



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

3



АЛЬМАНАХ

НАУЧНЫХ РАБОТ
МОЛОДЫХ
УЧЕНЫХ

2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**АЛЬМАНАХ
НАУЧНЫХ РАБОТ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
Университета ИТМО**

Том 3



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург

2018

Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Том 3. – СПб.: Университет ИТМО, 2018. – 292 с.

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на XLVII научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО по тематике: фотоника.

ISBN 978-5-7577-0589-7

ISBN 978-5-7577-0592-7 (Том 3)



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2018

© Авторы, 2018

ВВЕДЕНИЕ

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные 30 января – 2 февраля 2018 года на XLVII научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО по тематике: фотоника.

Конференция проводится в целях усиления интегрирующей роли университета в области научных исследований по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники и ознакомления научной общественности с результатами исследований, выполненных в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ, программы развития Университета ИТМО на 2009–2018 годы, программы повышения конкурентоспособности Университета ИТМО среди ведущих мировых научно-образовательных центров на 2013–2020 гг., Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», грантов Президента РФ для поддержки молодых российских ученых и ведущих научных школ, грантов РФФИ, РГНФ, РНФ и Правительства РФ (по постановлению № 220 от 09.04.2010 г.) и по инициативным научно-исследовательским проектам, проводимым учеными, преподавателями, научными сотрудниками, аспирантами, магистрантами и студентами университета, в том числе в содружестве с предприятиями и организациями Санкт-Петербурга, а также с целью повышения эффективности научно-исследовательской деятельности и ее вклада в повышение качества подготовки специалистов.

**Байдакова Марина Викторовна**

Год рождения: 1980

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, аспирантНаправление подготовки: 18.06.01 – Химические технологии

e-mail: mvbaidakova@yandex.ru

**Ситникова Вера Евгеньевна**

Год рождения: 1987

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, тьютор

e-mail: kresenka@gmail.com

**Олехнович Роман Олегович**

Год рождения: 1983

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, к.т.н., доцент

e-mail: r.o.olekhnovich@mail.ru

**Денисов Тимур Сергеевич**

Год рождения: 1998

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, студент группы № В3266Направление подготовки: 19.03.01 – Биоинженерия

e-mail: tidesi@yandex.ru

УДК 54-145.4

**МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ БЕЛКОВОГО ГИДРОЛИЗАТА****Байдакова М.В., Ситникова В.Е., Олехнович Р.О., Денисов Т.С.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Успенская М.В.**

В работе получены акриловые композитные материалы с концентрацией белкового наполнителя «Биостим» 5 масс.% методом свободнорадикальной полимеризации в водной среде при различной температуре полимеризации. Методом инфракрасной спектроскопии исследована химическая структура таких наполненных композитных гидрогелей. Показано, что набухание в начале процесса происходит быстрее за счет релаксации полимерной структуры. Выявлены наилучшие условия синтеза акриловых композитных материалов на основе белкового гидролизата. Максимальными набухающими свойствами обладает образец, синтезированный при $T_{\text{пол}}=35^{\circ}\text{C}$ в физиологическом растворе.

Ключевые слова: композитные материалы, акрилат калия, гидролизат, сорбция.

Как известно, для повышения урожайности сельскохозяйственных культур необходимо использовать органические удобрения. Однако исследования показывают, что около 40–70% азота, поступающего с удобрением, не поглощаются корнями растений, а проникают наружу [1]. Это приводит к экономическим потерям и к загрязнению окружающей среды. Соответствующее решение этой проблемы заключается в использовании композитных материалов, которые могут обеспечить доступ к воде и удобрениям, контролируемым образом, одновременно [2, 3].

Эффективными по способности влагоудержания и своей экономичности являются сшитые сополимеры акриловой кислоты, которые широко используются при опустынивании почв, выращивании декоративных, плодовоовощных, и ягодных культур [4]. В настоящей работе методом свободнорадикальной полимеризации были синтезированы композитные материалы на основе белкового наполнителя «Биостим», полученного путем вторичной переработки побочных продуктов крупного рогатого скота. Доказано, что применение полимерных белково-акриловых композитов, обладающих свойствами стимуляторов роста и развития растений с концентрацией активного вещества 5 масс.%, позволяет улучшить физико-химические свойства почвы [5].

Синтез проводили в две основные стадии: на первой стадии готовилась 5%-ная суспензия «Биостима». Для этого в порошок гидролизата добавляли 5 мл дистиллированной воды и перемешивали на магнитной мешалке ПЭ-6100 с частотой вращения ($n=1100$ об/мин) при температуре нагревания 25°C в течение 40 мин. На второй стадии готовили полимерную матрицу на основе акрилата калия. Для этого к нейтрализованной акриловой кислоте добавляли сначала окислительно-восстановительную систему (ПСА+ТМЭД), затем вливали суспензию белкового гидролизата, и в конце добавляли сшивающий агент (МБА). На рис. 1 представлена принципиальная схема синтеза гидрогеля.

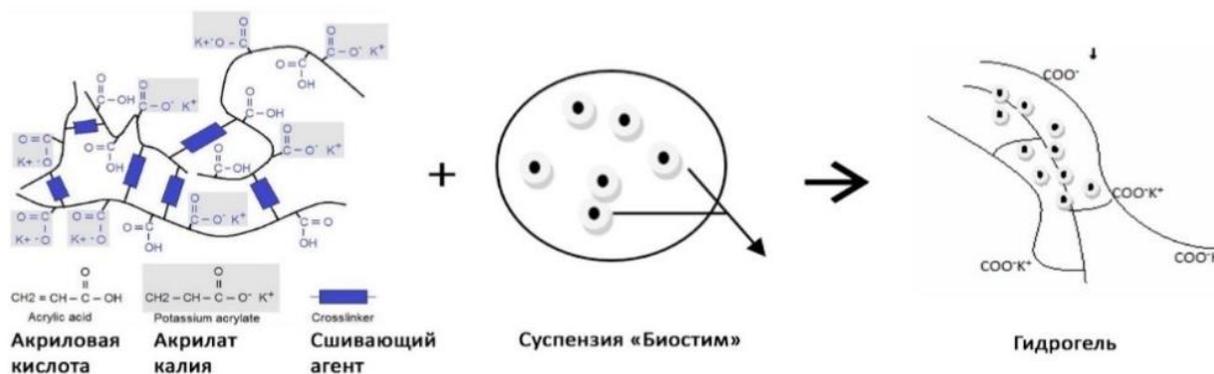


Рис. 1. Схема синтеза гидрогеля

Целью работы являлось исследование свойств полимерных наполненных систем на основе белкового гидролизата при различной температуре полимеризации. На основе поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- приготовление гидрогелевых акриловых материалов с использованием в качестве наполнителя белкового гидролизата «Биостим» при различной температуре полимеризации ($T_{\text{пол}}=35^{\circ}\text{C}$, 40°C , 45°C и 50°C);
- исследование влияния структурных особенностей композитных материалов на инфракрасном (ИК) спектрометре TENSOR37 фирмы «Bruker» с помощью приставки нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО);
- изучение таких наполненных композитов на сорбционные характеристики набухания в физиологическом растворе поваренной соли при температуре 25°C .

На рис. 2 представлены инфракрасные спектры гидрогелей, синтезированных со степенью нейтрализации ($\alpha=1$) при различных температурах полимеризации (35°C , 40°C , 45°C и 50°C).

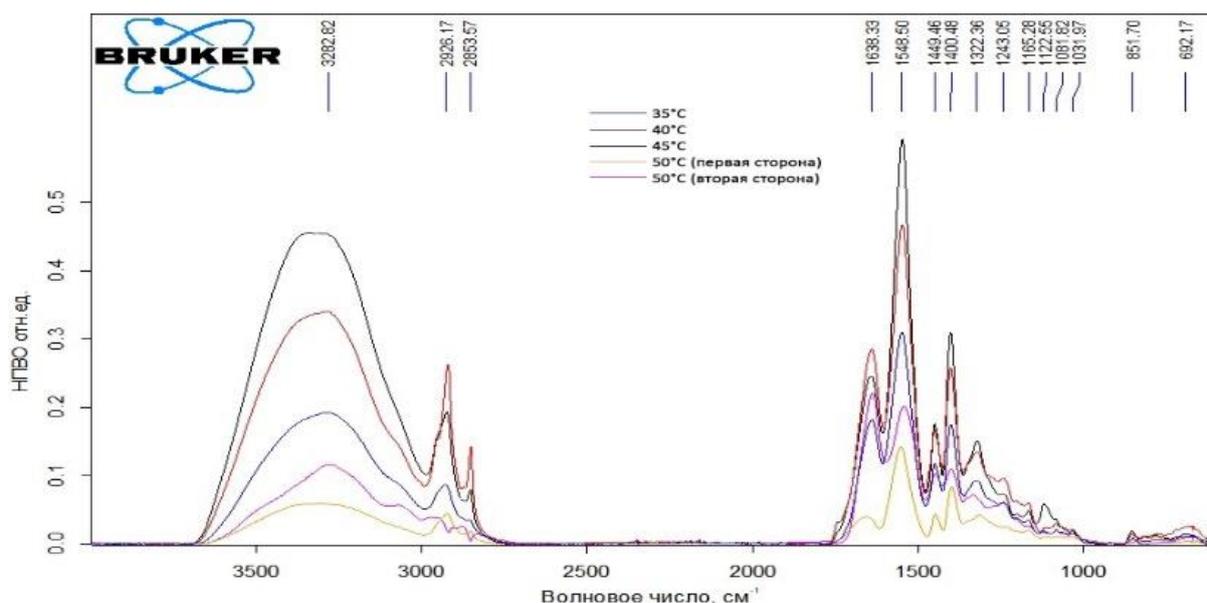


Рис. 2. ИК спектры образцов в зависимости от температуры полимеризации

Присутствующие на образцах полосы поглощения частот 3280 см^{-1} свидетельствуют о наличии аминокислотных остатков. Диапазон частот $1640\text{--}1560\text{ см}^{-1}$ говорит о существовании деформационных колебаний N–H группы белков и аминокислот.

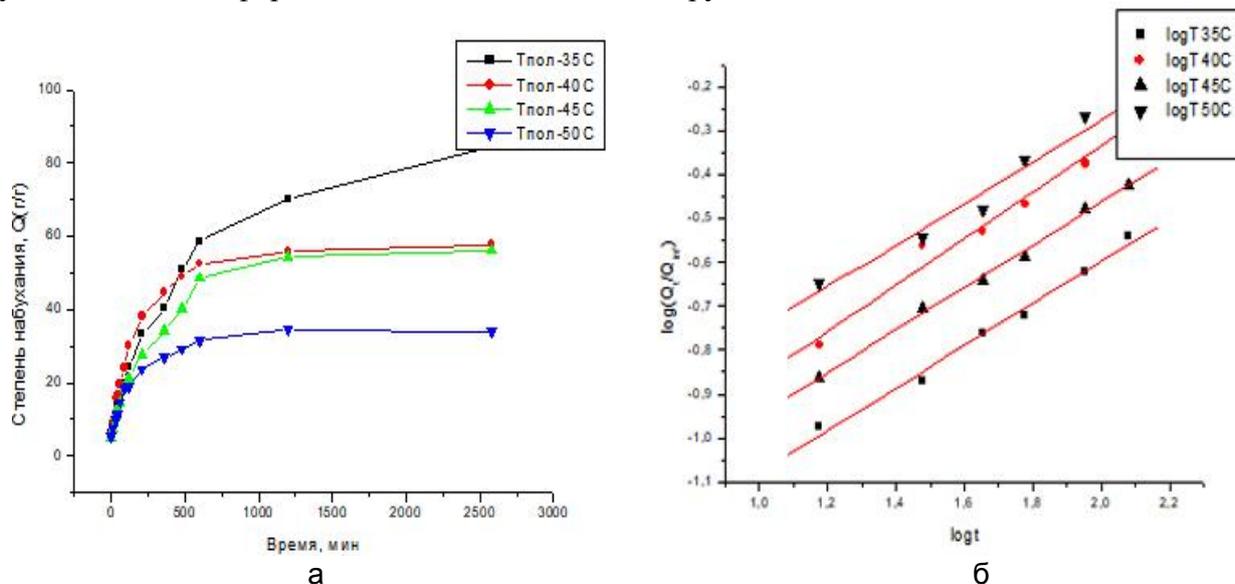


Рис. 3. Зависимость степеней набухания гидрогелей в зависимости от разной температуры полимеризации в физиологическом растворе

Как видно из рис. 3, максимальными сорбционными свойствами в физиологическом растворе обладал образец, синтезированный при температуре полимеризации 35°C , и достигал максимум степени набухания $Q=84,37$. Образец, синтезированный при температуре полимеризации 50°C , имел в 2,5 раза меньшую сорбционную поглощаемость $Q=34,04$ по сравнению с композитными материалами, приготовленными при температуре 35°C . Возможно предположить, что уменьшение равновесной степени набухания происходит за счет дополнительного сшивания при полимеризации белкового наполнителя с цепями полиакрилата калия при более высоких температурах.

Расчеты набухающих диффузионных показателей, коэффициента Фика (n) и коэффициента корреляции (R^2) были достигнуты путем построения данных на логарифмических графиках (рис. 3, б), значения представлены в таблице.

Таблица. Сорбционные характеристики гидрогелей в физиологическом растворе при разных температурах полимеризации

| Температура полимеризации | Влагосодержание γ , % | Макс. степень набухания Q_{\max} | Коэффициент диффузии Фика (n) | Коэффициент корреляции (R^2) |
|---------------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 35°C | 24,25 | 84,37 | 0,4835 | 0,9937 |
| 40°C | 25,20 | 58,2 | 0,5283 | 0,9881 |
| 45°C | 22,13 | 56,17 | 0,4837 | 0,9982 |
| 50°C | 15,78 | 34,04 | 0,4711 | 0,9854 |

Для физиологического раствора экспонента n для всех образцов имеет значение $n < 0,5$, значит можно утверждать, что процессы диффузии в начале набухания происходят быстрее за счет релаксации полимерной структуры.

К результатам проделанной работы можно отнести:

1. получены белковые полосы материалов методом ИК спектроскопии, что свидетельствует о присутствии белкового наполнителя;
2. экспериментально определены наилучшие сорбционные характеристики наполненных материалов в зависимости от температуры полимеризации. Показано, что образец, синтезированный при $T_{\text{пол}}=35^\circ\text{C}$, достигал максимальной степень набухания в физиологическом растворе $Q_{\max}=84,37$ г/г.

Литература

1. Diacono M., Montemurro F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review // *Agron. Sustain. Dev.* – 2010. – V. 30. – P. 401–422.
2. Wen P., Wu Z.S., He Y.H., Ye B.C., Han Y.J., Guan X.Y., Wang J. Microwave-assisted one-step synthesis and characterization of a slow release nitrogen fertilizer with inorganic and organic composites // *RSC ADVANCES*. – 2016. – V. 6. – № 44. – P. 37337–37346.
3. Olekhovich R.O., Baidakova M.V., Uspenskii A.B., Slobodov A.A., Uspenskaya M.V. Phosphorus-containing hydrogel for use in agriculture // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM: 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference*. – 2016. – P. 249–256.
4. Shahid S.A., Qidwai A.A., Anwar F., Ullah I., Rashid U. Effects of a Novel Poly (AA-co-AAm)/AlZnFe₂O₄/potassium Humate Superabsorbent Hydrogel Nanocomposite on Water Retention of Sandy Loam Soil and Wheat Seedling Growth // *Molecules*. – 2012. – V. 17. – P. 12587–12602.
5. Байдакова М.В., Ситникова В.Е., Успенская М.В., Кременевская М.И., Соснина О.А., Лебедева Т.В. Методы синтеза и исследование свойств акриловых композитов на основе белкового наполнителя «Биостим» // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*. – 2017. – № 4(34) . – С. 13–19.

**Ворожцова Юлия Сергеевна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, студент группы № В4160сНаправление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: leta-x@mail.ru

**Усманова Фания Гайнулхаковна**

Год рождения: 1978

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, к.хим.н., доцент

e-mail: fania1909@gmail.com

УДК 66.082.4**РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ЖИДКОСТЕЙ ГЛУШЕНИЯ
С ПЛОТНОСТЬЮ 1180–1350 КГ/М³****Ворожцова Ю.С., Усманова Ф.Г.****Научный руководитель – к.хим.н., доцент Усманова Ф.Г.**

В работе рассмотрена возможность разбавления насыщенных растворов хлорида и нитрата кальция раствором галита с целью получения жидкостей глушения плотностью до 1350 кг/м³: оценены их физико-химические параметры с целью заключения о возможности применения на объектах ООО «Газпромнефть-Хантос», приведен экономический эффект от внедрения разработанных растворов на данных объектах.

Ключевые слова: глушение, жидкости глушения, плотность раствора, разбавление, нормы расхода, совместимость.

В настоящее время на объектах ООО «Газпромнефть-Хантос» широко применяется водный раствор хлорида натрия с плотностью до 1180 кг/м³. Более тяжелые растворы в диапазоне плотностей 1180–1350 кг/м³ готовятся на основе хлорида кальция, кальциевой селитры, стоимость которых гораздо выше в сравнении с хлоридом натрия. В то же время известно, что смешение растворов хлорида натрия и вышеперечисленных минеральных солей позволяет получать утяжеленные растворы с плотностью до 1350 кг/м³ и значительно снизить расходы на приготовление жидкостей глушения в данном диапазоне плотностей. Таким образом, работы по разработке рецептур на основе хлорида натрия и других минеральных солей, а также определение совместимости и норм расхода солей с целью приготовления жидкостей глушения плотностью 1180–1350 кг/м³, адаптированных к условиям месторождений ООО «Газпромнефть-Хантос» являются актуальной задачей.

Таким образом, целью данной работы являлось исследование возможности разбавления насыщенных растворов хлорида и нитрата кальция раствором галита с целью получения жидкостей глушения плотностью до 1350 кг/м³ и оценка совместимости их с пластовыми водами ООО «Газпромнефть-Хантос».

Предварительная экономическая оценка показала, что использование разбавленного раствора хлорида кальция раствором хлорида натрия в данном диапазоне плотностей позволит сократить расходы на приготовление жидкости глушения на 33%. В свою очередь,

экономия при использовании разбавленного раствора нитрата кальция раствором хлорида натрия составит до 20%.

Для приготовления и взаимного разбавления растворов «хлорид кальция – хлорид натрия» и «нитрат кальция – хлорид натрия» заданного диапазона плотностей были рассчитаны нормы расхода солей и составлены таблицы разбавления (табл. 1 и табл. 2).

Таблица 1. Таблица разбавления раствора хлорида натрия плотностью 1180 кг/м³ раствором хлорида кальция

| Наименование | Плотность раствора, кг/м ³ | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1190 | 1200 | 1210 | 1220 | 1230 | 1240 | 1250 | 1260 |
| NaCl, % | 0,94 | 0,88 | 0,82 | 0,76 | 0,71 | 0,65 | 0,59 | 0,53 |
| CaCl ₂ , % | 0,06 | 0,12 | 0,18 | 0,24 | 0,29 | 0,35 | 0,41 | 0,47 |
| Наименование | Плотность раствора, кг/м ³ | | | | | | | |
| | 1270 | 1280 | 1290 | 1300 | 1310 | 1320 | 1330 | 1340 |
| NaCl, % | 0,47 | 0,41 | 0,35 | 0,29 | 0,24 | 0,18 | 0,12 | 0,06 |
| CaCl ₂ , % | 0,53 | 0,59 | 0,65 | 0,71 | 0,76 | 0,82 | 0,88 | 0,94 |

Таблица 2. Таблица разбавления раствора хлорида натрия плотностью 1180 кг/м³ раствором нитратом кальция

| Наименование | Плотность раствора, кг/м ³ | | | | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1190 | 1200 | 1210 | 1220 | 1230 | 1240 | 1250 | 1260 |
| NaCl, % | 0,94 | 0,88 | 0,82 | 0,76 | 0,71 | 0,65 | 0,59 | 0,53 |
| Ca(NO ₃) ₂ , % | 0,06 | 0,12 | 0,18 | 0,24 | 0,29 | 0,35 | 0,41 | 0,47 |
| Наименование | Плотность раствора, кг/м ³ | | | | | | | |
| | 1270 | 1280 | 1290 | 1300 | 1310 | 1320 | 1330 | 1340 |
| NaCl, % | 0,47 | 0,41 | 0,35 | 0,29 | 0,24 | 0,18 | 0,12 | 0,06 |
| Ca(NO ₃) ₂ , % | 0,53 | 0,59 | 0,65 | 0,71 | 0,76 | 0,82 | 0,88 | 0,94 |

Нормы расходов солей были рассчитаны согласно методическому документу М-01.06.10.06-02 [1]. Определенные нормы расхода для приготовления жидкостей глушения с плотностью в диапазоне 1180–1350 кг/м³ представлены на рис. 1 и 2.

