650 < L). \end{cases} \quad (3)$$

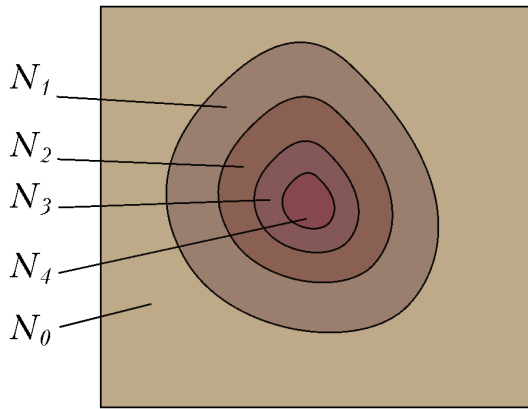


Рисунок 2 – Колірні зони поверхневого пошкодження м'яких тканин людини внаслідок травми тупим предметом

Однак, якщо враховувати відмінності у концентраціях продуктів деструкції гемоглобіну навіть в межах одного поверхневого пошкодження, то зображення поверхневого пошкодження завжди матиме декілька зон різного кольору. Наприклад, на рис. 2. зображення поверхневого пошкодження на фоні інтактної шкіри розділено на зони різного кольору $N_1 - N_4$, а інтактна шкіра має колір N_0 . При цьому розроблено правила встановлення інтервалу давності

пошкодження на основі відносних розмірів зон різного кольору поверхневих пошкоджень, що характерні для певного інтервалу. Розроблені правила встановлення давності є підґрунтям для вдосконалення методу встановлення давності та розробки відповідного апаратно-програмного засобу.

У третьому розділі вдосконалено метод встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами. Суть методу полягає в такій послідовності дій:

1. Здійснюється вимірювання просторового розподілу координат кольору поверхневого пошкодження м'яких тканин людини у системі координат кольору RGB за умов дифузного освітлення стандартним джерелом освітлення (D_{65} , A чи F_{11}), використанні однотипної фотоматриці, незмінної геометрії вимірювання, фіксованої відстані до об'єкта дослідження, кутової апертури для спостерігача 10° .

2. Координати кольору у системі RGB для кожного пікселя зображення перераховуються у систему XYZ з автокалібруванням відносно шкали зразків кольорів. При цьому коректується вплив спектральних характеристик камери та джерела освітлення на вимірювання координат кольору зображення.

3. Координати кольору у системі XYZ для кожного пікселя зображення перераховуються у систему LAB та визначається найближчий колір зі шкали зразків кольорів для кожного пікселя зображення на основі розрахунку найменшої відмінності кольору у просторі кольорів LAB. Формується матриця M, у якій кожному пікселю початкового зображення відповідатиме елемент з номером зі шкали зразків кольорів. При цьому шкала кольорів розроблена на основі функції залежності координат кольору поверхневих пошкоджень м'яких тканин від давності, які враховують зміну із часом концентрацій продуктів деструкції гемоглобіну в них, що впливає на колір поверхневих пошкоджень. Шкала зразків кольорів містить елементи з координатами кольору, які близькі до значень характерних для часових інтервалів давності виникнення поверхневих пошкоджень.

4. Здійснюється фільтрація у ковзному вікні з використанням значення моди, що дозволяє зменшити наявність на зображенні високочастотного шуму, а також перекриття зон пошкодження різного кольору з зонами, які відповідають кольору інтактної шкіри.

5. Здійснюється сегментація зображення на зони різного кольору для зображення інтактної шкіри та зображення поверхневого пошкодження на фоні інтактної шкіри. При цьому розраховуються відносні розміри зон зображення різного кольору.

6. Виділяються зображення поверхневого пошкодження на фоні інтактної шкіри та здійснюється розрахунок відносних розмірів зон різного кольору для поверхневого пошкодження, що є вихідними даними для визначення давності виникнення пошкодження. Для зменшення впливу кривизни поверхні об'єкту дослідження на результати вимірювання здійснюють з декількох кутів спостереження та подальшим усередненням.

7. Встановлюється часовий інтервал давності виникнення пошкодження на підставі відносних розмірів зон різного кольору для поверхневого пошкодження з врахуванням особливостей анкетних даних потерпілих (вік, стать, локалізація поверхневого пошкодження тощо).

На основі кольорового зображення поверхневого пошкодження м'яких тканин людини твердими предметами можливо отримати координати кольору для кожного пікселя зображення в системі CIELAB. На основі координат кольору, які характерні для певних інтервалів давності поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини розроблена шкала зразків кольорів для судово-медичних експертів, що дозволяє встановити давність їх виникнення.

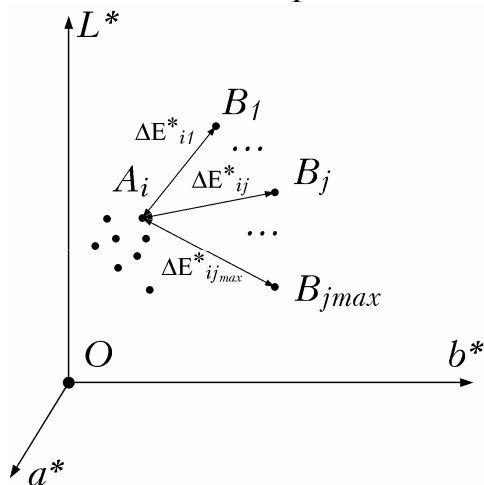


Рисунок 3 – Визначення повної колірної відмінності у колірному просторі CIELAB для елемента зображення

При цьому розроблено алгоритм визначення найближчих кольорів зі шкали зразків кольорів для елементів зображення, що дозволяє автоматизовано встановити для кожного пікселя зображення поверхневого пошкодження найближчий колір зі шкали зразків кольорів.

Відповідно до правила для встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами визначимо найближчі кольори зі шкали зразків кольорів для кожного елемента зображення (рис. 3).

Повна колірна відмінність $\Delta E_{ab\ ij}^*$ між кольорами у колірному просторі CIELAB визначається таким чином:

$$\Delta E_{ab\ ij}^* = \sqrt{(\Delta L_{ij}^*)^2 + (\Delta a_{ij}^*)^2 + (\Delta b_{ij}^*)^2}, \quad (4)$$

де $\Delta L_{ij}^* = L_i^* - L_{scale\ j}^*$, $\Delta a_{ij}^* = a_i^* - a_{scale\ j}^*$, $\Delta b_{ij}^* = b_i^* - b_{scale\ j}^*$, L_i^* , a_i^* , b_i^* – координати у колірному просторі елемента зображення; $L_{scale\ j}^*$, $a_{scale\ j}^*$, $b_{scale\ j}^*$ – координати у колірному просторі елемента шкали зразків кольорів.

