

УДК 004.415.5

*О.М. Трунов, доц., канд. техн. наук, перший проректор МДГУ ім. Петра Могили, зав. кафедрою медичних приладів та систем,
С.О. Волкова, аспірант МДГУ ім. Петра Могили комплексу «Києво-Могилянська академія», м. Миколаїв*

Особливості застосування критеріїв оцінки синтезованого програмного забезпечення систем гіперспектрального аналізу визначення складу речовин

Постановка проблеми. Рівень сучасних санітарно-гігієнічних норм вимагає ефективного інструментарію екологічного контролю складу речовин, як під час технологічних процесів виготовлення елементів судових конструкцій та покрить поверхонь житлових кают та робочих приміщень, так і під час експлуатації суден. Стрімке впровадження комп'ютеризованих оптичних систем на сучасному етапі розвитку діагностики екологічної безпеки покладає певні обмеження на процес розробки пропонованого програмного забезпечення (ПЗ), в якому використовується цифрова обробка зображень. Крім того, користувачі систем гіперспектрального аналізу висувають базові вимоги щодо якості представленого ПЗ [1,2].

Забезпечення якості синтезованого ПЗ [3,4] полягає у запобіганні появи викривлень обробленого цифрового зображення, що пов'язане з багатьма факторами, такими як: фізичні процеси у чутливих елементах камери, технологічні відхилення оптичного тракту та ін. Крім цього, відхилення спектрофотометричних властивостей матриці камери призводять до непередбаченого спотворення зображення. Корекція цих викривлень вимагає спеціального аналізу і не може бути єдиною для декількох груп приладів, а іноді навіть для партії однакових приладів. Однак відомо, що калібровка дозволяє усунути більшість факторів методологічного впливу на похибку обробки цифрових зображень, а її алгоритм підлягає узагальненню.

На даний час існує досить велика кількість систем обробки цифрових зображень. Серед перспективних розробок, представлених на ринку сучасного спеціалізованого ПЗ слід відзначити: Vision Development Module for LabView, ICARUS (Interaction Calibration&Reconstruction From Image Sequence), ImageProPlus, Camera Calibration Toolbox for MathLab та ін. Проте вдосконалення технології програмного аналізу та корекції перетворень цифрових зображень комп'ютеризованих оптичних систем аналізу складу речовин залишається актуальним і детально розглянуто у роботі [5].

Необхідність структурованого синтезу інтерфейсу програмного забезпечення є актуальним питанням серед фахівців галузі ІТ технологій, тому що створення нового незалежного програмного продукту для розв'язку дискретних задач певного класу не є раціональним шляхом як для розробників, так і для користувачів та загалом не відповідає сучасним вимогам до розробки програмного забезпечення.

Метою статті є створення методики функціонально-незалежного синтезу та критеріїв оцінки якості структурованого ПЗ систем гіперспектрального аналізу складу речовин судових поверхонь та визначення функціональної повноти та оптимальності окремих програмних модулів.

Постановка задачі. Розглянемо синтезоване програмне забезпечення, що призначене для гіперспектрального визначення складу речовин на базі аналізу цифрового зображення та має наступні можливості [6]: а) дослідження властивостей кожного чутливого елемента камери; б) визначення виду функціональної залежності вихідного струму чутливого елемента камери від інтенсивності падаючого світла; в) визначення параметрів функціональної залежності вихідного струму від інтенсивності падаючого світла для кожного чутливого елемента; г) візуалізація процесів калібровки для

кожного чутливого елементу; д) визначення якісних властивостей всієї матриці чутливих елементів; е) візуалізація властивостей всієї матриці чутливих елементів; ж) визначення властивостей та викривлень оптичного тракту; з) визначення впливу на властивості зображень та інтерферограм нерівномірності та коливань освітлення; і) визначення спотворень компонент кольорових зображень; ї) калібровка кольорових зображень у відповідності до факторів впливу. Як приклад детального аналізу особливостей синтезованого ПЗ варто навести функціональні можливості модулю накопичення відкаліброваних даних, представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

