

Технічні науки

УДК 004.42:535.361

Точилін Сергій Дмитрович

*кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж
Запорізький національний технічний університет*

Точилин Сергей Дмитриевич

*кандидат физико-математических наук, доцент,
доцент кафедры компьютерных систем и сетей
Запорожский национальный технический университет*

Tochilin Sergey

*PhD in Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of Department of Computer Systems and Networks
Zaporozhye National Technical University*

**КРОСПЛАТФОРМНЕ ПРИКЛАДНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРА BTC-110S**

**КРОССПЛАТФОРМЕННОЕ ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРА BTC-110S**

**CROSS-PLATFORM APPLICATION SOFTWARE FOR BTC-110S
SPECTROMETER**

***Анотація.** Розроблено кросплатформне прикладне програмне забезпечення для реєстрації спектрометром BTC-110S спектрів джерел оптичного випромінювання та їх математичної обробки. Обробка дозволяє виконувати операції додавання та вирахування над спектрами різних об'єктів дослідження, а також визначати їх коефіцієнт відповідності.*

***Ключові слова:** спектрометр, спектр, випромінювання.*

Аннотация. Разработано кроссплатформенное прикладное программное обеспечение для регистрации спектрометром BTS-110S спектров источников оптического излучения и их математической обработки. Обработка позволяет выполнять операции сложения и вычитания над спектрами различных объектов исследования, а также определять их коэффициент соответствия.

Ключевые слова: спектрометр, спектр, излучение.

Summary. The cross-platform application software has been developed for the BTS-110S spectrometer to record the spectra of optical radiation sources and their mathematical processing. Processing allows to perform addition and subtraction operations on the spectra of various objects of study, as well as to determine their coefficient of compliance.

Key words: spectrometer, spectrum, radiation.

Постановка проблеми. Спектральні прилади, які працюють у діапазоні довжин хвиль оптичного випромінювання, широко використовуються в наукових і прикладних дослідженнях. З їх допомогою реєструються спектри різних джерел оптичного випромінювання, зокрема, лазерів та світлодіодів, а також матеріальних середовищ при виникненні в них вторинного випромінювання. Прикладом вторинного випромінювання є люмінесценція, яка може виникати в конденсованих середовищах під дією ультрафіолетового світлодіодного (первинного) випромінювання.

Сучасні спектральні прилади в багатьох випадках є цифровими. Керування їх роботою, а також прийом та обробка даних спектральних вимірів, здійснюється спеціальним прикладним програмним забезпеченням (ПЗ). При цьому команди керування передаються приладу з використанням одного з портів комп'ютера (COM, LPT або USB). Цей же порт використовується для прийому даних вимірів.

Як правило, компанії, які виготовляють спектральне устаткування, поставляють цифрові спектральні прилади та комп'ютерні програми для їх використання (прикладне ПЗ) у комплекті. У ряді випадків використання цих програм жорстко прив'язане до певної платформи. Подібні особливості має прикладне програмне забезпечення для спектрометра ВТС-110S [1], його функціональні можливості наведені в [2].

Також ПЗ, яке поставляється разом з приладами, може не включати необхідних для оптичних досліджень процедур обробки спектральних даних.

При цьому розробка кросплатформного прикладного програмного забезпечення для цифрових спектральних приладів, у тому числі й для ВТС-110S, яке керує їх роботою, реєструє та обробляє спектри джерел оптичного випромінювання за допомогою необхідних процедур, є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існують публікації [3; 4], у яких повідомляється про розробку прикладного ПЗ для спектрометра ВТС-110S. При цьому в роботі [3] також наведені характеристики та команди керування для цього цифрового спектрального приладу. У той час в [4] описаний кросплатформний програмний комплекс для спектрометра ВТС-110S, який був створений з допомогою мови програмування C++. Він, зокрема, забезпечує реєстрацію приладом спектрів джерел оптичного випромінювання та може провадити над ними математичні операції, у тому числі і арифметичні (додавання, вирахування, множення, ділення).

У наш час найбільш популярною мовою програмування, відповідно до індексу ТЮВЕ [5], є Java™. Вона кросплатформна та широко використовується в прикладних цілях.

Java має розвинений API, який вільно розповсюджується. До нього відносяться, як середовища розробки, зокрема, IDE NetBeans [6], так і різного роду пакети, які підвищують функціональні можливості додатків.