Відмінність у ΔL_{ij}^* практично не дає інформацію про стан ураженої ділянки біотканини, тому при оцінюванні колірної відмінності її варто вилучити і визначати відмінність у тоні кольору ΔH_{abij}^* . Відмінність у чистоті тону у системі CIELAB (L^* , a^* , b^*) між елементом зображення біотканини та елементом шкали зразків кольорів визначається за формулою:

$$\Delta C_{abij}^* = C_{abi}^* - C_{ab\ scale\ j}^*, \quad (5)$$

де C_{abi}^* – чистота тону елемента зображення $C_{abi}^* = \sqrt{(a_i^*)^2 + (b_i^*)^2}$; $C_{ab\ scale\ j}^*$ – чистота тону елемента шкали зразків кольорів $C_{ab\ scale\ j}^* = \sqrt{(a_{j\ scale}^*)^2 + (b_{j\ scale}^*)^2}$, a_i^* , b_i^* – координати кольору елемента зображення, $a_{scale\ j}^*$, $b_{scale\ j}^*$ – координати кольору елемента шкали зразків кольорів.

Відмінність у тоні кольору ΔH_{abij}^* між елементом зображення біотканини та елементом шкали зразків кольорів визначається за формулою:

$$\Delta H_{abij}^* = \sqrt{(\Delta E_{ab\ ij}^*)^2 - (\Delta L_{ij}^*)^2 - (\Delta C_{abij}^*)^2}. \quad (6)$$

Таким чином, для визначення найближчого кольору зі шкали зразків кольорів для кожного пікселя зображення необхідно визначити між яким елементом шкали B_j і поточним пікселем зображення буде найменша відмінність тону кольору у просторі кольорів CIELAB ΔH_{abij}^* . При цьому необхідно присвоїти елементну матриці M_{ab} , який відповідає поточному пікселю зображення номер елемента шкали зразків кольорів. Підрахувавши кількість елементів матриці M_{ab} рівних номеру певного кольору шкали j можливо визначити площу сегменту певного кольору на зображенні. Для подальшої обробки і визначення біомедичних параметрів пошкодження за кольором необхідно перевести площу сегменту певного кольору у відносну частку площі загального зображення у відсотках та отримати гістограму відносних розмірів зон різного кольору поверхневого пошкодження.

Алгоритм визначення найближчих кольорів зі шкали зразків кольорів для елементів зображення та розрахунку гістограми наведено на рис. 4. Розрахунок за формулами (4)–(6) проводиться $i \times j$ разів, де i – кількість пікселів зображення, j – кількість елементів шкали зразків кольорів. На початку роботи у подвійному циклі між блоками (2) та (6) розраховується відмінність у тоні

кольору ΔH_{abij}^* для кожного елемента зображення до координат кольору елементів шкали зразків кольорів за формулою (6).

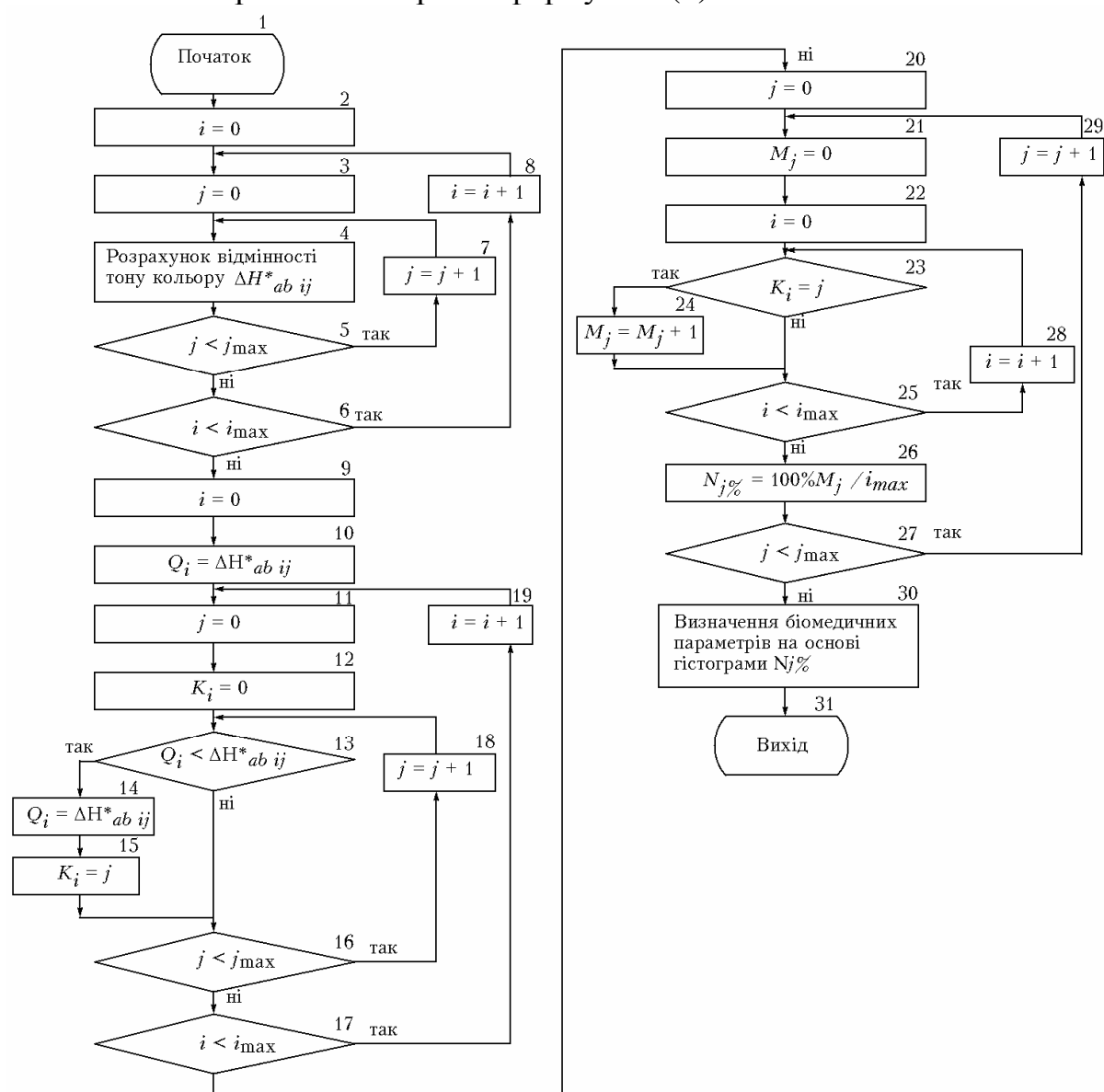


Рисунок 4 – Алгоритм визначення найближчих кольорів зі шкали зразків кольорів для елементів зображення та розрахунку гистограми