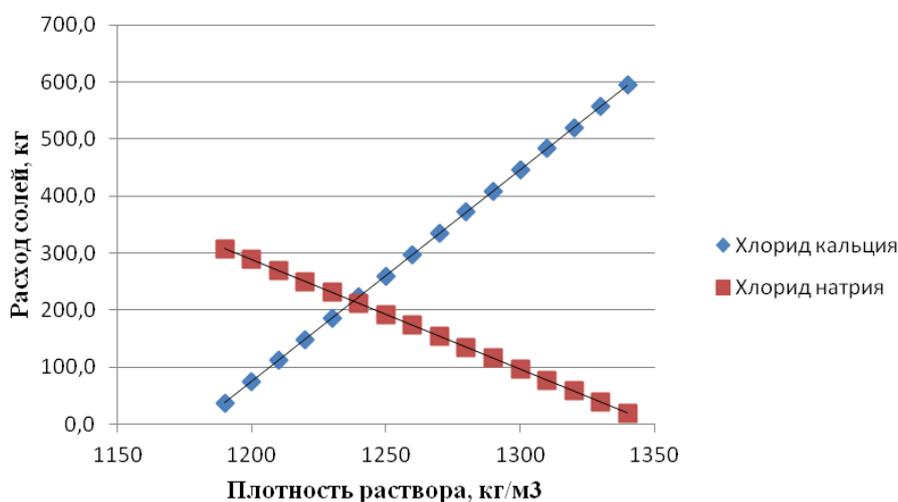


Рис. 1. Зависимость расхода солей хлорида кальция и хлорида натрия для приготовления раствора заданной плотности в диапазоне плотностей 1180–1350 кг/м³

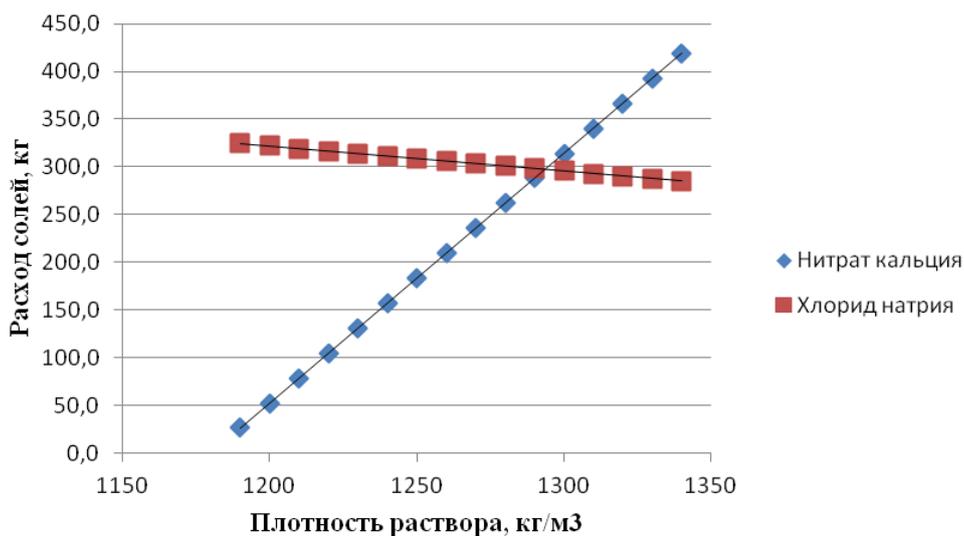


Рис. 2. Зависимость расхода солей нитрата кальция и хлорида натрия для приготовления раствора заданной плотности в диапазоне плотностей 1180–1350 кг/м³

После их приготовления у растворов были изучены, для установления возможности их применения в условиях объектов ООО «Газпромнефть-Хантос», следующие физико-химические свойства:

- совместимость смешиваемых исходных (чистых) растворов солей, что подразумевает визуальную оценку наличия взвешенных частиц и образования расслоений в растворах;
- количество взвешенных частиц;
- скорость коррозии;
- температура застывания;
- совместимость с пластовой водой;
- термостабильность при пластовой температуре.

В результате визуальной оценки смеси растворов хлорида кальция и хлорида натрия стабильность наблюдается только в диапазоне плотностей 1180–1220 кг/м³. В образцах с плотностью более 1230 кг/м³ наблюдается выпадение белого осадка. В свою очередь, смеси растворов нитрата кальция и хлорида натрия оказались стабильными во всем исследуемом диапазоне плотностей.

Определение количества взвешенных частиц (КВЧ) выполнялось согласно ОСТ 39-231-89 [2]. Согласно условиям применения жидкостей глушения на объектах ООО «Газпромнефть-Хантос» содержание взвешенных частиц в растворе не должно превышать 50 мг/дм³. В результате определения данного показателя было выявлено, что все приготовленные растворы соответствуют данному требованию.

Скорость коррозии приготовленных жидкостей глушения определялась согласно требованиям методического документа М-01.02.07.01-01 [3]. Металлические пластины выдерживались в течение суток в исследуемом растворе, после чего измерялась потеря массы пластинок. Согласно требованиям ПАО «Газпромнефть», коррозионная активность жидкостей глушения не должна превышать 0,12 мм/год, в результате проведенных испытаний все исследуемые растворы соответствуют данному условию.

Температура застывания оценивалась согласно ГОСТ 20287-91 [4] и не должна была быть выше отметки в –15°С согласно условий эксплуатации объектов ООО «Газпромнефть-Хантос». Результаты определения температуры застывания каждого из исследованных растворов показали соответствие их данному требованию.

Для проведения исследования совместимости приготовленных растворов и пластовой воды их смешивали в соотношении 1/9, 5/5 и 9/1. Затем полученные смеси выдерживали в течение 72 ч при пластовой температуре (90°С) и визуально оценивали на наличие

помутнений, расслоений или осадка. В результате все приготовленные жидкости глушения плотностью 1180–1350 кг/м³ оказались несовместимы с пластовой водой, что проявилось в образовании выраженного белого осадка.

Термостабильность приготовленных жидкостей глушения заключалась в их выдерживании при пластовой температуре в течение 72 ч и дальнейшей визуальной оценке на наличие осадка, помутнения или расслоения исследуемого раствора. Все приготовленные растворы термостабильны в условиях объектов ООО «Газпромнефть-Хантос».

По результатам проведенных исследований приготовленных растворов приведена сводная таблица результатов соответствия их физико-химических параметров требованиям применения в условиях объектов ООО «Газпромнефть-Хантос» (табл. 3).

Таблица 3. Таблица разбавления раствора хлорида натрия плотностью 1180 кг/м³ раствором хлорида кальция

| Параметр | Соответствие требованиям | |
|---------------------------------|--|--|
| | NaCl-CaCl ₂ (1180–1240 кг/м ³) | NaCl-Ca(NO ₃) ₂ (1180–1350 кг/м ³) |
| Внешний вид | да | да |
| Количество взвешенных частиц | да | да |
| Скорость коррозии | да | да |
| Температура застывания | да | да |
| Совместимость с пластовой водой | нет | нет |
| Термостабильность | да | да |

Таким образом, применение приготовленных растворов глушения плотностью 1180–1350 кг/м³ является экономически выгодным, однако для их использования в условиях объектов ООО «Газпромнефть-Хантос» необходим подбор стабилизаторов, которые позволят предотвратить несовместимость растворов хлорида кальция и хлорида натрия в диапазоне плотностей 1240–1350 кг/м³, а также несовместимость растворов NaCl-CaCl₂ и NaCl-Ca(NO₃)₂ с пластовой водой.

Литература

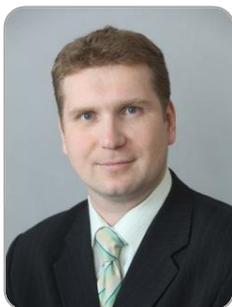
1. Методический документ М-01.06.10.06-02. Приготовление технологических жидкостей. – СПб.: ПАО «Газпром нефть», 2017. – 71 с.
2. ОСТ 39-231-89. Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение содержания механических примесей в речных и промысловых водах. – Введен 01.07.1990. – Баку: АзНИПИнефть, 1990. – 10 с.
3. Методический документ М-01.02.07.01-01. Сборник свойств химических реагентов, подлежащих контролю, и методов их лабораторного определения. – Введен 06.10.2017. – СПб.: ПАО «Газпром нефть», 2017. – 119 с.
4. ГОСТ 20287-91. Нефтепродукты. Методы определения температур текучести и застывания. – Введен 01.01.1992. – М.: Стандартинформ, 2006. – 7 с.

**Геряинов Егор Сергеевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, студент группы № В4160сНаправление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: geryainov@gmail.com

**Карпов Константин Анатольевич**

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, к.хим.н., доцент

e-mail: karconst@mail.ru

УДК 665.7.038

**ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ ПРИСАДКИ МКФ-18НТ ПРИ ЖИДКОФАЗНОМ
ОКИСЛЕНИИ УГЛЕВОДОРОДОВ****Геряинов Е.С., Карпов К.А.****Научный руководитель – к.хим.н., доцент Карпов К.А.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617031 «Исследование и разработка методов и средств решения прикладных задач фотоники».

В работе рассмотрены антиокислительные и биоцидные свойства металлоплакирующей присадки МКФ-18НТ. Показано, что присадка МКФ-18НТ обладает сильным противомикробным действием и не является ингибитором автоокисления углеводородов.

Ключевые слова: присадки, МКФ-18НТ, полифункциональные присадки, газометрическая установка, антиоксиданты, биоциды.

Для хорошей работы различных механизмов и узлов трения в смазочные масла добавляют присадки, обладающие различными свойствами. В целях снижения количества вводимых присадок более рациональным подходом является применение полифункциональных присадок.

В ходе проведения экспериментов была рассмотрена металлоплакирующая присадка МКФ-18НТ. Данная присадка уменьшает образование отложений на деталях трения, создает металлический слой на поверхности трения, уменьшая коэффициент трения и увеличивая срок службы механизмов трения, а также в ходе эксплуатации моторного масла с присадкой МКФ-18НТ в двигателе внутреннего сгорания снижается кислотное число отработанного масла, продлевая срок службы масла. Таким образом, применение присадки МКФ-18НТ может дополнительно иметь антиокислительную и (или) противомикробную активность, и их можно рекомендовать в качестве полифункциональных присадок с более широким спектром полезных свойств.

С целью проверки антиокислительного действия присадки были поставлены тестовые опыты по окислению модельного углеводорода в присутствии МКФ-18НТ. В качестве модельного (тестового) углеводорода был использован изопрропилбензол (кумол). Выбор кумола обусловлен тем, что алкилароматические углеводороды, содержащие третичный атом углерода, наиболее склонны к окислению, и основные закономерности, полученные при

изучении механизма ингибированного окисления кумола, с достаточной долей вероятности можно перенести на другие углеводороды.

Присадка МКФ-18НТ содержит в своем составе соединения металлов, которые в реакциях окисления могут проявлять как каталитические, так и ингибирующие свойства [1, 2].

Автоокисление кумола проводили на газометрической установке [2] при температуре 100°C (что примерно соответствует температуре моторного масла при работе двигателя внутреннего сгорания) и давлении кислорода 1013 гПа. Окисление кумола протекало с незначительным периодом индукции (около 3 мин). Введение присадки МКФ-18НТ в количестве 4% (об.) не привело к торможению окисления, т.е. объем поглощаемого кислорода практически соответствовал этому параметру для аналогичных опытов без добавки (опыты по окислению реактивного топлива РТ показали аналогичные результаты).

Следует также отметить, что при увеличении концентрации вводимой присадки МКФ-18НТ наблюдалось незначительное увеличение скорости окисления, т.е. происходил катализ автоокисления кумола. Кроме того, при смешении кумола и присадки МКФ-18НТ однородного раствора получить не удалось. После встряхивания реактора с раствором на стенках оставались мелкие частицы белого цвета, что также наблюдалось и после проведения окисления (аналогичная ситуация наблюдалась во время опытов с топливом РТ).

Существует точка зрения о действии антиоксидантов главным образом как биоцидов [3]. Для получения количественных характеристик биоцидного действия МКФ-18НТ были проведены опыты по оценке чувствительности тест-микроорганизмов к присадке методом диффузии в агар [4]. Для исследования использовали стандартные питательные среды: Чапек-агар и мясо-пептонный агар.

В таблице приведены результаты испытаний влияния МКФ-18НТ на рост микроорганизмов.

Таблица. Оценка результатов чувствительности тест-микроорганизмов к присадке для масел МКФ-18НТ методом диффузии в агар

| Тест-культура | Диаметр зон задержки роста микроорганизмов, мм |
|------------------------------------|--|
| <i>Staphylococcus aureus</i> | 28 |
| <i>Escherichia coli</i> | 35 |
| <i>Bacillus cereus</i> | 32 |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | 10 |
| <i>Candida utilis</i> | 30 |
| <i>Cladosporium resinae</i> | 10 |
| <i>Penicillium aurantiogriseum</i> | 8 |
| <i>Aspergillus niger</i> | 25 |

Опыты показали, что присадка МКФ-18НТ обладает сильным биоцидным действием. При анализе таблицы видно, что наибольшие значения диаметров зон задержки роста наблюдаются у бактерий: *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, культуры дрожжей *Candida utilis*, а также культуры гриба *Aspergillus niger*.

Таким образом, в ходе проведенных исследований установлено, что присадка МКФ-18НТ [в количестве до 4% (об.)] не является ингибитором автоокисления углеводородов, и снижение кислотного числа у отработанного моторного масла не является следствием антиокислительной активности присадки. МКФ-18НТ обладает биоцидными свойствами и, например, может быть рекомендована для использования в качестве добавки, повышающей биостойкость масел и смазочно-охлаждающих жидкостей.

Литература

1. Карпов К.А. Производные 2-аминотиазола – полифункциональные ингибиторы окисления углеводов: дис. ... канд. хим. наук. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2001. – 155 с.
2. Эмануэль Н.М., Денисов Е.Т., Майзус З.К. Цепные реакции окисления углеводов в жидкой фазе. – М.: Наука, 1965. – 375 с.
3. Саблина З.А., Гуреев А.А. Присадки к моторным топливам. – М.: Химия, 1977. – 258 с.
4. Медицинская микробиология. Ч.1. / Под ред. А.М. Королюка и В.Б. Сбойчакова. – СПб.: Изд-во ЗАО «ЭЛБИ», 1999. – 272 с.



Иванов Роман Олегович

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, студент группы № В4160с

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: romanivanov1995@yandex.ru



Карпов Константин Анатольевич

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, к.хим.н., доцент

e-mail: karconst@mail.ru

УДК 665.7.038.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРИСАДОК
К БЕНЗИНАМ**

Иванов Р.О., Карпов К.А.

Научный руководитель – к.хим.н., доцент Карпов К.А.

В работе рассмотрены антиокислительные и биоцидные свойства моющих присадок к автомобильным бензинам HiTEC 6473 и Keropur 3619. Показано, что присадка HiTEC 6473 также может выступать в качестве антиоксиданта и биоцидной добавки.

Ключевые слова: присадки к бензинам, полифункциональные присадки, газометрическая установка, антиоксиданты, биоциды.

Для стабилизации бензинов, как правило, используются смеси присадок, обладающих различными функциональными свойствами. В целях снижения количества вводимых присадок более рациональным подходом является применение полифункциональных присадок.

В ходе проведения экспериментов были рассмотрены многофункциональные присадки для бензинов HiTEC 6473 («AftonChemicalLtd», США) и Keropur 3619 («BASFSE», Германия), обладающие моющим действием. Они уменьшают образование отложений на деталях двигателя и топливной аппаратуры, и придают топливам антиобледенительные и антикоррозионные свойства. Таким образом, если исследуемые присадки будут дополнительно иметь антиокислительную и (или) противомикробную активность, то их можно рекомендовать в качестве полифункциональных присадок с более широким спектром полезных свойств.

С целью проверки антиокислительного действия исследуемых веществ были поставлены тестовые опыты по окислению модельного углеводорода (кумола) в присутствии присадок HiTEC 6473 и Keropur 3619. Выбор кумола обусловлен тем, что алкилароматические углеводороды, содержащие третичный атом углерода, наиболее склонны к окислению, и основные закономерности, полученные при изучении механизма ингибированного окисления кумола, с достаточной долей вероятности можно перенести на другие углеводороды.

Автоокисление кумола проводили при 110°C и давлении кислорода 1013 гПа на газометрической установке, принцип действия которой заключается в измерении объема

поглощаемого кислорода в условиях поддержания в системе постоянного давления [1]. Окисление кумола протекало с незначительным периодом индукции (около 3 мин). Введение присадки HiTES 6473 в количестве 0,56% (об.) привело к торможению окисления, выраженному в уменьшении скорости процесса на начальном участке и появлении периода индукции. Введение присадки Keropur 3619 в количестве 1,06% (об.) не привело к торможению окисления, т.е. объем поглощаемого кислорода практически соответствовал этому параметру для аналогичных опытов без добавки (опыты по окислению реактивного топлива РТ показали аналогичные результаты). Следует отметить, что в тестовых опытах по окислению обе исследуемые присадки вводились в модельный углеводород в количестве, превышающем в 10 раз оптимальное содержание этих добавок в бензине (рекомендуемая дозировка HiTES 6473 составляет 560 ppmv, Keropur 3619 – 1060 ppmv).

Следуя предположению о действии антиоксидантов главным образом как биоцидов, были проведены опыты по оценке чувствительности тест-микроорганизмов к присадкам HiTES 6473 и Keropur 3619 диско-диффузионным методом [2]. Для исследования использовали стандартные питательные среды: Чапек-агар и мясо-пептонный агар.

Чашки Петри с питательной средой перед посевами подсушивали в течение 30–40 мин. На поверхность питательной среды наносили 1 см³ исследуемой культуры (стоимиллионной суспензии из агаровой культуры), равномерно распределяли путем покачивания чашки. После посева чашки подсушивали при комнатной температуре в течение 10–15 мин. Диски с нанесенными на их поверхность соединениями накладывали пинцетом на равном расстоянии друг от друга и на 2 см от края чашки. Чашки инкубировали вверх дном при 26–28°C в течение 5 суток (тест культуры грибов) и при 35–37°C в течение 18–20 ч (тест культуры бактерий). Диаметры зон задержки роста вокруг дисков измеряли при помощи линейки [2].

На основании экспериментальных данных установлено, что присадка HiTES 6473 обладает биоцидными свойствами по отношению к культурам грибов, а в отношении бактерий HiTES 6473 индифферентна. В присутствии этой добавки наблюдались задержки роста культуры дрожжей *Candida utilis* (диаметр зоны 10 мм), а также культуры грибов *Penicillium aurantiogriseum* (диаметр зоны 15 мм). Аналогичные опыты с присадкой Keropur 3619 показали, что она биоцидным действием не обладает.

В ходе проведенных исследований установлено, что присадка HiTES 6473 является ингибитором автоокисления углеводов и, кроме того, обладает биоцидными свойствами по отношению к культурам грибов. Присадка Keropur 3619 в аналогичных опытах не проявила ни антиокислительных, ни антимикробных свойств.

Таким образом, моющая присадка HiTES 6473 (по сравнению с Keropur 3619) дополнительно обладает антиокислительными и биоцидными свойствами. Ее можно рекомендовать для применения в качестве полифункциональной добавки к автомобильным бензинам в районах с тропическим климатом, в условиях высоких температур и влажности воздуха.

Литература

1. Эмануэль Н.М., Денисов Е.Т., Майзус З.К. Цепные реакции окисления углеводов в жидкой фазе. – М.: Наука, 1965. – 375 с.
2. Медицинская микробиология. Ч.1 / под ред. А.М. Королюка и В.Б. Сбойчакова. – СПб.: Изд-во ЗАО «ЭЛБИ», 1999. – 272 с.



Маслова Александра Юрьевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, студент группы № В3366

Направление подготовки: 19.03.01 – Биотехнология и биоинженерия
e-mail: maslova.aleksandra97@gmail.com



Сибирцев Владимир Станиславович

Год рождения: 1969

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, к.хим.н., доцент

e-mail: vs1969r@mail.ru



Видякина Алина Витальевна

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, студент группы № В4266

Направление подготовки: 19.04.01 – Информационные технологии
и измерительные системы в биотехнологии и биоинженерии
e-mail: av_vid@mail.ru

УДК 57.04; 579.6; 57.083.1; 57.033; 504; 544.165

**ОПТИКО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ МИКРОБИОТЕСТОВАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕРРИТОРИЙ,
ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ОТХОДОВ, А ТАКЖЕ РАЗЛИЧНОЙ
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ**

Маслова А.Ю., Сибирцев В.С., Видякина А.В.

Научный руководитель – к.хим.н., доцент Сибирцев В.С.

В работе рассмотрено влияние пяти наиболее распространенных нефтепродуктов на жизнедеятельность тестовой микросистемы, в качестве которой был использован штамм *Lactobacillus bulgaricus*. По полученным результатам измерений релеевского светорассеяния, редокс-потенциала и электропроводности были сделаны выводы о степени токсичности исследуемых нефтепродуктов.

Ключевые слова: экологическая безопасность, тестовая биосистема, микроорганизмы, нефтепродукты, дизельное топливо, уайт-спирит, толуол, ОП-10, н-гексан, *Lactobacillus bulgaricus*.

В связи с все ускоряющимся развитием технологий, увеличением объемов производимой и потребляемой человечеством продукции увеличивается антропогенная нагрузка на окружающую среду, а также усложняется ее характер и территориальное распределение. Вследствие этого все более актуальными становятся проблемы: разработки достаточно простых, дешевых, экспрессных, надежных и доступных для массового применения методов комплексной оценки санитарно-гигиенического состояния и общей степени экологического неблагополучия различных водоемов, территорий и т.п.; оценки общей степени токсичности промышленных и бытовых выбросов и стоков от того или иного источника до и после прохождения ими очистки; мониторинга экологической безопасности уже выпускаемой продукции; а также выявления всех возможных как позитивных, так и негативных свойств новых либо модифицированных материалов, продуктов и препаратов.

Наиболее приемлемым и адекватным из таких методов в настоящее время признано использование тестовых биосистем. Использование в качестве последних многоклеточных организмов позволяет более адекватно моделировать человеческий организм. В то же время биотестирование с помощью микроорганизмов делает проведение таких анализов значительно более простым, доступным, дешевым, экспрессным и объективным в оценке результатов.

Однако принятые в настоящее время в качестве стандартных при биотестировании процедуры оценки общей выживаемости микроорганизмов (закрывающиеся, в большинстве случаев, в визуальной оценке того, насколько ингибируется или активируется по сравнению с контрольной группой рост тестовых микроорганизмов) дают, как правило, лишь весьма неполную, субъективную и «статичную» информацию о летальных нарушениях жизнедеятельности тестовых организмов [1].

