

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**ЛЯШЕНКО АРТЕМ ВОЛОДИМИРОВИЧ**

УДК 004.932.72:617-089

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИНДРОМАЛЬНОЇ ДІАГНОСТИКИ  
ЗА ВІДЕОЛАПАРОСКОПІЧНИМИ ЗОБРАЖЕННЯМИ**

05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Вінниця – 2019

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Роботу виконано у Одеському національному медичному університеті Міністерства охорони здоров'я України.

**Науковий керівник:** доктор медичних наук, професор  
**Баязітов Микола Рашитович**  
Одеський національний медичний університет  
професор кафедри хірургії №1 з післядипломною підготовкою.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Поворознюк Анатолій Іванович**  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
професор кафедри обчислювальної техніки та програмування;

доктор технічних наук, професор  
**Романюк Олександр Никифорович**  
Вінницький національний технічний університет,  
завідувач кафедри програмного забезпечення.

Захист відбудеться «5» грудня 2019 року о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.06 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе 95, ауд. 210 ГНК.

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

Автореферат розісланий «4» листопада 2019 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

С. В. Тимчик

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Лапароскопічна хірургія (ЛХ) є сьогодні є успішною альтернативою відкритим хірургічним втручанням (Draу X., 2011; Sodergren M.H., 2010; Kano N., 2009; Yan S.L., 2009). Переваги ЛХ полягають в є малій травматичності, що забезпечує скорочення реабілітації пацієнтів в післяопераційному періоді (Баязітов М. Р., 2007-2012; Грубнік В.В., 1995-2015; Kano N., 2009; Sodergren, 2009). Водночас основною технічною умовою успіху ЛХ є отримання якісного зображення операційного поля, та можливість збільшення зображення, що зменшує ризик травматичності і число помилок під час виконання операції (Blum T., 2008; Kati D., 2014).

Підвищення ефективності ЛХ відбувається в напрямку мініатюризації лапароскопів, удосконалення оптичних систем та розвитку інформаційних технологій процесингу та аналізу лапароскопічних зображень (ЛЗ) (N. Padoy et al., 2012; R.Stauder et al., 2014; Winsberg F et al., 2006). Значний прогрес ЛХ сьогодні пов'язано з подальшим розвитком методів виділення необхідної інформації з відповідних зображень (Шлезінгер М.І., 2004, 2013; Ху Y., 2006; Довбиш А. С., 2009-2014; Гольцев А. Д., 2013; Girshick R.V., 2014). Діагностика за цифровими відеозображеннями здійснюється за кількісними характеристиками пікселів та інтенсивності градієнтів (Т. Blum., 2010), просторово-часовими властивостями (L.Zappella et al., 2013), та комбінаціями окремих характеристик контуру, форми, текстури (Гольцев А. Д., Гриценко В. І., 2013; Bier G.et al., 2018; Lalys F.et al., 2012; Miura S.et al., 2019; Sato M.et al., 2019).

Слід зазначити, що відповідно до завдання автоматизованої лапароскопічної діагностики – on-line визначення характеру патологічних змін – використовують обмежене число інформативних критеріїв, яке спрямоване на швидке визначення типових синдромальних патологічних змін, спочатку, в полі зору хірурга лапароскопіста (Daniel O'Neill, 2009), а потім на фіксованому лапароскопічному зображенні. За подібних умов також важливою проблемою залишається коректний вибір інформативних критеріїв – характеристик лапароскопічних зображень, які можуть бути застосовані для ідентифікації типових змін візуалізованої поверхні тканин, а також алгоритмів їх використання (Neofytou M.S. et al., 2008; Nwoye C.I.et al., 2019), що потребує удосконалення всього процесу лапароскопічної діагностики.

Водночас, існує низка факторів, що стримують розвиток лапароскопічних технологій і систем, до яких слід віднести: обмежений рівень інвестицій в лапароскопічне обладнання і технології; дефіцит лікарів, які володіють відповідними лапароскопічними техніками і методиками; недостатній початковий рівень оснащення відеоендоскопічними і телекомунікаційними технологіями обласних і регіональних закладів охорони здоров'я (ЗОЗ); високий відсоток традиційних травматичних методик хірургічного втручання.

На інформаційному рівні існує достатньо питань, пов'язаних з обробленням біомедичних, в т.ч. і лапароскопічних відеозображень, серед яких слід відзначити: неоднозначність виділення інформаційних діагностичних ознак та їх надлишковість; неможливість встановлення точного діагнозу, що зумовлено застосуванням

ненормованих характеристик і критеріїв; недостатню ефективність оброблення великих обсягів даних з заданою достовірністю.

Не завжди на відповідному апаратно-програмному рівні здійснюється структурно-функціональна організація оптичних обчислювально-вимірювальних каналів систем автоматичної діагностики; оптимізація технічних рішень базових функціональних елементів комплексів і систем; адекватне оцінювання розроблених моделей і методів.

Таким чином, підвищення ефективності та якості оброблення лапароскопічних зображень шляхом побудови моделей, розроблення методів і систем автоматизованої діагностики найбільш поширених в хірургічній практиці синдромів є важливим та актуальним науково-практичним завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалась в рамках держбюджетних тем «Аналіз, розробка і впровадження комплексних інформаційних систем в закладах системи охорони здоров'я» (№ держ. реєстрації 0112u008306, термін виконання 01.2013-12.2017 та 0117u007489, термін виконання 2017-2021 р.р.), які виконувались в Одеському національному медичному університеті МОЗ України, де автор був співвиконавцем.

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи полягає в підвищенні ефективності діагностики при лапароскопічному дослідженні органів черевної порожнини і малої миски у жінок шляхом розроблення моделей, методів і системи автоматизованої синдромальної діагностики за характеристиками відеолапароскопічних зображень.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз сучасних методів визначення характеристик лапароскопічних зображень з використанням автоматизованих систем і технологій діагностики за лапароскопічними зображеннями органів черевної порожнини та малої миски у жінок.

2. Визначити комплекс інформативних критеріїв для захвату та класифікації лапароскопічних зображень органів черевної порожнини та малої миски у жінок при запальних і пухлинних ураженнях.

3. Удосконалити метод калібрування лапароскопічного обладнання з урахуванням його оптичних характеристик при ендоскопічному хірургічному втручанні.

4. Розробити модель виявлення за лапароскопічними зображеннями синдромальної патології органів черевної порожнини і малої миски у жінок.

5. Розробити метод визначення за лапароскопічними інформативними ознаками синдромів осередкових і дифузних змін тканин шляхом аналізу кольору, текстури і контуру органів черевної порожнини і малої миски.

6. Запропонувати алгоритмічно-програмну інтерпретацію розроблених методів і моделей.

7. Розробити систему автоматизованої синдромальної діагностики за лапароскопічними зображеннями органів черевної порожнини і малої миски.

8. Впровадити систему синдромальної діагностики, провести її апробацію і визначити ефективність за клінічними показниками.

*Об'єктом дослідження* – є процес діагностики і прийняття рішення хірургом-лапароскопістом при проведенні лапароскопічної діагностики.

*Предмет дослідження* – моделі, методи та система автоматизованої синдромальної діагностики за ЛЗ.

**Методи дослідження.** Для оброблення даних застосовували методи дискретного оброблення інформації, методи математичної статистики, визначення інформативності показників, методи комп'ютерного зору; для розроблення вирішальних правил - алгоритми ідентифікації патологічних станів за текстурними, контурними, кольоровими характеристиками; для навчання класифікаторів – метод опорних векторів і каскадний метод; для розроблення системи і технології – методи системного аналізу та об'єктно-орієнтованого проектування; для розроблення програмного забезпечення – середовище MS Visual Studio Express і мову програмування C#; для розроблення системи ідентифікації та класифікації – бібліотеку OpenCV; систему управління базами даних (СУБД) і середовище Microsoft SQL SERVER 2008 R2.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в тому, що:

1. Вперше розроблено математичну модель виявлення патологічних синдромів при лапароскопічній діагностиці, яка представлена логічною послідовністю етапів: визначення на відеопослідовності потенційних об'єктів захворювання; розпізнавання та ідентифікації патологічних об'єктів; класифікації їх приналежності до відповідного класу; оброблення та формування діагнозу із застосуванням критеріїв яскравості, кольору, текстури, контуру, що дозволило ідентифікувати на основі достовірних структур класів, окремі-патологічні синдроми.

2. Удосконалено метод калібрування лапароскопічного обладнання для виявлення патологічних змін на ЛЗ шляхом введення процедури препроцесингу та урахування його оптичних характеристик, що дозволило знизити вплив шуму на якість зображення, підвищити його контраст і насиченість елементів та забезпечити, тим самим, високу якість сегментації відеозображень.

3. Удосконалено структуру процесу аналізу лапароскопічних зображень шляхом введення процедури моніторингу появи синдромальної ділянки на кадровій відеопослідовності в полі зору об'єктиву лапароскопічної камери забезпечує виявлення і детекцію патологічних змін в режимі реального часу.

4. Отримав подальшого розвитку метод автоматизованої діагностики захворювань за результатами аналізу лапароскопічних відеозображень шляхом введення етапу ідентифікації комплексу дескрипторів, характерних для певних патологічних синдромів і розроблення діагностичного алгоритму, які забезпечують підвищення ефективності роботи системи автоматизованої синдромальної діагностики шляхом сегментації зображень за кольором і текстурою з загальною організацією обчислень у вигляді класифікатору.

**Практичне значення отриманих результатів.**

Розроблено систему автоматизованої синдромальної діагностики захворювань органів черевної порожнини і малої миски, яка дозволяє проводити діагностику стану досліджуваних органів, створювати бази даних, виявляти синдромальну патологію на ранніх стадіях захворювання з точністю до 90% від всіх діагностованих випадків.