Далі у циклі між блоками (9) та (17) для кожного з i елементів зображення визначається до якого з j елементів шкали зразків кольорів відмінність у тоні кольору ΔH_{abij}^* буде найменшою, де Q_i – мінімальна відстань у колірному просторі, K_i – номер елемента шкали зразків кольорів до якого відстань у колірному просторі найменша. У циклі між блоками (20) та (27) підраховується кількість елементів зображення M_j , відстань у колірному просторі у яких найближча до j -того елемента шкали кольорів. Далі отримана кількість пікселів M_j переводиться у відносну кількість пікселів у відсотках $N_{j\%}$, яку займають елементи зображення з координатами кольору близькими до кожного з елементів шкали зразків. Визначивши для кожного пікселя

зображення найближчі кольори зі шкали зразків, отримаємо матрицю M , у якій кожному пікселю початкового зображення відповідатиме елемент з номером зі шкали зразків кольорів.

Вдосконалено колірну сегментацію зображення поверхневого пошкодження, що дозволяє поділити зображення поверхневого пошкодження на окремі зображення, що відповідають зонам різних кольорів шкали.

Для того, щоб зменшити рівень високочастотного шуму на зображеннях сегментів і зменшити взаємне перекриття зон різного кольору запропоновано алгоритм фільтрації зображень поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини у ковзному вікні з використанням значення моди. Розроблено алгоритм роботи підпрограми фільтрації, що реалізує усереднення у ковзному вікні з використанням значення моди, а приклад його використання для обробки зображень поверхневих пошкоджень наведено на рис. 5.

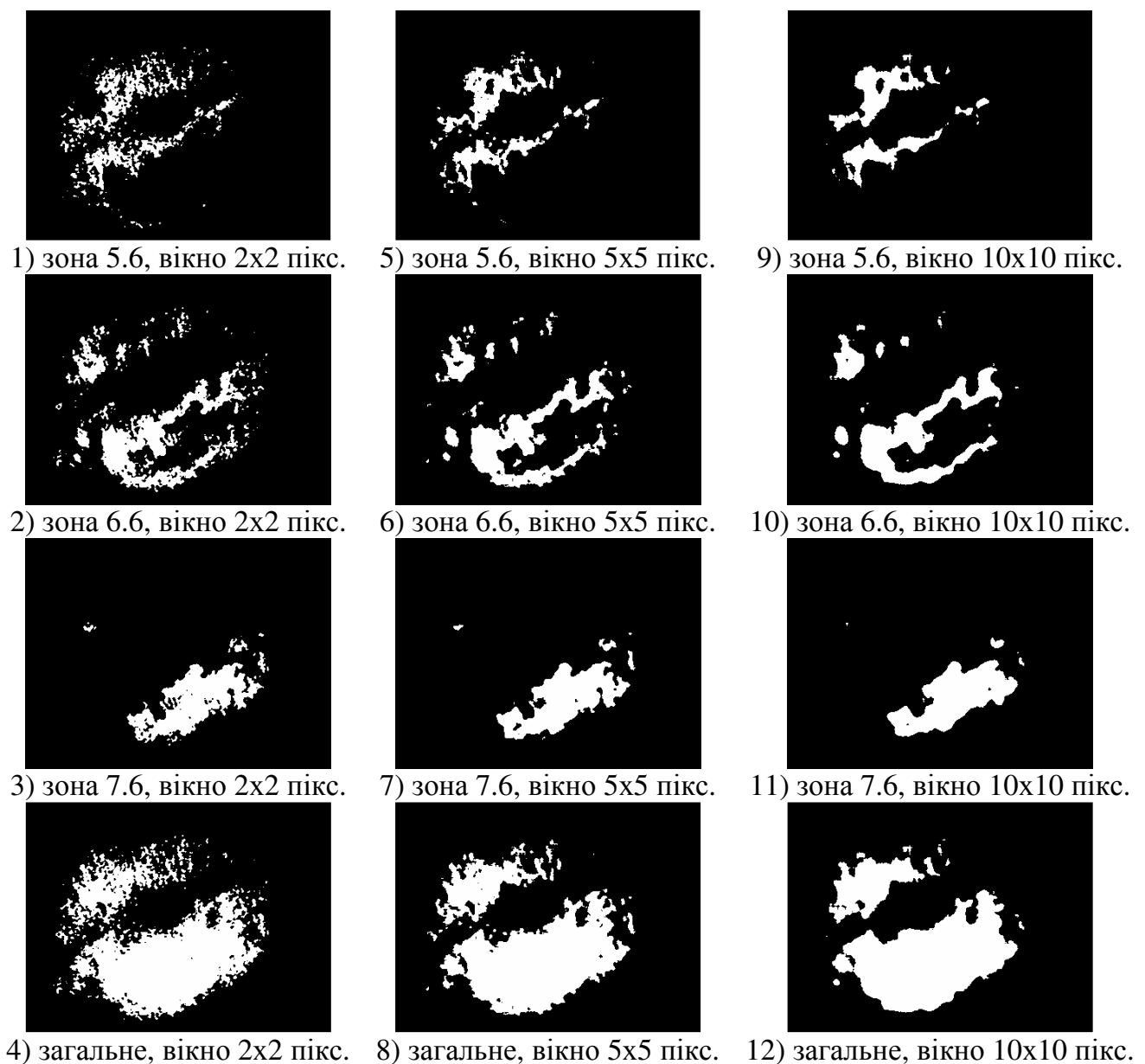


Рисунок 5 – Приклади обробки зображень поверхневих пошкоджень з використанням фільтрації у ковзному вікні різного розміру

Розроблено алгоритм виділення зображення поверхневого пошкодження на фоні інтактної шкіри та розрахунку відносних розмірів зон різного кольору за рахунок порівняння гістограм зображень інтактної шкіри та інтактної шкіри з поверхневим пошкодженням. Досліджено вплив геометрії вимірювання координат кольору на похибки розрахунку відносних розмірів зон різного кольору поверхневих пошкоджень.

У четвертому розділі для реалізації методу встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень на основі вимірювання координат кольору розроблено апаратно-програмний засіб встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини.