В связи с этим перспективным представляется использование для целей микробиологического биотестирования различных инструментальных технологий, среди которых наиболее простыми в исполнении и универсальными, на наш взгляд, являются оптические и электрохимические методы. Исходя из чего, был разработан следующий метод оценки степени экологической безопасности различных помещений и территорий, источников загрязнения окружающей среды, новой либо уже выпускаемой продукции и т.п.

Сначала на территории, интересующей нас в плане ее возможного экологического неблагополучия отбираются пробы воздуха, воды, почвы, снимаются смывы или мазки со стен помещений и т.д., либо отбирается определенное количество отходов или материалов, интересующих нас в плане экологической безопасности оных. Затем отобранные пробы доставляются в лабораторию и делятся на несколько равных частей, каждая из которых добавляется к заданному объему жидкой питательной среды (ПС), содержащей исходно одинаковое количество питательных веществ и жизнеспособных тестовых микроорганизмов.

Далее все образцы инкубируются в течение заданного времени при температуре, оптимальной для развития используемых тестовых микроорганизмов. При этом в каждом из инкубируемых образцов с интервалом от 15 до 30 мин регистрируются как интегральное ($\Delta Y^* = Y - Y_0$), так и дифференциальное ($\Delta Y / \Delta \tau = (Y_i - Y_{i-1}) / (\tau_i - \tau_{i-1})$) изменения одного или нескольких из таких параметров ПС, как интенсивность релеевского светорассеяния, электропроводность, редокс-потенциал, рН и т.п. После этого все полученные значения по параллельным образцам усредняются. Для каждого из усредненных значений рассчитывается доверительный интервал. На основании сравнения этих значений со значениями аналогичных параметров, полученными для контрольных образцов, а также сопоставления значений различных параметров между собой делается вывод об общем характере воздействия анализируемых проб на используемую в качестве тестовой биосистему. И на основании последнего делается вывод о степени экологической безопасности интересующих нас территории, помещения, нового или уже выпускаемого материала, продукта или препарата [2].

В качестве примера подобного анализа в настоящей работе приведена методика и результаты оценки токсичности следующих пяти нефтепродуктов: дизельное топливо (ДТ); уайт-спирит (УС); толуол (Тл); ОП-10 (ОП) и н-гексан (нГ).

Всего были проведены три серии измерений. В каждой серии исследовалась кинетика роста тестовых микроорганизмов в 21-й пробирке. При этом сначала в каждую из этих пробирок добавлялось по 9 мл ПС (в качестве которой использовался стерилизуемый автоклавированием в течение 20 мин при 121°C водный раствор с рН 7,2±0,2, содержащий 5 г/л глюкозы, 18 г/л панкреатического гидролизата рыбной муки и 2 г/л NaCl) и 1 мл бактериальной закваски (той же ПС, содержащей в 1 мл 10⁷ жизнеспособных тестовых микроорганизмов).

Затем все пробирки инкубировались при температуре 40±0,1°C (оптимальной для роста и развития штамма *Lactobacillus bulgaricus* 298) в течение 12 ч (чтобы тестовые микроорганизмы во всех пробирках достигли экспоненциальной фазы своего развития, в

которой микроорганизмы наиболее чувствительны к внешним воздействиям, а также характеризуются наибольшими темпами роста и метаболической активности).

Далее в каждую из пробирок (по три в параллель), не вынимая оные из термостата, добавлялось по 0,02 мл 100% либо 1% ДТ, УС, толуола, ОП-10 либо н-гексана, а пробирки № 1–3 использовались в качестве контроля. После чего в течение следующих 5 ч в каждой из пробирок, инкубируемых при той же температуре, что и ранее, последовательно, с интервалом 30 мин, регистрировались: интенсивность релеевского светорассеяния (I_{OD} , нефелометрическим методом, с помощью флуориметра «СМ-2203» на длине волны 520 нм), редокс-потенциал (E , с помощью иономера «Эксперт-001» с электродом «ЭРП-105») и удельная, линейная, низкочастотная электропроводность (X , с помощью кондуктометра «Эксперт-002»).

Далее все полученные значения усреднялись (сначала по трем параллельным образцам внутри каждой серии измерений, а затем между сериями). И для каждого из усредненных значений рассчитывался 95% доверительный интервал.

Полученные данные приведены на рисунке и в таблице. При этом изменение I_{OD} характеризовало рост и размножение тестовых микроорганизмов (поскольку на интенсивность релеевского светорассеяния влияет в первую очередь количество и размер микробных клеток, присутствующих в анализируемом образце). А изменение E и X характеризовало активность метаболизма тестовых микроорганизмов (поскольку на значение редокс-потенциала и электропроводности жидкого образца влияет в первую очередь то, какие ионы и в каких количествах присутствуют в анализируемом образце).

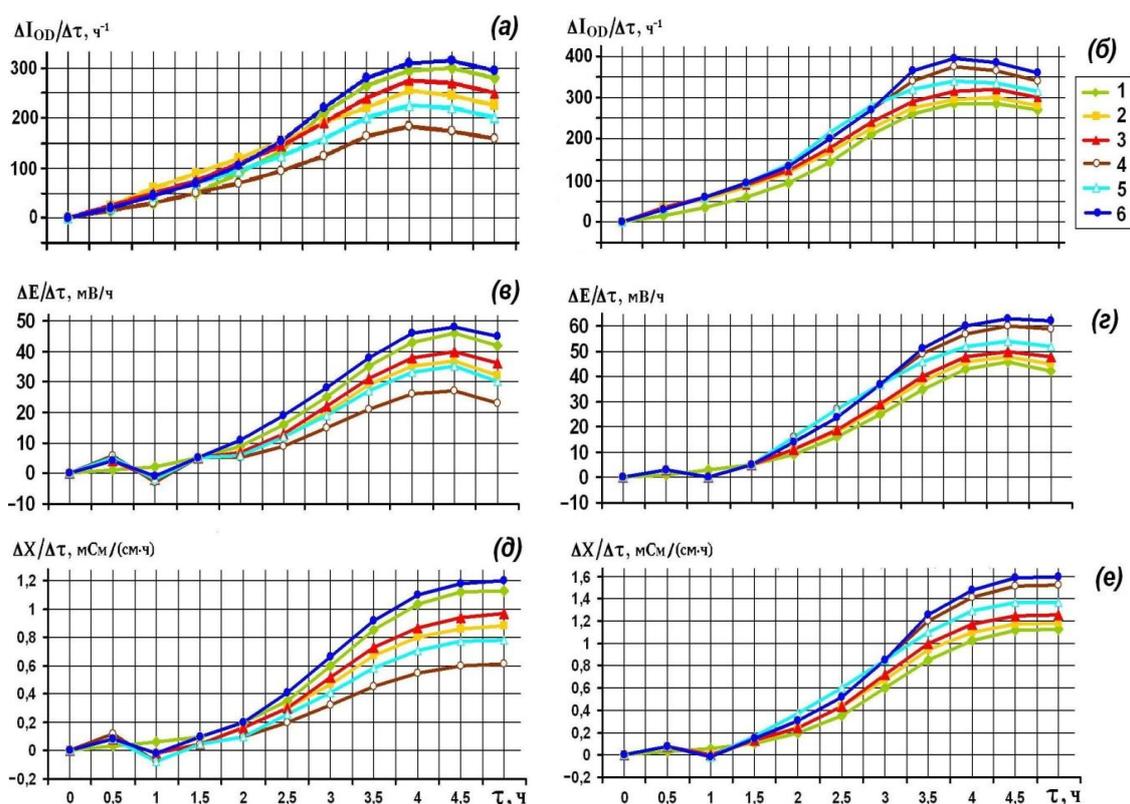


Рисунок. Усредненные дифференциальные зависимости изменения интенсивности релеевского светорассеяния (I_{OD} , о.е.), редокс-потенциала (E , мВ) и удельной, линейной, низкочастотной электропроводности (X , мСм/см) от времени инкубации (τ) при 40°C *Lactobacillus bulgaricus* 298 в присутствии различных количеств нефтепродуктов.

При этом соответствующими линиями, соединяющими экспериментальные точки, показаны значения, полученные для *L. bulg.* в отсутствие нефтепродуктов (контроль, 1), а также в присутствии 2×10^{-3} (рис. а, в, д) и 2×10^{-5} (рис. б, г, е) об.% дизельного топлива (2), уайт-спирита (3), ОП-10 (4), толуола (5) и н-гексана (6)

Таблица. Степень активирования или ингибирования (+/-) жизнедеятельности тестовых микроорганизмов в присутствии различных продуктов нефтепереработки

| | ДТ _{р3} | УС _{р3} | ОП _{р3} | Тл _{р3} | нГ _{р3} | ДТ _{р5} | УС _{р5} | ОП _{р5} | Тл _{р5} | нГ _{р5} |
|--------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| ε_{Iod} , % | -9,1 ±0,3 | -3,2 ±0,1 | -36±1 | -19 ±0,6 | +5,3 ±0,2 | +10 ±0,4 | +17 ±0,5 | +32±1 | +28±1 | +37±1 |
| ε_E , % | -19 ±0,6 | -15 ±0,4 | -41±1 | -25 ±0,7 | +7,1 ±0,3 | +7,2 ±0,3 | +12 ±0,4 | +35±1 | +29±1 | +41±1 |
| ε_X , % | -24 ±0,7 | -17 ±0,4 | -47±1 | -32 ±0,8 | +6,2 ±0,2 | +8,1 ±0,4 | +15 ±0,5 | +35±1 | +31±1 | +42±1 |
| ε_Σ , % | -15±8 | -10±8 | -40±5 | -24±6 | +6,0±1 | +9,0±2 | +15±2 | +34±2 | +29±2 | +39±3 |

Примечания. Индексами «р3» и «р5» обозначены концентрации соответствующих нефтепродуктов, равные 2×10^{-3} и 2×10^{-5} об.%. $\varepsilon_Y = 100 \times (\Delta Y_I - \Delta Y_K) / \Delta Y_K$ – степень активирования или ингибирования (+/-) жизнедеятельности тестовых микроорганизмов, рассчитываемая по изменению соответствующего параметра ($\Delta Y = Y_5 - Y_0 = \Delta I_{OD}$, ΔE или ΔX) относительно исходного (Y_0) через 5 ч после инкубирования тестовых микроорганизмов в питательной среде в присутствии соответствующих нефтепродуктов (ДТ, УС, ОП, Тл или нГ), взятых в соответствующих концентрациях. $\varepsilon_\Sigma = (\varepsilon_{Iod} + 0,5\varepsilon_E + 0,5\varepsilon_X) / 2$ – среднепараметрическая степень активирования или ингибирования (+/-) жизнедеятельности тестовых микроорганизмов в присутствии соответствующего нефтепродукта, взятого в соответствующей концентрации.

Из представленных данных можно сделать следующие выводы. Среди исследованных нефтепродуктов, присутствующих в инкубационной среде в достаточно большой концентрации (2×10^{-3} об.%), в наибольшей степени жизнедеятельность тестовых микроорганизмов ингибировал ОП-10, содержащий помимо ароматического цикла, также активные спиртовые и эфирные группы ($\varepsilon_\Sigma = -40 \pm 5\%$). Далее в порядке уменьшения степени ингибирования тестовых микроорганизмов следовали: толуол (Тл, основной составляющей молекулы которого также являлось бензольное кольцо, соединенное, однако, в отличие от ОП-10, с малоактивной метильной группой, $\varepsilon_\Sigma = -24 \pm 6\%$), ДТ (содержащее достаточно большое количество веществ, вредных для жизнедеятельности большинства организмов, $\varepsilon_\Sigma = -15 \pm 8\%$) и УС (в котором содержание различных ароматических углеводородов составляло не более 16%, а остальные 84% приходились на долю насыщенных ациклических и алициклических углеводородов, $\varepsilon_\Sigma = -10 \pm 8\%$). В то же время н-гексан (нГ), являющийся представителем насыщенных ациклических углеводородов, в той же концентрации (2×10^{-3} об.%), что и ранее рассмотренные нефтепродукты, в небольшой степени даже активировал жизнедеятельность тестовых микроорганизмов ($\varepsilon_\Sigma = +6 \pm 1\%$).

При этом, как видно из зависимостей $\Delta I_{OD} / \Delta t$ от τ (где τ – время от начала инкубации тестовых микроорганизмов в ПС с различными нефтепродуктами) (рисунок, а), даже в случае достаточно больших концентраций тестируемых нефтепродуктов (2×10^{-3} об.%), в начальный период инкубации в присутствии практически любого из них имела место некоторая активация роста тестовых микроорганизмов. И лишь затем в той или иной степени начиналось ингибирование их жизнедеятельности. Хотя в случае еще больших концентраций тестируемых нефтепродуктов ингибирование жизнедеятельности микроорганизмов в присутствии оных продуктов будет иметь место, конечно, с самого начала инкубации.

Аналогично активация жизнедеятельности тестовых микроорганизмов наблюдалась и в случае присутствия любого из исследуемых нефтепродуктов в инкубационной среде в достаточно малой концентрации (2×10^{-5} об.%). Причем активация эта была не краткосрочной (как в предыдущем случае), а пролонгированной. И в наибольшей мере наблюдалась для н-гексана ($\varepsilon_\Sigma = +39 \pm 3\%$), после которого в порядке убывания степени активации жизнедеятельности тестовых микроорганизмов следовали ОП-10 ($\varepsilon_\Sigma = +34 \pm 2\%$), толуол ($\varepsilon_\Sigma = +29 \pm 2\%$), УС ($\varepsilon_\Sigma = +15 \pm 2\%$) и ДТ ($\varepsilon_\Sigma = +9 \pm 2\%$) (таблица). Таким образом, можно

заклучить, что в целом тестовые микроорганизмы способны были питаться даже весьма химически активными ароматическими углеводородами (такими например, как ОП-10), соответственно дезактивируя и разрушая оные. Хотя это для данных микроорганизмов было труднее, чем использовать в качестве источника углерода для своей жизнедеятельности ациклические углеводороды (такие например, как н-гексан), не говоря уже о глюкозе, глицерине, растительных и животных маслах и т.п. Причем менее химически активный толуол *L.bulg.* оказалось даже труднее разлагать, чем ОП-10. А приспособиться к существованию в присутствии таких сложных смесей различных углеводородов, как УС и ДТ для *L.bulg.* оказалось еще сложнее. Причем ДТ оказалось для *L.bulg.* более сложным источником питательных веществ, чем УС.

Кроме того, из рисунков, в–е, можно видеть, что в присутствии всех исследуемых нефтепродуктов в диапазоне концентраций от 2×10^{-5} до 2×10^{-3} об.% в начальный период инкубации ($\tau < 1,5$ ч) $\Delta E / \Delta \tau$ и $\Delta X / \Delta \tau$ в результате жизнедеятельности тестовых микроорганизмов с течением времени изменялись немонотонно – что, вероятно, отражало на биохимическом уровне процессы приспособления тестовых микроорганизмов к присутствию тестируемых веществ в начальный период инкубации оных микроорганизмов.

Литература

1. Sibirtsev V.S. System for biotesting and comprehensive express microbial analysis of various products and preparations // Journal of Nature Science and Sustainable Technology (JNSST). – 2016. – V. 10. – № 1. – P. 143–146.
2. Сибирцев В.С., Красникова Л.В., Шлейкин А.Г. и др. Новый метод биотестирования с применением современных импедансных технологий // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2015. – Т. 15. – № 2. – С. 275–284.

**Останин Степан Андреевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, студент группы № В4160сНаправление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: stepan.ostanin1995@gmail.com

УДК 544.03

**ПРОТОТРОПНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ЦИКЛОАЛИФАТИЧЕСКИХ ПОЛИУРЕТАНОВ
И ПОЛИМОЧЕВИН, ИССЛЕДОВАННОЕ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ ЯМР****Останин С.А.****Научный руководитель – д.хим.н., профессор Зуев В.В.**

В работе был использован ^1H протонный ядерный магнитный резонанс для изучения механизма каталитической активности мочевины, используемой в анионной полимеризации. Для этого были синтезированы и специально подготовлены соответствующие образцы полимеров, отличающиеся друг от друга лишь функциональными группами и длиной цепи. Регистрация ядерного магнитного резонанса сигнала при различных температурах и дополнительные методы анализа, такие как спектроскопия в ультрафиолетовой области, позволили установить природу механизма образования аниона.

Ключевые слова: ЯМР-спектроскопия, полиуретан, полимочевина, анионная полимеризация, подвижный протон, УФ-спектроскопия, органический синтез.

Анионная полимеризация – это один из видов реакций полимеризации или полиприсоединения. Применяется в производстве различных каучуков и термопластичных эластомеров. Самый популярный способ инициировать анионную полимеризацию – осуществлять перенос электронов с помощью щелочных металлов. Но согласно последним исследованиям, депротонирование мочевины создает класс универсальных катализаторов, которые обеспечивают быструю и селективную полимеризацию с открытием кольца, например, для лактида, δ -валеролактона, ϵ -капролактона и т.д. [1]. Эти разносторонние катализаторы просто подготовить, легко использовать, и с их помощью настроить оптимальное производство обширного ряда мономеров. Исходя из этого, нами было решено выяснить механизм данного процесса. Цель работы: изучение механизма процесса анионообразования в мочевиновых и полиуретановых соединениях.

Для проведения исследования было необходимо определить соединения, обладающие близким строением и имеющие в своем составе кольца циклогексана. Это было возможно обеспечить, используя в качестве изоцианата – гидрированный метилendiизоцианат (МДИ H_{12}). Для проведения сравнительной характеристики было решено взять три соединения, имеющих небольшие структурные отличия – два полиуретана, отличающиеся молекулярной массой и полимочевину. В результате реакции гексилоксианилина с МДИ H_{12} образуется мочевины – образец для исследования #1, в результате реакции гексилоксифенола с МДИ H_{12} образуется уретан – образец для исследования #2, а в результате реакции октилксифенола с МДИ H_{12} образуется уретан – образец для исследования #3. Структурные формулы изготовленных образцов со схемами их получения приведены на рис. 1.

Затем было решено исследовать поведение полученных соединений в различных растворителях для проверки их свойств. Для этого использовались три растворителя: неполярный хлороформ (который не способен образовывать водородные связи) и полярные диметилсульфоксид и диметилформамид (способные формировать водородные связи). Эти

образцы готовы, и исследовались различными методиками спектроскопии ядерного магнитного резонанса (ЯМР).

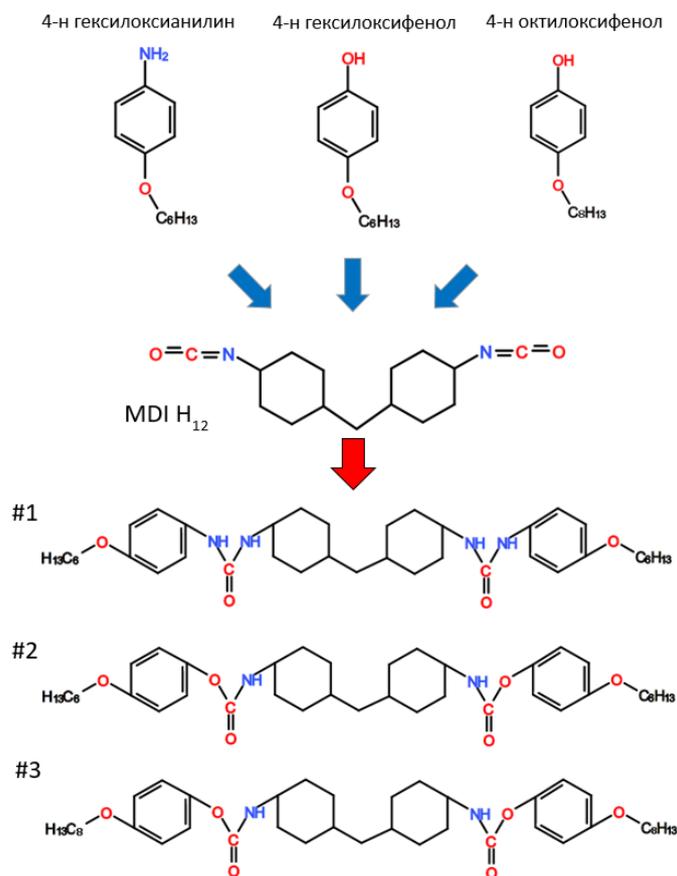


Рис. 1. Схема синтеза образцов

Первой задачей было выяснение химического состава одного из продуктов реакции – метилendiизоцианата, потому что, как выяснилось, он представляет собой смесь трех структурных изомеров, цис-цис, цис-транс и транс-транс, содержание которых меняется в зависимости от производителя. Для этого был снят протонный спектр ¹H ЯМР-спектр. Известно, что наличие изомеров в веществе создает расщепление сигнала [2]. В результате было определено, что сигналы в области метильных групп соответствуют различным изомерам метилendiизоцианата, и было успешно определено процентное содержание каждого из изомеров, информация о которых помогла в дальнейшем соотнесении сигналов в исследуемых образцах.