Удосконалено алгоритм виявлення патологічних змін за кольоровими ознаками, представленими діапазонами кольорів, які властиві певному класу патологічних змін і характеризуються діапазоном значень, в якому найвищий показник ідентифікації отримано при визначенні кіст печінки (84,0%), а найменший – при діагностиці гепатиту (51,4%). Удосконалено алгоритм локальних бінарних шаблонів для визначення текстурних особливостей зображення шляхом порівняння шаблонних ЛЗ з досліджуваними та подальшим обчисленням вектора відмінності і застосуванням локального дескриптора, що забезпечило визначення текстурних ознак в режимі реального часу на рівні 79% – для цирозу печінки і 62% – для гепатиту.

Застосування розробленої системи автоматизованої класифікації лапароскопічних зображень дозволило своєчасно виявляти та оцінювати патологічний процес, що забезпечило зменшення хибно-позитивних результатів і дозволило попередити оперативні втручання у 64 із 91 обстежених пацієнтів (70,3%) та зниження хибно-негативних діагнозів, що дозволило запобігти прогресивному розвитку захворювання у 45 із 140 (32,1%) пацієнтів. Крім того, зменшення післяопераційних ускладнень спостерігалось у 65,1%, скорочення періоду післяопераційної реабілітації – у 30,5%, а попередження конверсії оперативного втручання у – 34,6% обстежених пацієнтів.

Отримані в дисертаційній роботі результати в подальшому можуть бути використані в лапароскопічній та абдомінальній хірургії для проведення відповідних операцій та визначення рівня оснащення лапароскопічними системами і технологіями різних клінік України.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в практичну діяльність Одеського обласного центру телемедицини на базі Одеської обласної клінічної лікарні (акт впровадження від 17.12.2018), що дозволило забезпечити найвищу чутливість (88,99%) і специфічність (88,6%) при діагностиці захворювань печінки. Результати роботи також використовується в навчальному процесі кафедри біомедичної інженерії Вінницького національного технічного університету (акт впровадження від 22.04.2019), що забезпечило високу якість читання лекцій по дисциплінах, що пов'язані з обробленням відеозображень і покращило сприйняття матеріалу студентами.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертації отримані автором особисто. У роботах, написаних у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному: в [1] розробив структурну схему системи автоматизованої лапароскопічної діагностики; в [2] визначив умови застосування і розробив структуру алгоритму на основі дескриптору кольору; в [3] запропонував структуру алгоритму на основі дескриптору текстури, визначив його предметну область та можливі обмеження; в [4] розробив комп'ютерну систему розпізнавання і діагностики лапароскопічних зображень, отриманих при операції апендициту; в [5] запропонував підхід до оцінки ефективності комп'ютерної діагностики на основі двох класифікаторів – ознак Хаара та AdaBoost; в [7] дослідив вплив тремору рук хірурга на якість лапароскопічних хірургічних втручань за критерієм визначення контуру лапароскопічних зображень; в [8] визначив перелік характеристик цифрових лапароскопічних зображень для діагностики патології яєчників; в [9]

запропонував застосовувати систему підтримки прийняття рішень для підвищення ефективності лапароскопічних зображень; в [10] визначив особливості аналізу кольору цифрових лапароскопічних зображень в режимі дистанційної діагностики; в [11], [12] розробив технологію автоматизованої лапароскопічної діагностики стану печінки; в [13] обґрунтував можливість застосування методу побудови дерева рішень для ретроспективного порівняння результатів хірургічного і медикаментозного лікування; в [14] обґрунтував необхідність застосування системи розпізнавання лапароскопічних зображень; в [15] визначив і сформулював особливості сегментації лапароскопічних відеозображень.

### **Апробація матеріалів дисертації.**

Матеріали дисертаційної роботи були представлені та обговорені на наукових конференціях: II міжнародному конгресі «Впровадження сучасних досягнень медичної науки в практику охорони здоров'я України» (м. Київ, 2013 р.); науково-практичної конференції з міжнародною участю «Сучасні досягнення медичної інформатики» (м. Київ, 2013 р.); міжнародній конференції «Інформаційні технології в неврології, психіатрії, епілептології і медичній статистиці» (м. Київ, 2013 р.); Всеукраїнській науково-методичній відеоконференції з міжнародною участю «Актуальні питання дистанційної освіти та телемедицини» (м. Запоріжжя, 2014 р.); наукових конференціях «XV-е читання В.В. Підвисоцького» (Одеса, 2016 р.); «XVI-х читання В.В. Підвисоцького» (Одеса, 2017р.); МНПК «Медицинская наука и практика в условиях современных трансформационных процессов» (м. Львів, 2019 р.).

**Публікації.** Матеріали дисертаційної роботи опубліковані в 15 наукових працях, в тому числі 4 статті у наукових виданнях, що входять до переліку наукових фахових видань України з технічних наук, 1 стаття – в закордонному виданні, 1 стаття у виданні, яке індексується наукометричною базою даних Scopus, 1 стаття у виданні, яке індексується наукометричною базою даних Web of Science, 8 матеріалів і тез доповідей на наукових конференціях.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота викладена на 244 сторінках машинописного тексту, складається з вступу, 5 розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел та 8 додатків. Основна частина дисертації викладена на 140 сторінках. Дисертаційна робота містить 26 таблиць та 45 рисунків. Список використаних джерел включає 257 найменувань, з них 95 кирилицею та 162 латиницею.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** наведено характеристику роботи, обґрунтування актуальності, мети і задач, об'єкту і предмету дослідження; показано методи дослідження, сформульовано наукову новизну і практичну значимість; визначено зв'язок роботи з планами і програмами досліджень, окреслено особистий внесок здобувача; представлено публікації за темою дисертації, апробацію, зміст та обсяг роботи.

**У першому розділі** виконано аналіз літератури, який підтвердив актуальність проблеми класифікації структур черевної порожнини і малої миски у жінок при проведенні лапароскопічного діагностичного дослідження або хірургічного втручання і довів, що на сьогодні методи ендоскопії не завжди забезпечують необхідну специфічність і чутливість діагностики при автоматизованому виявленні

підозрілих, з точки зору наявності патологічних змін, тканин і цілеспрямованому їх дослідженні.

Визначено основні недоліки існуючих автоматизованих систем і технологій для розпізнавання та комп'ютерного аналізу отриманих з різних джерел біомедичних зображень, серед яких особливу увагу слід приділити таким: застосування методів і підходів, які базуються на обробленні бінарних зображень, що суттєво ускладнюють роботу з кольоровими; використання несертифікованого і некаліброваного обладнання; оброблення відеозображень здійснюється в більшості випадків в off-line режимі, хоча число ситуацій, які потребують on-line режиму, з кожним роком все збільшується.

Обґрунтовано перспективи розвитку напрямку ідентифікації об'єктів – патологічно змінених ділянок тканин шляхом застосування комплексу ознак синдромальної діагностики, який може бути реалізовано у вигляді відповідної системи автоматизованої синдромальної діагностики.

**Другий розділ** присвячено розробленню методів сегментації кольорового зображення і виявлення сукупності ознак за розподілом лапароскопічних зображень на класи, побудови відповідної класифікації і математичної моделі виявлення патологічних синдромів при лапароскопічній діагностиці.

Основою методу сегментації кольорових зображень для виявлення патологічних ознак є стандартна процедура аналізу зображення, яка адаптована для аналізу лапароскопічних зображень шляхом введення етапу локалізації об'єкта патологічних змін на зображенні на предмет його наявності або відсутності.

Нехай  $\{F_i\}_{i=1}^L$  – множина відеопослідовності кадрів кількістю  $L$ . Тоді сформуємо матрицю кольорового зображення RGB розміром  $H \times M \times R \times G \times B$ , де  $H, M$  – ширина та висота матриці,  $R, G, B$  – компоненти кольору (червоний, зелений, синій, відповідно). Задамо піксель  $i$ -го кадру відеопослідовності трьома матрицями кольорових шкал (1):

$$\begin{aligned} Z_R^i &= Z_R^i(x, y) \\ Z_G^i &= Z_G^i(x, y) \\ Z_B^i &= Z_B^i(x, y) \end{aligned} \quad (1)$$

де  $Z_R^i, Z_G^i, Z_B^i$  – сегмент однорідного кольору (червоного, зеленого, синього відповідно),  $x, y$  – координати пікселя  $0 \leq x \leq m-1$  та  $0 \leq y \leq n-1$ .

Якщо на відеопослідовності  $\{F_i\}_{i=1}^L$  знаходиться об'єкт  $A_i(x, y)$ , який необхідно ідентифікувати і визначити його належність  $(Z_R^i, Z_G^i, Z_B^i) \in A_i(x, y)$  – де  $A_i(x, y)$  – зображення об'єкту виявлених патологічних змін, то  $B_i(x, y)$  – будемо розглядати як фоновий кадр ЛЗ, на якому патологічні зміни відсутні або не відповідають ознакам виявлення. Тоді модель ідентифікації об'єктів на матриці  $A_i(x, y)$  зображення буде мати вигляд (2):



$$A_i(x, y) = \begin{cases} (Z_R^i(x, y), Z_G^i(x, y), Z_B^i(x, y)), & \text{якщо пікселі } (x, y) \notin B_i, \\ (0, 0, 0), & \text{якщо пікселі } (x, y) \in B_i, \end{cases} \quad (2)$$

Метод виявлення сукупності ознак за розподілом лапароскопічних зображень на класи полягає в тому, що введення до аналізу лапароскопічних зображень процедури моніторингу появи синдромальної ділянки на кадровій відеопослідовності в полі зору об'єктиву лапароскопічної камери забезпечує виявлення і детекцію патології в режимі реального часу.

Задаємо множину відеопослідовності  $\{F_i\}_{i=1}^L$ , де  $L$  – кількість кадрів.