Тим часом прикладного ПЗ для реєстрації спектрометром ВТС-110S спектрів джерел оптичного випромінювання та їх обробки на мові програмування Java не розроблено.

Також останнім часом при оптичних дослідженнях для кількісного порівняння спектрів вторинного випромінювання (СВВ) різних речовин використовують їх різницевий спектр (РС) $J_X^E(\lambda)$ [7; 8], який визначають за допомогою виразу:

$$J_X^E(\lambda) = I - |I_X(\lambda) - I_E(\lambda)|, \quad (1)$$

де λ - довжина хвилі, $I_E(\lambda)$, $I_X(\lambda)$ - нормований СВВ для речовини еталона (E) та речовини (X), яку аналізують, відповідно.

Кількісне порівняння $I_X(\lambda)$ та $I_E(\lambda)$ на основі їх РС у спектральному діапазоні ΔL , який обмежений довжинами хвиль λ_1 та λ_2 ($\lambda_2 > \lambda_1$), здійснюється за допомогою коефіцієнта відповідності K [7; 8]:

$$K = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (I - |I_X(\lambda) - I_E(\lambda)|)_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N J_X^E(\lambda_i), \quad (2)$$

де N - число замкнутих інтервалів $\Delta\lambda$ в діапазоні ΔL , $\Delta\lambda \ll \Delta L$, $N = (\lambda_2 - \lambda_1) \cdot \Delta\lambda^{-1}$.

Відповідно до (2) при $\Delta\lambda \rightarrow 0$ коефіцієнт K можна представити у вигляді:

$$K = (\lambda_2 - \lambda_1)^{-1} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} J_X^E(\lambda) d\lambda, \quad (3)$$

Як слідує з (3), K - середнє значення різницевого спектра в спектральному діапазоні довжин хвиль від λ_1 до λ_2 .

У той час при порівнянні $I_X(\lambda)$ та $I_E(\lambda)$ певний інтерес мають і дані про екстремальні значення $J_X^E(\lambda)$.

Відзначимо також, що вирази (1) та (3) можна використовувати і для порівняння оптичних спектрів джерел первинного випромінювання.

Тим часом кросплатформних програм, які формують та аналізують різниці CBV на основі (1) і (3), не розроблено.

Мета статті. У даній роботі була поставлена задача розробки з допомогою мови програмування Java кросплатформного прикладного ПЗ для реєстрації спектрометром ВТС-110S спектрів джерел оптичного випромінювання та їх математичної обробки, яка дозволяє виконувати операції додавання і вирахування над спектрами різних об'єктів дослідження, а також здійснювати кількісне порівняння між ними.

Виклад основного матеріалу. Для розв'язку поставленої задачі був створений Java-додаток ST_Complex, який при роботі з спектрометром ВТС-110S використовував інтерфейс RS-232 та протокол ASCII. Програма мала графічний інтерфейс користувача (Graphical User Interface - GUI), що розташовувався на панелі з вкладками: «Registration», «Matching» та «Addition/Subtraction».

Набір компонентів GUI вкладки «Registration» використовувався для керування процесом реєстрації спектрів джерел оптичного випромінювання спектрометром ВТС-110S, а також відображення спектральних даних. На початку роботи з ним за допомогою списку, що розкривається, та кнопки «Port», обирався СОМ-порт спектрометра, а при натисканні на кнопку «Time» задавався час експозиції спектра (у мілісекундах), чисельне значення якого попередньо встановлювалося в поле вводу.

Запуск реєстрації спектра здійснювався з допомогою кнопки «Run». При цьому необхідні для роботи програми коефіцієнти, які визначають калібрування ВТС-110S по довжинах хвиль, знаходилися у файлі Coefficients.csv.

Зареєстрований спектр відображався на панелі додатку в графічному вигляді.

При «включенні» прапорця «Table» дані спектральних вимірів могли

додатково представлятися і у табличному вигляді.

Крім того, спектральні дані можна було зберегти у файлах формату *.csv та при необхідності одержати до них доступ за допомогою меню «File».

У той час інформація про створений Java-додаток та особливостях його роботи була доступна при використанні меню «Help».