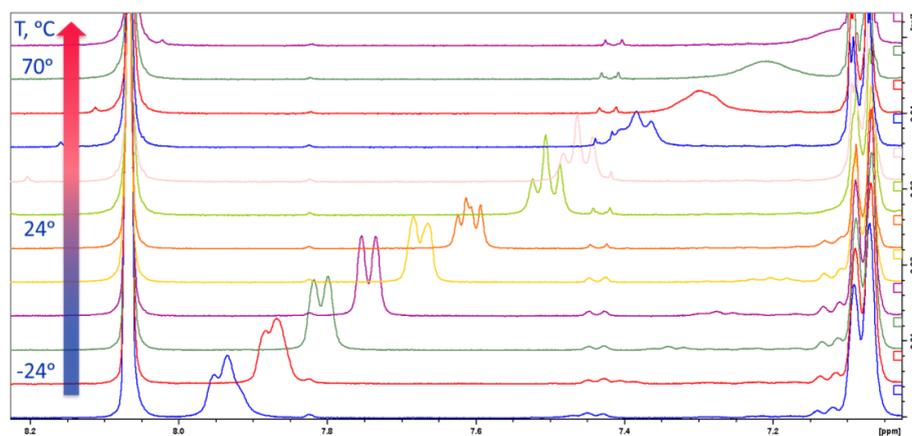


Рис. 2. Область уретановых связей спектра исследуемого уретана (#2), растворенного в диметилформамиде при различных температурах

Далее были получены спектры образцов при различных температурах, и в области уретановой или мочевиной группы было выявлено наличие подвижного протона, объясняющего появление аниона (рис. 2).

По движению сигнала на спектре были подсчитаны энергии образующихся водородных связей, показывающих силу взаимодействия между теми или иными функциональными группами [3].

Следующей задачей было объяснение механизма возникновения аниона в мочеvine и уретане. Для этого было достаточно визуально обследовать образцы, чтобы обнаружить сольватохромный эффект – изменение окраса растворов одного вещества в разных растворителях (рис. 3).

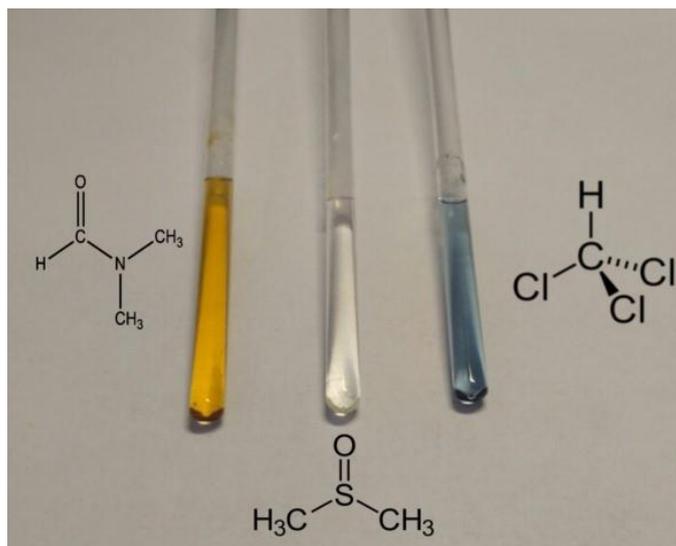


Рис. 3. Сольватохромный эффект образца мочевины (#1) в различных растворителях

Это является одним из признаков наличия в наших веществах комплексов с переносом заряда. Для подтверждения были сняты спектры поглощения исследуемых образцов в ультрафиолетовой и видимой областях. Эти спектры подтвердили наличие комплекса с переносом заряда появлением характерных пиков в видимой области спектра на 650 нм для хлороформа и на 440 нм для диметилсульфоксида и диметилформамида.

В результате комплексного исследования анионообразующих уретанов и мочеvin было выяснено, что анион образуется в результате возникновения комплекса с переносом заряда, и перенос происходит на молекулярном уровне от одной молекулы мочевины к другой.

Литература

1. Lin B., Waymouth R.M. Urea Anions: Simple, Fast, and Selective Catalysts for Ring-Opening Polymerizations // *J. Am. Chem. Soc.* – 2017. – V. 139(4). – P. 1645–1652.
2. Saralegi A., Etxeberria A., Fernández-d'Arlas B. Effect of H12MDI isomer composition on mechanical and physico-chemical properties of polyurethanes based on amorphous and semicrystalline soft segments // *J. Polymer Bulletin.* – 2013. – V. 70. – № 8. – P. 2193–2210.
3. Takebayashi Y., Yoda S., Sugeta T., Otake K. Dipolar Hydration Anomaly in the Temperature Dependence: Carbonyl and Nitrile Solutes Studied by ¹³C NMR Chemical Shifts // *J. Phys. Chem. B.* – 2003. – V. 107(36). – P. 9847–9852.



Прохорова Виктория Алексеевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, студент группы № В3366

Направление подготовки: 19.03.01 – Биотехнология и биоинженерия
e-mail: victoriaprohorova.16@gmail.com



Сибирцев Владимир Станиславович

Год рождения: 1969

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, к.хим.н., доцент

e-mail: vs1969r@mail.ru



Башарова Катерина Сергеевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, студент группы № В3366

Направление подготовки: 19.03.01 – Биотехнология и биоинженерия
e-mail: kbasharova@narod.ru



Андреев Анастасия Андреевна

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, студент группы № В4266

Направление подготовки: 19.04.01 – Информационные
и измерительные системы в биотехнологии и биоинженерии
e-mail: nas.andreenko@yandex.ru

УДК 547.96, 544.164, 543.42

**СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
СТРУКТУРЫ БЕЛКОВ В ВОДНЫХ СИСТЕМАХ**

Прохорова В.А., Сибирцев В.С., Башарова К.С., Андреев А.А.

Научный руководитель – к.хим.н., доцент Сибирцев В.С.

В работе изучены низкоконцентрированные водные белковые растворы (в которых белки находятся в состоянии, близком к нативному) путем применения достаточно стандартизированного и отлаженного к настоящему времени метода синхронной регистрации спектров собственной молекулярной фотофлуоресценции таких растворов. В результате чего используя такое достаточно дешевое, доступное, стандартизированное по своим характеристикам, простое и надежное в эксплуатации оборудование, как спектрофлуориметр «СМ 2203» (Беларусь), авторам удалось зафиксировать значимые отличия не только в интенсивности, но и в положении пиков флуоресценции водных растворов с разной концентрацией в них белковой составляющей.

Ключевые слова: структура белков, молекулярная фотофлуоресценция растворов спектрофлуориметр, синхронные спектры.

Белки являются одними из важнейших биоорганических соединений. В первую очередь это связано с ферментативными функциями, которые белки осуществляют в метаболических процессах, протекающих в любых живых организмах. В свою очередь, осуществление этих функций теснейшим образом связано с пространственной структурой белковых молекул, даже небольшие изменения которой в ходе функционирования живого организма существенно влияют на биологическую активность энзимов и соответствующим образом отражаются на жизнедеятельности организмов, в состав которых они входят [1]. В связи с этим изучение динамики пространственной структуры белковых молекул в состоянии, достаточно близком к тому, в котором эти молекулы находятся в живых организмах, является в настоящее время весьма актуальной проблемой.

Однако основные, используемые в настоящее время методы исследования пространственного строения высокомолекулярных соединений (такие как рентгено-структурный анализ, электронная микроскопия, ядерный магнитный резонанс, инфракрасная спектроскопия и т.п.) позволяют изучать структуру белков только в статическом, кристаллическом, высококонцентрированном, неактивном состоянии. Кроме того, эти методы требуют длительных, сложных и плохо поддающихся стандартизации процедур пробоподготовки, дополнительно изменяющих нативную пространственную структуру белков, в которой они, находясь непосредственно в составе живых организмов, проявляют свою ферментативную и иную биологическую активность.

Методы спектроскопии комбинационного рассеяния или оптического дихроизма (линейного либо кругового) позволяют анализировать непосредственно водные растворы белков, но тоже требуют высокой концентрированности этих растворов, при которой белковые молекулы имеют пространственную структуру, также существенно отличающуюся от нативной.

И наконец, все эти методы, также как и метод времяразрешенной флуоресценции (в ходе которого исследуются изменения времени затухания флуоресценции белковых молекул в разных их состояниях, включая низкоконцентрированные водные растворы), требуют для своего осуществления оборудования весьма дорогого и, как правило, достаточно уникального и сложного по своим техническим характеристикам, исполнению и особенностям эксплуатации. Так что результаты, получаемые любым из вышеперечисленных методов для одних и тех же исследуемых белковых систем с помощью разных приборов, разными исследователями либо с применением различных способов пробоподготовки, как правило, существенно различаются.

Нами же для изучения низкоконцентрированных водных белковых растворов (в которых белки находятся в состоянии, близком к нативному) был применен уже достаточно стандартизированный и отлаженный к настоящему времени метод синхронной регистрации спектров собственной молекулярной фотофлуоресценции таковых растворов. В результате чего, как видно из рис. 1–3, даже используя такое достаточно дешевое, доступное, стандартизированное по своим характеристикам, простое и надежное в эксплуатации оборудование, как спектрофлуориметр «СМ 2203» (Беларусь), нам удалось зафиксировать значимые отличия не только в интенсивности, но и в положении пиков флуоресценции водных растворов с разной концентрацией в них белковой составляющей – что, вероятно, было обусловлено именно различиями в пространственной структуре белковых молекул в этих растворах (определяемыми, в свою очередь, разной степенью водородного, электростатического и ван-дер-ваальсового взаимодействия этих высокомолекулярных соединений с окружающими их молекулами воды).

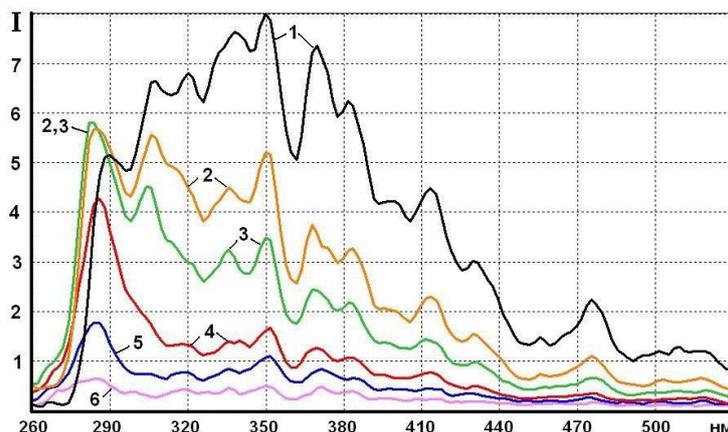


Рис. 1. Синхронные спектры фотофлуоресцентного возбуждения, регистрировавшиеся для водных растворов казеина с разными концентрациями при 10 нм сдвиге длин волн эмиссии относительно возбуждения, 3 нм ширине щелей монохроматоров и высоком усилении ФЭУ спектрофлуориметра «СМ 2203». Линиям 1–6 здесь соответствуют концентрации казеина: 25, 10, 5, 1,3, 0,3 и 0,08 г/л. По оси ординат отложена интенсивность флуоресценции (I) исследуемых растворов. По оси абсцисс – длина волны

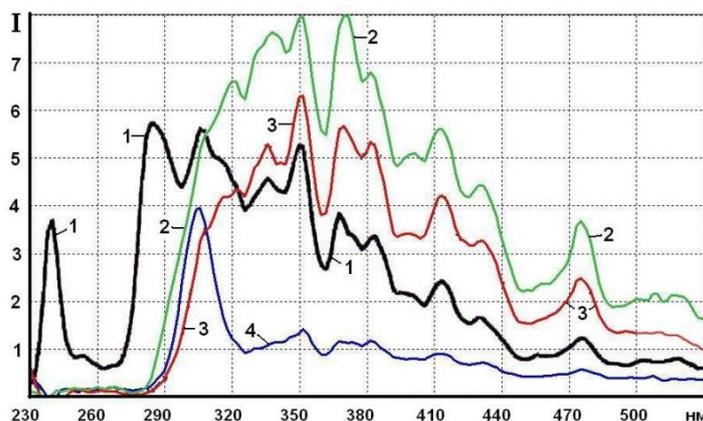


Рис. 2. Синхронные спектры фотофлуоресцентного возбуждения, регистрировавшиеся для водных растворов казеина с концентрацией 10 г/л при 10 нм сдвиге длин волн эмиссии относительно возбуждения. Линиям 1–4 здесь соответствует время выдержки раствора при +4°C и рН 3,0 (для ингибирования развития в исследуемом растворе посторонней микрофлоры, после чего, непосредственно перед измерением его фотофлуоресценции, исследуемый раствор снова нагревался до +20°C): 0, 2, 8 и 20 суток. По оси ординат отложена интенсивность флуоресценции (I) исследуемых растворов. По оси абсцисс – длина волны

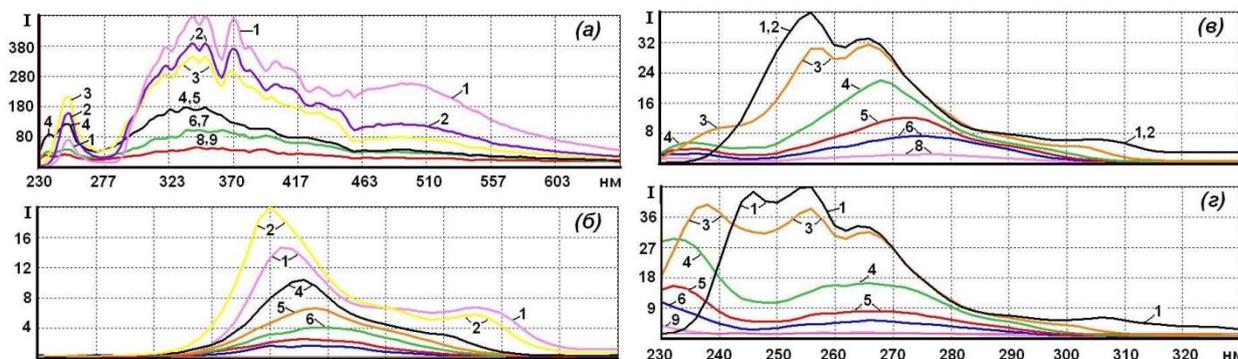


Рис. 3. Синхронные спектры фотофлуоресцентного возбуждения, регистрировавшиеся для водных растворов казеина с разными концентрациями при 0 (а), 30 (б), 60 (в) и 90 (г) нм сдвиге длин волн эмиссии относительно возбуждения. Линиям 1–9 здесь соответствуют концентрации казеина: 25, 10, 5, 1,3, 0,6, 0,3, 0,15, 0,08 и 0,04 г/л. По оси ординат отложена интенсивность флуоресценции (I) исследуемых растворов. По оси абсцисс – длина волны

При этом из представленного видно, что наибольшую структурированность (исходя из которой можно точнее судить о динамике изменения пространственной структуры белковых молекул в растворах) демонстрировали синхронные спектры фотофлуоресценции водных растворов казеина, регистрировавшиеся при 10 нм сдвиге длин волн эмиссии относительно возбуждения. Причем существенное изменение относительной интенсивности флуоресценции при разных длинах волн наблюдалось в этих спектрах не только при различных концентрациях исследуемых растворов, но и в зависимости от длительности нахождения белка в растворенном состоянии. Последнее показывает, что с помощью данных спектров можно изучать не только термодинамические, но и кинетические аспекты взаимодействия белковых молекул в растворенном состоянии с окружающими их молекулами других веществ (включая воду).

Однако при всех отмеченных достоинствах эти спектры были достаточно малоинтенсивны. В результате чего для их достаточно корректной регистрации и интерпретации необходимо было иметь спектрофлуоресцентное оборудование с достаточно высоким отношением полезного сигнала к шуму в диапазоне длин волн 230–530 нм (или хотя бы 270–390 нм), а также обеспечить отсутствие в исследуемых образцах примесей, интенсивно поглощающих, а тем более излучающих свет в указанном диапазоне длин волн.

Синхронные спектры фотофлуоресценции, регистрировавшиеся при нулевом сдвиге длин волн эмиссии относительно возбуждения (Dwl), имели для исследуемых растворов наибольшую интенсивность. Потому данные спектры могут быть рекомендованы для количественного определения содержания белков в водных растворах (а также в определенной степени, и для качественного – например, по соотношению интенсивностей светорассеяния исследуемых растворов при 250 и 350 или 500 нм, как видно из рис. 3, а). Однако при этом нужно учитывать, что характер рассматриваемых спектров в существенно большей степени, чем при других режимах регистрации, может зависеть от характера возбуждающего излучения, а также от присутствия в исследуемых образцах в растворенном либо коллоидном состоянии небелковых соединений, способных к интенсивному светорассеянию (таких как полисахариды, нуклеиновые кислоты, липиды и т.п.).

Из прочих же синхронных спектров фотофлуоресценции, показанных на рис. 3, для количественного определения содержания белков в водных растворах могут быть рекомендованы, на наш взгляд, спектры, регистрируемые при $Dwl=90$ нм. По сравнению с аналогичными спектрами, регистрируемыми при $Dwl=10$ нм, эти спектры имеют существенно меньшую структурированность – но при этом демонстрируют также значительно большую интенсивность и независимость от присутствия в исследуемых образцах примесей небелковой природы (включая даже свободные аминокислоты, пептиды и т.п.). Существенно большая независимость от присутствия в исследуемых образцах посторонних примесей отличает синхронные спектры фотофлуоресценции, регистрируемые для водных белковых растворов при $Dwl=90$ нм, и от аналогичных спектров, регистрируемых при $Dwl=0$ нм (хотя последние и значительно более интенсивны, а также пригодны для работ с существенно более широким диапазоном концентраций белковых растворов).

Кроме того, как видно из рис. 3, г, синхронные спектры фотофлуоресценции, регистрируемые при $Dwl=90$ нм, в определенной мере пригодны и для качественной характеристики состояния пространственной структуры белковых молекул в их водных растворах (например, по сдвигу пика в области 245–230 нм).

Таким образом, как мы убедились, регистрация синхронных спектров фотофлуоресценции предоставляет исследователю достаточно простой, надежный и информативный способ изучения динамики изменения пространственной структуры белковых молекул в состоянии, близком к тому, в котором они находятся непосредственно в живых организмах, участвуя в регуляции их метаболизма [2, 3].

Литература

1. Плотникова Л.В., Нечипоренко А.П., Орехова С.М., Плотников П.П., Ишевский А.Л. Исследование мышечной ткани животного происхождения методами спектроскопии отражения // Оптика и спектроскопия. – 2017. – Т. 122. – № 6. – С. 1051–1054.
2. Башкатов А.Н., Генина Э.А., Козинцева М.Д., Кочубей В.И., Городков С.Ю., Тучин В.В. Оптические свойства биологических тканей брюшины в спектральном диапазоне 350–2500 нм // Оптика и спектроскопия. – 2016. – Т. 120. – № 1. – С. 6–14.
3. Сибирцев В.С. Исследование механизмов изменения спектральных свойств при взаимодействии с ДНК соединений бензозольного, индольного и фенантридиумного рядов // Оптический журнал. – 2017. – Т. 84. – № 5. – С. 13–21.

**Репинская Жанна Андреевна**

Год рождения: 1998

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, студент группы № В3266Направление подготовки: 19.03.01 – Биотехнология

e-mail: repinskaia@gmail.com

**Кузнецов Данила Алексеевич**

Год рождения: 1998

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, студент группы № В3266Направление подготовки: 19.03.01 – Биотехнология

e-mail: dankyz@yandex.ru

УДК 796.071.43.065.2

**ТРЕНЕРСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В КИБЕРСПОРТЕ: СОСТОЯНИЕ
И ПЕРСПЕКТИВЫ****Репинская Ж.А., Кузнецов Д.А.****Научный руководитель – к.педагог.н., доцент Пронин С.А.**

Развитие компьютерных игр породило создание киберспорта. Постепенно выделилась категория людей, которые стали им заниматься на профессиональном уровне. Их подготовка, в свою очередь, потребовала управления со стороны тренеров. В исследовании был рассмотрен ряд аспектов профессиональной подготовки тренеров по киберспорту.

Ключевые слова: компьютерный спорт, тренер по киберспорту, подготовка тренеров по киберспорту.

Актуальность. Компьютерные игры становятся все более и более популярны. По некоторым оценкам в них играет каждый второй землянин.

Параллельно развивается организованный компьютерный спорт (киберспорт). Появляющиеся новые игры, претендующие на роль спортивных дисциплин, создаются каждый год. Частая смена программы соревнований создает ряд трудностей для судейства и для подготовки профессиональных спортсменов, но превращает киберспорт в динамичное, постоянно развивающееся направление [1].

Тренер по киберспорту – очень молодая профессия, появившаяся благодаря возрастающей с начала нулевых популярности электронного спорта. Постепенно подготовка киберспортсменов из стихийного переросла в управляемый процесс [2].

Профессионализация этого процесса привела к необходимости контроля за различными сторонами деятельности спортсменов [3–5]. Деятельность по реализации этой функции постепенно легла на тренеров по киберспорту.

Сейчас, с экономической точки зрения, киберспорт развивается очень быстро. Благодаря вниманию зрителей в сети количество спортивных команд растет, и турниры становятся масштабнее. Так, в 2016 г. на трех крупнейших соревнованиях по киберспорту насчитывалось примерно 90 млн уникальных зрителей, в 2017 г. это количество увеличилось до 300 млн. С ростом числа команд, соревнующихся в киберспортивных дисциплинах, увеличивается и количество нанимаемых тренеров по киберспорту, потому что их работа влияет на результативность игроков. Так, результаты игр турнира Dota 2 The International

показывают, что количество команд с кибертренером в составе, вышедших в топ-6 соревнования увеличилось более чем в два раза за один год, а в 2017 году чемпионом стала команда, в которой с игроками работал тренер по киберспорту (таблица).

Таблица. Отношение команд с кибертренером в составе к общему числу команд-участниц в турнире Dota 2 The International за 2016 и 2017 годы

| Год проведения | N команд-участниц | N мест в топ-6 | N мест в призовой тройке | Команда с кибертренером – победитель турнира |
|----------------|-------------------|----------------|--------------------------|--|
| 2016 | 16 | 3 | 0 | Нет |
| 2017 | 16 | 7 | 1 | Да |

Объект исследования – деятельность тренера по киберспорту.