Позначимо через  $P_{i,j,k}$  деякий  $k$ -й об'єкт заданого  $j$ -класу патології на  $i$ -му кадрі;  $i \in \{1, \dots, L\}$ ,  $j \in \{1, \dots, C\}$ ,  $k \in \{0, \dots, \overline{K}_j\}$ ;  $\overline{K}_j$  – кількість об'єктів  $j$ -класу відеопослідовності:

$$P_{i,j,k}(x, y) = \{(x, y) : (x, y) \in P_{i,j,k}\}, \quad (3)$$

де:  $P_{i,j,k}(x, y)$  – координати  $k$ -го об'єкту заданого  $j$ -класу патології на  $i$ -му кадрі,  $x \in \{0, \dots, m-1\}$ ,  $y \in \{0, \dots, n-1\}$ .

Кількість об'єктів

$$N_i = \{P_{i,k,j} : \|P_{i,j,k}, \hat{P}_{i,j,k}\| \leq R\}, \quad (4)$$

де  $\hat{P}_{i,j,k}$  –  $k$ -й об'єкт  $j$ -класу на  $i$ -му кадрі,  $N_i$  – множина патологічних виявлених об'єктів;  $R$  – відстань від фіксованого об'єкту  $\hat{P}_{i,j,k}$ .

Для ідентифікації необхідно задати вибірку ознак

$$M = \bigcup_{j=1}^C M_j \quad (5)$$

де  $M_j$  – класи патологічних синдромів.

Завдання виявлення патології базується на розрахунках значень для кожного об'єкту патології  $P$  за допомогою його описових характеристик  $I(P)$ , що складається з набору предметних ознак, кожна з яких має числове значення, тобто

$$I(P) = (X_1(P), \dots, X_r(P)), \quad (6)$$

де  $X_l(P)$  – кількість  $l$ -ої предметної ознаки  $l = \overline{1, \dots, r}$  для характеристики об'єкта  $P$ .

Визначимо діапазони значень для побудови класифікації, за якої множина векторів, що складає ознаки об'єкту патології на ЛЗ, являє собою клас синдромальної діагностики, який представимо у вигляді вектора приналежності діапазону ознак до певного класу

$$\bar{I}(M_j) = (\bar{X}_1(M_j), \bar{X}_2(M_j), \dots, \bar{X}_r(M_j)). \quad (7)$$

Наведена сукупність векторів ознак класів  $i \in$  набором характеристик для об'єктів ідентифікації.

Об'єкти патології, які мають однакове значення основної властивості, відносяться до однієї множини класу. При належності об'єкту  $P$  до класу  $M_j$  патології можливі такі випадки

$$\begin{aligned} X_i(P) &\in \bar{X}_i(M_j) \\ X_i(P) &\notin \bar{X}_i(M_j) \\ X_i(P) &\text{ - не визначено} \end{aligned} \quad (8)$$

Отже, для кожного  $j = \{1, \dots, C\}$  вектор  $\bar{I}(M_j)$  формує дескриптори, за якими можливо або неможливо віднести об'єкт  $P$  до класу  $M_j$ .

Детальні показники захворювання органів черевної порожнини і малої миски безпосередньо залежать від точного визначення зони захворювання.

Алгоритм виявлення типів ознак за груповими критеріями включає в себе: контурні або геометричні ознаки, ознаки побудови контуру, якісні бінарні ознаки, структурно-лінгвістичні ознаки (рис. 1).

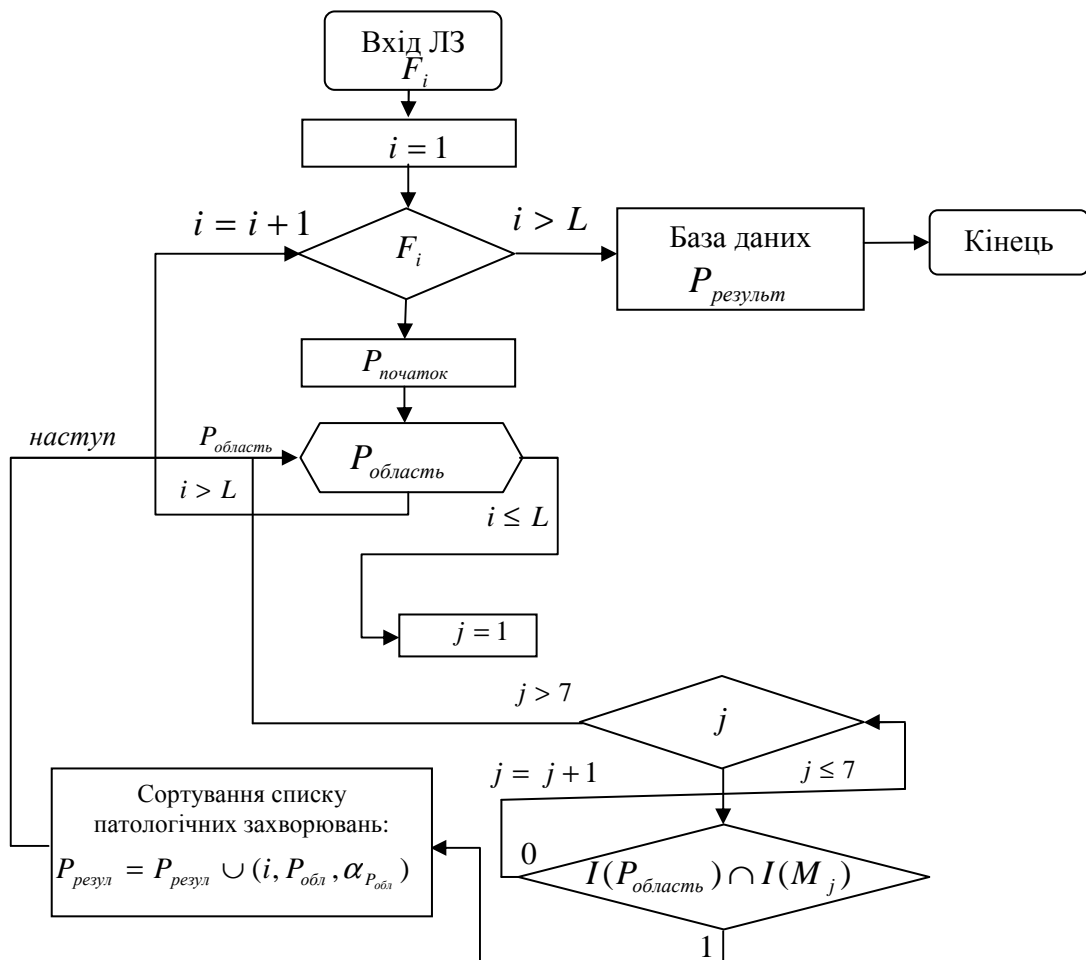


Рисунок 1 – Алгоритм виявлення типів ознак за груповими критеріями

Процес побудови математичної моделі виявлення патологічних синдромів при лапароскопічній діагностиці починається з аналізу відеозображення синдромальної патології, для чого позначимо через

$$M = \bigcup_{j=1}^7 M_j \quad (9)$$

сукупність досліджуваних 7-ми класів патології (синдромальних патологічних захворювань), серед яких  $M_j$  – клас патології  $j \in \{1, \dots, 7\}$ , який визначено за кількістю розпізнаних об'єктів патологічного захворювання:  $M_1$  – метастатичні ураження печінки;  $M_2$  – пухлини придатків матки у жінок;  $M_3$  – цироз печінки;  $M_4$  – гепатит;  $M_5$  – кіста печінки;  $M_6$  – холецистит;  $M_7$  – кровотеча. Кожен із зазначених класів володіє своїм набором характерних ознак  $\bar{I}(M_j)$ . Наприклад, ідентифікація метастатичних уражень печінки  $M_1$  характеризується наступними ознаками

$$\bar{I}(M_1) = (\bar{X}_1(M_1), \bar{X}_2(M_1), \bar{X}_3(M_1), \bar{X}_4(M_1), \bar{X}_5(M_1)), \quad (10)$$

де  $\bar{X}_1$  – кольорові ознаки;  $\bar{X}_2$  – контурні ознаки;  $\bar{X}_3$  – текстурні ознаки;  $\bar{X}_4$  – ознаки за еталонними зображеннями;  $\bar{X}_5$  – ознаки за МОВ.

Покрокова процедура виявлення об'єктів синдромальної патології має вигляд:

Крок 1. Подача на вхід системи відеопослідовності  $\{F_i\}_{i=1}^L$ . (11)

Крок 2. Визначення  $P_{обл}$  – область ознак на ЛЗ з діапазоном

$$I(P_{обл}) = (X_1(P_{обл}), \dots, X_r(P_{обл})), \quad (12)$$

та інформаційного вектора ознак

$$\alpha(P_{обл}) = (\alpha_1(P_{обл}), \dots, \alpha_7(P_{обл})). \quad (13)$$

Функція  $\alpha(P)$ , що вирішує, приймає на вході ознаки об'єкта, а на виході – привласнює йому мітку класу, після чого відбувається перехід системи до вибору ознак

$$\alpha_i(P_{область}) = \begin{cases} 1, & I(P_{область}) \in \bar{I}(M_j) \\ 0, & I(P_{область}) \notin \bar{I}(M_j) \end{cases} \quad (14)$$

де  $j=1, \dots, 7$  – класи ознак об'єктів.

Функція детекції об'єкта задає індикатор для відповідного об'єкту, тобто, якщо  $I(P_{обл}) \in I(M_j)$ , де  $j = \overline{1, 7}$  для деяких  $j \in J \subseteq \{1, \dots, 7\}$ , то  $\alpha(P) = (\alpha_1, \dots, \alpha_7)$ , де

$$\alpha_i = \begin{cases} 1, & i \in J \\ 0, & i \notin J. \end{cases}$$

Якщо  $\alpha_i(P_{обл})=0$ , а ознаки відсутні, то це свідчить про наявність деякого класу патології і зумовлює перехід до наступної області.

