

7. *Рябченко Н.И., Ульяненко С.Е., Антощина М.М. и др.* Действие смешанных гамма-нейтронных излучений различной мощности дозы на аберрации хромосом в лимфоцитах человека и костном мозге мышей, клеточность тимуса и перекисидацию липосом // Радиационная биология. Радиоэкология. 2005. Т. 44. № 5. С. 592-59.
8. *Рябченко Н.И., Иванчик Б.П., Антощина М.М., Насонова В.А., Фесенко Э.В., Рябченко В.И., Дзиковская Л.А., Ульяненко С.Е., Соколов В.А.* Влияние мощности дозы на повреждение клеточных систем организма смешанным гамма-нейтронным излучением / Материалы 6-й Международной конференции «Экология человека и природа», Москва-Плес, 5-11 июля 2004 г. С. 127-130.
9. *Рябченко Н.И., Антощина М.М., Насонова В.А., Фесенко Э.В., Рябченко В.И., Иванчик Б.П., Ульяненко С.Е., Соколов В.А.* Молекулярные и клеточные механизмы действия смешанного гамма-нейтронного излучения различной мощности дозы // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). 2006. Т. 15. № 1-2. С. 121-133.
10. *Исаева Е.В., Бекетов Е.Е., Корякин С.Н., Лычагин А.А., Ульяненко С.Е.* Сравнение биологической эффективности импульсного и непрерывного нейтронного излучения с энергией 14 МэВ на культуре клеток мышины меланомы В-16 // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). 2012. Т. 21. № 2. С. 83-90.
11. *Бекетов Е.Е., Исаева Е.В., Корякин С.Н., Лычагин А.А., Ульяненко С.Е.* Зависимость эффективности одновременного воздействия гамма-квантов и нейтронов с энергией 14 МэВ от вклада плотноионизирующего компонента // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). 2012. Т. 21. № 3. С. 82-90.
12. *Матчук О.Н., Замулаева И.А., Селиванова Е.И., Липунов Н.М., Прониюшкина К.А., Ульяненко С.Е., Лычагин А.А., Смирнова С.Г., Орлова Н.В., Саенко А.С.* Чувствительность клеток SP линии меланомы В-16 к действию редко- и плотноионизирующего излучений // Радиационная биология. Радиоэкология. 2012. Т. 52. № 3. С. 261.
13. *Литяев В.М., Лычагин А.А., Потетня В.И., Соловьев А.Н., Ульяненко С.Е., Харлов В.И.* Физико-дозиметрические исследования для обоснования медико-технических требований терапевтических установок на базе портативных генераторов нейтронов / Международная научно-техническая конференция «Портативные генераторы нейтронов и технологии на их основе». Москва, 2012 г.
14. *Кайдан Н.А., Лычагин А.А., Корякин С.Н., Сысоев А.С., Ульяненко С.Е., Харлов В.И.* Гамма-нейтронная терапия домашних животных со спонтанными опухолями с использованием ИНГ-031 / Международная научно-техническая конференция «Портативные генераторы нейтронов и технологии на их основе». Москва, 2012 г.
15. *Боголюбов Е.П., Сыромуклов С.В., Юрков Д.И.* Нейтронные генераторы ВНИИА для ядерной медицины / Международная научно-техническая конференция «Портативные генераторы нейтронов и технологии на их основе». Москва, 2012 г.
16. *Литяев В. М., Ульяненко С.Е., Горбушин Н.Г.* Устройство для лучевой терапии быстрыми нейтронами / Патент № 2442620. 20.02.2012 г.
17. *Neutron Dozimetry for Biology and Medicine // ICRU REPORT 26. 1979. Issue 1.*

*Анатолий Александрович Лычагин,
канд. физ.-мат. наук, зав. лабораторией
медицинской радиационной физики,
ФГБУ «Медицинский радиологический
научный центр» Минздрава России,
г. Обнинск, Калужская обл.,
e-mail: lychagin1@yandex.ru*