На рис. 1 як приклад зображено вікно програми ST_Complex із спектром оптичного випромінювання (СОВ), що був зареєстрований при одночасному освітленні оптоволоконного входу ВТС-110S твердотільним (DPSS) та напівпровідниковим лазером, які генерували випромінювання у видимій області з довжиною хвилі 532 нм і 655 нм, відповідно.

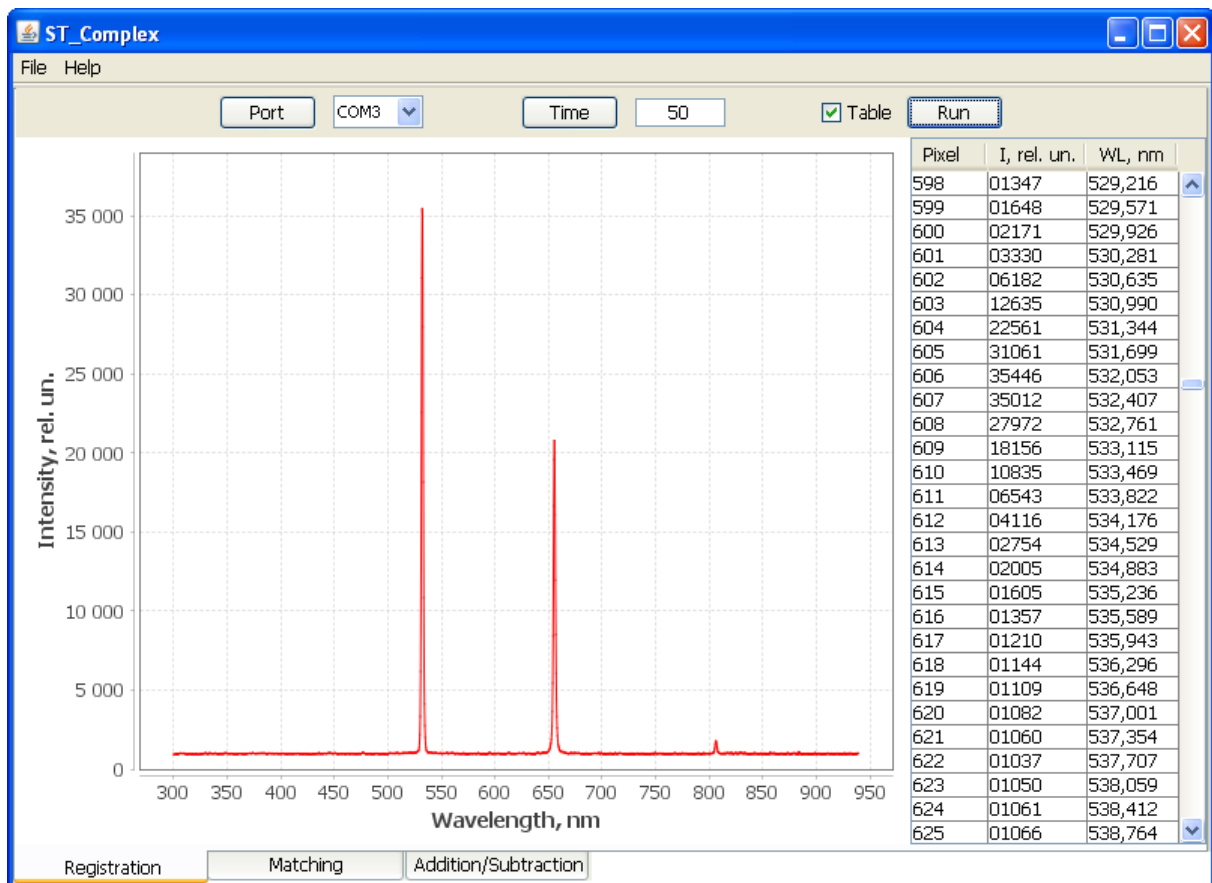


Рис. 1. Вікно програми ST_Complex із сумарним СОВ твердотільного (DPSS) та напівпровідникового лазера

На рис. 2 зображено вікно програми ST_Complex із спектром оптичного випромінювання RGB-світлодіода. При реєстрації COB був обраний режим його роботи при якому $I_R \cong I_G \cong I_B$, де I_R , I_G і I_B – максимум спектральної інтенсивності для напівпровідникового джерела, яке входить до складу RGB-світлодіода, з червоним, зеленим та синім кольором світіння, відповідно.