Крок 3. Якщо на відеопослідовності відсутні ознаки об'єктів спостереження, то всі елементи в області такої відеопослідовності визнаються неінформативними відносно наявності патологічних змін. Якщо на зображенні з'являється елемент об'єкта патологічних змін, то це визначає перехід до кроку 2.

Тоді модель виявлення патологічних синдромів має математичну інтерпретацію

$$\begin{aligned} кадр = \cup P_{обл}; \forall P_{обл} \alpha_i(P_{обл}) = (\alpha_1(P_{обл}), \dots, \alpha_7(P_{обл})) \\ \{P_{резул} : \max_{i=1,7} \alpha_i(P_{резул}) = 1\} \rightarrow БД \end{aligned} \quad (16)$$

та інформаційне представлення.

**В третьому розділі** розглянуто питання алгоритмічної інтерпретації методів і моделей, розроблених для оброблення лапароскопічних зображень.

Зважаючи на особливості лапароскопічного зображення, а саме, на переважання червоного кольору при достатньо значній кількості артефактів освітлення та можливості пошуку об'єкта за критеріями яскравості і насиченості, перейдемо від кольорової RGB шкали до більш гнучкої HSV.

1. Задаємо множину відеопослідовностей  $\{F_i\}_{i=1}^L$ .
2. Переводимо кольорову шкалу ЛЗ RGB в шкалу HSV:

$$\begin{aligned} V &= \max(R, G, B) \\ S &= \begin{cases} \frac{V - \min(R, G, B)}{V}, & \text{якщо } V \neq 0 \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \\ H &= \begin{cases} \frac{60(G - B)}{S}, & \text{якщо } V = R \\ \frac{120 + 60(B - R)}{S}, & \text{якщо } V = G \\ \frac{240 + 60(R - G)}{S}, & \text{якщо } V = B \end{cases} \end{aligned} \quad (17)$$

3. Вирівнюємо гістограму яскравості за допомогою методу еквалізації.

4. Визначаємо показник кольору кожного пікселя відповідної множини пікселів зображення  $A(x, y, H, S, V)$  для виділення осередку патологічних змін:

$$A(x, y, H, S, V) = \begin{bmatrix} H_{0,0} S_{0,0} V_{0,0} & H_{1,0} S_{1,0} V_{1,0} & \dots & H_{0,n-1} S_{0,n-1} V_{0,n-1} \\ H_{0,1} S_{0,1} V_{0,1} & H_{1,1} S_{1,1} V_{1,1} & \dots & H_{m,n-1} S_{n,m-1} V_{m,n-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ H_{m-1,0} S_{m-1,0} V_{m-1,0} & H_{m-1,1} S_{m-1,1} V_{m-1,1} & \dots & H_{m-1,n-1} S_{m-1,n-1} V_{m-1,n-1} \end{bmatrix} \quad (18)$$

де  $H_{xy}$  – тон,  $S_{xy}$  – насиченість,  $V_{xy}$  – яскравість кольору в точці  $(x, y)$ . Водночас, розмір зображення  $m, n$ , де  $0 \leq x \leq m-1$ ,  $0 \leq y \leq n-1$

5. Припустимо, що  $P_{i,j,k}$  – деякий  $k$ -й об'єкт заданого  $j$ -класу патології на  $i$ -му кадрі.  $i \in \{1, \dots, L\}$ ,  $j \in \{1, \dots, C\}$ ,  $k \in \{0, \dots, \overline{K_j}\}$ ,  $\overline{K_j}$  – кількість об'єктів  $j$ -класу відеопослідовності,  $C$  – кількість класів ознак. Тоді область кадру відеопослідовності позначимо, як  $P_{обл}^i(x, y)$ , де  $x, y$  – координати пікселя  $i$ -го зображення і задамо функцією  $X_1(P_{обл}^i(x, y))$ , тоді кольорова ознака об'єкту  $P_{обл}^i(x, y)$ .

6. Визначаємо множину пікселів, які належать до об'єкту патологічних змін  $P_{обл}^i(x, y)$  за наявними ідентичними показниками пікселів.

7. Будуємо вибірку локалізованого зображення.

8. Ідентифікуємо ознаки за кольоровими характеристиками відповідних патологічних відхилень від норми згідно моделі:

$$P_{обл}^i(x, y) = \{(x, y) : A^i(x, y, H, S, V) \in P_{обл}^i(x, y)\} = \begin{cases} (H_{\min}^j, H_{\max}^j); \\ (S_{\min}^j, S_{\max}^j); \\ (V_{\min}^j, V_{\max}^j); \end{cases} \quad (19)$$

де  $(H_{\min}^j, H_{\max}^j); (S_{\min}^j, S_{\max}^j); (V_{\min}^j, V_{\max}^j)$  – діапазони допустимих кольорів для ідентифікації  $j$  – патологічних змін (нозологічної форми захворювання).

9. Співвідносимо кожну область пікселів з вимогами до критеріїв знаходження об'єктів синдромальних захворювань за кольором:

$$\alpha_j(P_{обл}^i) = \begin{cases} 1, X_1(P_{обл}^i) \in \overline{X_1(M_j)} \\ 0, X_1(P_{обл}^i) \notin \overline{X_1(M_j)} \end{cases} \quad (20)$$

де  $j=1, \dots, 7$  класи ознаки патології,  $\alpha_j(P_{обл}^i)$  – головний критерій вибору, патологічного синдрому, який позначено 1, або 0 – при відсутності патологічних змін.

В процесі створення вибірки ознак в off-line режимі було проаналізовано 632 відеопослідовності різних патологічних синдромів з якістю відеозображень в 1280/1024 пікселів та визначено діапазони кольорів для кожної патології форми патологічного синдрому.

Математична формалізація властивостей контуру 13 дозволяє створити відповідний дескриптор класифікатора, на основі якого робота алгоритму, що забезпечує діагностику за принципом виділення контуру, складається з такої послідовності дій: 1. Препроцесинг зображення – фільтрація, балансування контрасту, вирівнювання гістограми яскравості. 2. Екстракція краю зображення (контуру). 3. Аналіз та виявлення контурів об'єктів з визначенням характеристик скалярних величин, які представляють собою сумарну характеристику контуру

органів малої миски чи черевної порожнини або синдрому з набором симптомів двомірного простору зображення (рис. 2) та отримані за допомогою алгоритму (рис. 3).

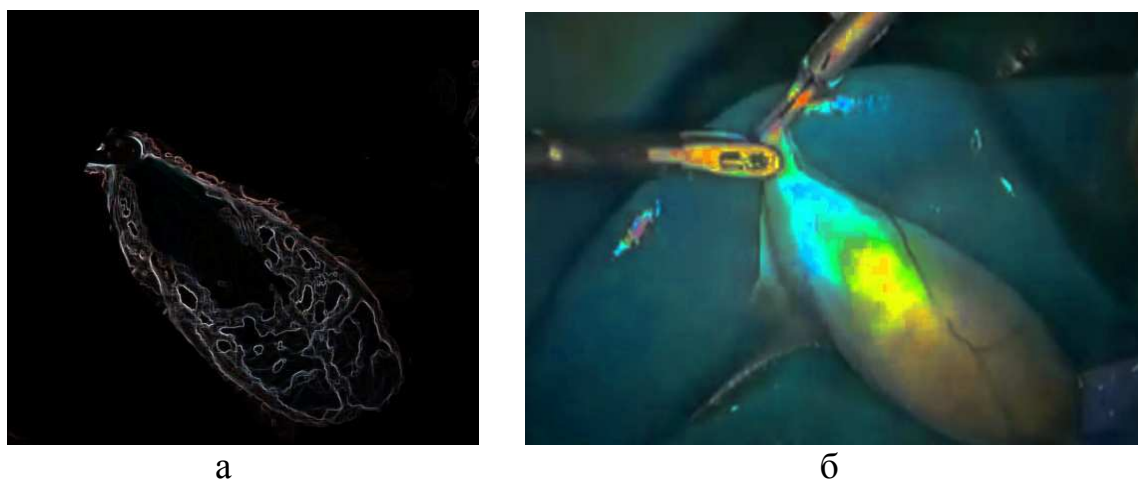


Рисунок 2 – Виділення контуру жовчного міхура з застосуванням алгоритму на основі Канні в заданій смузі кольору  $145 \leq R \leq 150$ ,  $80 \leq G \leq 95$ ,  $68 \leq B \leq 70$ .  
а – результат виділення контуру, б – вихідний вид кольорової ознаки патології жовчного міхура