Структурну схему вимірювального перетворювача апаратно-програмного засобу встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини для реалізації запропонованого методу наведено на рис. 6. Засіб містить джерело випромінювання (ДВ) з якими оптично з'єднано кільцевий дифузний розсіювач (КДР), об'єкт дослідження (ОД) та шкала зразків кольорів (ШЗК). Для вимірювання координат кольору поверхневих пошкоджень засіб містить кольорову фотоматрицю (ФМ) вісь якої розміщена по нормалі з поверхнею об'єкту дослідження. Об'єктив (ОБ) камери налаштовано на незмінну фокусну відстань до об'єкту дослідження, що забезпечується за допомогою круглого циліндра (Ц).

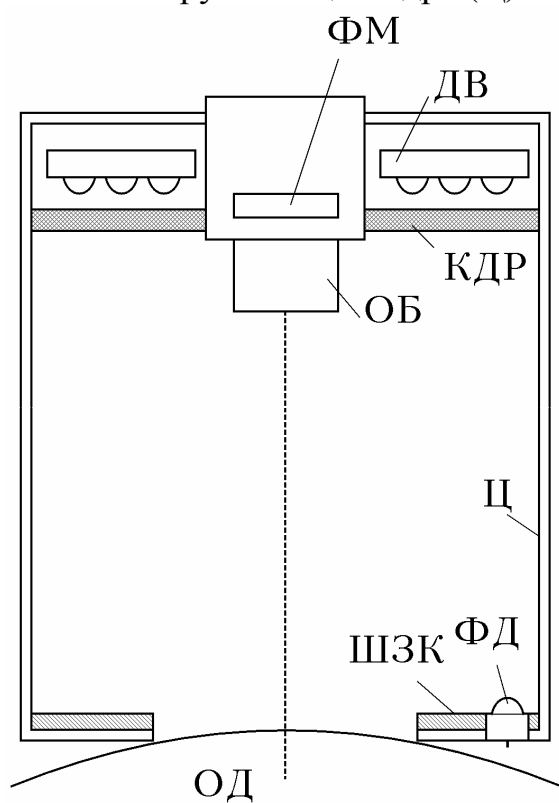


Рисунок 6– Структурна схема вимірювального перетворювача засобу встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень

В основі циліндра розміщено кільцеву шкалу зразків кольорів з робочим отвором в центрі. В іншій основі циліндра розміщено кільцевий дифузний розсіювач з джерелом випромінювання і фотоматрицею цифрової камери в центрі. На виході фотоматрицю під'єднано до блоку реєстрації та обробки зображень. Джерела випромінювання під'єднано до кільцевого дифузного розсіювача таким чином, щоб на об'єкт дослідження та шкалу зразків кольорів потрапляло лише дифузно розсіяне світло. Вмикання та регулювання роботи джерел випромінювання здійснюється блоком керування джерелом випромінювання, що використовує фотодіод (ФД) для підтримки постійного значення освітленості.

Структурну схему апаратно-програмного засобу встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень наведено на рис. 7.

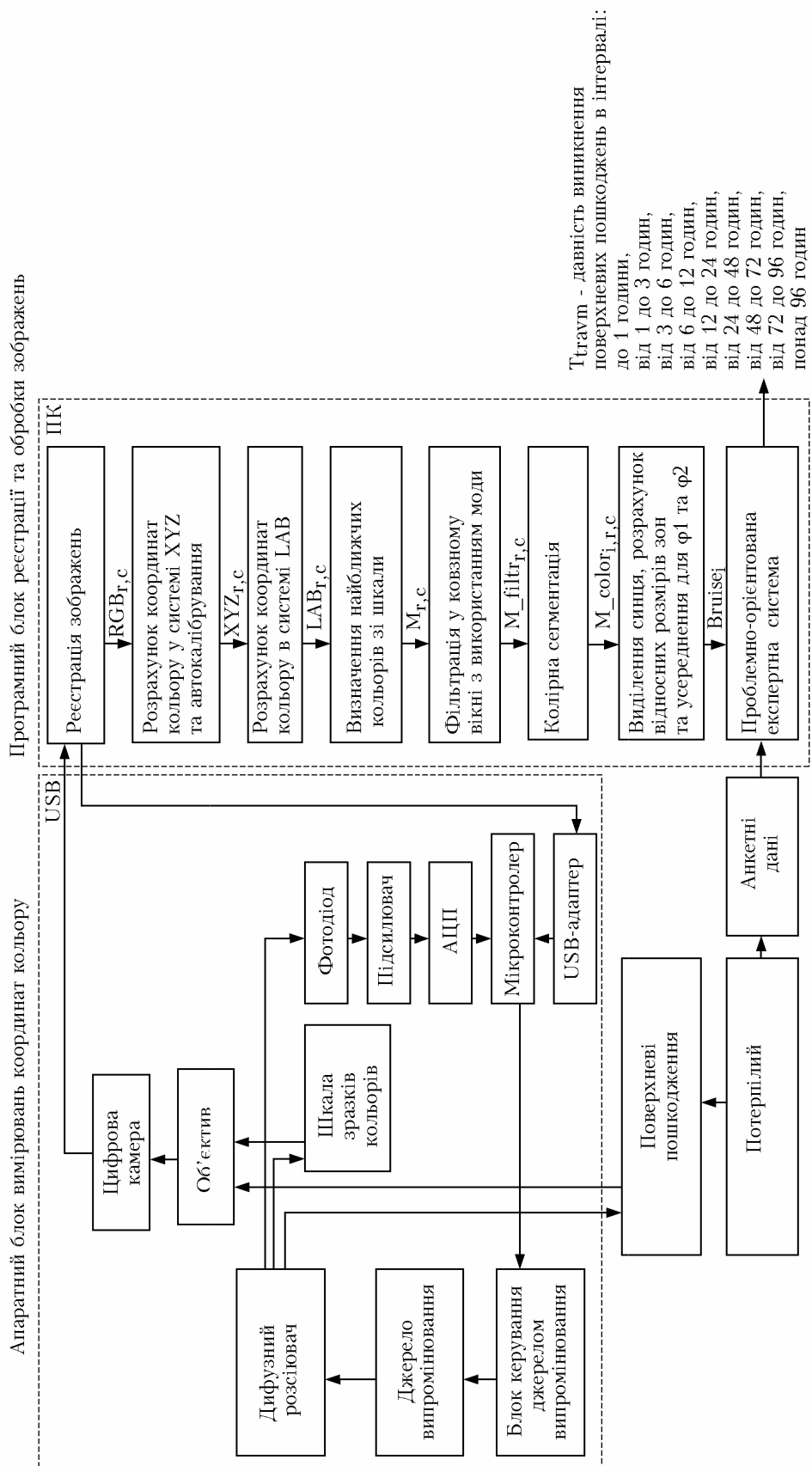


Рисунок 7 – Структурна схема засобу встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини

Апаратний блок вимірювань просторового розподілу координат кольору розробленого засобу працює таким чином. Випромінювання від джерела має спектр, що відповідає рекомендованому МКО стандартному джерелу освітлення (D_{65} , A чи F_{11}). Випромінювання проходить через дифузний розсіювач та рівномірно освітлює об'єкт дослідження та шкалу зразків кольорів. Об'єктив формує зображення об'єкта дослідження та шкали зразків кольорів на фотоматриці цифрової камери. Підтримка незмінного рівня освітленості робочого вікна здійснюється за допомогою фотодіода з підсилювачем, сигнал з якого подається на АЦП мікроконтролера.

У випадку відхилення освітленості робочого вікна від заданого рівня мікроконтролер змінює освітленість за допомогою блоку керування джерелом випромінювання. У програмному блоці реєстрації та обробки зображень, який реалізовано на базі персонального комп'ютера (ПК), відбувається багатоетапна обробка зображень відповідно до розробленого методу встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини на основі вимірювань координат кольору.

Для забезпечення постійних умов роботи оптичного каналу засобу у відповідності до чинних стандартів необхідно забезпечити:

- незмінну відстань від об'єкту дослідження (ОД) до об'єктиву камери;
- стандартну геометрію вимірювання освітлювач/спостерігач $D/0^\circ$ (дифузно розсіяне освітлення, камера розміщена на нормалі до поверхні);
- відсутність паразитних засвічувань і відбивань світла.

Такі умови роботи оптичного каналу засобу забезпечуються за допомогою первинного вимірювального перетворювача на основі круглого циліндра. В основі циліндра розміщено кільцеву шкалу зразків кольорів з робочим отвором в центрі. В іншій основі циліндра розміщено кільцевий дифузний розсіювач з джерелом випромінювання і фотоматрицею в центрі. Циліндр первинного вимірювального перетворювача виготовлено з алюмінію, причому внутрішня поверхня циліндра покрита чорною матовою фарбою для зменшення засвічувань і відбивань світла. Розраховано параметри первинного вимірювального перетворювача при використанні ахроматичного об'єктива виробництва Edmuntoptics з фокусною відстанню $f = 5$ мм, значенням діафрагми $F = 1,4$, який оптимізовано для роботи на відстані до об'єкта 150-250 мм. У засобі використовуємо камеру типу DCM300 з розмірами сенсора $1/2''$ та роздільною здатністю 2048×1536 пікселів. Зовнішній вигляд розробленого автоматизованого засобу встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини на основі вимірювань параметрів кольору наведено на рис. 8.

Крім того, вдосконалено імітаційну математичну модель процесу вимірювань координат кольору нормальних і пошкоджених ділянок біотканин та оцінювання впливу параметрів первинного вимірювального перетворювача, умов та геометрії освітлення/спостереження та інших факторів, що дозволило зменшити інструментальну складову похибки вимірювань на 5% за рахунок автокалібрування.



Рисунок 8 – Зовнішній вигляд автоматизованого засобу встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини

Також розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення засобу встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень, що дозволяє визначити гістограму кольорів зображення патологічної біотканини при механічному ураженні тупим предметом. Описаний алгоритм роботи засобу встановлення давності дозволяє формалізувати відомі методики візуального експертного оцінювання давності пошкодження біотканини людини внаслідок травми тупим предметом, що необхідно для зменшення суб'єктивності проведення досліджень у судово-медичній експертизі.

При опрацюванні результатів експериментальних досліджень зміни відносних розмірів зон різного кольору пошкоджень для 583 реципієнтів та їх усередненні отримано таку залежність відносних розмірів зон різного кольору поверхневих пошкоджень від давності виникнення (див. рис. 9).

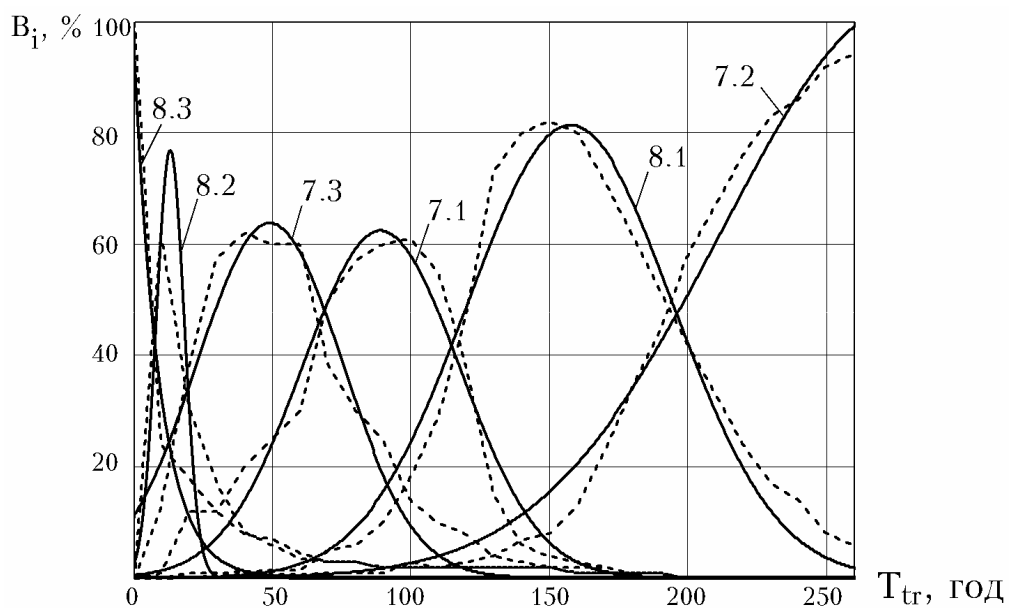


Рисунок 9 – Усереднені залежності відносних розмірів зон різного кольору поверхневих пошкоджень від давності виникнення

Аналізуючи усереднені результати обробки відносних розмірів зон різного кольору поверхневих пошкоджень в залежності від давності виникнення, можна зробити висновок, що вони узгоджуються з математичною моделлю і правилом встановлення давності.