А.М. Василевский, Г.А. Коноплев, Д.А. Светлов, В.А. Герасимов, Д.К. Кострин, А.А. Ухов

Оптико-электронная информационно-измерительная система контроля дезинфицирующих средств на основе полигексаметиленгуанидина

Аннотация

Рассмотрены методика и аппаратура для определения концентрации полигексаметиленгуанидина в поликомпонентных дезинфицирующих средствах медицинского назначения по УФ-спектрам поглощения. Приводятся основные характеристики и структурная схема автоматизированного спектроанализатора, дано описание программного обеспечения. Анализируются результаты испытаний разработанной системы в сравнении с данными, полученными по общепринятой методике фотометрирования с эозином.

Полигексаметиленгуанидин гидрохлорид (ПГМГ) является достаточно перспективным биоцидным веществом, которое используется при создании композиционных дезинфицирующих средств. ПГМГ не накапливается в паренхиматозных органах теплокровных животных и человека, не опасен при ингаляционном воздействии, не оказывает тератогенного и мутагенного воздействия на организм человека, хорошо совместим с различными материалами, обладает хорошей моющей способностью [1]. В связи с малой токсичностью, отсутствием неприятного запаха и раздражающего действия на кожные покровы ПГМГ широко применяется в составе дезинфицирующих средств медицинского назначения, в частности растворов для обработки рук хирургов, обработки кожи операционного и инъекционного полей пациентов лечебно-профилактических учреждений, окончательной дезинфекции мебели, полов и стен в операционных, обработки белья и т. д. Концентрация ПГМГ в

готовых растворах может колебаться от 1 до 100 г/л в зависимости от области применения [2].

В процессе промышленного производства дезинфицирующих средств (ДС) требуется проведение регулярного контроля содержания ПГМГ как на разных технологических этапах, так и в готовом продукте. Допустимая погрешность определения концентрации не должна превышать 15 %. Стандартная методика определения концентрации ПГМГ в растворах основана на фотометрировании с эозином в видимой области спектра на длине волны 544 нм. Эта методика требует предварительной пробоподготовки и калибровки, сложна и занимает много времени, что затрудняет ее применение, особенно при серийном производстве.

Применение прямого абсорбционного спектрального анализа в ультрафиолетовой (УФ) области для определения концентрации ПГМГ дает возможность существенно сократить время анализа и снизить его трудоем-

кость за счет устранения этапа сложной пробоподготовки. При этом может быть заметно повышена эффективность технологического контроля ДС на основе ПГМГ.

Спектральные исследования моно- и поликомпонентных ДС на основе ПГМГ (использовались 5-миллиметровые кварцевые кюветы, эталоном сравнения служила дистиллированная вода) показали:

- УФ-спектр поглощения водного раствора ПГМГ имеет характерную форму с очень широкой полосой, максимум которой приходится на область менее 200 нм, при этом на длинноволновом крыле отмечается слабо выраженный максимум на длине волны 262,5 нм (рис. 1);
- спектр поглощения ДС «Мультидез» на основе ПГМГ включает в себя дополнительные полосы на длинах волн 225,5 и 274,3 нм, обусловленные специальными добавками (рис. 2).