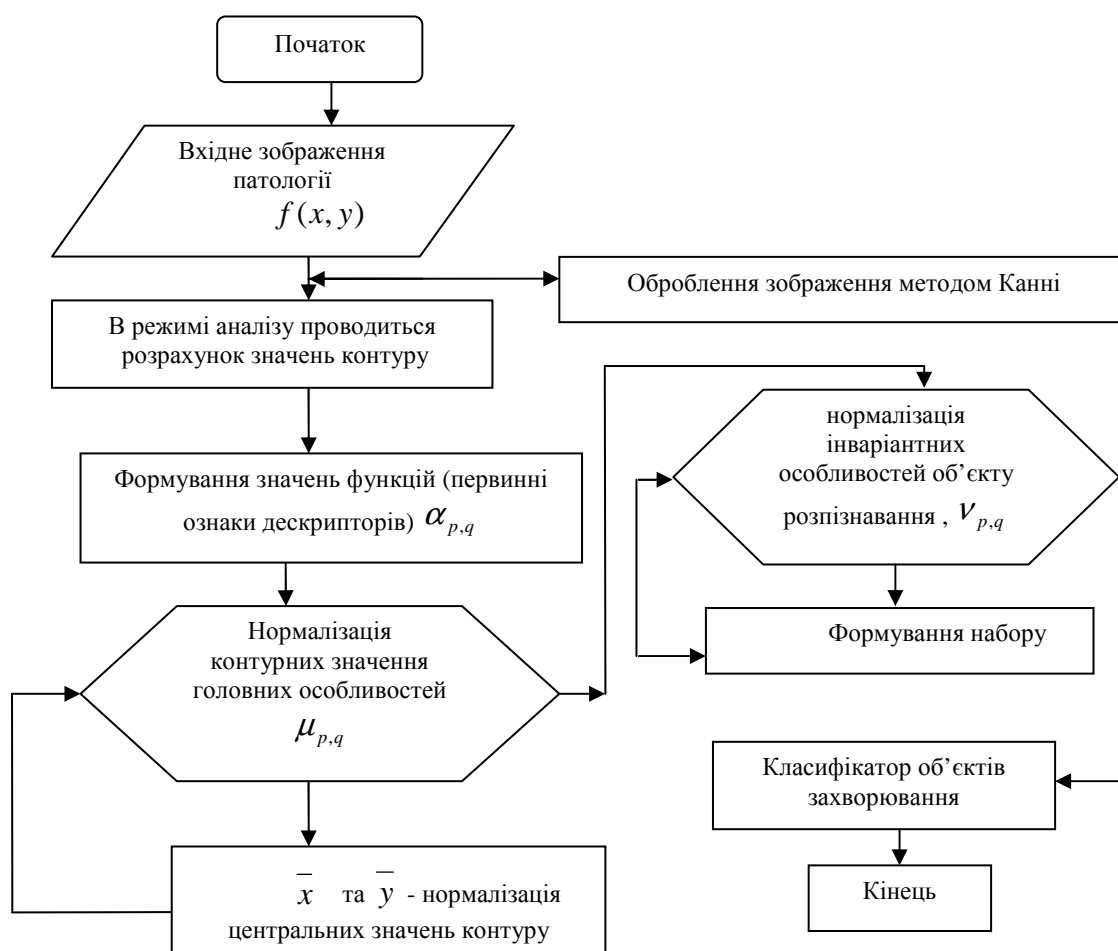


Рисунок 3 – Алгоритм локалізації виявлення дескрипторів за контуром

**Четвертий розділ** присвячено розробленню системи автоматизованої синдромальної діагностики за лапароскопічними зображеннями, структурно-функціональна схема якої наведена на рис. 4.

На відміну від систем подібного класу в структурі розробленої системи є наявними підсистема підтримки прийняття рішень (ПППР), модуль перевірки рішень і тактик лікування на адекватність реальній ситуації в стані здоров'я пацієнта. ПППР побудована за принципами нечіткої логіки і включає в себе блоки настроювання і зберігання функції належності, базу еталонних лапароскопічних зображень (БД), блок введення інформації та її попереднього оброблення, блок нечіткого виводу, блоки формування і поповнення баз знань.

База еталонних зображень створена на основі відеоархіву хірургічного відділення КП «Одеська обласна клінічна лікарня» за період з 2010 по 2017 р. на основі медичної інформаційної системи PACS, яка дозволяє зберігати великі обсяги архівів у стандарті DICOM-V.3.

У тестовій вибірці використано 632 відеопослідовності, з яких взято 12953 еталонних зображень; 377 відеофайлів оброблених (з архіву – у встановленому у часі режимі); 255 відеофайлів безпосередньо під час хірургічного втручання (в режимі реального часу).

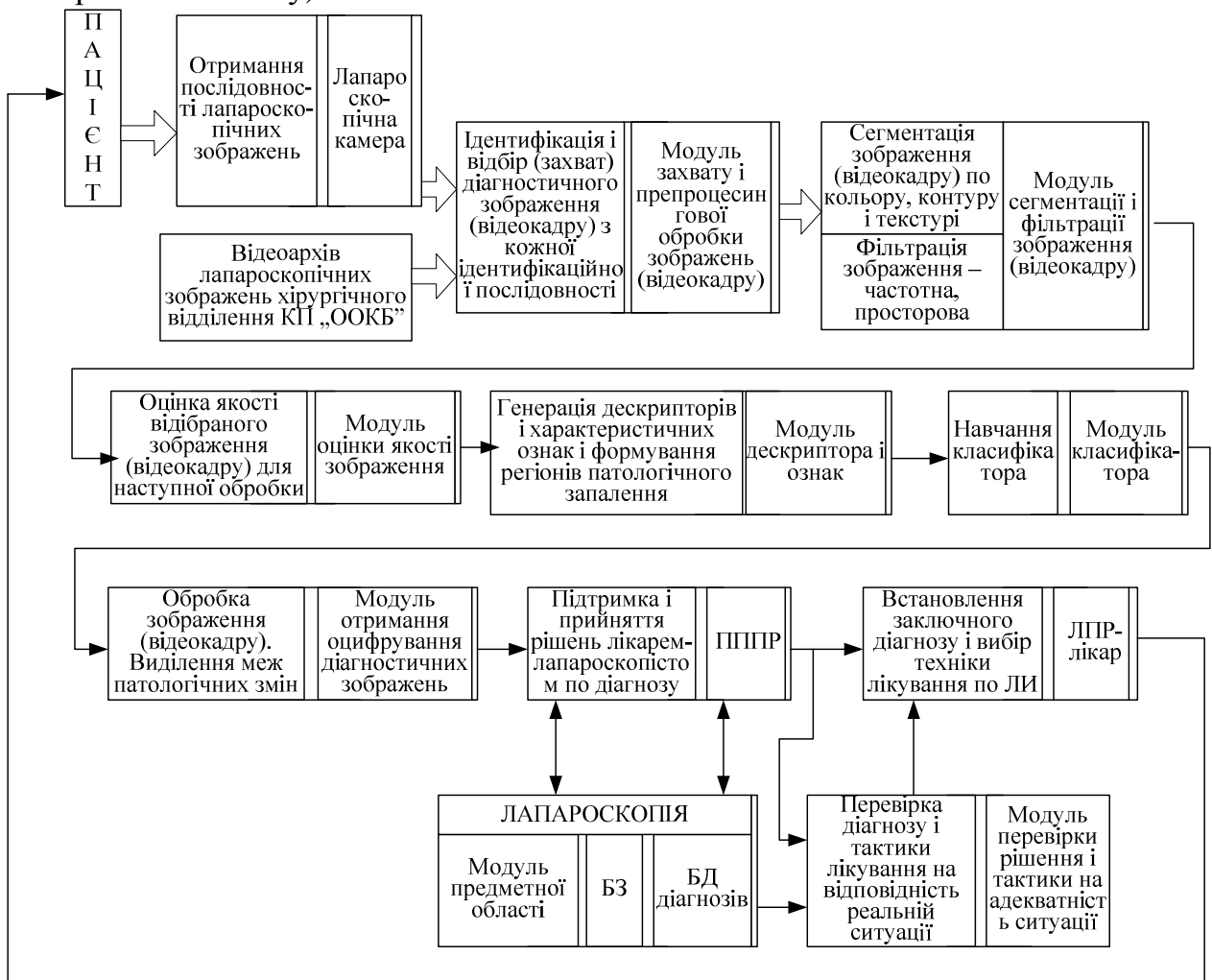


Рисунок 4 – Структурно-функціональна схема системи автоматизованої синдромальної діагностики за лапароскопічними зображеннями

Для постановки діагнозу в роботі проведено систематизацію даних, і побудовано базу даних *MySQL*, яка задовольняє вимогам зберігання, змін та отримання нових даних і використовує технологію *Data Mining*. При переході до вкладки «База» дані пацієнта зберігаються разом з функцією збереження зображення і відео (рис. 5) в PACS-системі у форматі DICOM 3.0.

До складу апаратних засобів (АЗ) системи для діагностики за лапароскопічними зображеннями входять:

- оптико-електронний засіб реєстрації – лапароскопічна камера, при виборі якої досліджувалися: «Karl storz image 1 HD (KARL STORZ GmbH & Co. KG, Німеччина)», «Endoscope camera Olympus YKD-9007 (Olympus, США)», «Wolf Medical -endocam» (Richard Wolf Medical, Німеччина);

- блок управління – «SL-IPM Endoscopic», «Olympus HEP-9006» і «Wolf Medical»;

- освітлювач – «Karl Storz», «Olympus» і «Wolf Medical» (ксенонове і галогенове джерела світла);

- програмно-апаратний засіб автоматизованого оброблення зображень, який складається із елементів комп'ютерної техніки – сервера на базі Windows Server 2003 з характеристиками 2xIntel Quad Core E5420 2.50 GHz, 8GB DDR2(8x1), 2xPS 750W, HDD 2 ТБ, Dell Perc 5i SAS, стандартизованих таблиць для тестування згідно з рекомендаціями VBG установки shinweise для Оптичних систем Raumuber Wachungs anlager SP 9.7/5.