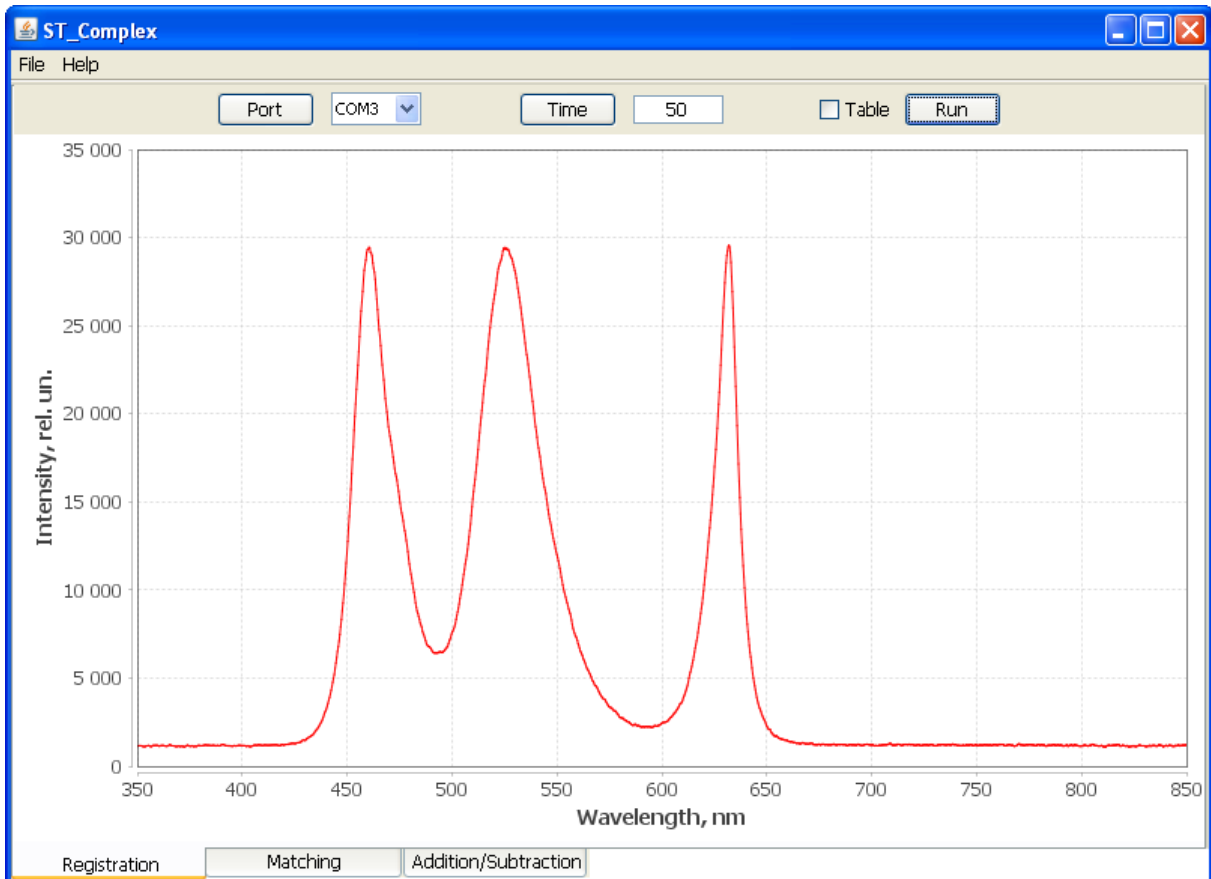


Рис. 2. Вікно програми ST_Complex із COB RGB-світлодіода при $I_R \cong I_G \cong I_B$

Набір компонентів GUI програми ST_Complex, що розташовувався на вкладці «Matching», використовувався для формування та обробки PC на основі спектрів, які були зареєстровані спектрометром BTC-110S.

При роботі з ним за допомогою меню «File» COB еталонного об'єкта та об'єкта аналізу завантажувалися з *.csv файлів і відображались на панелі додатка.

Спектральний діапазон ΔL для формування РС визначався за допомогою прапорців «Complete» і «Part».

