

УДК 543.422

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА СОСТАВА ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ СРЕД ПО ДОМИНИРУЮЩЕЙ КОМПОНЕНТЕ

А. М. Василевский,

доктор техн. наук, профессор

Г. А. Коноплев,

канд. техн. наук, ассистент

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

Описана информационно-измерительная система анализа поликомпонентных сред по ультрафиолетовым спектрам экстинкции (200–400 нм). Рассмотрена математическая модель поглощения таких сред, методика проведения градуировки и расчета концентрации доминирующего компонента. Приводятся характеристики автоматизированного многоканального спектроанализатора. Показана возможность применения разработанной системы для анализа поликомпонентных жидких биологических сред.

Informational and measuring system for the analysis of multicomponent media by ultraviolet spectrophotometry (200–400 nm) is described. The mathematical model of media absorption, the methods of calibration and determination of the principal component concentration are considered. Technical characteristics of the automatic spectroanalyzer are presented. The possibility of analysis of multicomponent biological fluids by the method presented is proved.

Метод абсорбционного спектрального анализа широко используется в науке и технике. Преимуществами данного метода являются оперативность, высокая воспроизводимость, малый объем пробы, неинвазивность, возможность реализации мониторинга состава среды в проточном режиме, сравнительно невысокая стоимость используемой аппаратуры, отсутствие необходимости в использовании реактивов, низкая трудоемкость и возможность автоматизации. Отметим лишь несколько научных и практических областей, в которых важное место занимает абсорбционный спектральный анализ – контроль экологического состояния среды обитания человека, клинико-лабораторные биохимические исследования, фармакологические исследования, контроль качества пищевых продуктов.

Наиболее информативной для спектрального анализа жидких сред является ультрафиолетовая (УФ) область, где находятся электронные полосы поглощения многих хромофорных групп [1], а современные автоматизированные УФ-спектрофотометры, построенные на основе многоэлементных приемников излучения, обеспечивают возможность регистрации и анализа значительных объе-

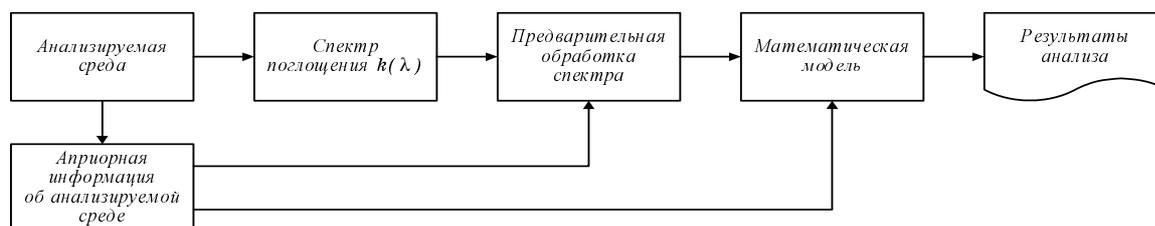
мов спектральной информации в реальном масштабе времени.

Абсорбционный спектральный анализ состава жидкой среды (рис. 1) реализуется при выполнении следующих условий: среда идентифицирована, известна степень ее разбавления и тип растворителя (априорная информация), заданы границы применимости используемой в расчетах математической модели и известны спектральные коэффициенты экстинкции отдельных компонентов и растворителя в исследуемой спектральной области.

Базовой математической моделью при количественном абсорбционном спектральном анализе обычно служит закон Бугера–Ламберта–Бера, согласно которому ослабление параллельного монохроматического пучка света в среде описывается выражением

$$I_{\lambda} = I_{\lambda}^0 \exp(-k_{\lambda}d) = I_{\lambda}^0 \exp(-\varepsilon_{\lambda}Cd), \quad (1)$$

где I_{λ} – интенсивность прошедшего через слой среды монохроматического света; I_{λ}^0 – интенсивность падающего монохроматического света; k_{λ} – спектральный коэффициент экстинкции; ε_{λ} – моляр-



■ Рис. 1. Обобщенная схема спектрофотометрического анализа

ный (удельный) коэффициент экстинкции; C – концентрация поглощающего вещества; d – толщина слоя среды (оптическая толщина кюветы для жидких и газовых сред). При анализе многокомпонентных сред закон Бугера–Ламберта–Бера дополняют принципом аддитивности, в соответствии с которым коэффициент экстинкции смеси равен сумме коэффициентов экстинкции отдельных ее компонентов. Анализ чаще всего проводится на одной (для однокомпонентных сред) или нескольких (для поликомпонентных сред) дискретных длинах волн, лежащих в области максимума характеристических полос поглощения компонентов [2].