Опис функціональних можливостей модулю M_1

Компонент	Функціональні можливості
Чутливий елемент (ЧЕ)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Зберігати інформацію про ЧЕ камери: зберігати дані про позицію ЧЕ камери; зберігати колір, який відображає ЧЕ у форматі RGB. 2. Переглядати дані про ЧЕ з інформаційного масиву елементів: обирати будь-який ЧЕ з масиву; переглядати RGB структуру кольору ЧЕ у числовому/графічному відображенні; вносити зміни в інформацію про ЧЕ шляхом зміни RGB компонента кольору.
Експеримент	<ol style="list-style-type: none"> 1. Зберігати дані про проведені експерименти з ЧЕ. 2. Переглядати дані про проведені експерименти з ЧЕ, встановлюючи кількість ЧЕ в експерименті. 3. Видаляти дані про проведені експерименти з ЧЕ.

Вищевказані можливості синтезованого програмного забезпечення пов'язані із досягненням максимального ступеню уніфікації ПЗ із заданим ступенем функціональної повноти на етапі його розробки, але не віддзеркалюють їх кількісними показниками. Тому, відповідно до вимог щодо забезпечення якості синтезованого ПЗ обробки цифрових зображень введемо означення ступеню

функціональної повноти модуля програми як відношення кількості розв'язуваних модулем задач до загальної кількості задач, що підлягають розв'язку для даного приладу:

$$f_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^N m_i},$$

де f_i - ступінь функціональної повноти модуля програми, m_i - кількість розв'язуваних модулем задач, N - загальна кількість задач, що розв'язується програмою.

Введемо також означення ступеню уніфікації програми у класі приладів як відношення кількості розв'язуваних нею задач до загальної кількості задач, що підлягають розв'язку, тобто:

$$U_j = \frac{\sum_{j=1}^M f_{ji}}{M},$$

де U_j - ступінь уніфікації програми, M - кількість типів у класі приладів.

Синтез структурованого ПЗ калібровки цифрового зображення. Особливістю формування інтерфейсу користувача структурованого ПЗ є врахування базових критеріїв синтезу систем гіперспектрального аналізу у даній предметній області, таких як: специфіка опису та аналізу задачі, способи представлення результатів, загальні вимоги до пропонованих ПЗ (уніфікованість, адаптивність та інтерактивність інтерфейсу користувача, функціональну відкритість програмного забезпечення) та ін.

Серед загальних вимог до інтерфейсу користувача найважливішими є ті, що визначені орієнтованістю ПЗ на непідготовленого користувача, а саме: зрозумілість, зручність, стандартність та можливість переходу програми до повноекранного режиму роботи з зображеннями. Крім того, інтерфейс програмного засобу повинен бути достатньо потужним для вирішення складних

задач, тобто мати можливості опису даних мовою, що є максимально приближеною до предметної області, представляти уніфіковані засоби для гнучкого та адаптивного управління процесом калібрування зображення.

Синтезоване програмне забезпечення калібрування зображення складається з функціонально-взаємопов'язаних модулів, таких як: 1) накопичення відкаліброваних даних M_1 ; 2) калібрування зображення по компонентам RGB M_2 ; 3) графічного відображення даних компоненти RGB ЧЕ M_3 ; 4) визначення якості чутливого елемента M_4 ; 5) візуалізації якості чутливого елемента M_5 ;

Тепер розглянемо процес створення програмного забезпечення, що призначене для якісної обробки цифрових зображень, як процес пошуку раціонального перерозподілу функцій модулів та встановлення необхідних функціонально-достатніх зв'язків для забезпечення їх сумісної роботи. Для цього застосуємо широкі можливості мови теорії множин які дозволяють описати модель синтезованого програмного забезпечення систем гіперспектрального аналізу, що має усі типові риси складних систем [7].