При «включенні» прапорця «Complete» використовувався весь робочий діапазон довжин хвиль ВТС-110S, а установка у той же стан прапорця «Part» обмежувало ΔL значеннями довжин хвиль (у нанометрах), які попередньо були введені в поля вводу «Low value» і «High value», відповідно.

Після натискання на кнопку «Calculate» програма ST_Complex розраховувала різницевий спектр, потім виконувала його чисельне інтегрування в діапазоні ΔL , а також розрахунок коефіцієнта K із використанням виразу (3). Крім того, визначала мінімальне J_{min} та максимальне значення J_{max} залежності $J_X^E(\lambda)$.

При цьому РС відображався на панелі додатка в графічному вигляді, а значення K , J_{max} і J_{min} з'являлися в полях вводу «K», «J max» та «J min», відповідно.

Спектральні дані $J_X^E(\lambda)$ поміщалися в таблицю додатка. У ній фон рядків із параметрами екстремумів спектра здобував сірий колір.

РС можна було зберегти у файлах формату *.csv та при необхідності одержати до них доступ за допомогою меню «File».

На рис. 3 як приклад зображено вікно програми ST_Complex із різницевим СВВ та значеннями K , J_{max} і J_{min} , які були отримані при порівнянні спектрів фотолюмінесценції кольорового паперу - червоного та жовтого (вибирався як еталон).

Фотолюмінесценція (ФЛ) паперу збуджувалася ультрафіолетовим світлодіодним випромінюванням. При реєстрації її спектрів використовувалися абсорбційні світлофільтри.