Многими исследователями показано, что закон Бера и принцип аддитивности соблюдаются лишь для разбавленных растворов и разреженных газов, когда межмолекулярные взаимодействия не оказывают заметного влияния на коэффициент экстинкции среды. Целый ряд встречающихся на практике сред, в частности жидкие биологические среды (плазма крови, лимфа, ликвор, моча), жидкие лекарственные формы, сточные воды и т. д., не удовлетворяют данному условию в силу следующих причин:

- концентрация компонентов в среде может изменяться в широких пределах;
- спектры поглощения отдельных компонентов в значительной степени перекрываются;
- в состав среды могут входить компоненты, концентрация и молярные коэффициенты экстинкции которых неизвестны.

Применение классического абсорбционного спектрального анализа в подобных условиях приводит к значительным погрешностям в случае однокомпонентных сред, а для поликомпонентных сред практически исключено.

Вероятными путями расширения возможностей практического применения классического абсорбционного анализа может быть расширение объема априорной информации об исследуемых средах, а также уточнение математических моделей, используемых для анализа.

Авторами предложены оригинальные методики классификации жидких биосред организма [3] и уточняющие математические модели [4], позволившие создать на их основе автоматизированные оптико-электронные информационно-измеритель-

ные системы количественного анализа жидких биосред в УФ-области спектра.

Априорная информация об исследуемых средах может быть дополнена выделением доминирующей компоненты, которая вносит наибольший вклад в суммарное поглощение среды в используемой для анализа спектральной области. Как показали наши исследования, в большинстве случаев форму спектра поглощения основных жидких биосред организма определяет один (доминирующий) компонент: белок в плазме крови и ликворе, мочевая кислота и креатинин в моче, один из компонентов в жидких лекарственных формах. Если такой компонент выделен и предварительно исследованы его спектральные характеристики поглощения, анализ поликомпонентной смеси существенно упрощается. Эта дополнительная информация должна быть использована в уточненных математических моделях для повышения точности анализа сложных сред и расширения диапазона концентраций при анализе однокомпонентных сред.

Ультрафиолетовый спектр поглощения можно рассматривать как функцию зависимости показателя поглощения от длины волны $k_\lambda(\lambda)$, заданную в интервале длин волн $\lambda_1, \dots, \lambda_2$. Если функция $k_\lambda(\lambda)$ определена в конечном числе точек (дискретных длин волн), например при использовании спектрофотометров на основе многоэлементных приемников излучения, она трансформируется в вектор \mathbf{k} размерностью N^t , равной числу ячеек фотоприемника. Направление вектора характеризует форму спектра, а его длина – общий уровень поглощения.

В этом случае модель поглощения N -компонентной среды можно представить в виде математического оператора \mathbf{F} , преобразующего вектор концентраций компонентов \mathbf{C} в вектор значений показателя поглощения \mathbf{k} :

$$\mathbf{k} = \mathbf{F}\mathbf{C}, \quad (2)$$

$$\text{где } \mathbf{k} = \begin{bmatrix} k_1 \\ \vdots \\ k_{N'} \end{bmatrix}; \mathbf{C} = \begin{bmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_N \end{bmatrix}.$$

При соблюдении закона Бугера–Ламберта–Бера и принципа аддитивности \mathbf{F} является линейным оператором. В сложных средах данные условия не выполняются и необходимы более разви-

тые модели, предполагающие наличие нелинейной зависимости показателя поглощения от концентрации. Построение таких моделей требует значительных усилий даже для однокомпонентных сред, а для многокомпонентной среды, состав которой изменяется произвольно, представляет собой чрезвычайно сложную задачу, которая в настоящее время не решена.

Задача количественного спектрального анализа заметно облегчается, если априори известно, что процессы изменения концентрации компонентов анализируемой среды носят в той или иной степени согласованный характер. В частности, для многих сред характерно постоянство формы спектра при значительных вариациях общего уровня поглощения. Данный факт обусловлен тем, что концентрации информативных (оказывающих заметное влияние на спектр поглощения) компонентов в таких средах изменяются пропорционально степени разведения.