Отже, на основі співвідношення між відносними розмірами зон різного кольору поверхневого пошкодження є можливість встановити давність виникнення поверхневого пошкодження. Для опрацювання результатів вимірювань та встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами розроблено експертну систему на основі результатів обробки відносних розмірів зон різного кольору пошкодженої ділянки B_i , а також інших біомедичних параметрів з анкет пацієнтів, які є дискретними величинами відповідних множин з скінченою кількістю елементів, а саме:

- вік: 0-20 років ($x1_1$), 20-30 років ($x1_2$), 30-40 років ($x1_3$), 40-50 років ($x1_4$), 50-60 років ($x1_5$), понад 60 років ($x1_6$) $X1 = \{x1_1, x1_2, \dots, x1_6\}$;
- стать: чоловік ($x2_1$), жінка ($x2_2$) $X2 = \{x2_1, x2_2\}$;
- індекс Rees-Eysenck: до 96 пікнічний тип ($x3_1$), 96-106 нормастенічний тип ($x3_2$), понад 106 астенічний тип ($x3_3$) $X3 = \{x3_1, x3_2, x3_3\}$;
- об'єкт експертизи: жива особа ($x4_1$)/ труп ($x4_2$) $X4 = \{x4_1, x4_2\}$;
- локалізація: голова, шия ($x5_1$), плече, надпліччя ($x5_2$), тулуб ($x5_3$), стегно, сідниця ($x5_4$), передпліччя, кисть ($x5_5$), гомілка, стопа ($x5_6$) $X5 = \{x5_1, x5_2, \dots, x5_6\}$;
- форма: округла ($x6_1$), овальна ($x6_2$), неправильна овальна ($x6_3$) $X6 = \{x6_1, x6_2, x6_3\}$.

На виході експертна система повинна встановити давність виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин, яка є елементом наступної множини: до 1 години (t_1), від 1 до 3 годин (t_2), від 3 до 6 годин (t_3), від 6 до 12 годин (t_4), від 12 до 24 годин (t_5), від 24 до 48 годин (t_6), від 48 до 72 годин (t_7), від 72 до 96 годин (t_8), понад 96 годин (t_9) $T = \{t_1, t_2, \dots, t_9\}$.

Для оцінювання достовірності встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини проведено експериментальні дослідження на потерпілих внаслідок травм тупими предметами, які звертались в Вінницьке обласне бюро судово-медичної експертизи у 2014-2015 рр. Давність виникнення поверхневих пошкоджень, що встановлена автоматизованим засобом, порівнювалась з свідченнями потерпілих. Вимірювання проводились в умовах оглядового кабінету з температурою повітря 22-24 °С, відносною вологістю 40-60 % відповідно до ДСН 3.3.6.042-99.

На основі обробки результатів експериментальних досліджень оцінено достовірність встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень біотканин на основі вдосконаленого методу та розробленого апаратно-програмного засобу. Отримано значення достовірності встановлення давності виникнення пошкодження 0,93, що є обґрунтованим для використання розробленого засобу дослідження для потреб судово-медичної експертизи.

Крім того, розроблено проект медико-технічних вимог до автоматизованого колориметричного засобу встановлення давності виникнення

поверхневих пошкоджень, в якому сформульовано обґрунтовані вимоги до медичної і технічної частин засобу.

Методичні рекомендації для використання запропонованого методу у судово-медичній практиці погоджено МОЗ України.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

На основі досліджень, виконаних у дисертаційній роботі, розвинуті теоретичні та практичні основи дослідження поверхневих пошкоджень, завдяки чому розв'язана задача підвищення достовірності встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами на основі вдосконаленого методу та відповідного апаратно-програмного засобу. Отже, основні наукові результати роботи полягають у наступному.

1. В результаті здійсненого аналізу сучасних методів і засобів дослідження нормальних та патологічних біотканин підтверджено необхідність у подальшому розвитку існуючих оптичних методів і засобів дослідження, серед яких найбільш перспективними для дослідження поверхневих пошкоджень є методи цифрової колориметрії.

2. Вперше запропоновано емпіричну математичну модель, яка встановлює взаємозв'язок множини точок у колірному просторі поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини і давності їх виникнення з урахуванням впливу морфо-функціональних змін, що дозволило врахувати зміну із часом концентрацій продуктів деструкції гемоглобіну в них, а також скласти правила встановлення інтервалу давності пошкодження на основі відносних розмірів зон різного кольору поверхневих пошкоджень.

3. Вдосконалено метод встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами, який на відміну від відомих, враховує колірну сегментацію зображень на основі вимірювання координат кольору інтактних і пошкоджених ділянок біотканин з подальшим розрахунком відносних розмірів зон різного кольору, що дозволило підвищити достовірність встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень.

4. На основі координат кольору, які характерні для відповідних інтервалів давності розроблена шкала зразків кольорів, що дозволяє встановити давність виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини. Розроблено алгоритм визначення найближчих кольорів зі шкали зразків кольорів для елементів зображення, що дозволяє автоматизовано встановити для кожного пікселя зображення поверхневого пошкодження найближчий колір зі шкали зразків кольорів. Крім того, вдосконалено колірну сегментацію зображення, що дозволяє поділити зображення поверхневого пошкодження на окремі зони різного кольору. Також запропоновано алгоритм обробки зображень, що дозволяє виділити зображення поверхневого пошкодження на фоні інтактної шкіри та розрахувати відносні розміри зон різного кольору.

5. Для реалізації методу встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами на основі вимірювання

координат кольору розроблено апаратно-програмного засіб, а також досліджено його медико-технічні параметри.

6. Розроблено програмне забезпечення засобу дослідження поверхневих пошкоджень, що дозволяє вдосконалити методику експертного оцінювання давності їх виникнення внаслідок травми тупим предметом, що необхідно для зменшення суб'єктивності судово-медичної експертизи. Розроблено та проаналізовано роботу експертної системи підтримки прийняття рішення при дослідженні поверхневих пошкоджень біотканин з використанням нейромережі для обробки результатів.

7. Вперше експериментально виявлено залежність відносних розмірів зон різного кольору від давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини. На основі обробки результатів експериментальних досліджень розраховано достовірність встановлення давності виникнення пошкоджень та отримано значення 0,93, що достатньо для використання розробленого засобу дослідження для потреб судово-медичної експертизи.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Розвиток методу цифрової колориметрії біотканин та алгоритм опрацювання результатів / В. Г. Петрук, О. Є. Кватернюк, Ю. С. Любчик, С. М. Кватернюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 3. – С. 198-201. – ISSN 2307-5732.