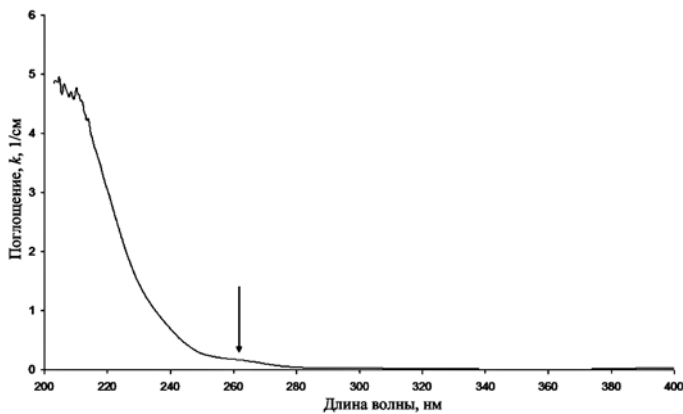


Рис. 1. Спектр поглощения водного раствора ПГМГ с концентрацией 0,2 г/л

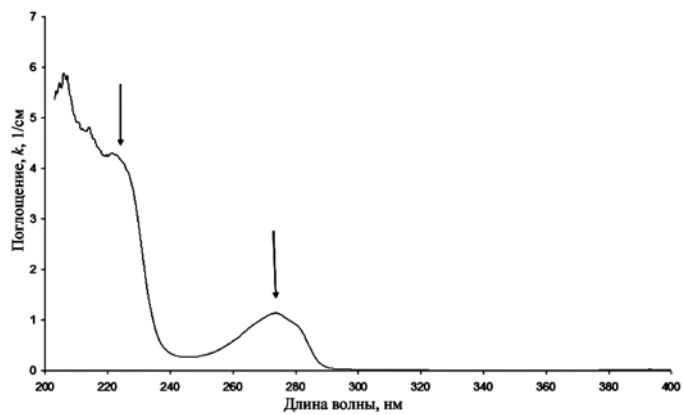


Рис. 2. Спектр поглощения дезинфицирующего средства «Мультидез» на основе ПГМГ с концентрацией 0,4 г/л

Приведенные спектры представляют собой комбинацию очень широких бесструктурных полос, которые сильно перекрываются между собой, поэтому определение концентрации ПГМГ и других компонентов в исследуемых средах по величине оптической плотности на одной или нескольких длинах волн в рамках классического подхода к абсорбционному спектральному анализу многокомпонентных растворов невозможно [3].

В связи с этим была разработана оригинальная методика анализа ДС, в которой для определения концентрации ПГМГ используется вся информативная спектральная область 220...350 нм. На основе предложенной методики создана оптико-электронная информационно-измерительная система (ИИС) [4], включающая в себя

автоматизированный УФ-спектроанализатор с ПЗС-фотоприемником и специализированное программное обеспечение *Teflex*.

Методика автоматизированного спектрального анализа состава ДС на основе ПГМГ

При использовании спектрофотометров на основе многоэлементных приемников излучения УФ-спектр поглощения можно рассматривать как многомерный вектор k размерностью N' , равной числу ячеек фотоприемника. Направление вектора характеризует форму спектра, а его длина – общий уровень поглощения.

Модель поглощения N -компонентной среды можно представить в виде математического оператора \hat{F} , преобразующего вектор концентраций компонентов C в вектор значений показателя поглощения k :

$$k = \hat{F}C; \quad C = \begin{bmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_N \end{bmatrix}; \quad k = \begin{bmatrix} k_1 \\ \vdots \\ k_{N'} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $C_1...C_N$ – концентрации компонентов; $k_1...k_{N'}$ – спектральный показатель поглощения исследуемой среды на длинах волн, соответствующих отдельным элементам многоэлементного фотоприемника. При соблюдении закона Бугера-Ламберта-Бера и принципа аддитивности, лежащих в основе классического абсорбционного спектрального анализа, \hat{F} является линейным оператором.

Очевидно, что в этом случае выражение (1) представляет собой переопределенную систему N' линейных уравнений для N неизвестных, которая в матричной форме может быть записана следующим образом:

$$C\varepsilon = k; \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \cdots & \varepsilon_{1N'} \\ \vdots & & \vdots \\ \varepsilon_{N1} & \cdots & \varepsilon_{NN'} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $\varepsilon_{i'}$ – молярный спектральный показатель поглощения для i -го компонента на длине волны, соответствующей i' -элементу многоэлементного фотоприемника.