Рассмотрим однокомпонентные среды. Зависимость $k_\lambda(C)$ для подобной среды можно разложить в ряд Тейлора по степеням концентрации:

$$k_\lambda(C) = \varepsilon_\lambda C + \frac{1}{2} \frac{d^2 k_\lambda}{dC^2} \Big|_{C=0} C^2 + \frac{1}{6} \frac{d^3 k_\lambda}{dC^3} \Big|_{C=0} C^3 + \frac{1}{24} \frac{d^4 k_\lambda}{dC^4} \Big|_{C=0} C^4 + \dots \quad (3)$$

Коэффициент разложения первого порядка представляет собой молярный показатель поглощения классического закона Бугера–Ламберта–Бера. При малых концентрациях члены высших порядков пренебрежимо малы, зависимость $k_\lambda(C)$ можно считать линейной, и выражение обращается в закон Бугера–Ламберта–Бера. С ростом концентрации вклад членов высших порядков становится заметным. Наши исследования [4] показали, что для многих сред в разложении можно ограничиться первыми двумя членами. Коэффициент разложения второго порядка назовем молярным показателем поглощения второго порядка $\varepsilon_\lambda^{(2)}$:

$$k_\lambda(C) = \varepsilon_\lambda C + \varepsilon_\lambda^{(2)} C^2. \quad (4)$$

Молярные показатели спектрального поглощения первого и второго порядка не могут быть рассчитаны теоретически, поэтому априорная информация о параметрах модели применительно к конкретной среде должна быть определена экспериментально в ходе предварительной градуировки. Для этого необходимо приготовить набор из L проб исследуемой среды с известной концентрацией, измерить их спектры и определить границы информативной спектральной области. На каждой длине волны информативного спектрального диапазона составляется система уравнений и с использованием одного из статистических методов обработки результатов, например метода наименьших квадратов, рассчитываются

спектральные компоненты вектора молярных показателей поглощения e_λ :

$$\begin{bmatrix} C_1 & C_1^2 \\ \vdots & \vdots \\ C_L & C_L^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_\lambda \\ \varepsilon_\lambda^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_\lambda^1 \\ \vdots \\ k_\lambda^L \end{bmatrix} \Rightarrow C e_\lambda = k_\lambda \Rightarrow e_\lambda = (C^T C)^{-1} C^T k_\lambda. \quad (5)$$

В случае поликомпонентной среды, содержащей N компонентов, по аналогии с (4) имеем

$$k_\lambda(C_1, C_2, \dots, C_N) = \sum_{i=1}^N (\varepsilon_{i\lambda} C_i + \varepsilon_{i\lambda}^{(2)} C_i^2) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N \varepsilon_{ij\lambda}^{(2)} C_i C_j, \quad (6)$$

где $\varepsilon_{i\lambda}$, $\varepsilon_{i\lambda}^{(2)}$ – молярные показатели поглощения первого и второго порядка для i -го компонента;

$\varepsilon_{ij\lambda}^{(2)} = \frac{\partial^2 k_\lambda}{\partial C_i \partial C_j}$ – молярный показатель поглощения

второго порядка, учитывающий взаимодействие между i -м и j -м компонентами среды.

Рассмотрим случай, когда важно определить концентрацию только одного компонента поликомпонентной среды, поглощение излучения которым вносит наибольший вклад в суммарное поглощение среды в используемой для анализа спектральной области. При этом остальные компоненты смеси в той или иной степени ухудшают точность анализа. Разделим на две группы мешающие компоненты, концентрация которых изменяется: 1) от пробы к пробе практически пропорционально изменениям концентрации доминирующего компонента; 2) независимо от концентрации доминирующего компонента.

Выразим концентрации компонентов первой группы через концентрацию определяемого компонента $C_i = g_i C$, причем $g_i = \text{const}$; концентрации компонентов второй группы заменим их средними значениями для исследуемой среды $C_i = C_i$. Элементарные преобразования выражения (6) дают

$$k_\lambda(C) = k_\lambda^0 + (\varepsilon_\lambda + \Delta\varepsilon_\lambda) C + (\varepsilon_\lambda^{(2)} + \Delta\varepsilon_\lambda^{(2)}) C^2. \quad (7)$$

Таким образом, вклад в поглощение среды всех компонентов за исключением определяемого может быть учтен введением в зависимость (4) всего трех дополнительных коэффициентов:

1) двух поправок к молярным показателям поглощения определяемого компонента $\Delta\varepsilon_\lambda$ и $\Delta\varepsilon_\lambda^{(2)}$, которые учитывают интегральный вклад компонентов первой группы;

2) постоянной составляющей k_λ^0 , учитывающей интегральный вклад компонентов, отнесенных ко второй группе.