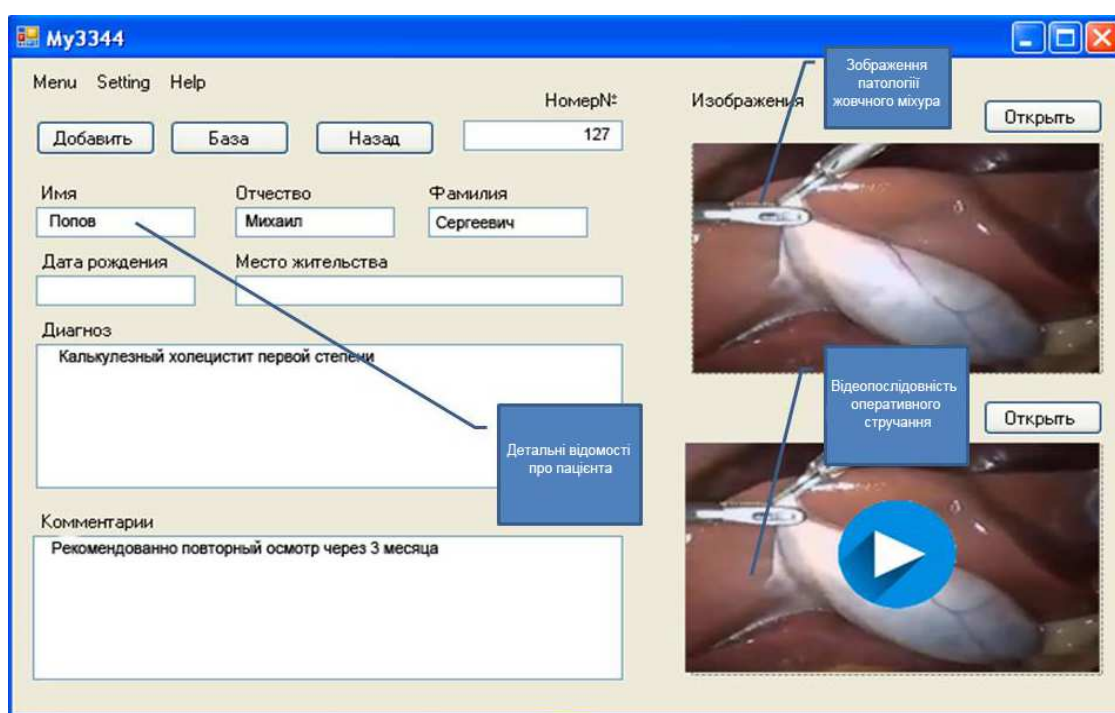


Рисунок 5 – Інтерфейс бази даних пацієнтів

Найбільш низька розподільча здатність (табл. 1) виявилась у камери Olympus; 3-х чіпова лапароскопічна камера «Karl storz image 1 HD (GmbH & Co. KG, Німеччина)» показала результат у 1200 телевізійних лініях (ТВЛ) що відповідає розподільчій здатності відеостандарту FULL HD.



Розподільча здатність лапароскопічних камер

Діаметр лапароскопа	ТВЛ на відстані до об'єкта 3,5-5,5 см	ТВЛ на відстані до об'єкта 9 – 20 см
«Endoscope camera Olympus YKD-9007 (Olympus, США)»	290	150
«Wolf Medical -endocam» (Richard Wolf Medical, Німеччина)	800	550
«Karl storz image 1 HD (GmbH & Co. KG, Німеччина)»	1200	890

Сукупність апаратно-програмних засобів знайшла своє відображення в створенні на основі автоматизованої системи синдромальної діагностики відповідності технологій з підсистемою підтримки прийняття рішень (рис. 6).

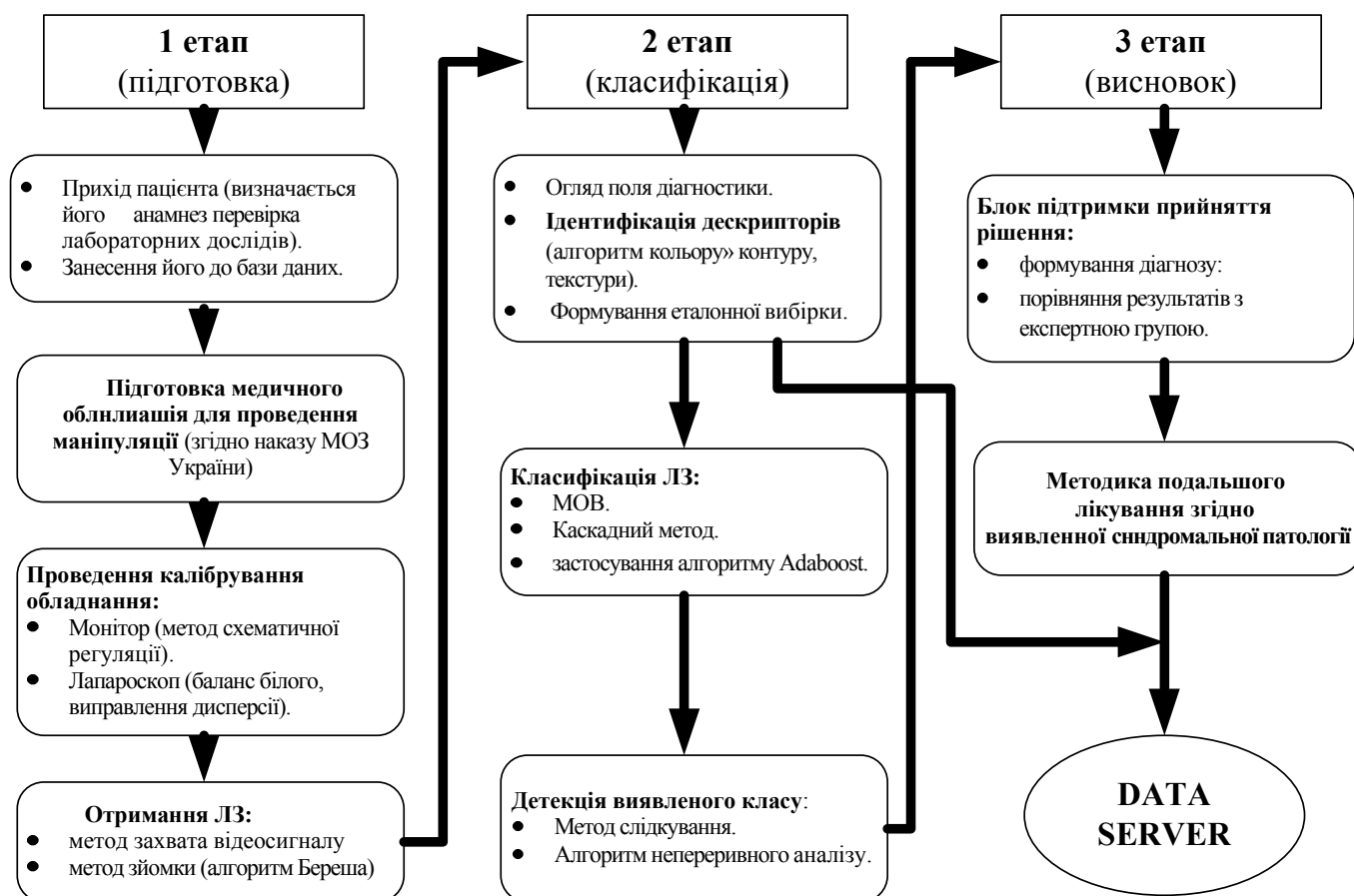


Рисунок 6 – Інформаційна технологія лапароскопічної діагностики органів малої миски у жінок та органів черевної порожнини з функцією підтримки прийняття рішень

Запропонована технологія об'єднує методи оброблення, алгоритми і моделі, інформаційні бази даних і знань та підсистему підтримки прийняття рішення.

В п'ятому розділі представлені результати апробації та експериментальних досліджень ефективності розробленої системи автоматизованої синдромальної діагностики.

Для порівняння використовувалися методи класифікації ознак за допомогою каскадного класифікатора, МОВ та з застосуванням алгоритму adaboost (табл. 2).

Таблиця 2

**Порівняльна таблиця ефективності виявлення патологічних змін на кадрах відеопотоку**

№	Патологія	Методи ідентифікації					
		Алгоритм кольору		Алгоритм контура		Алгоритм текстури	
		Точність	Повнота	Точність	Повнота	Точність	Повнота
1	Метастази печінки	0,7727	0,85	0,9583	0,9583	0,6842	0,6842
2	Пухлина яєчників	0,6444	0,7767	0,5428	0,6951	0,8016	0,7482
3	Цироз	0,7	0,7777	0,2	0,5	0,909	0,909
4	Гепатит	0,6	0,7826	0,1562	0,6251	0,8789	0,9355
5	Кіста печінки	0,875	0,875	0,96	-	0,5454	0,8
6	Холецистит	0,7434	0,9231	0,5526	0,9130	0,625	0,6321
7	Кровотеча	0,753	0,9081	0,1133	0,3822	-	-

При використанні комбінації дескрипторів контуру і кольору найбільша точність (0,94) розпізнавання була досягнута для відеозображень пухлин яєчників, а найменша – при розпізнаванні зображень цирозу та гепатиту – 0,542. При розпізнаванні з застосуванням комбінації всіх трьох дескрипторів точність розпізнавання збільшувалася до 0,942 при базовій величині 0,934.

Послідовне застосування алгоритмів кольору, контуру і текстури забезпечило розпізнавання зображень в діапазоні від 82,5% (кровотечі) до 100,0% (кісти печінки). Метод розпізнавання з використанням ознак Хаара забезпечив розпізнавання зображень від 58,3% (цироз) до 100,0% (кісти печінки). Кількість розпізнаних зображень при застосуванні методу опорних векторів становила від 50,0% (кровотеча) до 88,6% (гепатит), в той час, як при застосуванні каскадного методу цей діапазон склав відповідно 20,0% (гепатит) – 68,0% (метастази печінки, кісти печінки) (табл. 3).

Водночас, кількість хибнопозитивних діагнозів була найнижчою при застосуванні комбінованого алгоритму бустинга і становила від 0 (кісти печінки) до 8,6% (гепатит). Найбільшим числом хибнопозитивні діагнози реєструвалися при застосуванні МОВ, величина яких становила від 12,0% (кісти печінки) до 68,6% (гепатит).

Таким чином, результати діагностики за методом комбінованого застосування розроблених діагностичних алгоритмів перевищили результати послідовного застосування розроблених алгоритмів діагностики за кольором, текстурою та контуром, а також ефективності розпізнавання зображень за ознаками Хаара та за методом опорних векторів.