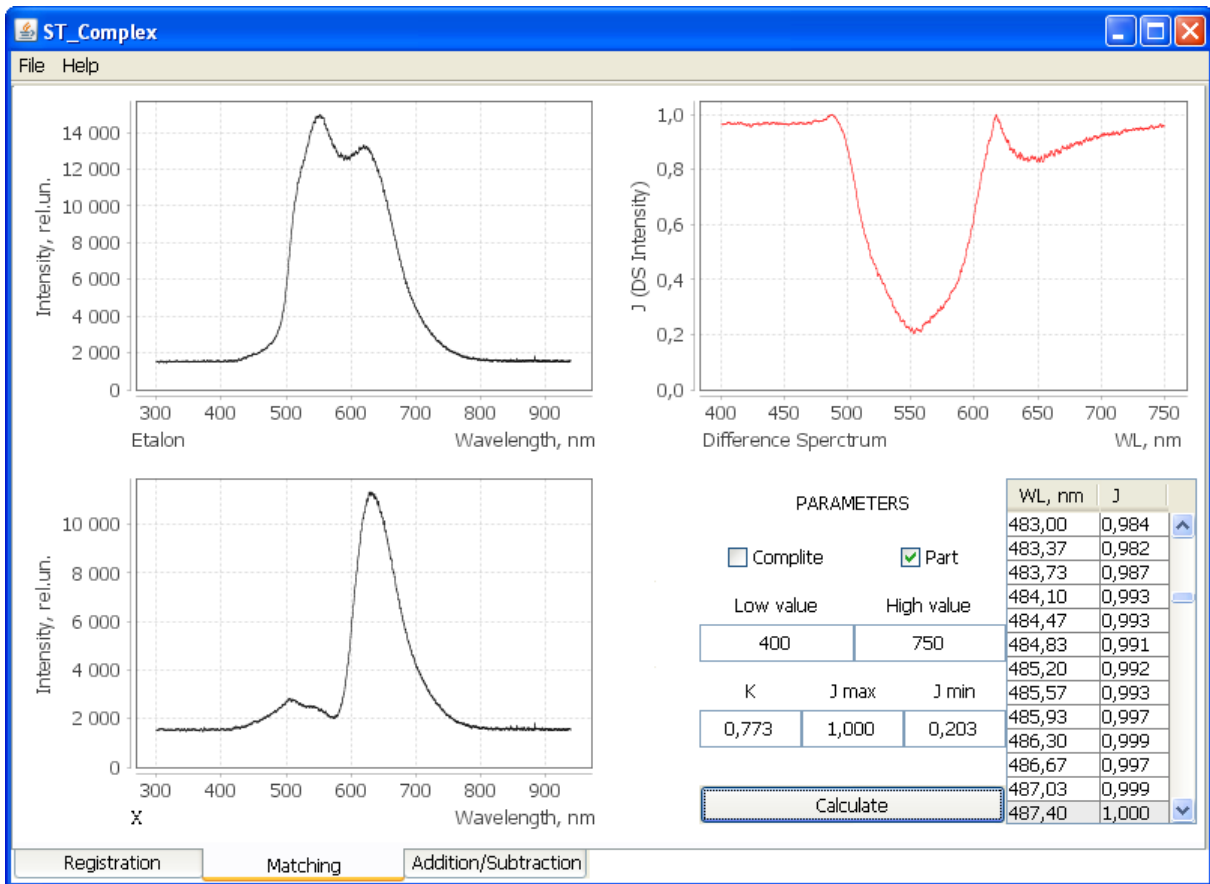


Рис. 3. Вікно програми ST_Complex при порівнянні спектрів фотолюмінесценції червоного та жовтого паперу

На рис. 4 зображено вікно програми ST_Complex при порівнянні спектрів оптичного випромінювання світлодіодів із бурштиновим (Amber) та червоно-жовтогарячим (Red-Orange) кольором світіння. Як еталонне джерело випромінювання вибирався світлодіод із бурштиновим кольором світіння.

Набір компонентів GUI програми ST_Complex, що розташовувався на вкладці «Addition/Subtraction», дозволяв виконувати математичні операції додавання або вирахування над спектрами джерел оптичного випромінювання, які були зареєстровані спектрометром ВТС-110S (подібна обробка спектральних даних застосовується, зокрема, при проведенні багатокomпонентного аналізу [9]).