Следует отметить, что дополнительные коэффициенты являются характеристикой не конкрет-

■ Таблица 1

Рабочий спектральный диапазон	198–406 нм
Спектральное разрешение	0.4 нм
Дифракционная решетка	Вогнутая, 4-секционная
Источник излучения	Дейтериево-неоновая лампа ДНМ-15
Фотоприемник	УФ ПЗС (512 элементов)
Время регистрации одного спектра	8 мс – 2 с
Погрешность измерения коэффициента пропускания δT_λ	Не более $\pm 5\%$
Внешний интерфейс	LPT

ного вещества, а исследуемой среды в целом, и будут различными по величине для одного и того же определяемого компонента в различных средах. Поскольку эти коэффициенты не могут быть рассчитаны теоретически, для каждой исследуемой среды требуется предварительная градуировка.

Градуировка проводится по набору проб поликомпонентной среды, концентрация определяемого компонента в которых измерена одним из биохимических методов. Предварительно для определяемого компонента в ходе исследования однокомпонентных модельных растворов вычисляют молярные показатели поглощения первого и второго порядков. Поправки k_λ^0 , $\Delta\epsilon_\lambda$, $\Delta\epsilon_\lambda^{(2)}$ находят из системы уравнений, аналогичной системе (5), с помощью метода наименьших квадратов.

Процедура вычисления концентрации по измеренному спектру для простых моделей, таких как закон Бугера–Ламберта–Бера, сводится к применению обратного оператора к вектору значений показателя поглощения $\mathbf{C} = \bar{\mathbf{F}}^{-1}\mathbf{k}$. Предложенная модель представляет собой оператор, который аналитически не может быть обращен, поэтому для расчета концентрации необходимо использовать метод оптимизации. Подставляя концентрацию в разложение (7), можно рассчитать и восстановить спектр поглощения $\mathbf{k}^B = \bar{\mathbf{F}}\mathbf{C}$ во всем информативном спектральном диапазоне. Варьируя элементы вектора \mathbf{C} и добиваясь наилучшего совпадения измеренного \mathbf{k} и рассчитанного \mathbf{k}^B спектров, можно вычислить концентрацию основного компонента. Общепринятым численным критерием степени идентичности восстановленного и экспериментально зарегистрированного спектров является квадрат модуля разности векторов \mathbf{k} и \mathbf{k}^B :

$$\Delta = \left| \mathbf{k} - \mathbf{k}^B \right|^2 = \sum_{n=N_1}^{N_2} \left(k_n - k_n^0 - \epsilon'_n C - \epsilon_n^{(2)} C^2 \right)^2. \quad (8)$$

Для оценки степени достоверности полученных результатов необходимо вычислить коэффициент подобия формы восстановленного и реального спектров $S(\mathbf{k}, \mathbf{k}^B)$, под которым здесь понимается

нормированное скалярное произведение векторов \mathbf{k} и \mathbf{k}^B . Коэффициент подобия зависит только от формы спектральной кривой и не зависит от общего уровня поглощения:

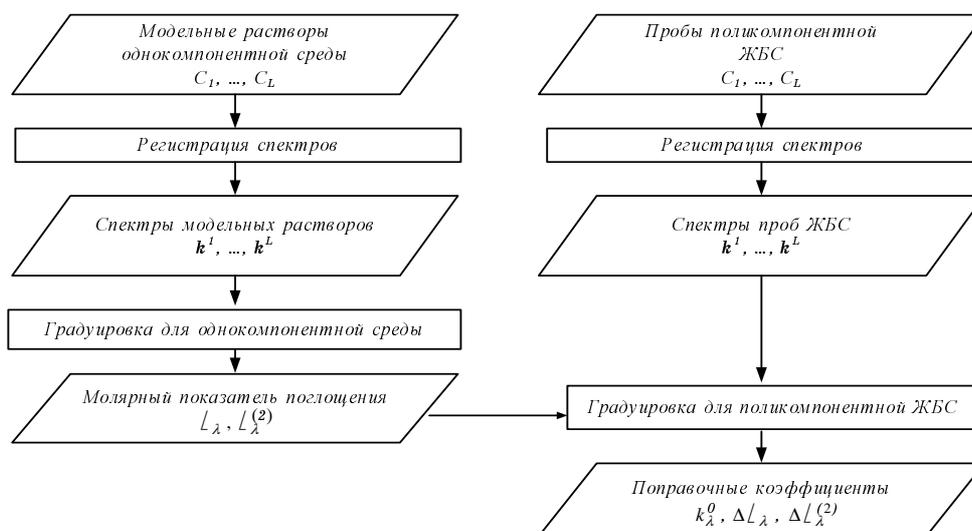
$$S(\mathbf{k}, \mathbf{k}^B) = 1000 \frac{\sum_{n=N_1}^{N_2} k_n k_n^B}{\sqrt{\sum_{n=N_1}^{N_2} (k_n)^2 \sum_{n=N_1}^{N_2} (k_n^B)^2}}. \quad (9)$$

Результат расчета концентрации можно считать достоверным, если величина коэффициента подобия превышает пороговую величину $S_{\text{пор}}$. Конкретное значение $S_{\text{пор}}$ определяется экспериментально, исходя из особенностей анализируемых сред и рабочего интервала длин волн. Наши исследования показали, что для однокомпонентных биосред пороговый коэффициент подобия целесообразно выбирать равным $S_{\text{пор}} = 990$, для многокомпонентных биосред – $S_{\text{пор}} = 950$.

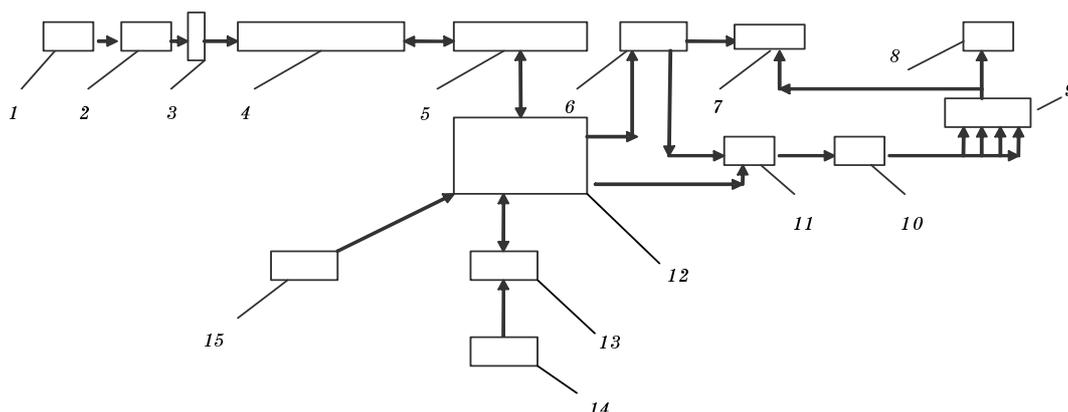
Таким образом, при проведении анализа состава жидких поликомпонентных сред по предложенным методикам предварительно должны быть сформированы банки данных спектральных коэффициентов коррекции поглощения, описывающих используемую математическую модель применительно к исследуемой среде.

Описанный метод, алгоритм которого представлен на рис. 2, реализован как составная часть разработанного авторами программного продукта для обработки УФ-спектров экстинкции жидких сред [5]. Для регистрации спектров применялся многоканальный автоматизированный спектроанализатор, основные технические характеристики которого приведены в табл. 1.