Покладемо, що множина функціонально-взаємопов'язаних модулів пропонованого ПЗ являє собою множину нульового рівня $M = \{M_1^0, M_2^0, \dots, M_i^0\}^*$, причому $i = \overline{1,5}$. У відповідності до особливостей опису систем, що прийнято називати складними, елементами множини M є підмножини експериментів типу $E = \{E_1^1, E_2^1, \dots, E_p^1\}$ - підмножини першого рівня, причому $E \in M$. Підмножиною елементів другого рівня є підмножини чутливих елементів типу $S = \{S_1^2, S_2^2, \dots, S_q^2\}$, де q залежить від модифікації камери (в даному випадку $q \in [0..255]$), причому $S \in E$. Для таких організаційних систем кількість рівнів не

* Умовне позначення множини

вичерпується одним, чи навіть двома, що є предметом подальших досліджень [7].

Таким чином, комплекс множин $C=(M,E,S)$ є структурою у випадку реалізації визначеного переліку властивостей та дій над представленими множинами, і подає модель як результат взаємодії базових елементів на основі реалізованих відносин відповідних підмножин $C = (\{M_1^0, M_2^0, \dots, M_i^0\}, \{E_1^1, E_2^1, \dots, E_p^1\}, \{S_1^2, S_2^2, \dots, S_q^1\})$.

Більш точно модель представлено на рис.1 як схему формування інтерфейсу на прикладі модулю накопичення відкаліброваних даних (експериментів).