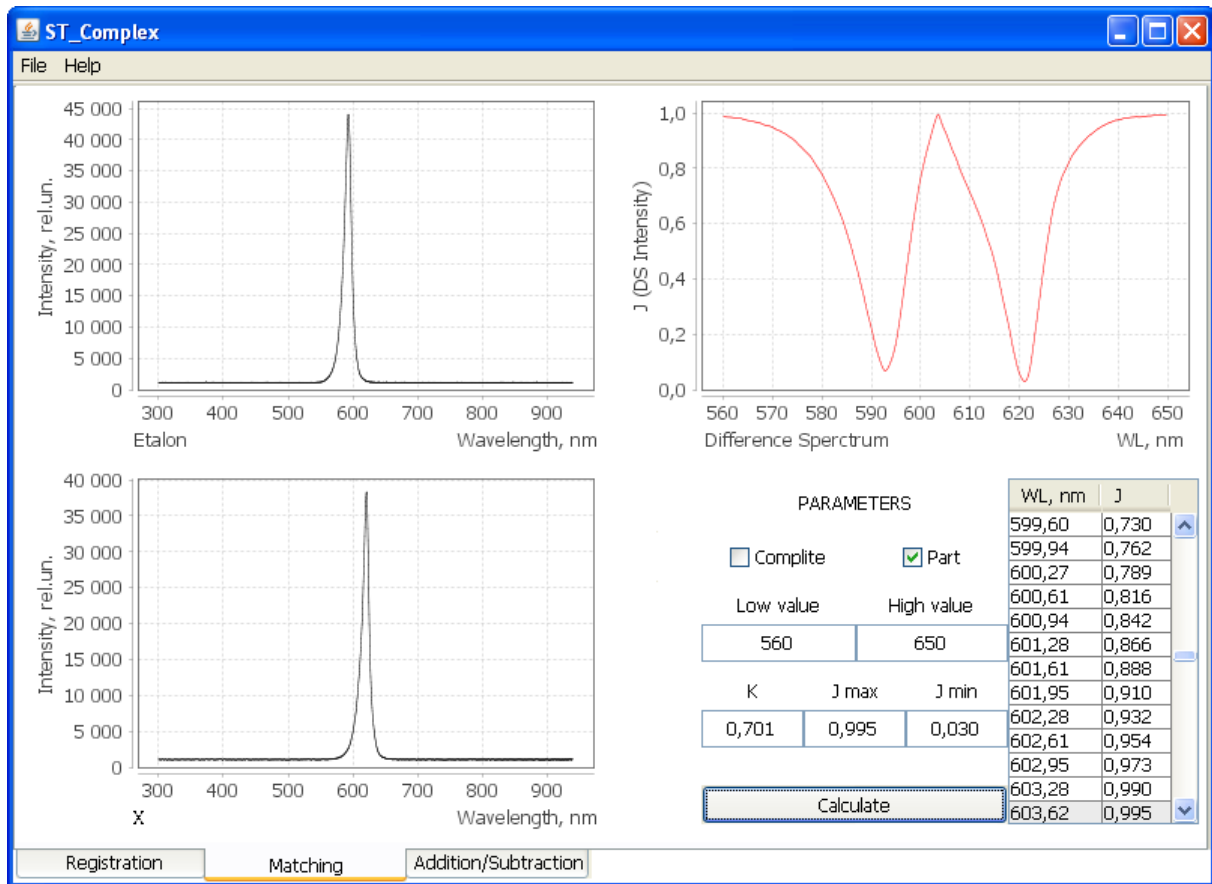


Рис. 4. Вікно програми ST_Complex при порівнянні спектрів випромінювання світлодіодів із бурштиновим та червоно-жовтогарячим кольором світіння

На початку роботи з ним при використанні меню «File» COB джерел S_a , S_b завантажувалися з *.csv файлів і відображалися на панелі додатка.

У той час перед розрахунком результуючого спектра S_r за допомогою повзунків GUI встановлювалися необхідні значення коефіцієнтів K_a і K_b , які прямо пропорційно змінювали зареєстровану спектральну інтенсивність (для всіх 2048 спектральних точок) S_a і S_b , відповідно.

Тип математичної обробки для одержання S_r визначався за допомогою прапорців GUI. «Включення» прапорця « $S_r = K_a S_a + K_b S_b$ » вказувало на підсумовування COB, а переведення у той же стан прапорця « $S_r = K_a S_a - K_b S_b$ » або « $S_r = K_b S_b - K_a S_a$ » визначало відповідне вирахування одного спектра з іншого.

При натисканні на кнопку «Calculate» програма ST_Complex розраховувала спектр S_r , який відображався в графічному вигляді на панелі додатка, а його дані поміщалися в таблицю.

Спектр S_r можна було зберегти у файлі формату *.csv і при необхідності одержати до нього доступ за допомогою меню «File».

На рис. 5 як приклад зображено вікно програми ST_Complex при вирахуванні із спектра (S_a) фотолюмінесценції жовтого паперу спектра (S_b) ФЛ червоного.