Разработанная на основе спектроанализатора автоматизированная информационно-измерительная система (рис. 3) была использована для анализа сложной многокомпонентной жидкой биологической среды – перитонеального диализата [6]. Эта среда, в состав которой входят практически



■ Рис. 2. Алгоритм анализа состава поликомпонентной среды по спектру экстинкции; ЖБС – жидкая биологическая среда



■ Рис. 3. Блок-схема автоматизированной системы для анализа поликомпонентной жидкой биосреды по спектрам экстинкции:

1 – источник света; 2 – оптическая система формирования пучка; 3 – проточная кювета с содержащейся в ней исследуемой жидкостью; 4 – спектрометр; 5 – контроллер; 6 – блок обработки текущего спектра; 7 – дисплей; 8 – блок данных градуировки для поликомпонентной исследуемой среды; 9 – блок алгоритмов расчета концентрации; 10 – блок предварительной обработки данных; 11 – таймер; 12 – вычислительный управляющий блок; 13 – блок данных градуировки для отдельных компонентов; 14 – блок управления параметрами анализа; 15 – блок управления параметрами регистрации и настройки спектрометра

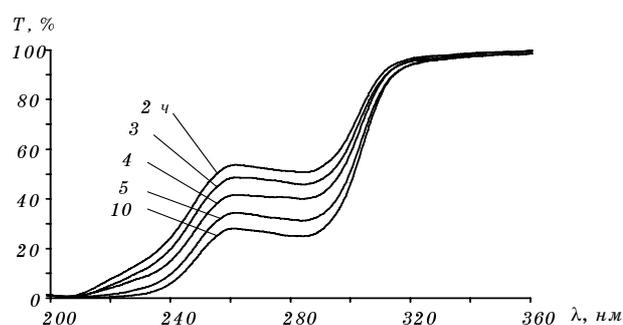
все компоненты плазмы крови, относящиеся к низко- и среднемoleкулярному пулу, является объектом анализа при лечении хронической почечной недостаточности. В настоящее время не существует методик, которые позволяли бы проводить автоматизированный количественный спектральный анализ подобных сред.

В процессе предварительных исследований было установлено, что доминирующими компонентами для диализата являются мочевая кислота и креатинин [7]. По описанному выше алгоритму была проведена градуировка, в ходе которой были

определены поправочные коэффициенты k_{λ}^0 , $\Delta \epsilon_{\lambda}$, $\Delta \epsilon_{\lambda}^{(2)}$ для креатинина и мочевой кислоты. Экспериментальные спектры пропускания перитонеального диализата одного из больных в спектральной области 200–400 нм приведены на рис. 4. Спектральное поглощение в области 230 нм обусловлено креатинином, а в области 290 нм – мочевой кислотой. Остальные компоненты, входящие в состав диализата, вносят в общее поглощение дополнительную погрешность, вклад которой и должен быть учтен по предложенной методике. Результаты сопоставительного анализа состава диализата

■ Таблица 2

№ больного	Дата сеанса	Длительность нахождения в полости брюшины, ч	Концентрация доминирующего компонента, ммоль/л			
			Мочевая кислота		Креатинин	
			биохимический анализ	спектральный анализ	биохимический анализ	спектральный анализ
1	10.04.01–11.04.01	2	0.23	0.18	0.63	0.63
		3	0.24	0.20	0.72	0.72
		4	0.26	0.20	0.72	0.72
		5	0.17	0.13	0.65	0.45
		10	0.29	0.24	0.80	0.87
2	10.04.01–11.04.01	2	0.11	0.10	0.32	0.29
		3	0.13	0.12	0.42	0.35
		4	0.16	0.15	0.42	0.46
		5	0.10	0.09	0.30	0.26
		10	0.20	0.19	0.54	0.65
3	08.02.02–09.02.02	2	0.19	0.19	0.42	0.49
		3	0.23	0.22	0.53	0.58
		4	0.26	0.23	0.54	0.61
		5	0.17	0.14	0.38	0.36
		10	0.29	0.27	0.61	0.75
4	15.03.02–16.03.02	2	0.15	0.16	0.21	0.26
		3	0.18	0.16	0.24	0.26
		4	0.22	0.18	0.25	0.29
		5	0.11	0.12	0.16	0.18
		10	0.23	0.25	0.27	0.44
5	08.02.03–09.02.03	2	0.10	0.10	0.35	0.28
		3	0.10	0.10	0.37	0.30
		4	0.11	0.11	0.39	0.30
		5	0.08	0.08	0.32	0.22
		10	0.14	0.15	0.44	0.43
Коэффициент корреляции ρ			0.95		0.86	



■ Рис. 4. Спектры пропускания перитонеального диализата по длительности нахождения в полости брюшины

по УФ-спектрам экстинкции для 5 больных и параллельного биохимического анализа по мочевой кислоте и креатинину приведены в табл. 2. Погрешность анализа перитонеального диализата биохимическим методом составляла 10%.