Предмет исследования – тренд развития социального статуса тренера по киберспорту.

Гипотеза: предполагается, что выявление основных тенденций роста социальной значимости тренеров по киберспорту позволит скоординировать деятельность по их подготовке.

Цель исследования – определить основные тенденции развития специальности тренера по киберспорту.

Для ее достижения были использованы следующие методы исследования:

1. библиографический (информационный) поиск;
2. теоретический анализ и обобщение данных исследуемых источников;
3. статистическое наблюдение;
4. опрос в форме анкетирования;
5. систематизация.

Организация исследования. В ходе исследования было опрошено 144 студента Университета ИТМО. Для увеличения количества участников опроса использовались интернет-платформы для его проведения. В опрос также входили отсеивающие вопросы, проверяющие знания студентов об играх, по которым проводятся киберспортивные соревнования. Были выбраны три известнейших игры, по которым проводятся соревнования: Dota 2, League Of Legends и Counter Strike: Global Offensive, по каждой из механик которых было задано по вопросу. Студент допускался к самому опросу только в случае ответа хотя бы на один из них. Вопросы были построены так, чтобы только человек, игравший в игру, мог ответить корректно. Таким образом, в опросе участвовали только студенты Университета ИТМО, играющие в компьютерные игры сами и обладающие знаниями о киберспортивной деятельности.

Результаты исследования. Перед проведением основного опроса авторы решили узнать, какое количество людей в Университете ИТМО играет в компьютерные игры. На вопрос «Любите ли вы играть в компьютерные игры?» больше половины студентов (68,9%) ответило положительно. Процент увлеченных довольно высок, поэтому можно предположить, что те из студентов, кто увлечен достаточно глубоко, возможно, захотят заняться киберспортом, стать игроком, тренером или менеджером команды.

Более половины опрошенных (52,9%) считает высшее образование необязательным для тренера по киберспорту (рис. 1, а). В основном студенты поясняли свой выбор примерами нынешних тренеров, которые являются бывшими профи в той или иной игре, не имея при этом высшего образования. Действительно, учитывая, что высшие учебные заведения начали активно создавать программы, готовящие кибертренеров, в 2016–2017 годах (а первое направление в России было открыто в 2004 г.), можно говорить о том, что база из кибертренеров, имеющих высшее образование, в электронном спорте еще не сформировалась. Также, считаем, что большое количество отвечающих не учитывало

необходимости наличия у тренера знаний по медицине, педагогики и психологии, что также может быть связано с молодостью изучаемой нами профессии.

Подавляющее большинство респондентов (96,0%) считает, что наличие тренера по киберспорту в команде является фактором, увеличивающим вероятность ее выигрыша на спортивных соревнованиях (рис. 1, б).

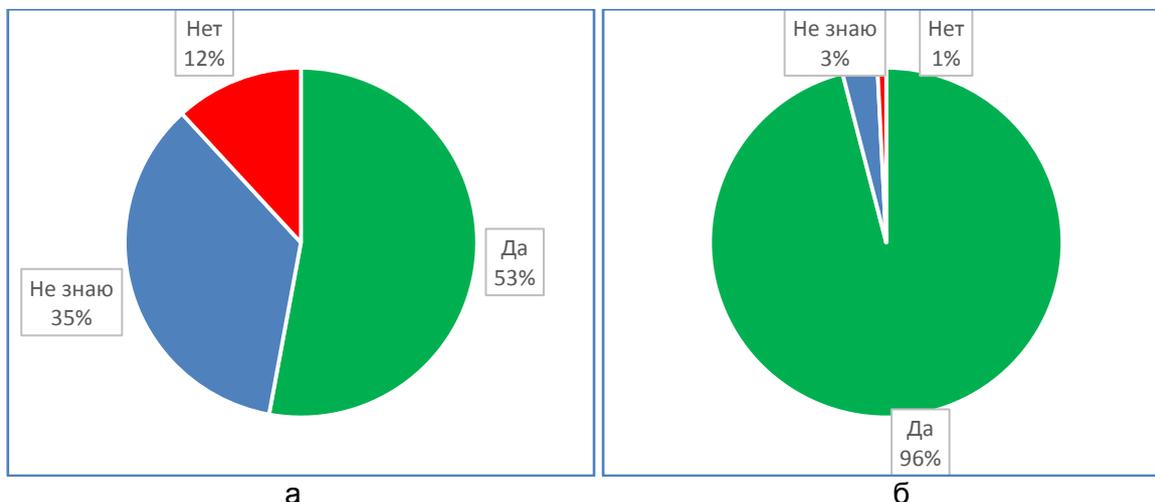


Рис. 1. Диаграммы, отображающие мнение студентов ИТМО (%): о необходимости получения тренером по киберспорту высшего образования (а); о профессии «Тренер по киберспорту» (б)

Также абсолютное большинство студентов (84%) считают, что тренер по киберспорту положительно влияет на физическое и ментальное состояние игроков (рис. 2, а). На основе анализа последних двух диаграмм (рис. 1, б, и рис. 2, а) можно сделать вывод, что опрошенные считают профессию тренера по киберспорту полезной как в плане достижения игроками хороших результатов, так и в поддержании ими формы.

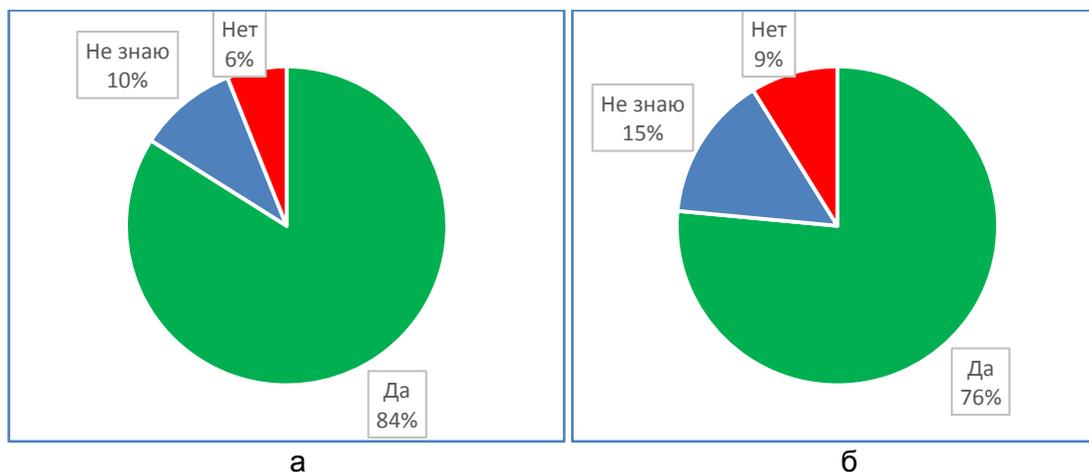


Рис. 2. Диаграммы, отображающие структуру взглядов студентов ИТМО (%): на влияние навыков тренера по киберспорту на команду (а); на дальнейшие перспективы профессии «Тренер по киберспорту» (б)

Примерно три четверти опрошенных (76,5%) считают профессию «Тренер по киберспорту» перспективной и отмечают, что в будущем представителей этой специальности станет больше (рис. 2, б).

Выводы

1. Представители профессии «Тренер по киберспорту» с каждым годом будут все более востребованы в силу своей значимости (это отмечают 96,0% респондентов).

2. Ввиду перспективности профессии «Тренер по киберспорту» представляется, что подготовка по этому направлению (например, в Университете ИТМО) могла бы вестись в рамках получения второго высшего образования (первое – техническое) или по линии магистратуры.

Литература

1. Сурконт К.В. Проблемы официального признания компьютерного спорта // Проблемы и перспективы компьютерного спорта: тезисы докладов I вузовской конференции. – 2011. – С. 46–51.
2. Компьютерный спорт (киберспорт): проблемы и перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [HTTP://lib.sportedu.ru/Books/PDF/252966.pdf](http://lib.sportedu.ru/Books/PDF/252966.pdf), своб.
3. Богачева Н.В., Смит Д.В. Актуальные задачи психологии киберспорта // Спортивный психолог. – 2012. – № 3(27). – С. 22–27.
4. Бочавер К.А. Киберспорт: актуальные проблемы подготовки, результативности и здоровья игроков // Спортивный психолог. – 2017. – № 3(46). – С. 48–54.
5. Новоселов М.А., Скаржинская Е.Н. Актуализация научного сопровождения компьютерного спорта // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка: Детский тренер: журнал в журнале. – 2017. – № 2. – С. 39–40.

**Самуйлова Евгения Олеговна**

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, аспирантНаправление подготовки: 18.06.01 – Химические технологии

e-mail: evgenia-sm@yandex.ru

**Волкова Ксения Васильевна**

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, аспирантНаправление подготовки: 18.06.01 – Химические технологии

e-mail: k.volkova@corp.ifmo.ru

**Успенская Майя Валерьевна**

Год рождения: 1970

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, д.т.н., профессор

e-mail: mv_uspenskaya@mail.ru

УДК 678.743.22**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ
МАТРИЦ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ БЕНТОНИТОМ****Самуйлова Е.О., Волкова К.В., Успенская М.В.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Успенская М.В.**

В ходе работы были получены полимерные композиты на основе промышленно-выпускаемого поливинилхлорида и минерального наполнителя, способные к биодegradации в естественных условиях. В качестве минерального наполнителя был использован бентонит с процентным содержанием 1, 5 и 10 масс.%. Показано влияние бентонита на прочностные характеристики материала в зависимости от доли минерала.

Ключевые слова: поливинилхлорид, бентонит, физико-механические свойства, полимерная композиция, биодegradация.

Утилизация пластика – крайне важная задача, так как пластиковые отходы являются очень заметным отпечатком жизнедеятельности человеческой цивилизации. Современное общество ежедневно создает сотни и тысячи тонн отходов, загрязняющих окружающую среду и способных привести к экологической катастрофе, при этом, не задумываясь, как это может отразиться на экологии окружающей среды [1]. Согласно современной статистике, 50% отходов приходится на полимерные материалы, в основном это: полиэтилен, поливинилхлорид, полиэтилентерефталат [2]. Все пластиковые отходы попадают на свалку от собственников или напрямую с заводов из-за брака или проблем в производстве, тем самым загрязняя окружающую среду.

Существует несколько видов промышленно-выпускаемого поливинилхлорида (ПВХ): винилпласт – твердый прозрачный материал, который легко обрабатывается и служит

основой для производства оконного профиля, фитингов, труб, комплектующих для автомобилей и т.п.; пластикат – мягкий и эластичный материал, используется для изготовления пленки, линолеума, поливочных шлангов, клеенки и т.д.

Основной проблемой, связанной с использованием ПВХ, является сложность его утилизации, поскольку при полном сгорании ПВХ образуются лишь простейшие соединения: вода, углекислый газ, хлороводород. Однако при обычном неполном сгорании ПВХ могут образовываться дополнительно и угарный газ и токсичные хлорорганические соединения [3]. В естественной среде ПВХ разлагается сотни лет, выделяя при этом в окружающую среду продукты своего распада.

Вторичная переработка полимеров и твердых бытовых отходов, остатков их производства не решает полностью вопросов уничтожения загрязнения пространства Земли веществами, которые не способны при захоронении после использования превратиться в химические соединения, участвующие в круговороте веществ в природе [4, 5]. Не существуют пока микроорганизмы, грибки, водоросли или иные другие живые существа, которые способны переработать синтетические полимеры, производимые из продуктов переработки нефти, разложить макромолекулы на такие низкомолекулярные соединения, как вода, углекислый газ, аммиак, метан. В этой связи даже после вторичного или многократного использования полимеров возникают экологические проблемы их утилизации. Потому самым перспективным методом утилизации пластиков является создание полимерных композитов, способных к биодegradации – разложению полимерной матрицы под действием микроорганизмов [6, 7].

Дegradация может быть определена как изменение химической структуры полимера, включающее изменение и ухудшение его физических и химических свойств, сопровождается постоянным ухудшением механических характеристик полимера, изменением его массы, целостности полимерного материала [8].

Материалы и методы

1. Приготовление композитных пленок. Для получения полимерного материала была использована стандартная композиция поливинилхлорида, состоящая из: суспензионного поливинилхлорида, 0,2–1,5% органического термостабилизатора, 2,0–4,0% полимерного модификатора для улучшения переработки, 0,1–0,5% парафиновой смазки. Введение минерального наполнителя было осуществлено на лопастной мешалке в течение 4 мин при скорости перемешивания 6000 об/мин. Получение полимерной пленки было проведено на вальцевой машине: полимерная композиция раскатывалась в течение 2 мин при температуре 165–170°C.
2. Исследование структуры методом инфракрасной (ИК) спектроскопии. ИК спектры нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) спектры образцов до и после биодegradации регистрировали с помощью спектрометра Tensor 37, Bruker, Германия, с помощью приставки НПВО MIRacle™ Pike Technologies, оснащенной кристаллом ZnSe с алмазным напылением [9]. Измерения были проведены со спектральным разрешением 2 см^{-1} и с усреднением по 32 сканированиям. Для записи и обработки спектров была использована программа OPUS, версия 7.02 (Bruker). Изменения оптической плотности были оценены для характеристических полос диапазонов колебаний, связанных с колебаниями карбонильной (C=O), гидроксильной (OH) и C–Cl групп. Относительные изменения выбранных полос поглощения были рассчитаны, взяв в качестве стандартного пика группу из-за деформации CH_2 (при 1430 см^{-1}).
3. Исследование прочности полимерных композиций. Анализ прочностных и реологических характеристик пленок был выполнен с использованием анализатора текстуры TA.XTplus, Stable Micro Systems Ltd, Великобритания. Для изучения свойств полимерных композитов были использованы: насадка с держателем для пленки XTP/FSP и сферический зонд P/SS Ø5 мм. На протяжении всего испытания чувствительный датчик фиксировал силу

давления на зонд каждые 0,002 мм. Скорость опускания зонда – 1 мм/с [10]. Результаты зависимости силы, необходимой для прохода зонда сквозь образец, от расстояния, которое преодолел зонд, отражается на графике в режиме реального времени в ходе эксперимента (рис. 1).

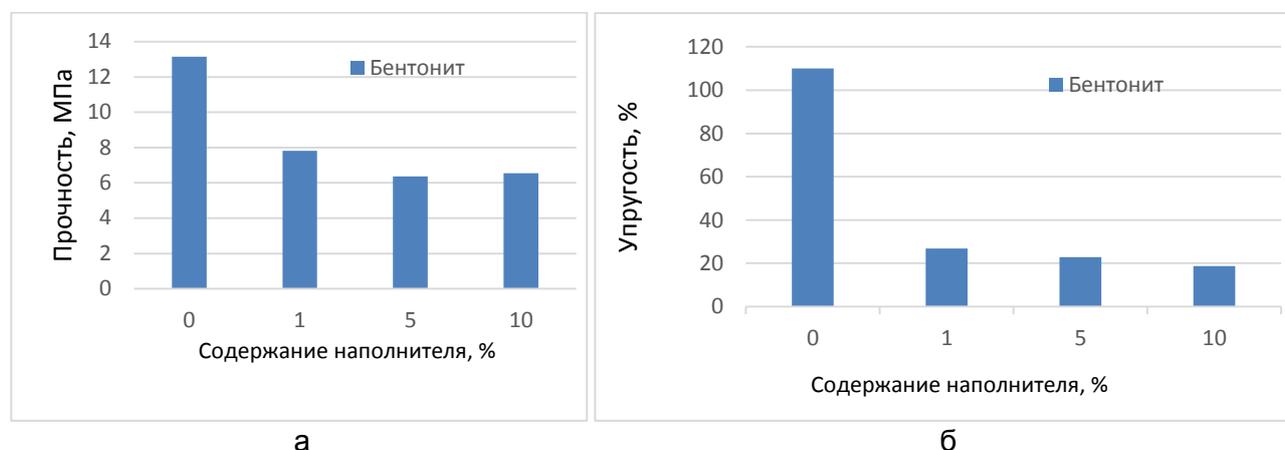


Рис. 1. Зависимость прочности полимерных пленок от процентного содержания наполнителя (а) и зависимость упругости полимерных композитов от процентного содержания наполнителя (б)

Результаты экспериментов и их обсуждение. В ходе исследования были получены полимерные композитные материалы на основе поливинилхлорида с минеральным наполнителем – нативным бентонитом [11].

Измерение прочности на прокол проводились при следующих условиях: длина образца – 20 мм; ширина образца – 20 мм; скорость опускания зонда – 1 мм/с [12].

Таблица. Прочность и упругость ПВХ композитов с бентонитом

| Доля бентонита, мас.% | Прочность, МПа | Упругость, % |
|-----------------------|----------------|--------------|
| 0 | 13,2 | 110,0 |
| 1 | 7,8 | 26,8 |
| 5 | 6,4 | 22,8 |
| 10 | 6,5 | 18,8 |

При анализе полученных данных можно отметить (таблица), что введение наполнителя отрицательно сказывается на прочностных характеристиках полимерной композиции: при введении 1 масс.% бентонита прочность на прокол снижается на 40,5%, при введении 5 масс.% бентонита – на 50,26%. В то же время дальнейшее увеличение концентрации вводимой добавки до 10 мас.% не оказывает существенного влияния. Таким образом, введение в состав полимерной композиции минеральной добавки – бентонита не оказывает положительного влияния на ее физико-механические свойства.

На рис. 2 представлены ИК спектры полимерных композитов на основе ПВХ и бентонита. Наибольший интерес вызывают области $3700\text{--}2700\text{ см}^{-1}$, $1800\text{--}500\text{ см}^{-1}$ [13, 14].

В области $3700\text{--}2700\text{ см}^{-1}$ в целом наблюдается увеличение интенсивности характеристических пиков, связанных с функциональными группами полимерной композиции: 2966 см^{-1} , 2914 см^{-1} , 2850 см^{-1} , а также с группами бентонита: 3620 см^{-1} , 3400 см^{-1} . Пик в области 2966 см^{-1} соответствует асимметричному колебанию алифатических CH_3 , 2019 см^{-1} – валентным колебаниям $\text{C}\text{--}\text{H}$, 2850 см^{-1} – валентные симметричные колебания алифатических CH_3 . Пик в области 3620 см^{-1} соответствует валентным колебаниям $\text{Al}\text{--}\text{OH}$, 3400 см^{-1} валентным колебаниям гидроксильных групп – OH .

В области $1800\text{--}500\text{ см}^{-1}$ наблюдаются характеристические пики, связанные с полосами поглощения функциональных групп бентонита. Пик в области 1050 см^{-1} соответствует валентным колебаниям Si–O, пик в области 110 см^{-1} соответствует валентным ассиметричным колебаниям Al–O.

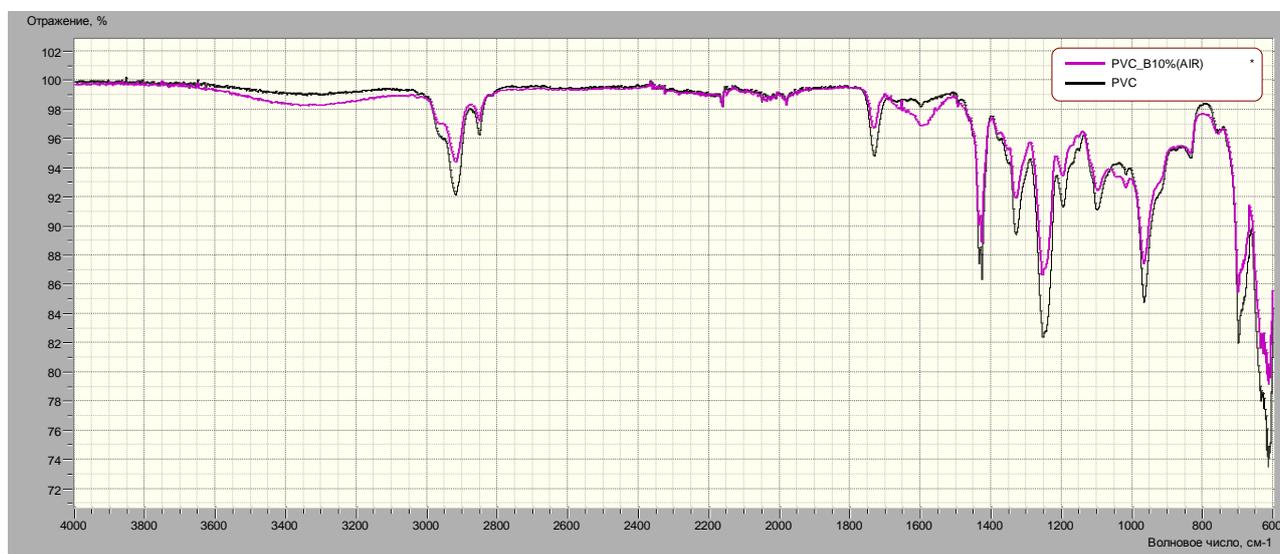


Рис. 2. ИК спектры полимерных композитов

Заключение. Были получены полимерные композитные материалы на основе поливинилхлорида с добавлением 1, 5 и 10 масс.% бентонита. По результатам механических испытаний было выявлено, что введение бентонита в состав полимерной композиции уменьшает прочностные характеристики материала. Показано, что при введении бентонита в состав полимерной композиции более 5 масс.% прочность получаемых полимерных пленок остается постоянной.