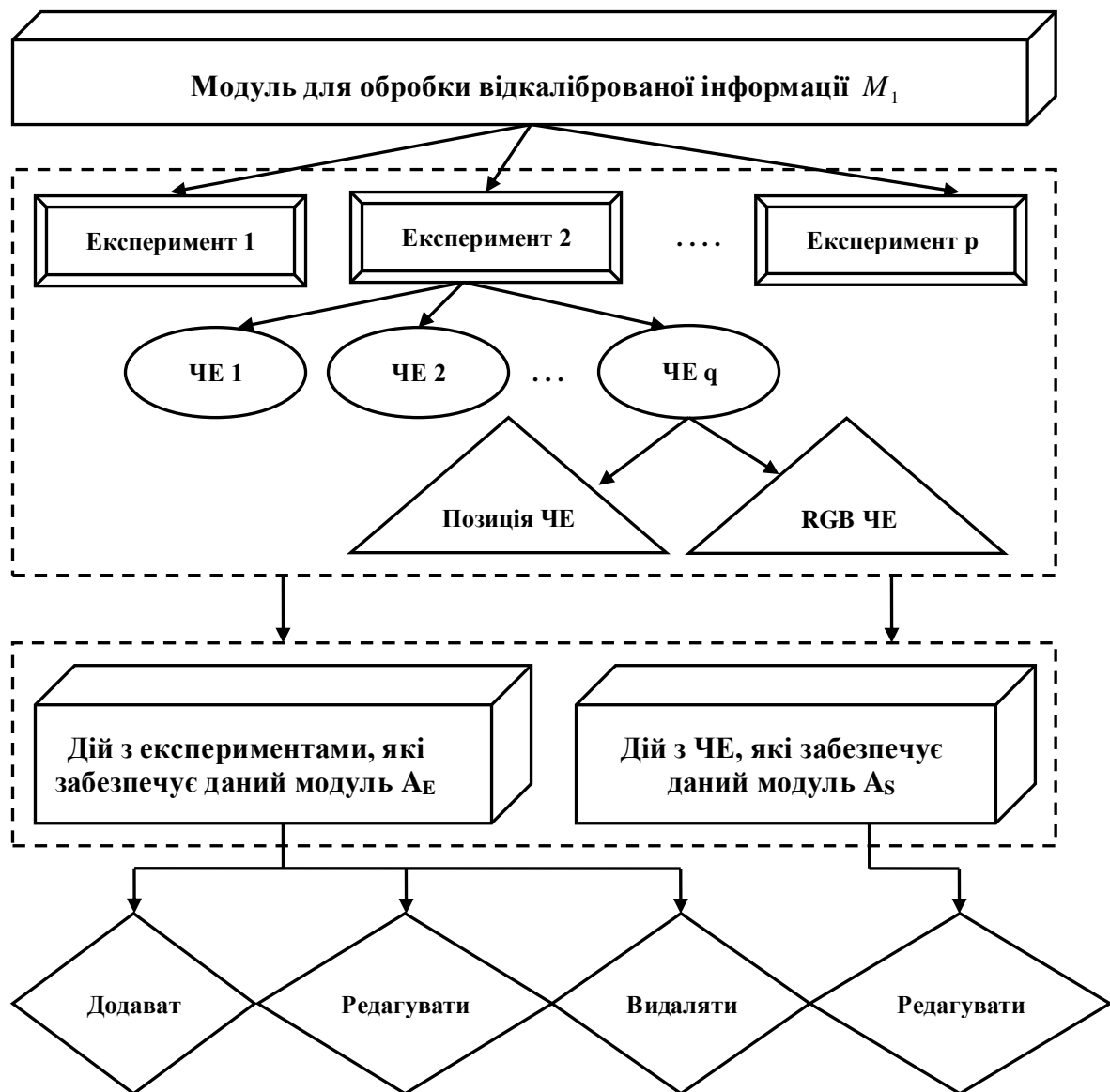


Рис.1. Схема формування інтерфейсу модулю M_1

Для опису структурованого комплексу множин модулю накопичення відкаліброваних даних введемо додаткові підмножини, такі як: підмножина інформаційних даних (*information*) I , відповідно для множини експериментів $I_E = \{I_1, I_2, \dots, I_E\}$ та для множини ЧЕ $I_s = \{I_1, I_2, \dots, I_s\}$; підмножину дій (*actions*) A , відповідно для множини експериментів $A_E = \{A_1, A_2, \dots, A_E\}$ та для множини ЧЕ $A_s = \{A_1, A_2, \dots, A_s\}$.

У відповідності до вищеописаних властивостей структури синтезованого програмного забезпечення, цілеспрямована система може бути визначена як об'єднання двох підмножин $(E, I_E, A_E) \cup (S, I_s, A_s)$, а якщо врахувати, що $(S, I_s) \subset I_E$, то об'єднання має вигляд $(E, (S, I_s), A_E) \cup (S, I_s, A_s)$. Таким чином, модуль накопичення відкаліброваних даних з врахуванням вищеописаних підмножин інформаційних даних та дій над елементами підмножин першого та другого рівня можна представити як структуру $C = (M_1^0, (E, I_E, A_E), (S, I_s, A_s))$.

Слід зазначити, що для елементів підмножин I та A можна дати кількісний опис, а це значить, що існує відображення підмножин I та A в множину дійсних чисел. Властивості множин можуть бути описані також кількісно, тобто існує відображення з множини Q в множину дійсних чисел R_D . Тому цілеспрямована система повинна бути визначена як $C = (M_1^0, ((I_E, R_D), (A_E, R_D)) \cup ((I_s, R_D), (A_s, R_D)))$.

Для опису модулю калібрування зображення із заздалегідь заданих компонент RGB M_2 мовою теорії множин необхідно ввести додаткову підмножину зображень другого рівня $P = \{P_1^2, P_2^2, \dots, P_n^2\}$, причому $P \in E$ та $(P, A_p) \subset I_E$. Структурно-комплексний опис системи гіперспектрального аналізу для модулю калібрування зображення із заздалегідь заданих компонент RGB має наступний вигляд: $C = (M_2^0, (E, I_E, A_E), (P, I_p, A_p))$.