**Показники підтверджених діагнозів захворювань абдомінальної порожнини і малої миски при різних методах розпізнавання (%)**

№	Нозологічна форма захворювання	Розроблені методи на основі кольору, контуру і текстури	Ознаки Хаара	МОВ	Каскадний класифікатор	Комбінований алгоритм бустинг
1	Метастази (n=25)	23 (92,0)	23 (92,0)	22 (88,0)	17 (68,0)	24 (96,0)
2	Пухлина яєчників (n=150)	147 (98,0)	134 (89,3)	101 (67,3)	97 (64,7)	151 (100,0)
3	Цироз (n=12)	9 (75,0)	7 (58,3)	10 (83,3)	4 (33,3)	11 (91,7)
4	Гепатит (n=35)	27 (77,1)	17 (48,6)	31 (88,6)	7 (20,0)	32 (91,4)
5	Кіста печінки (n=25)	25 (100,0)	25 (100,0)	21 (84,0)	17 (68,0)	25 (100,0)
6	Холецистит (n=120)	109 (90,8)	110 (91,7)	94 (78,3)	45 (37,5)	115 (95,8)
7	Кровотеча (n=240)	198 (82,5)	174 (72,5)	120 (50,0)	110 (45,8)	224 (93,3)

Ефективність розробленого методу діагностики оцінювали у пацієнтів з підтвердженими в процесі подальшого лікування діагнозами захворювань печінки (перша група). Всього в цій групі спостерігали пацієнтів, що страждають цирозом печінки (25 хворих), ехінококоз (22 хворих), ангиоматозом печінки (17 пацієнтів) та 27 хворих з метастазами в тканину печінки злякисних новоутворень. Крім того, в якості контролю спостерігали 35 пацієнтів, у яких виконувалася лапароскопічна діагностика не у зв'язку з захворюванням печінки, але у яких були отримані цифрові знімки печінкової поверхні.

Отримані результати наведено в таблиці 4.

**Оцінка ефективності синдромальної автоматизованої діагностики захворювань печінки з аналізу лапароскопічних знімків (%)**

	Чутливість	Специфічність	Позитивний прогностичний показник (ППП)	Негативний прогностичний показник (НПП)
1	2	3	4	5
Експертна оцінка ЛЗ				
Цироз	11/25 (44,0)	23/35 (65,7)	47,8	62,2
Ехінококоз (солітарна пухлина)	12/22 (54,5)	25/35 (71,4)	54,5	71,4
Ангиоматоз	9/18 (50,0)	21/35 (60,0)	39,1	70,0
Метастазування	13/27 (48,1)	19/35 (54,3)	44,8	57,6

1	2	3	3	5
Синдромальна діагностика системи автоматизованої діагностики				
Ехінококоз (солітарна пухлина)	17/25 (68,0)	29/35 (82,8)	73,9	78,4
Ангіоматоз	19/22 (86,4) #	30/35 (85,7)	79,2	91,0
Метастазу вання	16/18 (88,9) #	31/35 (88,6) #	72,7	93,5 #
Ехінококоз (солітарна пухлина)	22/27 (81,5) #	29/35 (82,9) #	85,7 ##	91,2 ##

### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У дисертаційному дослідженні наведено розв'язок актуальної науково-технічної задачі підвищення ефективності розпізнавання відеолапароскопічних зображень шляхом розроблення алгоритмів, моделей, методів і системи автоматизованої синдромальної діагностики.

1. За результатами аналізу лапароскопічних відеозображень визначено комплекс інформаційних критеріїв/дескрипторів, які дозволяють класифікувати патологічні зміни на лапароскопічних зображеннях за синдромальними ознаками.

2. Удосконалення методу калібрування лапароскопічного обладнання шляхом урахування його оптичних характеристик при ендоскопічному хірургічному втручанні і введення процедури препроцесингу дозволило знизити вплив шуму, підвищити насиченість та контраст елементів зображення і забезпечити, тим самим, якість сегментації відеозображень на рівні HD.

3. Розпізнавання об'єктів патології за допомогою розробленого метода діагностики патологічних синдромів зводиться до виявлення приналежності описових характеристик ділянок лапароскопічних зображень діапазонам значень ознак окремих класів патологічних змін – відповідних патологічних синдромів.

4. Експериментальним шляхом встановлено, що моніторинг появи синдромальної ділянки на кадровій відеопослідовності в полі зору лапароскопічної камери дозволяє автоматично виявляти та проводити детекцію патології в режимі реального часу.

5. Запропоновані алгоритми реалізують задачу ідентифікації об'єктів за диференційними критеріями та ознаками, за умови використання каліброваного лапароскопічного обладнання з можливістю розрахунку передачі кольору і деформації об'єктів.

6. Введення до структури системи автоматизованої синдромальної діагностики за лапароскопічними зображеннями модуля перевірки рішень і тактик лікування на адекватність стану здоров'я пацієнта і підсистеми підтримки прийняття рішення, яка побудована за принципами нечіткої логіки і включає в себе блоки

настроювання і зберігання функцій приналежності, базу еталонних лапароскопічних зображень, блок введення інформації та її попереднього оброблення, блок нечіткого виводу, блоки формування і поповнення бази знань, забезпечило виявлення синдромальної патології на ранніх стадіях захворювання з точністю до 90% від всіх діагностованих випадків.

7. Застосування алгоритму локальних бінарних шаблонів в режимі порівняння шаблонних ЛЗ з досліджуваними і подальшим обчисленням вектора відмінності і застосуванням локального дескриптора дозволило діагностувати текстурні патологічні ознаки на рівні 79% - для цирозу печінки і 62% – для гепатиту

8. Практичне застосування розробленої системи і технології діагностики підтвердило ефективність синдромальної діагностики при нозоформах, які раніше не входили до бази даних навчання класифікатора (ехінококоз, ангіоматоз печінки). Для захворювань печінки найвища специфічність і чутливість відзначаються при діагностиці ангіоматозних запальних змін (88,6%) (88,9%) відповідно, в той час, як найнижчі значення зазначених показників були отримані при діагностиці цирозу печінки (відповідно 52,8% і 58,0%).

9. Застосування розробленої системи автоматизованої синдромальної діагностики забезпечує своєчасну діагностику патологічних процесів і підвищення її ефективності. Водночас, зниження хибно-негативних діагнозів запобігло прогресивному розвитку захворювання у 45 із 140 (32,1%) пацієнтів, а відповідно до експертної оцінки – зменшило ризик виникнення післяопераційних ускладнень у 65,1% з них, прискорило період післяопераційної реабілітації – у 30,5%, а також запобігло конверсії оперативного втручання у 34,6% обстежених пацієнтів.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. А. В. Ляшенко, Л. С. Годлевський, Д. М. Баязітов та А. Б. Бузиновський, “Інформаційно-технічна система автоматизованої лапароскопічної діагностики”, *Радіоелектроніка, інформатика, управління*, № 4, с. 90-96, 2016.

2. А. В. Ляшенко, Л. С. Годлевський, Д. М. Баязітов та А. Б. Бузиновський, “Застосування алгоритма на основі дескриптора текстури в розпізнаванні відеолапароскопічних зображень”, *Вісник Херсонського національного технічного університету*, № 2 (61), с. 212-217, 2017.

3. А. В. Ляшенко, Л. С. Годлевський, Д. М. Баязітов та А. Б. Бузиновський, “Застосування алгоритму на основі дескриптора кольору в розпізнаванні лапароскопічних відеозображень”, *Вісник Житомирського державного технологічного / університету. Серія: Технічні науки*, № 1 (79), с. 128-133, 2017.

4. D. N. Bayazitov, A. V. Lyashenko, and A. B. Buzinovsky, “Computer automatic diagnostics (cad) of appendicitis based on classification of laparoscopic images”. *Вестник Южно-Казахстанской фармацевтической академии. Республиканский научный журн*, № 3 (76), с. 17-21, 2016.

5. А. В. Ляшенко, “Система автоматизованої синдромальної діагностики за лапароскопічними захворюваннями”, *Вісник Хмельницького національного університету, Серія Технічні науки*, № 3 (273), с. 151-158, 2019.

6. K. V. Selivanova, O. G. Avrunin, O. V. Kobylanski, M. I. Palamarchuk, and A. V. Lyashenko, “Biometric Hand tremor identification on graphics tablet”, *Proceeding of SPIE*, p. 7, 2019.

7. D. N. Bayazitov et al., “The effectiveness of automatic laparoscopic diagnostics of liver pathology using different methods of digital images classification”, *Pathologia*, vol. 14, no. 2, pp. 182-187, 2017.

8. Д. Н. Баязитов, А. В. Ляшенко та А. Б. Бузиновський, “Лапароскопическая синдромальная диагностика патологии яичников по характеристикам цифровых изображений”, на *XV–е чтения В.В. Подвысоцкого: Бюллетень материалов научной конференции, УкрНИИ медицины транспорта*, Одесса, 2016, с. 22-23.

9. А. Б. Бузиновський, О. С. Коваленко, Д. М. Баязітов, А. В. Ляшенко та О.М. Ненова “Ефективність лапароскопічних хірургічних втручань із застосуванням системи підтримки прийняття рішень”, на *XV–е чтения В.В. Подвысоцкого: Бюллетень материалов научной конференции, УкрНИИ медицины транспорта*, Одесса, 2016, с. 38-39.

10. А. В. Ляшенко, Д. Н. Баязитов, А. Б. Бузиновський, О.Н. Ненова та К. А. Биднюк, “Анализ цветности цветности цифровых изображений биологической поверхности в дистанционной диагностике заболеваний”, на *XV–е чтения В.В. Подвысоцкого: Бюллетень материалов научной конференции, УкрНИИ медицины транспорта*, Одесса, 2016, с. 123-124.

11. А. В. Ляшенко, Д. М. Баязітов, А. Б. Бузиновський та Л. С. Годлевський, “Автоматизована діагностика стану печінки за відеолапароскопічними зображеннями”, на *Всеукраїнської наук.-метод. відеоконф. з міжнарод. участю В зб: Актуальні питання дистанційної освіти та телемедицини*, Запоріжжя, 2016, с. 28-31.