Литература

1. Van Der Zee M. Structure-Biodegradability Relationships of Polymeric Materials. – Enschede: Universiteit Twente, 1997. – 213 p.
2. Fritz H.G., Seidenstucker T., Bolz U., Juza M., Schroeter J., Enders H.J. Study on production of thermoplastics and fibers based mainly on biological materials. – Agro Ind Research Division, 1994. – 392 p.
3. Handbook of Biodegradable Polymers / Edited by Domb A.J.; Kost J.; Wiseman D.M. – Harwood Academic Publishers: Singapore, 1997. – 512 p.
4. Leja K., Lewandowicz G. Polymer Biodegradation and Biodegradable Polymers – a Review // Polish J. of Environ. Stud. – 2010. – V. 19. – № 2. – P. 255–266.
5. Handbook of Polymer Degradation / Edited by Hamid, SH. – 2nd ed. – Marcel Dekker: New York, 2000. – 393 p.
6. Wan C., Qiao X., Zhang Y., Zhang Y. Effect of different clay treatment on morphology and mechanical properties of PVC-clay nanocomposites // Polymer Testing. – 2003. – V. 22. – P. 453–461.
7. Yalcin B., Cakmak M. The role of plasticizer on the exfoliation and dispersion and fracture behavior of clay particles in PVC matrix: a comprehensive morphological study // Polymer. – 2004. – V. 45. – P. 6623–6638.
8. Gilbert M. 8 – Poly(vinyl chloride)(PVC)-based nanocomposites // A volume in Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering. – 2012. – P. 216–237.
9. Awad W.H., Beyer G., Benderly D. et al. Material properties of nanoclay PVC composites // Polymer. – 2009. – V. 50. – P. 1857–1867.

10. Valapa R.B., Loganathan S., Pugazhenti G., Thomas S., Varghese T.O. Clay-Polymer Nanocomposites. Chapter 2 – An Overview of Polymer–Clay Nanocomposites. – 2017. – P. 29–81.
11. Kausar A. Hybrid Polymer Composite Materials. Properties and Characterisation. 5 – Physical properties of hybrid polymer/clay composites. – 2017. – P. 115–132.
12. Brostow W., Lu X., Osmanson A.T. Nontoxic bio-plasticizers for PVC as replacements for conventional toxic plasticizers // Polymer Testing. – 2018. – In Press.
13. Istrate O.M., Chen B. Structure and properties of clay/recycled plastic composites // Applied Clay Science. – 2018. – V. 156. – P. 144–151.
14. Silva T.F., Soares B.G., Ferreira S.C., Livi S. Silylated montmorillonite as nanofillers for plasticized PVC nanocomposites: Effect of the plasticizer // Applied Clay Science. – 2014. – V. 99. – P. 93–99.



Снетков Пётр Петрович

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, аспирант

Направление подготовки: 18.06.01 – Химические технологии

e-mail: ppsnetkov@corp.ifmo.ru

Нигматуллина Рамиля Ильнуровна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического комплекса,
студент группы № В4166

Направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология

e-mail: ramilya.9595@mail.ru



Успенская Майя Валерьевна

Год рождения: 1970

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, д.т.н., профессор

e-mail: mv_uspenskaya@mail.ru

УДК 547.995.15

СПОСОБЫ МОДИФИКАЦИИ ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ: ОБЗОР

Снетков П.П., Нигматуллина Р.И., Успенская М.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Успенская М.В.

Гиалуроновая кислота – биосовместимый и биоразлагаемый полимер, обладающий уникальными характеристиками, что позволяет использовать его в медицине и смежных областях. Для повышения ферментативной устойчивости нативной гиалуроновой кислоты, а также в целях придания ей дополнительных свойств, проводят модификацию, которая позволяет улучшить физико-механические, реологические и эксплуатационные характеристики конечного продукта. В обзоре изложены имеющиеся в литературе сведения о методах модификации гиалуроновой кислоты.

Ключевые слова: гиалуроновая кислота, модификация, стабилизация, сшивка, кросс-линкер, фотополимеризация, твердофазная реакция.

Гиалуроновая кислота (ГК) – это высокомолекулярный гетерополисахарид соединительной ткани, состоящий из повторяющихся звеньев D-глюкуроновой кислоты и N-ацетил-D-глюкозамина. В живых организмах ГК существует в виде соли – это более стабильная форма данного соединения. ГК в больших концентрациях находится в синовиальной жидкости, пупочных канатиках, стекловидном теле глаза, коже, легких, почках, головном мозге и мышечной ткани. Помимо этого, при определенных условиях она может синтезироваться некоторыми штаммами бактерий: *Streptococcus equi*, *Streptococcus zooepidemicus*, *Bacillus subtilis* и *Pasteurella multocida*.

Химическая структура ГК представлена на рисунке.

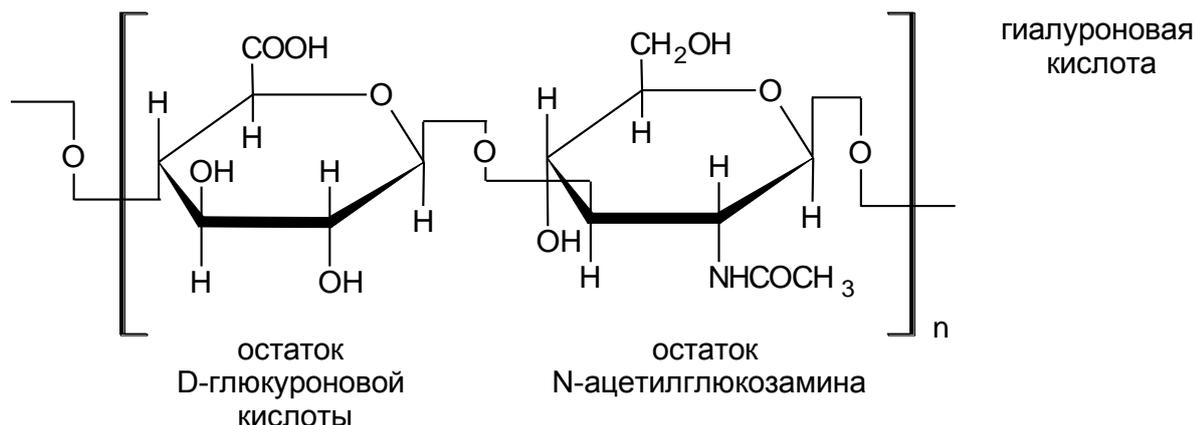


Рисунок. Химическая структура ГК

Нативная ГК, входящая в состав медицинских препаратов, при попадании в живой организм быстро деполимеризуется под воздействием ферментов, присутствующих в тканях (гиалуронидаза, β -глюкуронидаза, и β -N-ацетил-гексозамининидаза). Помимо этого, ГК гидролизуется при подкислении (например, в желудке). Для повышения устойчивости ГК к разрушающим факторам проводят модификацию, которая возможна благодаря наличию в структуре гиалуроновой кислоты ацетамида, карбоксила, гидроксила и восстанавливающей конечной альдегидной группы.

Наиболее распространенным методом модификации является химический метод сшивания различными агентами (кросс-линкерами). В зависимости от строения сшивающего агента и степени сшивки, из гиалуроновой кислоты получают разнообразные биополимерные материалы, начиная с пленок с низким содержанием воды, заканчивая гидрогелями с высоким ее содержанием [1].

В таблице представлены методы химической модификации (стабилизации, сшивки) ГК с использованием различных кросс-линкеров.

Таблица. Методы химической сшивки гиалуроновой кислоты

| Тип реакции | Основные и вспомогательные реагенты | Растворитель, значение pH | Ссылка на литературу |
|---|---|--|----------------------|
| 1. Реакции по карбоксильной группе –COOH | | | |
| 1.1 Амидирование | EDC ¹ , NHS ² | Вода (pH 4,75 – 7,5) или DMSO ³ | [2, 3] |
| | CMPI ⁴ , триэтиламин | DMF ⁵ или DMSO | [4] |
| | CDMT ⁶ , NMM ⁷ | Вода или ацетонитрил | [5] |
| | CDI ⁸ | DMSO | [5] |
| 1.2 4-х компонентная конденсация (Ugi-condensation) | Формальдегид, диамин, циклогексил изоцианид | Вода (pH 3) | [6] |
| 1.3 Образование сложных эфиров (этерификация) | Триметилсилил diaзoметан, уксусная кислота | DMSO | [7] |
| | Йодиды или бромиды алкилов | DMSO | [8] |
| | Тетраэтиленгликоль ди(п-толуен-сульфонат) | DMSO | [5] |
| | 1,4-бутандиол-диглицидиловый эфир | Вода + уксусная кислота (pH 2 – 5) | [9] |
| 1.4 Окисление | Периодат натрия | Вода | [10] |

| Тип реакции | Основные и вспомогательные реагенты | Растворитель, значение pH | Ссылка на литературу |
|---|---|-----------------------------|----------------------|
| 2. Реакции по гидроксильной группе –ОН | | | |
| 2.1 Образование простых эфиров | 1,2,3,4-диэпоксибутан | Вода (+0,2М NaOH, pH > 13) | [11] |
| | 1,4-бутандиол-диглицидиловый эфир | Вода (+0,25М NaOH, pH > 13) | [12, 13] |
| | Этиленгликоль диглицидиловый эфир или полиглицерил полирицинолеат | Вода (+1,0М NaOH, pH 14) | [14] |
| | Эпихлоргидрин или диэпоксиоктан | Вода (pH 10, затем pH 4) | [15] |
| | Дивинилсульфон | Вода (0,2М NaOH, pH > 13) | [16] |
| | Этиленсульфид, DTT ⁹ | Вода (pH 8,5 – 10) | [17] |
| 2.2 Образование полуацеталей | Глютаровый альдегид | Вода (pH 2) | [5] |
| 2.3 Образование сложных эфиров (этерификация) | n-OSA ¹⁰ | Вода (pH 9) | [18] |
| | Хлорангидриды карбоновых кислот | DMSO | [5] |
| | Метакриловый ангидрид | Вода (pH 8 – 10) | [19] |
| | Бромистый циан (CNBr) | Вода (pH 9 – 10) | [20] |
| 3. Реакции по группе –NHCOCH ₃ | | | |
| 3.1 Деацетилирование/амидирование | Гидразинсульфат | Вода, затем DMSO | [21] |
| Примечания | | | |
| 1 N-(3-диметиламинопропил)-N'-этилкарбодиимид (гидрохлорид) | | | |
| 2 N-Гидроксисукцинимид | | | |
| 3 Диметилсульфоксид | | | |
| 4 2-хлор-N-метилпиридиний йодид | | | |
| 5 Диметилформаид | | | |
| 6 2-хлор-4,6-бис[3(перфторгексил)пропилокси]-1,3,5-триазин | | | |
| 7 N-метилморфолин | | | |
| 8 N,N'-карбонилдиимидазол | | | |
| 9 DL-дитиотреитол | | | |
| 10 Октенил-сукциновый ангидрид | | | |

Наибольшее распространение получили дивинилсульфон и 1,4-бутандиол-диглицидиловый эфир. Они используются в основном для производства косметологических филлеров и препаратов для внутрисуставного введения (вископротезов).

Недостаток применения химических сшивающих агентов состоит в том, что большинство этих соединений являются токсичными, и их присутствие в конечном продукте недопустимо. Удаление непрореагировавших реагентов из сшитого продукта – это сложный процесс, который может приводить, в частности, к деполимеризации гиалуроновой кислоты.

Помимо химического сшивания, существует фотохимический метод, называемый фотополимеризацией. Фотополимеризация – преобразование жидкого раствора полимера под воздействием фотосенсибилизаторов и света с определенной длиной

волны [22]. Метод удобен тем, что все исходные компоненты могут быть заранее смешаны, введены, например, в оперируемую полость и затем сшиты под воздействием светового излучения, чаще всего УФ-диапазона. При этом может быть использована оптоволоконная техника.

Существуют и так называемые твердофазные реакции, при которых твердая смесь реагентов (без растворителей) подвергается совместному воздействию высокого давления и деформации сдвига в наковальнях Бриджмена или смесителях шнекового типа. В процессе твердофазных реакций макромолекулы полимера находятся в вытянутой конформации и сшиваются локально. Считается, что цепи ГК, сшитые в таком режиме, более однородные по длине макромолекул. Между тем при растворном сшивании образуется больше внутримолекулярных связей, так как в растворе молекула гиалуроновой кислоты свернута в клубок, а при твердофазном сшивании образуется больше межмолекулярных связей [1].

Помимо проведения сшивающих реакций, возможно и связывание молекулы ГК с различными биологически-активными компонентами, например, витаминами, аминокислотами и пептидами [23–25]. В строении молекул так называемых низкомолекулярных биорегуляторов присутствуют функциональные группы –ОН, –СООН, –NH₂, –SH, что позволяет произвести их «прививку» к молекуле гиалуроновой кислоты. Такую «прививку» можно осуществить как растворным методом, так и твердофазным методом, причем в последнем случае равновесие в реакциях смещается в сторону конечных продуктов [1].

Таким образом, в литературе имеется достаточный объем публикаций с подробным описанием различных методов модификации ГК. Сшивка гиалуроновой кислоты позволяет существенно увеличить ее стойкость к воздействию разрушающих факторов, в то время как «прививка» к молекуле ГК других биологически-активных веществ дает возможность получить препараты с широким диапазоном дополнительных свойств. Однако применение модифицированных препаратов требует проведения тщательных доклинических исследований, так как влияние продуктов распада модифицированной ГК на организм человека недостаточно изучено. Для дальнейшего успешного применения ГК в медицине необходимы новые способы модификации, в том числе создание взаимопроникающих полимерных сеток и препаратов с адресной доставкой активных компонентов.

Литература

1. Хабаров В.Н., Бойков П.Я., Селянин М.А. Гиалуроновая кислота: получение, свойства, применение в биологии и медицине. – М.: Практическая медицина, 2012. – 224 с.
2. Eun Ju Oh et al. Target specific and long-acting delivery of protein, peptide, and nucleotide therapeutics using hyaluronic acid derivatives // *J. Controlled Release*. – 2010. – V. 141. – № 1. – P. 2–12.
3. Schneider A. et al. Layer-by-layer films from hyaluronan and amine-modified hyaluronan // *Langmuir*. – 2007. – V. 23. – № 5. – P. 2655–2662.
4. Patent US 4851521 A. Esters of hyaluronic acid / Francesco Della Valle, Aurelio Romeo. Declared 02.07.1986. Published 25.07.1989.
5. Schantéa C.E. et al. Chemical modifications of hyaluronic acid for the synthesis of derivatives for a broad range of biomedical applications // *Carbohydr. Polym.* – 2011. – V. 85. – № 3. – P. 469–489.
6. Crescenzi V. et al. Hyaluronan networking via Ugi's condensation using lysine as cross-linker diamine // *Carbohydr. Polym.* – 2003. – V. 53. – № 3. – P. 311–316.
7. Hirano K. et al. Preparation of the methyl ester of hyaluronan and its enzymatic degradation // *Carbohydr. Res.* – 2005. – V. 340. – № 14. – P. 2297–2304.

8. Pelletiera S. et al. Amphiphilic derivatives of sodium alginate and hyaluronate: synthesis and physico-chemical properties of aqueous dilute solutions // *Carbohydr. Polym.* – 2000. – V. 43. – № 4. – P. 343–349.
9. Tomihata K., Ikada Y. Preparation of cross-linked hyaluronic acid films of low water content // *Biomaterials.* – 1997. – V. 18. – № 3. – P. 189–195.
10. Jia X. et al. Prolongation of sciatic nerve blockade by in situ cross-linked hyaluronic acid // *Biomaterials.* – 2004. – V. 25. – № 19. – P. 4797–4804.
11. Laurent T., Hellsing K., Gelott B. Cross-linked gels of hyaluronic acid // *Acta Chemica Scandinavia.* – 1964. – V. 18. – № 1. – P. 274–275.
12. Patent WO1986000079. Gel of crosslinked hyaluronic acid for use as a vitreous humor substitute / T. Mälson, B. L. Lindqvist. Declared 07.06.1985. Published 03.01.1986.
13. Patent WO2002006350. Polysaccharide crosslinking, hydrogel preparation, resulting polysaccharide(s) and hydrogel(s), uses thereof / Piron E, Tholin R. Declared 16.07.2001. Published 24.01.2002.
14. Yui N., Okano T., Sakurai Y. Inflammation responsive degradation of crosslinked hyaluronic acid gels // *J. Controlled Release.* – 1992. – V. 22. – № 2. – P. 105–116.
15. Patent WO2000046253. Process for the production of multiple cross-linked hyaluronic acid derivatives / X. Zhao. Declared 03.02.2000. Published 10.08.2000.
16. Patent US 4582865. Cross-linked gels of hyaluronic acid and products containing such gels / E.A. Balazs, A. Leshchiner. Declared 06.12.1984. Published 15.04.1986.
17. Monica A. Serban, Guanghui Yang, Glenn D. Prestwich. Synthesis, characterization and chondroprotective properties of a hyaluronan thioethyl ether derivative // *Biomaterials.* – 2008. – V. 29. – № 10. – P. 1388–1399.
18. Eenschooten C. et al. Preparation and structural characterisation of novel and versatile amphiphilic octenyl succinic anhydride-modified hyaluronic acid derivatives // *Carbohydr. Polym.* – 2010. – V. 79. – № 3. – P. 597–605.
19. Seidlits S.K. et al. The effects of hyaluronic acid hydrogels with tunable mechanical properties on neural progenitor cell differentiation // *Biomaterials.* – 2010. – V. 31. – № 14. – P. 3930–3940.
20. Chytilab M., Pekař M. Effect of new hydrophobic modification of hyaluronan on its solution properties: evaluation of self-aggregation // *Carbohydr. Polym.* – 2009. – V. 76. – № 3. – P. 443–448.
21. Dahl L. B. et al. Preparation of biologically intact radioiodinated hyaluronan of high specific radioactivity: Coupling of ¹²⁵I-tyramine-cellobiose to amino groups after partial N-deacetylation // *Anal. Biochem.* – 1988. – V. 175. – № 2. – P. 397–407.
22. Сигаева Н.Н., Колесов С.В., Назаров П.В., Вильданова Р.Р. Химическая модификация гиалуроновой кислоты и ее применение в медицине // *Вестник Башкирского университета.* – 2012. – Т. 17. – № 3. – С. 1220–1241.
23. Патент РФ № 2386640. Способ получения модифицированной рибофлавином сшитой соли гиалуроновой кислоты / Волков В.П., Зеленецкий А.Н., Хабаров В.Н., Селянин М.А. Заявл. 25.06.2008. Опубл. 20.04.2010. Бюл. № 11.
24. Патент РФ № 2386641. Способ получения модифицированной ретинолом сшитой соли гиалуроновой кислоты / Волков В.П., Зеленецкий А.Н., Хабаров В.Н., Селянин М.А. Заявл. 09.07.2008. Опубл. 20.04.2010. Бюл. № 11.
25. Патент РФ № 2387671. Способ получения модифицированной витаминами сшитой соли гиалуроновой кислоты / Волков В.П., Зеленецкий А.Н., Хабаров В.Н., Селянин М.А. Заявл. 30.07.2008. Опубл. 27.04.2010. Бюл. № 12.



Сухов Алексей Игоревич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса, студент группы № В4160с

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: alex.0750@yandex.ru

УДК 547.391.1/541.64/678

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА СУПЕРАБСОРБИРУЮЩИХ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ АКРИЛОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Сухов А.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Банных О.П.

В работе исследованы свойства суперабсорбирующих полимеров. В особенности выявлены закономерности между соблюдением температурного режима во время синтеза суперабсорбентов и их влагопоглощающими свойствами.

Ключевые слова: суперабсорбирующие полимеры, влагопоглощение, шнек.

Самый важный показатель, характеризующий качество полученного суперабсорбирующего полимера – величина его влагопоглощения Q [1].

Для того чтобы выяснить, какими сорбционными свойствами обладают полученные полимеры, был проведен ряд последовательных экспериментов, связанных с сушкой и набуханием образцов.

Образец 1 и образец 2 были приготовлены согласно одной методике [2]. Однако в процессе синтеза первого образца не удалось уложиться в необходимый температурный интервал (50–90°C), реакция полимеризации сопровождалась ростом температуры до 102°C. При этом полимеризация второго образца, учитывая опыт предыдущего эксперимента, прошла в рамках допустимого температурного интервала, критическая точка температуры составила 83,1°C.

Данные образцы помещались в сушильный шкаф, где выдерживались в течение трех суток при температуре 50°C для удаления избыточной влаги. Затем были проведены эксперименты по набуханию высушенных образцов в стаканах с дистиллированной водой. После окончания экспериментов была найдена величина влагопоглощения каждого образца. Графики зависимости влагопоглощения от времени для образца 1 и образца 2 схематически представлены на рис. 1, а.