2. Моделювання спектральних характеристик шару епідермісу біотканини шкіри як об'єкту біомедичної діагностики / В. Г. Петрук, О. Є. Кватернюк, Ю. С. Любчик, С. М. Кватернюк // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 2. – С. 218–222. – ISSN 2307-5732.

3. Оцінювання валідності діагностування пошкоджень біотканин за допомогою цифрової колориметрії з використанням нейромережі / В. Г. Петрук, О. Є. Кватернюк, О. І. Моканюк, С. М. Кватернюк // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2015. – № 2(33). – С. 4-9. – ISSN 1999-9941.

4. Аналіз сучасного стану оптичних засобів вимірювального контролю та діагностування параметрів біотканин на основі цифрової колориметрії / В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, О. Є. Кватернюк [та ін.] // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 1. – С. 172–177. – ISSN 2219-9365.

5. Аналіз оптичних методів вимірювального контролю та діагностування параметрів біотканин у судово-медичній експертизі / В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, О. Є. Кватернюк [та ін.] // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2015. – № 1. – С. 118–123. – ISSN 1681-7893.

6. Математичне моделювання впливу параметрів окремих шарів на спектральні характеристики неоднорідних біотканин / В. Г. Петрук,

С. М. Кватернюк, О. Є. Кватернюк [та ін.] // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 3. – С. 50–56. – ISSN 1997-9266.

7. Метод визначення координат кольору нормальних і патологічних біотканин / В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, О. Є. Кватернюк [та ін.] // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 4. – С. 25–30. – ISSN 1997-9266.

8. Аналіз похибок засобу діагностування на основі вимірювання координат кольору нормальних і патологічних біотканин / В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, О. Є. Кватернюк [та ін.] // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 2. – С. 135–139. – ISSN 2219-9365.

9. Changes of color coordinates of biological tissue with superficial skin damage due to mechanical trauma / V. Petruk, O. Mokanyuk, O. Kvaternyuk [et al.] // Proc. SPIE, Optical Fibers and Their Applications, 2015. Vol. 9816, 98161I (17 December 2015). – P. 98161I-1– 98161I-5; doi: 10.1117/12.2229037. – ISSN 0277-786X.

10. Methods and means of measuring control and diagnostics of biological tissues in vivo based on measurements of color coordinates and multispectral image / V. Petruk, O. Kvaternyuk, S. Kvaternyuk [et al.] // Proc. SPIE, Optical Fibers and Their Applications, 2015. Vol. 9816, 98161H (17 December 2015). – P. 98161H-1– 98161H-5; doi:10.1117/12.2229034. – ISSN 0277-786X.

11. Аналіз сучасних методів та засобів діагностування параметрів біотканин на основі цифрової колориметрії / В. Г. Петрук, О. Є. Кватернюк, В. А. Ясинська [та ін.] // Оптиелектронні інформаційні технології «Фотоніка – ОДС 2015» : збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції, м. Вінниця, 21–23 квітня 2015 р. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – С. 71. – ISBN 978-966-641-619-6.

12. Математичне моделювання зміни параметрів кольору ушкодженої шкіри у судовій медицині / В. Г. Петрук, О. Є. Кватернюк, Я. І. Животун [та ін.] // Оптиелектронні інформаційні технології «Фотоніка – ОДС 2015» : збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції, м. Вінниця, 21–23 квітня 2015 р. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – С. 73. – ISBN 978-966-641-619-6.

13. Методи і засоби аналізу та класифікації поверхневих патологій біотканин за кольором / В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, О. Є. Кватернюк [та ін.] // Приладобудування: стан та перспективи : збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 23–24 квітня 2013 р. – К. : ПБФ НТУУ «КПІ», 2013. – С. 182–183.

14. Аналіз оптичних засобів діагностування поверхневих пошкоджень біотканин у судовій медицині [Електронний ресурс] / В. Г. Петрук, О. Є. Кватернюк, С. М. Кватернюк, Ю. М. Денисюк // XI Міжнародна конференція “Контроль і управління в складних системах”, м. Вінниця, 9–11

жовтня 2012 р. : тези доповідей. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – С. 128–129. – Режим доступу до статті: http://mccs.vntu.edu.ua/mccs2012/materials/subsection_3.1.pdf.

15. Колориметричний метод неінвазійного контролю параметрів біотканин / В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, О. І. Моканюк, О. Є. Кватернюк // III Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю, м. Вінниця, 21–24 вересня 2011 р. : тези доповідей. – Том 1.– Вінниця: ВНТУ, 2011. – С. 405–407. – ISBN 978-966-641-423-9.

16. Засіб діагностування поверхневих ушкоджень біотканин на основі вимірювань параметрів кольору для прикладних задач судово-медичної експертизи / В. Г. Петрук, О. Є. Кватернюк, С. М. Кватернюк [та ін.] // Приладобудування: стан та перспективи : збірник тез доповідей XVI Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 22–23 квітня 2015 р. – К. : ПБФ НТУУ «КПІ», 2015. – С. 152–153.

17. Вдосконалення методу цифрової колориметрії поверхневих ушкоджень біотканин для прикладних задач судово-медичної діагностики / В. Г. Петрук, О. Є. Кватернюк, В. А. Ясинська [та ін.] // Приладобудування: стан та перспективи : збірник тез доповідей XVI Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 22–23 квітня 2015 р. – К. : ПБФ НТУУ «КПІ», 2015. – С. 155–156.

18. Визначення та реєстрація кольору шкіри за допомогою кольорової лінійки / О. І. Моканюк, А. О. Гаврилюк, О. С. Янкевич, О. Є. Кватернюк // VII Міжнародний конгрес з інтегративної антропології, м. Вінниця, 17–18 жовтня 2013 р. : тези доповідей. – Вінниця : ВНМУ ім.Пирогова. – 2013. – С.118.

19. Forensic-medical evaluation of color and size of bruise using computer software for digital image processing / O. Mokanyuk, A. Havryliuk, O. Kvaterniuk [et al.] // International scientific conference “Modern advances in forensic science and expertise”, 29 April –2 May 2015. : abstract of international scientific conference. – Uzhgorod, Breza. – 2015. – С. 70. – ISBN 978-966-2668-93-3.

20. Патент України на корисну модель № 70759, МПК G01N 21/21 (2006.01) Спосіб визначення і реєстрації кольору та розмірів ушкоджень в судово-медичних дослідженнях / В. Г. Петрук, О. І. Моканюк; О. Є. Кватернюк [та ін.]; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – №u201114321; заявл. 05.12.2011; опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12.