Относительная погрешность определения концентрации мочевой кислоты не превышает 8%, креатинина – 18%.

Процедура спектрального анализа по предложенной методике включала измерение спектра экстинкции диализата, обработку спектра и вывод результатов на экран монитора и составляла ~ 2 с. Длительность биохимического анализа по стан-

дартной методике включала для каждой пробы химическую, термическую и механическую обработку и лабораторный анализ и длилась более 4 ч.

Разработанная автоматизированная информационно-измерительная система была использована для спектрального анализа состава растворов

глюкозы, аналгина, гепарина и других жидких лекарственных форм, а также для анализа изменений состава мочи и слюны при различных заболеваниях.

Работа выполнена в рамках проекта РНП 2.1.2.7083 ФАО РФ.

Литература

1. Свердлова О. В. Электронные спектры в органической химии. Л.: Химия, 1985. 248 с.
2. Берштейн И. Я., Каминский Ю. Л. Спектрофотометрический анализ в органической химии. Л.: Химия, 1986. 198 с.
3. Василевский А. М., Коноплев Г. А. Peculiar character of dialyzate ultraviolet extinction spectra as an indicator of nucleic acids metabolism in humans (Индивидуальные особенности УФ-спектров экстинкции диализата как характеристика обмена нуклеиновых кислот у человека) // Journal of biomedical optics. 2005. Vol.10. N 4. P. 44–54.
4. Василевский А. М. Информационно-измерительная система мониторинга сеанса гемодиализа по спектрам экстинкции в УФ-области спектра // Информационно-управляющие системы. 2003. № 1. С. 40–46.
5. Василевский А. М., Коноплев Г. А. Программное обеспечение для обработки УФ-спектров экстинкции жидких сред // Региональная информатика-2004: Материалы девятой СПб. Междунар. конф., 22–24 июня 2004 г. / СПОИСУ. СПб., 2004. С. 354–355.
6. Гуревич К. Я. и др. Перитонеальный диализ: Метод. рекомендации для врачей / СПбМАПО. СПб., 2003. 98 с.
7. Василевский А. М., Коноплев Г. А. Применение ультрафиолетовой спектрофотометрии для анализа перитонеального диализата // Оптический журнал. 2004. Т. 71. № 3. С. 64–66.

РАБОЧИЙ СЕМИНАР «НАУКОЕМКОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ» – НПО

27–28 июня 2006 г.

Место проведения конференции: Новосибирск, Академгородок

Семинар НПО пройдет в рамках Шестой международной конференции «Перспективы систем информатики» (http://www.iis.nsk.su/psi06/index_r.shtml)

Научный семинар НПО посвящен вопросам создания прикладного программного обеспечения, презентации имеющихся разработок, дискуссиям представителей фундаментальной и прикладной науки с разработчиками программных продуктов и заказчиками научного и наукоемкого программного обеспечения.

Организатор

Институт систем информатики им. А. П. Ершова СО РАН

Тематика семинара

Информационные технологии и информационные системы

Программное обеспечение для естественно-научной деятельности

Информационные системы гуманитарного направления

Инженерные расчеты и конструкторские пакеты автоматизации проектирования

Управление производством и технологическими процессами

Приложения геоинформационных технологий

Приложения, ориентированные на потребности людей (мультимедиа, поисковые системы, электронные

публикации, электронные коллекции, информационные порталы)

Бизнес-приложения

Контрольные сроки

Доклады и стендовые доклады по теме семинара принимаются до 15 мая 2006 г. В качестве доклада могут представляться оригинальные научные результаты, наукоемкие программные разработки, проекты и прототипы наукоемких разработок, запросы на наукоемкие разработки. Стендовые доклады являются демонстрацией разработанного стендового доклада, до 4 стр. для доклада.

Принятые доклады будут опубликованы. Участники получат информационный бюллетень с материалами семинара.

К 1 июня 2006 г. авторам будут разосланы уведомления о принятии (электронной почтой).

Дополнительная информация и справки

Институт систем информатики им. А. П. Ершова, Россия, 630090, Новосибирск, пр. акад. Лаврентьева, д. 6,

тел: +7 383 330 73 52, факс: +7 383 332 34 94,

e-mail: psi06@iis.nsk.su

http://www.iis.nsk.su/psi06/ap_software/index_r.shtml