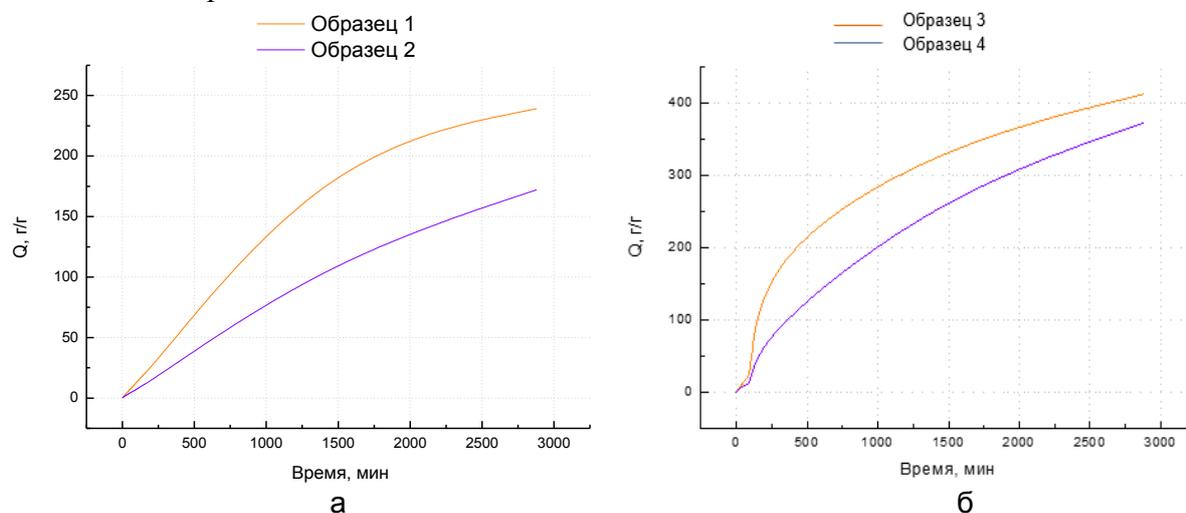


Рис. 1. Графики зависимости величины влагопоглощения Q от времени: для образцов 1 и 2 (а); для образцов 3 и 4 (б)

Изменение масс образцов фиксировалось в течение двух суток. При этом в начале эксперимента взвешивание проходило первые три часа с разными шагами: каждые 10 мин в первый час, каждые 20 мин во второй час и каждые 30 мин в третий час. После этого образцы взвешивались сначала через сутки (1440 мин) после сделанного эксперимента, затем еще через сутки (2880 мин).

Представленные графики показывают, что образец 1 обладает лучшими сорбционными способностями по сравнению с образцом 2. При этом видно, что кривая влагопоглощения имеет логарифмический вид и стремится к своему пределу. Это говорит о том, что величину влагопоглощения, соответствующую моменту времени $t=2880$ мин, можно считать близкой к критической, т.е. показывающей, какое максимальное количество влаги сможет впитать в себя полученный полимер.

Для выявления зависимости между стадией обработки полученных полимеров и их сорбционными характеристиками были взяты новые образцы, измельченные впоследствии в шнеке [3]. Затем, в отличие от предыдущего эксперимента, образцы 3 и 4 выдерживались в сушильном шкафу в течение двух суток при температуре 50°C в связи с более высокой теплопроводностью измельченного геля.

Проведение экспериментов по набуханию измельченных высушенных образцов в стаканах с дистиллированной водой позволило выяснить величину влагопоглощения каждого образца после измельчения, а также сравнить ее с полученными в предыдущем эксперименте. Графики зависимости влагопоглощения от времени для образца 3 и образца 4 схематически представлены на рис. 1, б.

Взвешивание измельченных высушенных образцов было проведено с той же периодичностью, как и в предыдущем эксперименте.

На графиках можно заметить, что образец 3, взятый от полимера, полученного после первого процесса приготовления, по-прежнему имеет лучшие сорбционные свойства по сравнению с образцом 4.

Сравнительная характеристика всех исследуемых образцов показана на рис. 2. Оба раза полимеры были приготовлены по одной методике [3].

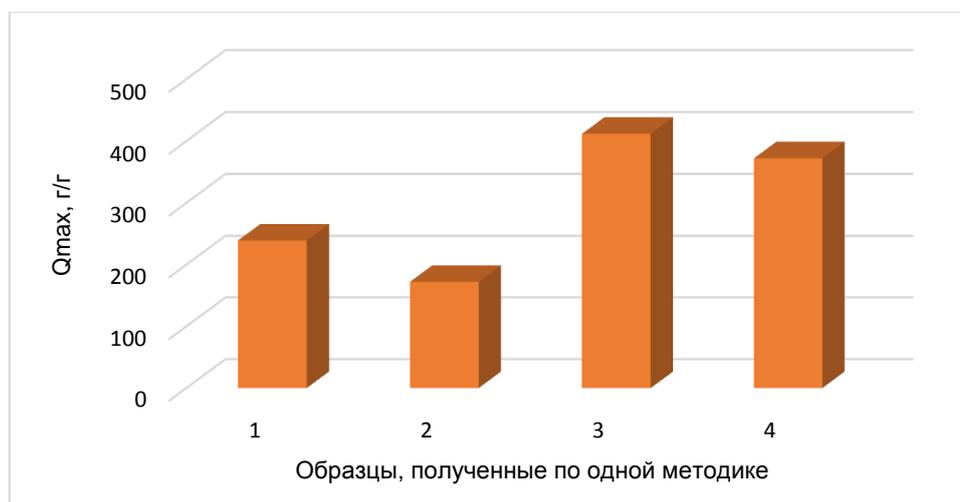


Рис. 2. Сравнительная характеристика максимальных величин влагопоглощения исследуемых образцов (образец 1 и образец 3, полученные при первом приготовлении; образец 2 и образец 4, полученные при втором приготовлении)

На рис. 2 отчетливо видно существенную разницу между высушенными образцами (1 и 2) и образцами, измельченными перед сушкой (3 и 4). В среднем величина влагопоглощения после измельчения увеличилась в два раза.

Образцы, пропущенные через шнек, обладают высокими показателями впитывающей способности, благодаря которым могут быть востребованы на рынке.

Литература

1. Buchholz F.L., Graham A.T. Modern Superabsorbent Polymer Technology. – N.Y.: WileyVCH, 1997. – 304 p.
2. Сухов А.И. Разработка реактора полимеризации акриловых производных в водной среде. // Сборник трудов VI Всероссийского конгресса молодых ученых. – 2017. – С. 211–213.
3. Savich M.H. Pat. US20120328723 / Savich M.H., Forni R.L., Chambers W. // <https://www.google.com/patents/US20120328723>. – 2012.



Антропова Мария Михайловна

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра лазерных технологий и систем, студент группы № В4215
Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные
технологии

e-mail: antropovamm@mail.ru



Семяшкина Юлия Викторовна

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра световых технологий и оптоэлектроники, аспирант
Направление подготовки: 11.06.01 – Электроника, радиотехника
и системы связи

e-mail: yvsemyashkina@mail.ru



Сергеева Елена Сергеевна

Год рождения: 1989

Санкт-Петербургский государственный университет,
факультет стоматологии и медицинских технологий,
кафедра терапевтической стоматологии, аспирант
Направление подготовки: 14.01.14 – Стоматология

e-mail: sergeeva_alena_s@mail.ru



Коржевский Дмитрий Эдуардович

Год рождения: 1965

Санкт-Петербургский государственный университет,
факультет стоматологии и медицинских технологий,
кафедра фундаментальных проблем медицины и медицинских
технологий, д.мед.н.

e-mail: DEK2@yandex.ru



Федотов Денис Юрьевич

Год рождения: 1972

Санкт-Петербургский государственный университет,
факультет стоматологии и медицинских технологий,
кафедра терапевтической стоматологии, к.мед.н.

e-mail: DrDFedotov@mail.ru



Беликов Андрей Вячеславович

Год рождения: 1967

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра лазерных технологий и систем, д.ф.-м.н., профессор

e-mail: avbelikov@gmail.com

**Ермолаева Людмила Александровна**

Год рождения: 1951

Санкт-Петербургский государственный университет,
факультет стоматологии и медицинских технологий,
кафедра терапевтической стоматологии, д.мед.н.

e-mail: l.l.ermolaeva@spbu.ru

УДК 535.36**ОПТИЧЕСКОЕ И ГИСТОЛОГИЧЕСКОЕ IN VIVO ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ
МИКРОРАНЫ ПРИ ФРАКЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ИЗЛУЧЕНИЯ 980 НМ
ЛАЗЕРА НА СЛИЗИСТУЮ ПОЛОСТИ РТА****Антропова М.М.** (Университет ИТМО), **Семяшкіна Ю.В.** (Университет ИТМО),
Сергеева Е.С. (Санкт-Петербургский государственный университет), **Коржевский Д.Э.**
(Санкт-Петербургский государственный университет), **Федотов Д.Ю.** (Санкт-Петербургский
государственный университет)**Научные руководители: д.ф.-м.н., профессор Беликов А.В.** (Университет ИТМО);
д.мед.н. Ермолаева Л.А. (Санкт-Петербургский государственный университет)

В эксперименте исследована реакция слизистой оболочки полости рта на фракционную лазерную обработку излучением диодного лазера с длиной волны 980 нм с различными сочетаниями средней мощности лазерного излучения, длительности и энергии лазерного импульса. Выполнено оптическое и гистологическое исследование слизистой оболочки полости рта после фракционного воздействия. В результате фракционной обработки в зависимости от пространственно-энергетических параметров лазерного излучения в зоне воздействия наблюдались различные состояния слизистой: осветление, покраснение, дефект и некроз ткани. Частота возникновения этих изменений зависит от параметров лазерного импульса, а также от времени, прошедшего после фракционной обработки.

Ключевые слова: диодный лазер, фракционная лазерная обработка, лазерная микрорана, слизистая полости рта, абляция, коагуляция.

Слизистая оболочка полости рта постоянно подвергается действию разнообразных повреждающих факторов: механические травмы, воспалительные процессы и т.д. [1].

Для повышения тонуса, эффективности терапевтического лечения слизистой оболочки, хирургических манипуляций в полости рта и улучшения течения послеоперационного периода, актуальным является исследование возможностей стимуляции регенерации слизистой оболочки полости рта, в том числе с применением лазерного излучения [2, 3].

По различным данным регенерация слизистой оболочки полости рта происходит за счет пролиферации клеток базального слоя эпителия, а также производства нового коллагена и формирования сети кровеносных сосудов в собственной пластинке слизистой.

В недавних исследованиях фракционного лазерного воздействия на слизистую оболочку полости рта крыс [4] были определены параметры излучения диодного лазера с длиной волны 980 нм, селективно воздействующие на различные слои слизистой оболочки. Было выявлено, что формирование абляционного микроповреждения начинается при мощности лазерного импульса $P=5$ Вт и длительности импульса $t_p=100$ мс, что соответствует энергии $E=0,5$ Дж. При этом затрагивается только эпителиальный слой слизистой оболочки. При $P=7$ Вт, $t_p=120$ мс дно абляционного микроповреждения достигает собственной пластинки слизистой, при этом соотношение ширины микроповреждения к его глубине составляет 1:1. При $P=10$ Вт, $t_p=100$ мс в эпителиальном слое и собственной пластинке слизистой оболочки формируется абляционная микроколонка с соотношением 1:1,5. Представленные сочетания параметров лазерного излучения могут быть использованы для

стимуляции регенерации слизистой оболочки полости рта. В то же время в литературе отсутствуют сведения об *in vivo* визуальной и гистологической оценке состояния слизистой полости рта в период ее реабилитации после фракционной лазерной обработки.

Таким образом, целью настоящей работы являлась оценка внешнего вида и гистологическое исследование слизистой оболочки полости рта после фракционного воздействия диодным лазером с длиной волны 980 нм с различными сочетаниями мощности и длительности лазерного импульса.

В эксперименте *in vivo* с помощью диодного лазера «stLase», генерирующего на длине волны 980 нм, проводилась фракционная лазерная обработка слизистой оболочки полости рта 15 лабораторных крыс. Животные находились под наркозом (Золетил (Virbac, Франция) в дозе 40 мг/кг массы внутривенно). Протокол эксперимента соответствовал этическим нормам, изложенным в «Международном кодексе медицинской этики» (1994), «Правилах работ с использованием экспериментальных животных» (GLP), Хельсинской декларации (2000), Директивах Европейского сообщества 86/609 ЕЕС. Микрповреждения создавались при контакте волоконного наконечника диаметром 400 мкм с поверхностью слизистой оболочки полости рта. Облучение проводилось в двух сегментах верхней челюсти по два режима на сегмент. Для лучшей визуализации областей лазерного воздействия, сегмент челюсти был разграничен на три части с помощью татуировки органическим веществом для татуажа Prizm Tattoo Ink (Superior Tattoo Equipment, USA). В двух зонах проводилась лазерная фракционная обработка, а зона между ними выступала в качестве контрольной (рис. 1).

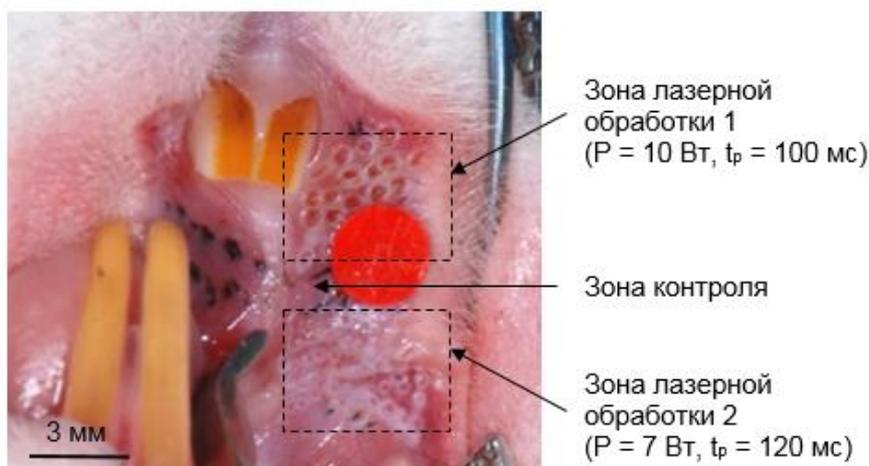


Рис. 1. Внешний вид слизистой оболочки полости рта после фракционной лазерной обработки (диодный лазер, $\lambda=980$ нм) с метками татуировки (левый сегмент верхней челюсти)

Фракционная лазерная обработка проводилась в четырех режимах: режим 1 ($P=5$ Вт, $t_p=100$ мс, $E=0,5$ Дж); режим 2 ($P=7$ Вт, $t_p=120$ мс, $E=0,84$ Дж); режим 3 ($P=10$ Вт, $t_p=100$ мс, $E=1$ Дж). Фактор заполнения при фракционной обработке в этих режимах был подобран таким образом, чтобы суммарный вклад энергии в облученную область был одинаковым, и его плотность составляла около 200 Дж/см². Режим 4 ($P=7$ Вт, $t_p=120$ мс, $E=0,84$ Дж) отличался большей плотностью суммарной энергии (приблизительно 335 Дж/см²), что было достигнуто за счет увеличения фактора заполнения.

Гистологическое исследование одиночного микрповреждения, выполненное с использованием окраски гематоксилином и эозином, показало, что в результате фракционного лазерного воздействия в слизистой полости рта при различных пространственно-энергетических параметрах лазерного излучения на клеточном и тканевом уровнях наблюдаются: абляция ткани, вытягивание и компактизация ядер базального слоя эпителия, исчезновение гранул кератогиалина, деструктуризация соединительной ткани,

транссудат в просвете абляционного отверстия, стаз эритроцитов в сосудах, исчезновение поперечной исчерченности в мышечных волокнах.

В ходе эксперимента слизистая оболочка полости рта была сфотографирована перед лазерной обработкой, непосредственно после и через 5, 7 и 28 дней соответственно в одной из групп, состоящей из 5 крыс. Фотографии были сделаны с помощью цифрового фотоаппарата Nikon D80 (Nikon Corporation, Япония) с кольцевой вспышкой при постоянном позиционировании и освещении объектов съемки. Для масштаба на поверхность слизистой в непосредственной близости от зоны обработки помещался круг диаметром $3 \pm 0,1$ мм, вырезанный из артикуляционной бумаги HANEL 40 мкм (HANEL, Германия).

На фотографиях, полученных сразу после лазерного воздействия в зоне микроповреждений, видны области абляции и коагуляции биоткани. В результате абляции формируется абляционный микрократер. Коагуляция проявляется в побелении ткани, окружающей микроповреждение. На стенках абляционного микрократера в ряде случаев присутствует слой темно-коричневого цвета, который мы ассоциируем с карбонизацией.

С использованием программного пакета ImageJ (National Institute of Health, USA) по фотографиям были измерены диаметр абляционного кратера и ширина зоны коагуляции, а затем определены фактор заполнения поверхности слизистой абляционными микроповреждениями, фактор заполнения коагуляционными и абляционными микроповреждениями совместно, оценена суммарная энергия, затраченная на фракционное воздействие.

В области, подвергшейся фракционной обработке, наблюдается несколько визуально-различимых изменений слизистой оболочки полости рта, возникающих в процессе ее восстановления: осветление, покраснение, дефект, и некроз ткани (рис. 2). Согласно [5] осветление связано с особенностями регенерации ткани, в том числе с изменением концентрации коллагеновых волокон; покраснение вызвано реакцией сосудистого русла на воспалительный процесс; дефект представляет собой микроповреждения с восстановленным эпителиальным слоем и связан с изменениями в собственной пластинке слизистой; а некроз обусловлен тотальной гибелью клеток. До фракционного воздействия эти изменения не наблюдались.

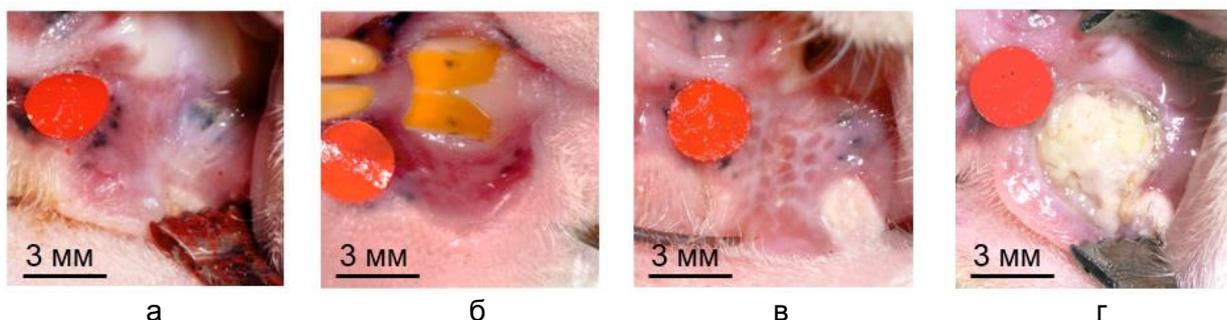


Рис. 2. Внешний вид слизистой оболочки полости рта в процессе ее восстановления после фракционной лазерной обработки: осветление (а), покраснение (б), дефект (в) и некроз ткани (г)

Возникновение того или иного изменения слизистой оболочки зависит от параметров лазерного излучения (мощности, длительности и энергии лазерного импульса), от особенностей фракционной лазерной обработки (плотность суммарной энергии, фактор заполнения), а также от времени, прошедшего с момента лазерной обработки.

На рис. 3 показана частота возникновения изменений слизистой оболочки в зависимости от средней мощности лазерного излучения, энергии и длительности лазерного импульса.

Видно, что с увеличением средней мощности лазерного излучения частота возникновения дефекта ткани и частота возникновения некроза на обработанной области слизистой оболочки полости рта увеличиваются. Частота возникновения осветления имеет

обратную зависимость. В то же время средняя мощность лазерного излучения не оказывает влияния на частоту возникновения покраснения на слизистой оболочке после фракционной лазерной обработки (рис. 3, а). Характер зависимости частоты возникающих изменений слизистой оболочки от энергии лазерного импульса (рис. 3, б) имеет те же особенности, что и от средней мощности лазерного излучения. Длительность лазерного импульса не оказывает существенного влияния на частоту возникновения изменений слизистой оболочки после фракционного лазерного воздействия (рис. 3, в).

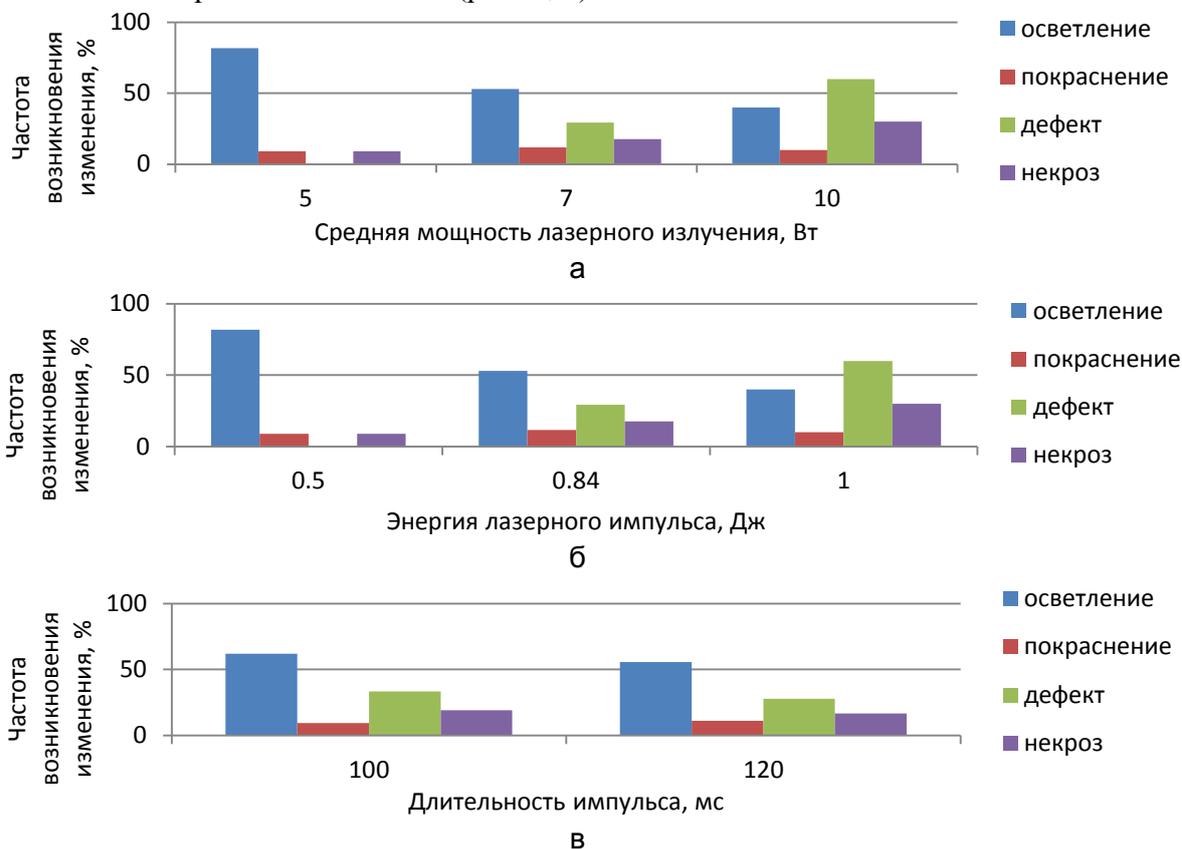


Рис. 3. Зависимость частоты возникновения изменений слизистой оболочки полости рта в процессе ее восстановления после фракционной лазерной обработки: от средней мощности лазерного излучения (а), энергии (б) и длительности лазерного импульса (в)

На рис. 4 показана частота возникновения изменений слизистой оболочки в зависимости от количества дней, прошедших после ее фракционной лазерной обработки.