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 $C = \hat{F}^{-1}k$. В частности, система уравнений (2) является переопределенной и не имеет точного решения, но может быть решена приближенно методом наименьших квадратов в матричной форме:

$$C = (k^T k)^{-1} k^T \varepsilon. \quad (3)$$

Используя найденные значения концентрации C и матрицу молярных показателей поглощения ε , можно восстановить исходный спектр $k^{восм} = C\varepsilon$. Для оценки степени достоверности полученных результатов необходимо вычислить коэффициент подобия формы восстановленного и измеренного спектров $S(k, k^{восм})$, под которым здесь понимается нормированное скалярное произведение векторов k и $k^{восм}$. Коэффициент подобия зависит только от формы спектральной кривой и не зависит от общего уровня поглощения:

$$S(k, k^{восм}) = \frac{\sum_{n=N_1}^{N_2} k_n k_n^{восм}}{\sqrt{\sum_{n=N_1}^{N_2} (k_n)^2 \cdot \sum_{n=N_1}^{N_2} (k_n^{восм})^2}}. \quad (4)$$

Коэффициент подобия принимает значения от 0 (наименьшая степень подобия) до 1 (максимальное подобие). В том случае, если величина коэффициента подобия превышает пороговую величину $S_{пор}$, результат расчета концентрации можно считать достоверным. Конкретное значение $S_{пор}$ определяется экспериментально, исходя из особенностей анализируемых сред и рабочего интервала длин волн. Наши исследования показали, что для однокомпонентных сред пороговый коэффициент подобия целесообразно выбирать равным $S_{пор} = 0,99$, для многокомпонентных сред $S_{пор} = 0,95...0,97$.

Автоматизированный спектроанализатор

Система включает в себя источник УФ-излучения – дейтериевую лампу ДНМ-15, полихроматор на основе вогнутой дифракционной решетки, оптический затвор с электромагнитным управлением, ПЗС-фотоприемник и микроконтроллер. В приборе используется ПЗС TCD1304, производства фирмы «Toshiba». Данный ПЗС-фотоприемник закрыт защитным стеклом, не пропускающим УФ-излучение, что не позволяет использовать его в системе регистрации без модификации. Модификация стандартного ПЗС-фотоприемника заключается в удалении входного защитного стекла и покрытии поверхности кристалла специальным оптическим УФ-прозрачным клеем. Клей выполняет две функции: он обеспечивает защиту поверхности кристалла фотоприемника, а также устраняет эффект интерференции, возникающей в тонкой пленке оксида кремния, нанесенной на поверхности ПЗС, на этапе ее изготовления [5]. В состав устройства также входит кюветное отделение с автоматизированной кареткой, где устанавливаются кюветы с дистиллированной водой и исследуемым раствором. Кюветы под управлением микроконтроллера устанавливаются на требуемую позицию с помощью шагового двигателя.

Для получения информации о составе раствора в процессе измерений на кюветы последовательно направляется поток излучения с источника УФ-излучения. Прошедший через кюветы поток разлагается в спектр и направляется на ПЗС. Сигнал с ПЗС-фотоприемника усиливается, с помощью АЦП преобразуется в цифровой код, проходит предварительную обработку с целью минимизации шумов [6] и по интерфейсу RS-232 либо USB передается на ПК, снабженный специализированным программным обеспечением *Teflex* (рис. 3).



Рис. 3. Структурная схема системы

Программное обеспечение *Teflex*

Программа *Teflex* предназначена для управления автоматизированным спектроанализатором, регистрации спектров и проведения абсорбционного спектрального анализа ДС на основе ПГМГ по предложенной методике. Программа позволяет проводить анализ как одноком-

понентных ДС, представляющих собой растворы ПГМГ в воде, так и ДС с моющими добавками, которые анализируются как двухкомпонентная смесь, содержащая ПГМГ и поверхностно-активное вещество (ПАВ). Поглощение других компонентов (красители, отдушки, консерванты) пренебрежимо мало и не влияет на точность анализа.