На рис.2. представлено схему формування інтерфейсу програми калібрування зображення для модулю M_2 .

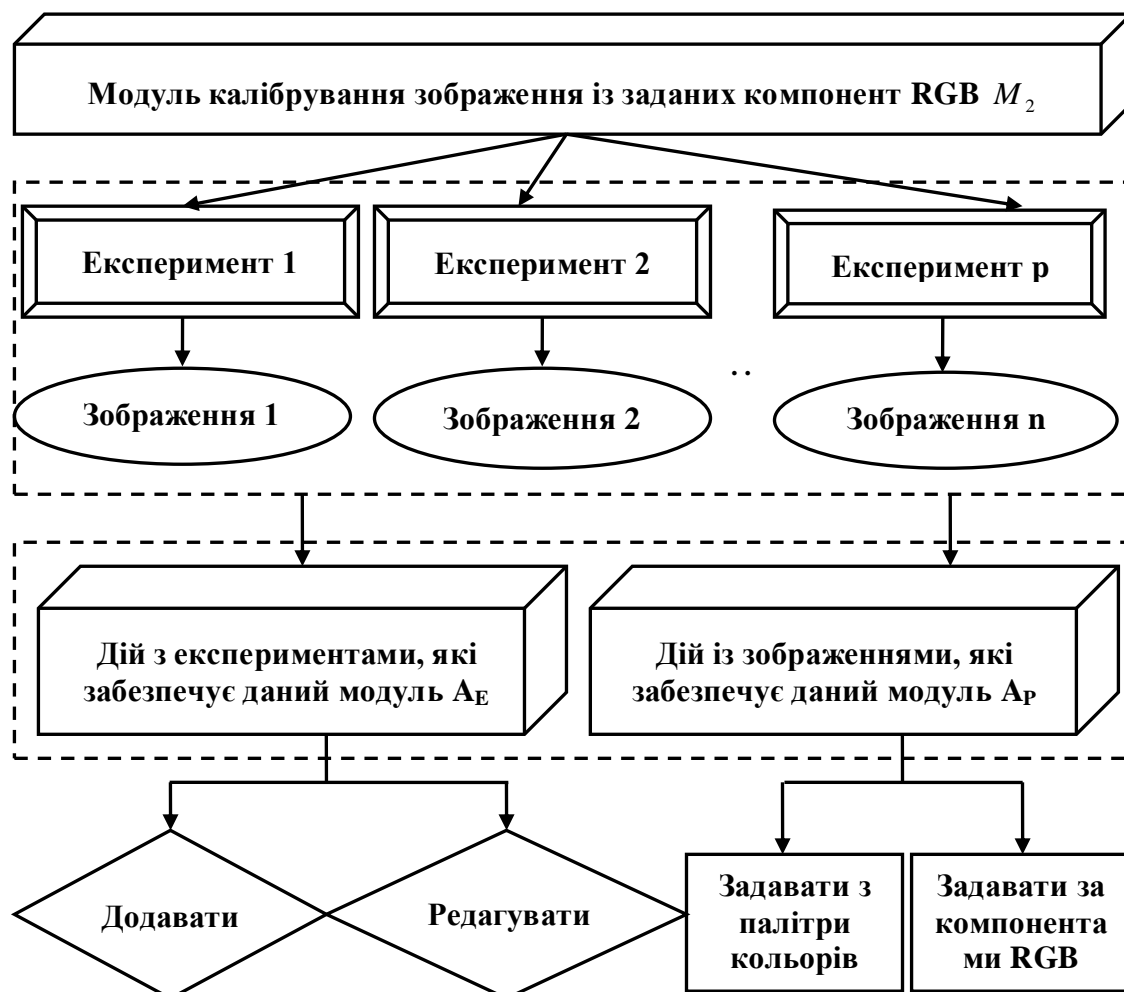


Рис.2. Модуль M_2 ПЗ калібрування зображення

В табл.2 наведено інформацію про можливості модулів M_3 - графічного відображення даних про компоненти RGB ЧЕ та M_4 - визначення якості чутливого елемента, що дозволяє визначати та виводити дані про якість ЧЕ.