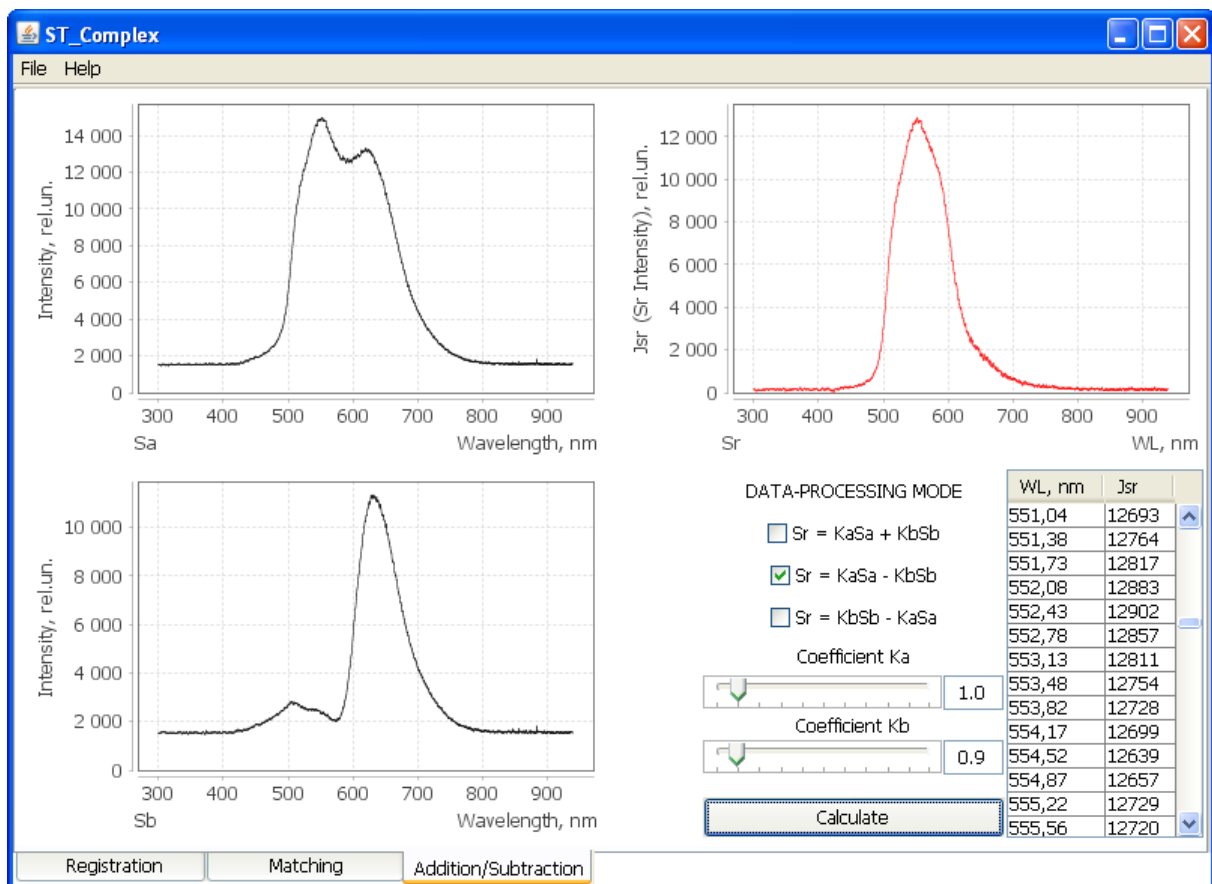


Рис. 5. Вікно програми ST_Complex при вирахуванні спектра ФЛ червоного паперу із спектра фотолюмінесценції жовтого

Висновки та пропозиції. Таким чином, у даній роботі був розроблений кросплатформний Java-додаток ST_Complex (прикладне ПЗ) для реєстрації спектрометром BTS-110S спектрів джерел оптичного випромінювання та їх математичної обробки. Обробка дозволяє

виконувати операції додавання та вирахування над спектрами різних об'єктів дослідження, а також здійснювати їх кількісне порівняння.

При кількісному порівнянні спектрів об'єктів дослідження програмою формується різницевий спектр та визначається коефіцієнт відповідності.

Надалі передбачається модернізувати Java-додаток ST_Complex, зокрема, забезпечити можливість його роботи в бінарному режимі обміну даними із спектрометром ВТС-110S та в режимі, який реалізує безперервну реєстрацію та відображення спектральних даних.

Література

1. Spectrometers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.science-surplus.com/products/spectrometers> (дата звернення: 12.03.2019).
2. Hopkins Jeffrey L. Using Commercial Amateur Astronomical Spectrographs / Jeffrey L. Hopkins. – London: Springer, 2013. – 286 p.
3. Кобелев Д.И. Разработка программного комплекса для управления спектрометром ВТС-110S / Д.И. Кобелев, В.И. Иордан // Сборник научных статей международной конференции «Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования», Барнаул, 20-24 октября 2015. – Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2015. – С. 1109-1114.
4. Иордан В.И. Программный комплекс для регистрации и первичной обработки спектрограмм источников оптического излучения в процессе их регистрации спектрометром ВТС-110S / В.И. Иордан, В.И. Кобелев, А.А. Лапин // Многоядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов. № 7. – 2017. – С. 220-227.

5. TIobe Index for March 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tiobe.com/tiobe-index/> (дата звернения: 12.03.2019).
6. Монахов В. Язык программирования Java и среда NetBeans / В. Монахов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 704 с.
7. Умаров М.Ф. Оптическая спектроскопия биоактивных препаратов / М.Ф. Умаров, В.С. Горелик. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 147 с.
8. Войнов Ю.П. Разностная флуоресцентная спектроскопия структуры и состава биоактивных препаратов / Ю.П. Войнов, В.С. Горелик, М.Ф. Умаров, С.В. Морозова // Краткие сообщения по физике ФИАН, 2011. – № 11. – С.13-18.
9. Бёккер Ю. Спектроскопия / Ю. Бёккер. – М.: Техносфера, 2009. – 528 с.