12. А. В. Ляшенко, Д. М. Баязітов, А. Б. Бузиновський, Г. О. Заровна та А. Ю. Єрін, “Технологія автоматизованої лапароскопічної діагностики стану печінки”, на *Наук. конф. з міжнарод. участю, Конф. молодих вчених Одеського національного медичного університету «Сучасні теоретичні та практичні аспекти клінічної медицини (для студентів та молодих вчених), присвячена 100-річчю з дня народження І. Г. Герцена»*, Одеса, 2017, с. 32-33.

13. Д. М. Баязітов, А. Б. Бузиновський, А. В. Ляшенко та Л. С. Годлевський, “Ретроспективна порівняльна ефективність хірургічного та медикаментозного лікування пацієнтів за методом побудови дерева рішень”, на *Всеукраїнської наук.-метод. відеоконф. з міжнарод. участю Актуальні питання дистанційної освіти та телемедицини 2018*, Запоріжжя, 2018, с. 97-98

14. Д. Р. Баязітов, А. В. Ляшенко та К. О. Приболовец, “Застосування системи розпізнавання лапароскопічних зображень при наданні хірургічної допомоги при апендициті”, на *Наук.-практ. конф. з міжнародною участю, присвяченої 100-річчю з дня народження С.І.Корхова Сучасні теоретичні та практичні аспекти клінічної медицини*, Одеса, 2018, с. 29-30.

15. А. В. Ляшенко, М. Р. Баязітов, С. М. Злепко, Л. Г. Коваль та Я. І. Ярославський, “Особенности сегментации лапароскопических видеозображений”, на *Міжнарод. наук.-практ. конф. Медична наука та практика в умовах сучасних трансформаційних процесів*, Львів, 2019, с. 33-37.

## АНОТАЦІЯ

**Ляшенко А. В. Система автоматизованої синдромальної діагностики за відеолапароскопічними зображеннями. – Кваліфікаційна наукова праця 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, 2019.

У дисертаційній роботі викладені результати досліджень щодо підвищення ефективності та якості оброблення лапароскопічних зображень шляхом побудови моделей, методів і системи автоматизованої синдромальної діагностики.

Розроблено математичну модель виявлення патологічних синдромів при лапароскопічній діагностиці, яка представлена логічною послідовністю етапів. Удосконалено метод калібрування лапароскопічного обладнання для виявлення патологічних змін на лапароскопічних зображеннях шляхом введення процедури препроцесингу та урахування його оптичних характеристик; структуру процесу аналізу лапароскопічних зображень шляхом введення процедури моніторингу появи синдромальної ділянки на кадровій відеопослідовності в полі зору об'єктиву лапароскопічної камери. Отримав подальшого розвитку процес автоматизованої діагностики захворювань за результатами аналізу лапароскопічних відеозображень.

Розроблено систему автоматизованої синдромальної діагностики захворювань органів черевної порожнини і малої миски, яка дозволяє проводити системний аналіз і діагностику стану досліджуваних органів з точністю до 90% від всіх діагностованих випадків.

*Ключові слова:* синдромальна діагностика, лапароскопічне зображення, автоматизована система, оброблення зображень, дескриптор, ідентифікація, критерій оцінювання, класифікація, ефективність.

## АННОТАЦИЯ

**Ляшенко А. В. Система автоматизированной синдромальной диагностики по видеолaparоскопическим изображениям. - Квалификационный научный труд 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, 2019.

В диссертационной работе изложены результаты исследований по повышению эффективности и качества обработки лапароскопических изображений путем построения моделей, методов и системы автоматизированной синдромальной диагностики.

Разработана математическая модель выявления патологических синдромов при лапароскопической диагностике, которая представлена логичной последовательностью этапов. Усовершенствован метод калибровки лапароскопического оборудования для выявления патологических изменений на лапароскопических изображениях путем введения процедуры препроцесингу и учета его оптических характеристик; структуру процесса анализа лапароскопических изображений путем введения процедуры мониторинга

появления синдромальной участка на кадровой видеопоследовательности в поле зрения объектива лапароскопической камеры. Получил дальнейшего развития процесс автоматизированной диагностики заболеваний по результатам анализа лапароскопических видеоизображений.

Разработана система автоматизированной синдромальной диагностики заболеваний органов брюшной полости и малого таза, которая позволяет проводить системный анализ и диагностику состояния исследуемых органов с точностью до 90% от всех диагностированных случаев.

*Ключевые слова:* синдромальная диагностика, лапароскопическое изображения, автоматизированная система, обработка изображений, дескриптор, идентификация, критерий оценки, классификация, эффективность.

### ABSTRACT

**Lyashenko A. V. System of automated syndromic diagnostics by video-laparoscopic images. – Qualification research paper, manuscript copyright.**

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences in specialty 05.11.17 «Biological and medical devices and systems». – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya, 2019.

The dissertation presents the results of research on improving the efficiency and quality of processing laparoscopic images by constructing models, methods and systems for automated syndromic diagnosis.

The global development of computer technology has stated the question, which is to obtain high-quality images of tissues in the area of surgical intervention by laparoscopic method. This, in turn, will help to improve the accuracy and efficiency of diagnosis, to technical improvement of optical systems of laparoscopes, to the further development of software methods and means of improving the quality of digital laparoscopic images and the entire minimally invasive surgery.

This approach significantly reduces the number of errors caused by the optical properties of the system – distortion, astigmatism, chromatic and spherical aberration. The medical-technical aspect of the problem, which is solved in the thesis, is also substantiated. The results of the analysis of the literary content also confirmed the relevance of the problem of classification of structures of the abdominal cavity and small pelvis in women during laparoscopic diagnostic examination or surgery and proved that nowadays endoscopy methods do not always provide the necessary specificity and sensitivity of diagnosis at the automated detection of points in tissues suspected for pathological changes and their purposeful study.

Identifying the main disadvantages of existing automated systems and technologies for the recognition and computer analysis of biomedical images obtained from different sources has focused on addressing the following: the application of methods and approaches based on binary image processing, which significantly complicates the processing color ones; use of non-certified and non-calibrated equipment; the use of mostly offline video processing, although the number of situations requiring online mode is increasing every year.

Thus, the aim of the dissertation thesis is to increase the efficiency of diagnostics in laparoscopic examination of abdominal and small pelvic organs in women by developing



models, methods and systems of automated syndromic diagnostics according to the characteristics of video laparoscopic images.

The object of the study is the process of diagnosis and decision making by a laparoscopic surgeon when performing a laparoscopic diagnostics; the subject of research are the models, methods and system of automated syndromic diagnostics by laparoscopic images.

In the course of research it is revealed that automated diagnosis of diseases according to the results of video analysis requires the implementation of a procedure for the identification of a complex of characteristic descriptors of certain pathological syndromes and the development of diagnostic algorithms for their use to improve the efficiency of the automated syndromic diagnosis system, which allows to identify and detect structures, local previously unspecified pathological syndromes.

The thesis contains the following new scientific results.

1. A mathematical model for the detection of pathological syndromes in laparoscopic diagnosis has been developed, which is represented by a logical sequence of stages: identification of video objects of potential disease objects in the video sequence; recognition and identification of pathological objects; classification of their belonging to the corresponding class; the processing and diagnosis using the criteria of brightness, color, texture, contour, which allowed us to identify separate, previously undetected pathological syndromes on the basis of reliable class structures.

2. The method of calibration of laparoscopic equipment for the detection of pathological changes in laparoscopic images was improved by introducing a preprocessing procedure and taking into account its optical characteristics, which allowed to reduce the noise impact on image quality, to increase its contrast and saturation of elements, and thus to provide high quality of image segmentation.

3. The structure of the process of analysis of laparoscopic images has been improved by introducing a procedure for monitoring the occurrence of a syndromic area on a personnel video sequence in the field of view of a lens of a laparoscopic camera, which provides detection and identification of pathology in real time mode.

4. The process of automated diagnostics of diseases by the results of analysis of laparoscopic video images was further developed by introducing the stage of identification of a complex of characteristic descriptors of certain pathological syndromes and development of a diagnostic algorithm, which ensure the efficiency of the system of automated syndromic diagnostics by color and texture image segmentation with the general structure of calculations as a classifier.

The results of theoretical and practical studies performed in the paper have a clear practical orientation and were used to develop a system of automated syndromic diagnosis of diseases of the abdominal cavity and small pelvis, which provides timely detection of syndromic pathology in the early stages of the disease. The system is implemented in the Odesa regional center of telemedicine.

The structure of the system of automated syndromic diagnostics by laparoscopic images was supplemented with the module of decision checking and treatment tactics for the adequacy of the patient's health and decision support subsystem, which is built on the principles of fuzzy logic and includes blocks of tuning and storage of membership functions, databases of reference frames, the block of input information and its pre-

processing, the block of fuzzy output, blocks of formation and updating of the knowledge base. That ensured the detection of syndromic pathology in the early stages of the disease with an accuracy of up to 90% in all diagnosed cases.

The practical application of the developed system and technology confirmed the effectiveness of syndromic diagnosis in nosoforms that were not previously included in the training database of the classifier (echinococcosis, liver angiomatosis). Testing of the system showed that for liver diseases the highest specificity and sensitivity were observed in the diagnosis of angiomatous inflammatory changes (88.6% and 88.9%, respectively), and the lowest values of these indicators were obtained in the diagnosis of cirrhosis (52.8% and 58%, respectively).

*Keywords:* syndromic diagnosis, laparoscopic imaging, automated system, image processing, descriptor, identification, evaluation criterion, algorithm, classification, efficiency.

Підписано до друку 31.10.2018 р. Формат 29,7 42 1/4  
Наклад 100 прим. Зам. № 2019-141.  
Віддруковано в інформаційному редакційно-видавничому центрі  
Вінницького національного технічного університету.  
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 65-18-06  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