Таблиця 2

Опис функціональних можливостей модулів M_3 та M_4

Компонент	Дії, які можна виконувати над компонентом
ЧЕ модулю графічного відображення даних про компоненти RGB	1. Обрати компонент кольору для ЧЕ. 2. Визначати якість ЧЕ: коефіцієнт апроксимації k (тангенс кута нахилу); коефіцієнт апроксимації b (похибка по осі інтенсивності); нелінійність – відхилення від лінійності.

ЧЕ модулю визначення якості чутливого елемента	<ol style="list-style-type: none"> 1. Формувати таблицю якості ЧЕ. 2. Обирати компонент кольору для ЧЕ. 3. Виводити дані про якість ЧЕ.
---	--

На рис.3. приведено схему формування інтерфейсу модулю M_5 .

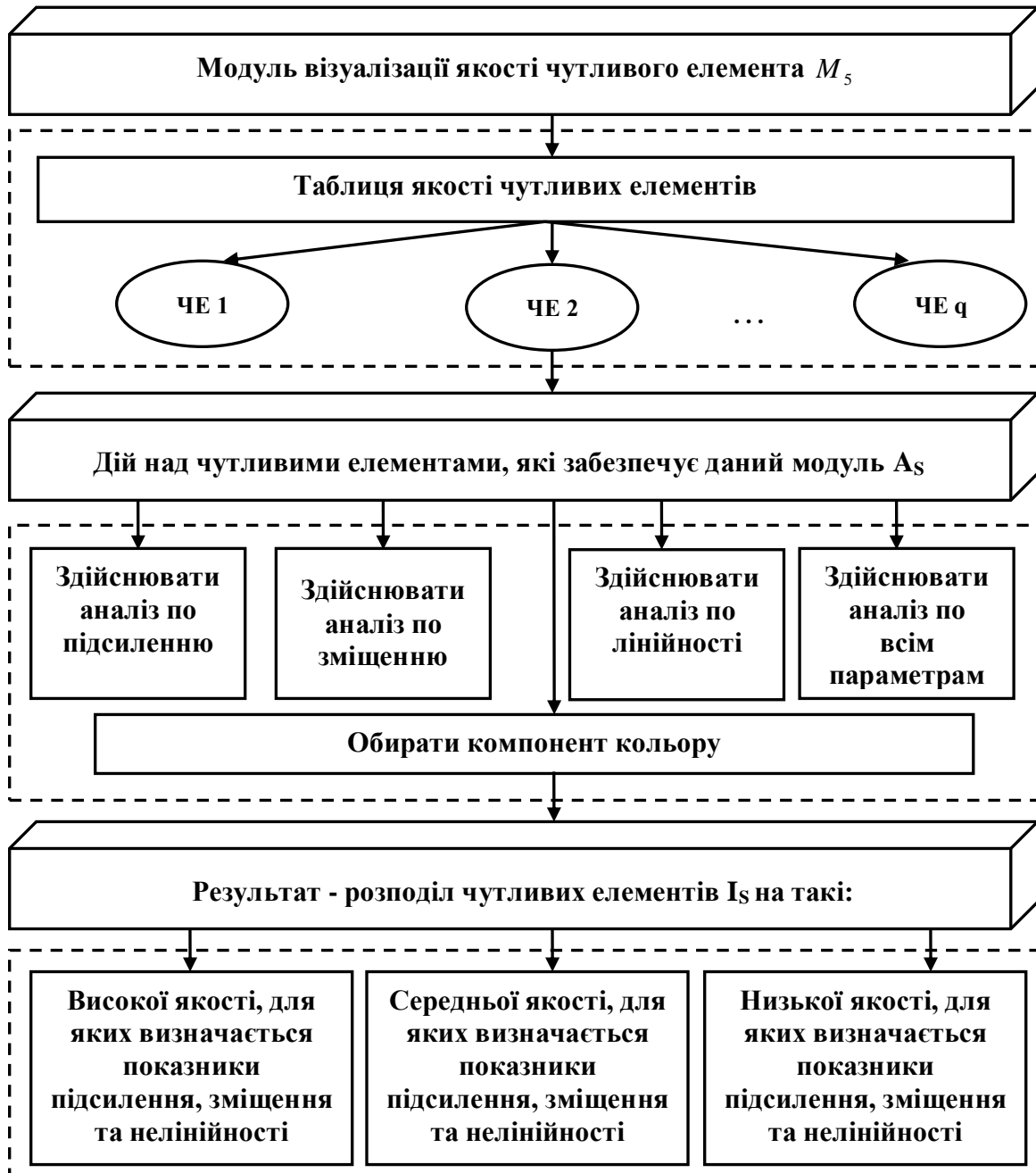


Рис.3. Схема формування інтерфейсу модулю M_5

Опису модулів графічного відображення даних про компоненти RGB чутливого елемента M_3 , визначення якості чутливого елемента M_4 та візуалізації якості чутливого елемента M_5 мовою теорії множин

має наступний вигляд: $S = \{S_1^2, S_2^2, \dots, S_q^2\}$ - підмножина чутливих елементів камери; $I_s = \{I_1, I_2, \dots, I_s\}$ - підмножина інформаційних даних для множини S ; $A_s = \{A_1, A_2, \dots, A_s\}$ - підмножина дій для множини S , причому $(S, A_s) \Rightarrow I_s$. Відповідно до вищевказаного запропоновано комплексно-структурований опис системи гіперспектрального аналізу для модулів M_3, M_4, M_5 : за структурою $C = (M_{[3..5]}^0, [S, A_s], I_s)$.