21. Патент України на корисну модель № 99579, МПК G01N 21/21 (2006.01) Пристрій для телевізійного вимірювального контролю та діагностики параметрів кольору неоднорідних середовищ / В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, О. Є. Кватернюк [та ін.]; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – №u201500057; заявл. 05.01.2015; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 11.

22. Метод визначення і реєстрації кольору та розмірів ушкоджень в судово-медичній практиці. Методичні рекомендації №176.14/392.15. /

О. І. Моканюк, А. О. Гаврилюк, О. Є. Кватернюк [та ін.] – К.: Український центр наукової медичної інформації та патентно-ліцензійної роботи МОЗ України. – 2015. – 26 с.

АНОТАЦІЯ

Кватернюк О. Є. Метод і засіб цифрової колориметрії поверхневих пошкоджень біотканин у судовій медицині. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця. – 2017.

Дисертацію присвячено розв'язанню актуальної задачі підвищення достовірності встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами відповідно до задач судової медицини з урахуванням їх оптико-фізичних параметрів за допомогою вдосконаленого методу колориметрії та розроблення відповідного апаратно-програмного засобу. У роботі проаналізовані існуючі методи та засоби дослідження нормальних та патологічних біотканин, виявлено їх недоліки, а також обґрунтована необхідність вдосконалення колориметричних методів. Розроблена емпірична математична модель дозволила визначити залежності координат кольору поверхневого пошкодження при зміні давності виникнення травми тупим предметом. При цьому складені правила встановлення інтервалу давності пошкодження на основі відносних розмірів зон різного кольору поверхневих пошкоджень, що характерні для певного інтервалу. Вдосконалено метод та розроблено апаратно-програмний засіб встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень м'яких тканин людини тупими предметами, що дозволило підвищити достовірність встановлення давності виникнення поверхневих пошкоджень до 0,93 у порівнянні з відомими методами.

Ключові слова: *цифрова колориметрія, координати кольору, біотканини, судово-медична експертиза, поверхнєве пошкодження, давність пошкодження.*

АННОТАЦИЯ

Кватернюк Е. Е. Метод и средство цифровой колориметрии поверхностных повреждений биотканей в судебной медицине. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 – биологические и медицинские приборы и системы. – Винницкий национальный технический университет, Винница. – 2017.

Диссертация посвящена решению актуальной задачи повышения достоверности определения давности возникновения поверхностных повреждений мягких тканей человека тупыми предметами в соответствии с задачами судебной медицины с учетом их оптико-физических параметров с помощью усовершенствованного метода колориметрии и разработки соответствующего апаратно-програмного средства. В работе проанализированы существующие методы и средства исследования

нормальных и патологических биотканей, выявлены их недостатки, а также обоснована необходимость совершенствования колориметрических методов. Разработана эмпирическая математическая модель, которая позволила определить зависимости координат цвета поверхностного повреждения при изменении давности возникновения травмы тупым предметом. С использованием регрессии рассчитаны функциональные зависимости координат цвета поверхностного повреждения от давности, а также решена обратная задача нахождения зависимости давности повреждения от координат цвета. При этом составлены правила определения интервала давности повреждения на основе относительных размеров зон разного цвета поверхностных повреждений, характерных для определенного интервала. Усовершенствован метод определения давности возникновения поверхностных повреждений мягких тканей человека тупыми предметами, что позволило повысить достоверность определения давности возникновения поверхностных повреждений до 0,93 по сравнению с известными методами.

На основе координат цвета, которые характерны для определенных интервалов давности поверхностных повреждений, разработана шкала образцов цветов для судебно-медицинских экспертов, что позволяет определить давность возникновения поверхностных повреждений мягких тканей человека. Разработан алгоритм определения ближайших цветов из шкалы образцов цветов для элементов изображения, что позволяет автоматизировано установить для каждого пикселя изображения поверхностного повреждения ближайший цвет со шкалы образцов цветов. Усовершенствовано цветовую сегментацию изображения поверхностного повреждения, позволяет разделить изображение поверхностного повреждения на отдельные изображения, соответствующие зонам разных цветов шкалы. Предложен алгоритм выделения изображения поверхностного повреждения на фоне неповрежденной кожи и расчета относительных размеров зон разного цвета. Для реализации метода определения давности возникновения поверхностных повреждений на основе измерения координат цвета разработано аппаратно-программное средство.

Разработано алгоритмическое и программное обеспечение средства исследования поверхностных повреждений биотканей, что позволяет определить гистограмму цветов поверхностных повреждений вследствие травмы тупым предметом. Описанный алгоритм работы средства позволяет формализовать известные методики визуальной экспертной оценки давности возникновения поверхностных повреждений вследствие травмы тупым предметом, что необходимо для уменьшения субъективности проведения исследований в судебно-медицинской экспертизе.

Разработана и проанализирована работа экспертной системы поддержки принятия решения при исследовании поверхностных повреждений биотканей с помощью цифровой колориметрии с использованием нейросети для обработки результатов.

На основе обработки результатов экспериментальных исследований оценена достоверность определения давности возникновения поверхностных повреждений биотканей на основе усовершенствованного метода и

разработанного аппаратно-программного средства.

Ключевые слова: *цифровая колориметрия, координаты цвета, биоткани, судебно-медицинская экспертиза, поверхностное повреждение, давность повреждения.*

ABSTRACT

Kvaternyuk O. E. Method and means of digital colorimetry of superficial injuries biotissues in forensic medicine. – The manuscript.

Thesis for obtaining the PhD degree on the speciality 05.11.17 – biological and medical devices and systems. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. – 2017.

The thesis is devoted to solving the actual problem of improving reliability of determination ago of surface damage of soft human tissue blunt objects according to forensic tasks based on their optical and physical parameters using advanced colorimetric method and the development of appropriate hardware and software. The paper analyzed the existing methods and tools for the study of normal and pathological biological tissues revealed their shortcomings, as well as the necessity of improving the colorimetric methods. The developed empirical mathematical model allowed to determine the coordinates depending on the color of the surface damage when changing emergence of ago trauma blunt object. This composite rules set the amount of damage ago based on the relative sizes of different color zones of surface damage that are typical for a particular interval. Improved method and developed hardware and software tool definition emergence of ago of surface damage soft human tissue blunt objects, thus improving the reliability of establishing ago emergence of surface damage to 0.93 compared with known methods.

Keywords: *digital colorimetry, color coordinates, biological tissue, forensic examination, superficial damage, age of injury.*

Підписано до друку 23.03.2017 р. Формат 29.7×42 ¹/₄

Наклад 100 прим. Зам. № 2017-042

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі

Вінницького національного технічного університету.

м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59