Перед началом измерений в настройках программы сохраняются следующие данные: границы информативного спектрального диапазона, в пределах которого проводится анализ; спектры образцов исследуемых ДС; спектры молярных показателей поглощения ПГМГ и ПАВ; рабочий диапазон концентраций ПГМГ; пороговое значение коэффициента подобия, используемое при определении степени достоверности полученных результатов.

Перед каждым измерением проводится внутренняя калибровка (рис. 6), в ходе которой измеряются темновой сигнал ПЗС $I_{T\lambda}$ и сигнал 100%-ного пропускания $I_{0\lambda}$, соответствующий интенсивности излучения, прошедшего через кювету с дистиллированной водой. Затем измеряется спектр пробы I_{λ} , и коэффициент пропускания исследуемой среды T_{λ} вычисляется по формуле

$$T_{\lambda} = \frac{(I_{\lambda} - I_{T\lambda})}{(I_{0\lambda} - I_{T\lambda})}.$$

Ниже приведены основные этапы обработки измеренных спектров.

1. *Сглаживание измеренного спектра* методом скользящего среднего.

2. *Предварительный анализ* – проверка спектра на соответствие уровня спектрального пропускания в информативной области измеренного спектра заданным критериям для обеспечения необходимой фотометрической точности.

3. *Пересчет спектра пропускания в спектр поглощения* в соответствии с законом Бугера-Ламберта-Бера.

4. *Идентификация раствора*, в ходе которой измеренный спектр последовательно сравнивается со спектрами препаратов, имеющихся в базе данных программы; при этом в качестве критерия сравнения используется коэффициент подобия, рассчитываемый по формуле (4); в случае, если $S > S_{пор}$, проба считается идентифицированной и на экран выводится название препарата из базы данных, в противном случае выводится сообщение «проба не идентифицирована», при этом дальнейший анализ невозможен.

5. *Расчет концентрации компонентов ДС* по разработанной методике.

6. *Проверка достоверности анализа* путем сравнения восстановленного и измеренного спектров по формуле (4).

7. *Сохранение результатов анализа и спектральных данных* на диске в виде текстовых файлов с возможностью экспорта в MS Excel.

Сопоставление результатов измерений концентрации ПГМГ с помощью разработанной ИИС с результатами фотометрирования с эозином

Для проверки достоверности результатов определения концентрации ПГМГ были приготовлены растворы ДС таким образом, что концентрация ПГМГ в пробах составляла от 0,05 до 1,5 г/л. Затем пробы подвергались анализу по принятой методике фотометрирования с эозином и по предложенной методике, с помощью разрабо-

танной ИИС (рис. 4). Всего было исследовано семь проб различной концентрации, измерения повторялись троекратно. Сопоставление полученных данных показало, что в диапазоне концентрации от 0,05 до 0,4 г/л результаты определения концентрации ПГМГ по обеим методикам хорошо согласуются друг с другом; погрешность измерения концентрации в указанном диапазоне не превышает 10 %. В области больших концентраций ПГМГ в пробах фотометрирование с эозином не дает достоверных результатов, в то время как предложенная методика позволяет работать вплоть до концентраций 1,5...2 г/л с погрешностью не более 15 % на верхней границе диапазона.

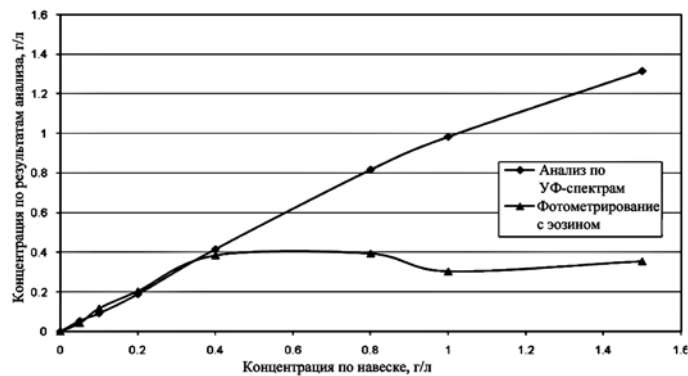


Рис. 4. Сравнение результатов анализа растворов ДС на основе ПГМГ по методике с эозином и по предложенной методике, по УФ-спектрам