Застосуємо розроблені кількісні показники для оцінки якості програмного забезпечення на етапі синтезу. Розрахунки ступеню функціональної повноти кожного модуля програми f_i подано у табл.3.

Таблиця 3.

Розрахунки ступеню функціональної повноти модулів програми f_i

Назва модулю	Розрахунки - $f_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^N m_i}$
Модуль накопичення відкаліброваних даних	$f_1 = \frac{m_1}{\sum_{i=1}^{10} m_i} = \frac{3}{10} = 0.3 = 30\%$
Модуль калібрування зображення із заданих компонент RGB	$f_2 = \frac{m_2}{\sum_{i=1}^{10} m_i} = \frac{2}{10} = 0.2 = 20\%$
Модуль графічного відображення даних про компоненти RGB чутливого елемента	$f_3 = \frac{m_3}{\sum_{i=1}^{10} m_i} = \frac{3}{10} = 0.3 = 30\%$
Модуль визначення якості чутливого елемента	$f_4 = \frac{m_4}{\sum_{i=1}^{10} m_i} = \frac{4}{10} = 0.4 = 40\%$
Модуль візуалізації якості чутливого елемента	$f_5 = \frac{m_5}{\sum_{i=1}^{10} m_i} = \frac{4}{10} = 0.4 = 40\%$

Як свідчать значення показників деякі модулі містять дублювання певних функцій. Результати цих розрахунків можуть бути використані для визначення ступеню уніфікації програми U_j у класі приладів. Для прикладу, розглянемо 4 прилади одного класу, наприклад, інтерферометри для визначення складу: порошкоподібної