Таким образом, разработанная методика и оптико-электронная информационно-измерительная система дают возможность проводить определение концентрации ПГМГ в поликомпонентных ДС с погрешностью, не превышающей 15 %. По сравнению с принятой методикой, основанной на фотометрировании с эозином, существенно сокращено время анализа, упрощена процедура пробоподготовки, расширен рабочий диапазон концентраций.

Список литературы:

1. Ерофеев В.Т., Колохов П.Г., Светлов Д.А. и др. Защита зданий и сооружений от микробиологических повреждений бицидными препаратами на основе гуанидина. – СПб.: Наука, 2009. 192 с.

2. Афиногенова А.Г., Краснова М.В., Афиногенов Г.Е. Инструкция по применению и методам контроля качества дезинфицирующего (кожный антисептик) средства «ТефлексА», производство ЗАО «Софт Протектор». – СПб., 2007.
3. Бабушкин А.А., Бажулин П.А., Королев Ф.А. и др. Методы спектрального анализа. – М.: Изд-во МГУ, 1962. 510 с.
4. Василевский А.М., Коноплев Г.А., Торопов Д.К. Аппаратно-программный комплекс для автоматизированного спектрального анализа дезинфицирующих средств на основе полигексаметиленгуанидина / Материалы XII Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика-2010». С. 297-298.
5. Кострин Д.К., Ухов А.А. Интерференция в поверхностном слое и метрологические параметры спектрометров с ПЗС-фотоприемниками // Датчики и системы. 2013. № 5. С. 13-15.
6. Юдин Р.В., Кострин Д.К., Шишов Д.И., Ухов А.А. Повышение точности и воспроизводимости результатов колориметрических измерений светоизлучающих диодов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2013. № 3. С. 8-13.

*Александр Михайлович Василевский,
д-р техн. наук, профессор,
Георгий Асадович Коноплев,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра квантовой электроники
и оптико-электронных приборов,
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»,
Дмитрий Анатольевич Светлов,
канд. техн. наук, генеральный директор,
ЗАО «Софт Протектор»,
Владимир Александрович Герасимов,
ассистент,
Дмитрий Константинович Кострин,
ассистент,
Андрей Александрович Ухов,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра электронных приборов и устройств,
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»,
г. С.-Петербург,
e-mail: amvasilevsky@mail.ru*

М.П. Буковский, Д.В. Белик

Система наблюдения и коррекции параметров жизнедеятельности организма человека во сне

Аннотация

В статье описаны конструкция и принцип работы разработанной биотехнической системы, предназначенной для борьбы с синдромом обструктивного апноэ сна и его последствиями. Система позволит предотвратить внезапную смерть человека во сне в результате остановки дыхания и сердцебиения, а также регистрировать предынсультное состояние человека и сообщать о приближающемся кризисе близким родственникам и лечащему врачу.

Введение

Синдром обструктивного апноэ сна (СОАС) – это состояние, характеризующееся наличием храпа, периодическим спадением верхних дыхательных путей на уровне глотки и прекращением легочной вентиляции при сохраняющихся дыхательных усилиях, снижением уровня кислорода крови, грубой фрагментацией сна и избыточной дневной сонливостью [1].

При тяжелых формах СОАС может отмечаться до 400...500 остановок дыхания за ночь продолжительностью до 1 мин и более (суммарно – до 3...4 ч), что ведет к острому и хроническому недостатку кислорода во время сна. Это, в свою очередь, существенно увеличивает риск развития артериальной гипертензии, нарушений ритма сердца, инфаркта миокарда, инсульта. СОАС значительно утяжеляет течение ишемической болезни сердца и хронической обструктивной болезни легких [1].