речовини, рідини, газоподібної речовини та твердого тіла. Розрахунки ступеню уніфікації програми U_j наведені нижче:

$$U_j = \frac{\sum_{j=1}^M f_{ji}}{M} = \frac{1.6}{4} = 0.4.$$

Даний результат свідчить про невисокий рівень уніфікованості представленої програми калібровки зображення, але отриманий показник $U_j < 1$ знаходиться в межах норми, тому що повністю уніфіковане програмне забезпечення повинно приймати значення $U_j = 1$. Для збільшення даного показника необхідно об'єднати ті модулі програми, які призначені для розв'язку одних і тих же задач і певним чином дублюють функції даного ПЗ. Однак, показники ступеню функціональної повноти кожного модуля програми f_i та ступеню уніфікації програми U_j , обрані для оцінки програмного забезпечення не дозволяють комплексно судити про об'єктивну оцінку синтезованого ПЗ. Для забезпечення повноти сукупності параметрів оцінки якості програмного забезпечення досліджуються такі властивості алгоритму калібровки зображення як: збіжність процесів корекції викривлення зображень, мінімізація кількості кроків та інші, що в сукупності із сформованими реляційними моделями дозволяють оцінити ПЗ, що синтезується.

Висновки. 1. Запропонована методика, завдяки застосуванню апарату різнорівневих множин, що містять опис елементів та їх відношень, забезпечує встановлення порушень причинно-наслідкових зв'язків та неузгодженості між компонентами синтезованого програмного забезпечення, що має модульну архітектуру.

2. Використання функціонально-взаємопов'язаних модулів інтерфейсу запропонованого ПЗ формує можливість модифікації синтезованого програмного продукту шляхом внесення змін до

кожного окремого модулю, що також розширює предметну область застосування системи.

3. Введені показники кількісної оцінки уніфікованості та функціональної повноти модульного ПЗ систем гіперспектрального аналізу визначення складу речовин є необхідними, а разом із розробленими реляційними моделями утворюють методику для попереднього аналізу при функціонально-незалежному синтезі структурованого ПЗ.

Список використаної літератури

1. *ISO 9000-3:1997. Quality management and quality assurance standards. Part 3: Guidelines for the application of ISO 9001 to the development, supply and maintenance of software.* – Geneva, 1997. – 32p.
2. *ДСТУ 3918-1999 (ISO/IEC 12207:1995). Інформаційні технології. Процеси життєвого циклу програмного забезпечення.* – Введ. 01.07.2000. – К.: Держстандарт України, 1995. – 55с.
3. *Луцаев В.В. Качество программного обеспечения.* – М.: Финансы и статистика, 1983. – 263с.
4. *Бозм. Б., Браун Дж., Колнар. Х. Характеристики качества программного обеспечения.* - М.: «Мир», 1981. – 206с.
5. *Trunov O.M. Software for express-control of ecological safety // Наукові праці МДГУ ім. Петра Могили: Науково-методичний журнал.* – Миколаїв, 2006. – Випуск 36. – с.31-37. **
6. *Trunov O.M. Software constructional features of the express-control systems about the content of substance // Наукові праці МДГУ ім. Петра Могили.* – Миколаїв, 2005. – Випуск 30. – с.163-176.
7. *Зайченко Ю.П. Дослідження операцій:* – К.: «ВИПОЛ» 2000. – 688с.

** Дослідження проводилося за підтримки *U.S. Civilian Research and Development Foundation*

FEATURES OF QUALITY ESTIMATION CRITERIAS' APPLICATION FOR GYPERSPECTRAL ANALYSES SOFTWARE

Стаття присвячена проблемі оцінки якості структурованого програмного забезпечення на етапі розробки. Детально розглянуто особливості застосування критеріїв оцінки якості синтезованого програмного забезпечення на прикладі системи гіперспектрального аналізу цифрових зображень.

Статья посвящена проблеме оценки качества структурированного программного обеспечения на этапе разработки. Детально рассмотрены особенности применения критериев для оценки качества синтезированного программного обеспечения на примере системы гиперспектрального анализа цифровых изображений.

Article is devoted to the problem of quality rating of structured software on development stage. Features of utilization of quality rating criteria of synthesized structured software are considered in details on example of hyper spectral analysis of image data.