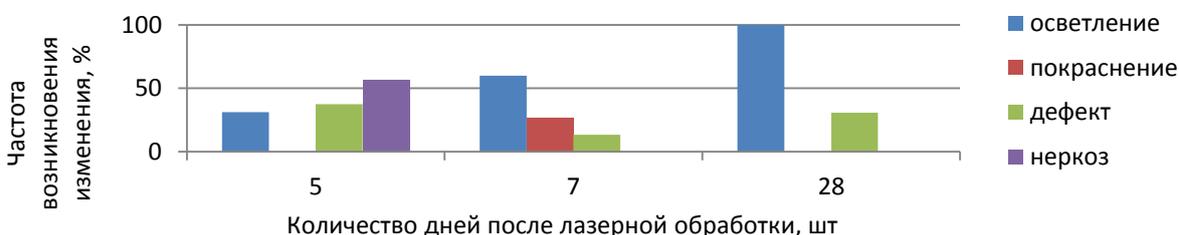


Рис. 4. Зависимость частоты возникновения изменений слизистой полости рта в процессе ее восстановления после фракционной лазерной обработки от количества дней, прошедших после обработки

Видно, что в зависимости от количества дней, прошедших после фракционной лазерной обработки слизистой оболочки, в зоне воздействия наблюдаются различные ее состояния (рис. 4). На 5-й день в зоне обработки преимущественно присутствует зона некроза (57% случаев). Также наблюдается дефект ткани (39% случаев) и ее осветление (33% случаев). Покраснение не наблюдается. На 7-й день частота возникновения осветления возрастает до 60%, а частота возникновения дефекта снижается до 17%. Появляется

покраснение (26% случаев). На 28-й день частота возникновения осветления достигает 100%, однако дефект ткани все еще наблюдается в 30% случаев. Покраснение отсутствует. Наибольшая частота возникновения осветления слизистой оболочки полости рта наблюдается при энергии лазерного импульса 0,5 Дж на 28-й день после фракционного лазерного воздействия.

Таким образом, в работе представлены результаты экспериментального оптического и гистологического исследования слизистой оболочки полости рта после фракционного воздействия диодным лазером с длиной волны 980 нм с различными сочетаниями средней мощности лазерного излучения, энергии и длительности лазерного импульса. В зоне обработки после фракционного воздействия впервые наблюдались различные состояния слизистой: осветление, покраснение, дефект и некроз ткани. Частота возникновения этих изменений зависит от параметров лазерного импульса, а также от времени, прошедшего после фракционной обработки.

Литература

1. Bykov I.V. Injury and reparative regeneration of the oral mucosal epithelium after cytostatic drugs administration (tissue, cell and molecular mechanisms) // *Morphology*. – 2011. – № 3. – P. 7–18.
2. Tasso R., Gaetani M., Molino E. The role of bFGF on the ability of MSC to activate endogenous regenerative mechanisms in an ectopic bone formation model // *Biomaterials*. – 2012. – № 33. – P. 2086–2096.
3. Gladkova N.D., Feldstein F.I., Karabut M.M., Ostrovskaya Y.V., Snopova L.B., Kiseleva E.B., Romanos G.E. Histological response of oral mucosa on fractional laser photothermolysis in animal experiments // *Modern Technologies in Medicine*. – 2012. – № 3. – P. 7–11.
4. Belikov A.V., Ermolaeva L.A., Korzhevsky D.E., Sergeeva E.S., Semyashkina Y.V., Antropova M.M., Fedotov D.Y., Zaitseva M.A., Kashina T.V. Histological examination of the oral mucosa after fractional diode laser irradiation with different power and pulse duration // *Proceedings of SPIE*. – 2018. – V. 10716. – P. 107160Y.
5. Belikov A.V., Ermolaeva L.A., Korzhevsky D.E., Sergeeva E.S., Semyashkina Y.V., Antropova M.M., Fedotov D.Y., Zaitseva M.A., Kashina T.V. Histological examination of the oral mucosa regeneration after fractional diode laser treatment with a wavelength of 980 nm // *Proceedings of SPIE*. – 2018. – V. 10685. – P. 1068526.



Власова Елена Андреевна

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра лазерных технологий и систем, студент группы № В4216
Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные
технологии

e-mail: elenavlasova94@icloud.com



Лутошина Дарья Сергеевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра лазерных технологий и систем, студент группы № В3216
Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные
технологии

e-mail: ld3282@mail.ru



Щедрина Надежда Николаевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра лазерных технологий и систем, студент группы № В3216
Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные
технологии

e-mail: schrdrina.nadezda@gmail.com

УДК 544.032.65, 544.537

**АДАПТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЦВЕТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ
ДЛЯ СЕРЕБРЯНЫХ СПЛАВОВ**

Власова Е.А., Лутошина Д.С., Щедрина Н.Н.

Научный руководитель – к.т.н., н.с. Одинцова Г.В.

В работе продемонстрирована технология лазерного окрашивания поверхности серебряного сплава 925 пробы. Нанесение цветных изображений происходило в два этапа: первый заключался в локальном лазерном переносе титановой пленки со стеклянной донорной подложки на поверхность серебра, второй – в ее последующем окислении за счет лазерного нагрева. В зависимости от параметров лазерного излучения полученные оксидные пленки имели разную толщину, и итоговый цвет поверхности наблюдался за счет интерференции света в тонких пленках. В результате работы была получена цветовая палитра на поверхности серебра, а также были измерены спектры отражения полученных структур, и на их основе рассчитаны цветовые координаты.

Ключевые слова: наносекундные лазерные импульсы, лазерное окрашивание, драгоценные металлы, титановые пленки, лазерная маркировка, серебряный сплав.

На сегодняшний день в ювелирной промышленности существует множество способов декорирования изделий: создание орнаментов, изменение цвета и формы изделия, использование различных материалов и др. При этом очевидно, что цвет изделия играет ключевую роль для визуальной оценки его привлекательности. Существующие методы окрашивания драгоценных металлов [1–3] обладают рядом недостатков, таких как недолговечность и хрупкость получаемых покрытий, невозможность нанесения сложных изображений, ограниченность цветовой палитры или высокая стоимость самой технологии. В то же время окрашивание поверхности драгоценных металлов с помощью лазерного излучения является перспективным, поскольку данный метод позволит наносить

изображения с высоким разрешением (диаметр пучка в фокусе используемого в работе лазера составляет $d_0=50$ мкм) при бесконтактном воздействии на материал, что обеспечит точную воспроизводимость результата при больших тиражах.

В предыдущей работе авторов [4] была описана технология лазерного окрашивания драгоценных металлов, в основе которой лежит окисление титановой пленки, нанесенной на поверхность драгоценного металла методом магнетронного напыления. Однако реализация этой технологии является трудоемким процессом, так как используется несколько технологических установок.

Вследствие этого в данной работе была поставлена цель получить цветовую палитру на поверхности серебряных изделий с помощью одной технологической установки.

В работе использовались серебряная пластинка 925 пробы и стекло с напыленной на его поверхность титановой пленкой. Проведение эксперимента осуществлялось с помощью установки на базе импульсного иттербиевого волоконного лазера (рис. 1).

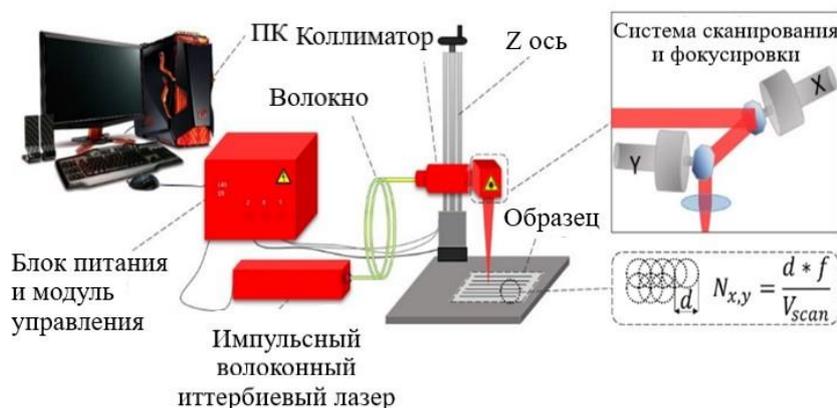


Рис. 1. Схема лазерной установки

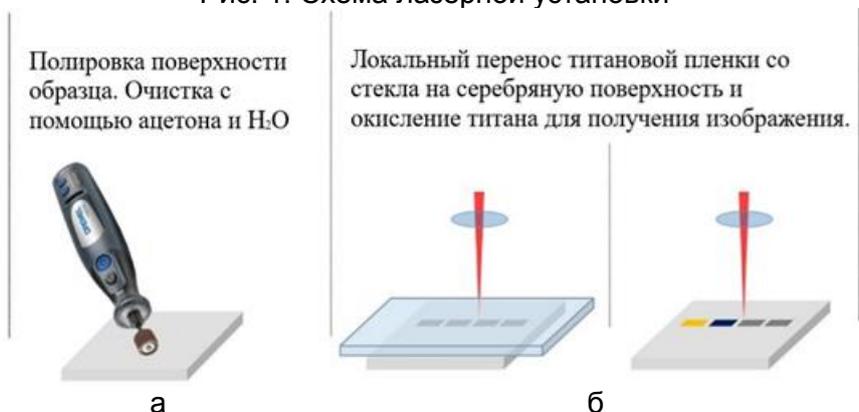


Рис. 2. Первый (а) и второй (б) этапы обработки получения цветного изображения на поверхности серебра

Процесс окрашивания серебра с помощью лазерных импульсов включает в себя два этапа обработки образца (рис. 2). Первый этап включает предварительную полировку поверхности образца и очистку с помощью ацетона и воды. На втором этапе производится локальный перенос титановой пленки со стеклянной донорной подложки на поверхность серебра и ее последующее окисление. В результате воздействия температур ниже порога испарения титана на поверхности серебра образуются тонкие оксидные пленки, и цвет наблюдается за счет явления интерференции света в полученных пленках.

Перенос пленки титана со стеклянной подложки на поверхность серебра производился при следующих режимах лазерного воздействия: $I=2,69 \cdot 10^7$ Вт/см², $N_x=2$, $N_y=2$. На рис. 3 представлена цветовая палитра на поверхности серебра. Палитра получена при следующих режимах лазерного воздействия: для образца S_5 плотность мощности (I) лазерного излучения составляет $I=2,46 \cdot 10^8$ Вт/см²; S_6 – $I=2,00 \cdot 10^8$ Вт/см²; S_7 – $I=1,14 \cdot 10^8$ Вт/см²; S_8 – $I=7,55 \cdot 10^7$

Вт/см², $N_x=9-16$, $N_y=10$. Также приведены примеры изображений, нанесенных на поверхности серебряных изделий.



Рис. 3. Цветовая палитра, полученная на поверхности серебра, и примеры нанесенных с помощью данной технологии изображений

На рис. 4 приведены спектры отражения и цветовые координаты в системе RGB (источник освещения D₆₅) структур, полученных на титановой пленке, перенесенной на серебряную подложку при импульсном лазерном воздействии.

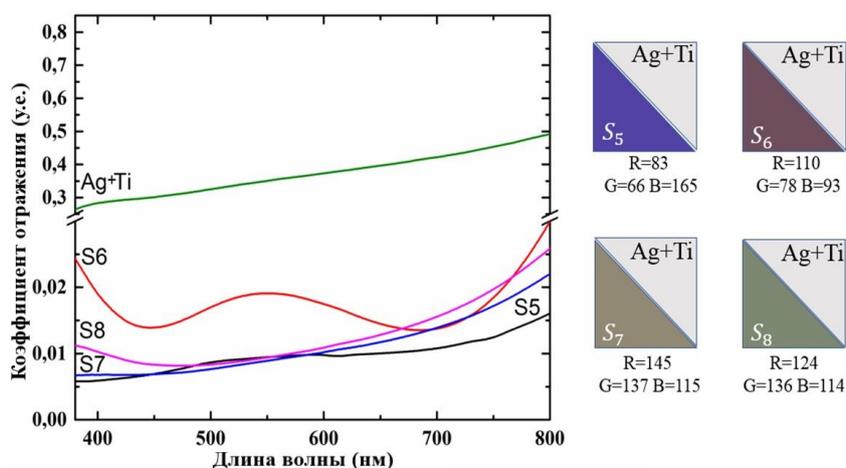


Рис. 4. Спектры отражения и цветовые координаты в системе RGB лазерно-индуцированных структур

В результате проделанной работы была показана возможность получения цветных изображений на поверхности драгоценных металлов с помощью одной технологической установки Минимаркер-2, широко применяемой в промышленности. Также были определены технологические режимы для создания цветовой палитры на пленке титана, для которой рассчитаны цветовые координаты в системе RGB при источнике освещения D₆₅. Ожидаемые результаты позволят внедрить на рынок ювелирной промышленности новый, уникальный метод по получению цветных изображений высокого разрешения на поверхности изделий из драгоценных металлов. Также данный метод может найти свое применение для идентификации изделий из драгоценных металлов и защиты их от подделок. Технология получения цветного изображения путем окисления пленок титана, нанесенных на другие подложки, может применяться для защиты от фальсификации ценных бумаг. В перспективе для расширения цветовой палитры возможно использование других тонких пленок окисляющихся металлов, таких как сталь, хром, железо и др. Важно, что в предложенной технологии не используются красящие вещества, следовательно, получаемые изображения являются экологически чистыми.

Литература

1. Duprez D., Cavani F. Handbook of Advanced Methods and Processes in Oxidation Catalysis: From Laboratory to Industry. – Imperial College Press, 2014. – 1035 p.
2. Untracht O. Jewelry Concepts and Technology. – Doubleday, 1985. – 2052 p.
3. Bartlett L. An unusual phenomenon observed when anodising CP titanium to produce coloured surfaces for jewellery and other decorative uses // Opt. Laser Technol. – 2006. – V. 38. – P. 440–444.
4. Veiko V., Odintsova G., Vlasova E., Andreeva Ya., Krivonosov A., Ageev E., Gorbunova E. Laser coloration of titanium films: New development for jewelry and decoration // Opt. Laser Technol. – 2017. – V. 93. – P. 9–13.

**Егорова Елена Евгеньевна**

Год рождения: 1998

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, студент группы № В3216
Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные технологии

e-mail: elena1998959@gmail.com

**Мамжиева Мария Александровна**

Год рождения: 1999

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, студент группы № В3216
Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные технологии

e-mail: maruskamamzhieva@gmail.com

**Кривонос Алексей Сергеевич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, студент группы № В4216
Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные технологии

e-mail: as.krivonosov@ya.ru

УДК 535.37**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОЧАСТИЦ SI/SIO₂****Егорова Е.Е., Мамжиева М.А., Кривонос А.С.****Научный руководитель – к.т.н. Агеев Э.И.**

В работе рассмотрено влияние параметров лазерного воздействия на размер и однородность распределения наночастиц кремния, полученных методом импульсной лазерной абляции в жидкости. Основные варьируемые параметры: длительность импульса в наносекундном диапазоне, плотность энергии лазерного излучения, схемы сканирования с различным перекрытием импульсов. Для определения размерных характеристик полученные наночастицы были исследованы с помощью сканирующей электронной микроскопии. Также в работе рассмотрен способ управления размерами и распределением по размерам наночастиц за счет дополнительной фрагментации исходных коллоидных растворов.

Ключевые слова: наночастицы кремния, импульсная лазерная абляция в жидкости, лазерная фрагментация, наносекундные лазерные импульсы.

Введение. В последние 25 лет наблюдается бурное развитие исследований, связанных с наночастицами (НЧ). Особенности свойства НЧ и наноматериалов обуславливают громадный научный и практический интерес к НЧ и функциональным материалам на их основе. Значительный прогресс в науке о НЧ и нанотехнологиях достигнут благодаря применению лазеров. Было показано, что с помощью лазерного излучения (ЛИ) можно получать, плавить и испарять НЧ, изменять их форму, структуру, размер, изучать динамику их агломерации в коллоидных растворах, создавать периодические массивы, а также различные структуры и ансамбли НЧ [1].

Так как свойства НЧ в первую очередь определяются их размером, то в зависимости от сферы применения требуются НЧ с различными размерами: в медицине необходимы наночастицы размером порядка 100 нм [2], в солнечной энергетике около 10 нм и менее, с возможностью многоэкситонной генерации (что в перспективе позволит повысить эффективность преобразования солнечной энергии в кремниевых солнечных элементах) [3]. В связи с этим необходимо исследовать влияние параметров ЛИ на характеристики НЧ, а также возможность управления размерами и распределением НЧ по размерам.

В данной работе для генерации НЧ использовался метод импульсной лазерной абляции в жидкости. Образцы кремния (КЭФ 4,5 7×7×0,25 мм) промывались в ультразвуковой ванне, в ацетоне, затем помещались в кювету, которая заполнялась 2 мл дистиллированной воды. Далее мишень подвергалась наносекундному лазерному воздействию. В качестве источника излучения был выбран технологический лазерный комплекс Минимаркер-2. Затем производился забор раствора и его сушка (рис. 1).

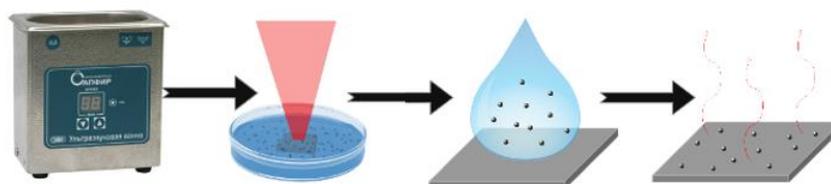
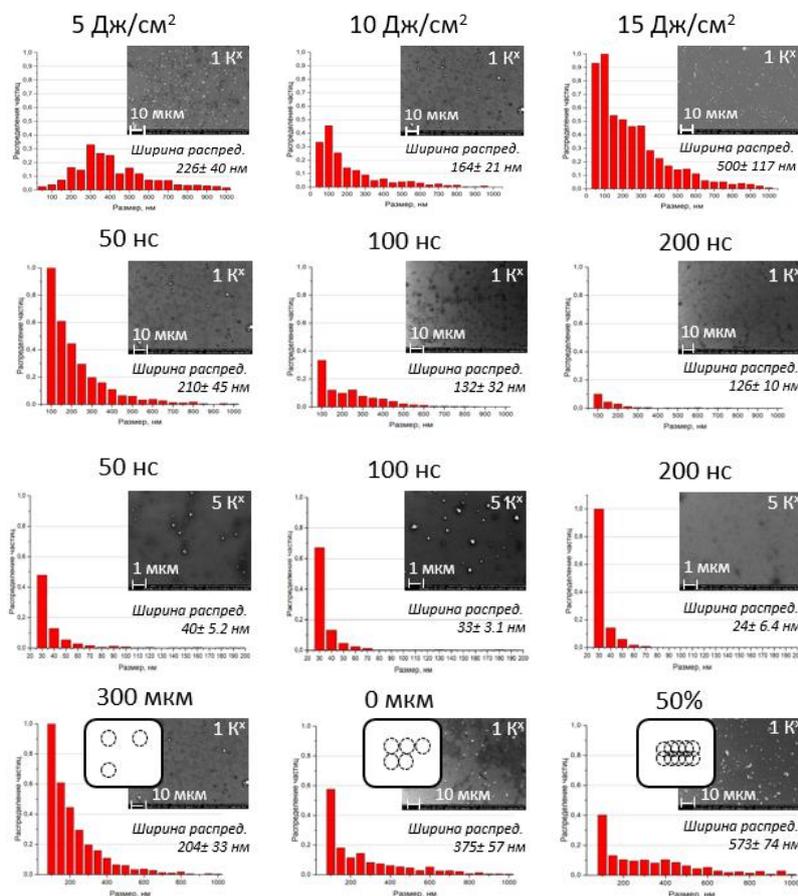


Рис. 1. Схема проведения эксперимента

Исследования были проведены при следующих параметрах лазерного воздействия: длительность импульса 50–200 нс, плотность энергии 5–15 Дж/см², схемы сканирования с различным перекрытием импульсов (табл. 1).

Таблица 1. Гистограммы распределения НЧ кремния по размерам и СЭМ-снимки исследуемых образцов



1. Влияние плотности энергии лазерного излучения. С ростом плотности энергии значительно возрастает концентрация частиц, при этом распределение по размерам неоднородно, присутствует большое количество как крупных, так и мелких частиц. Предположительно это связано с увеличением объема аблированного кремния при повышении плотности энергии.
2. Влияние длительности импульса. При длительности импульса 50 нс кремний приобретает температуру большую, чем при длительностях 100 и 200 нс соответственно, дольше находится в расплавленном состоянии, и, как следствие, вероятность агломерации увеличивается. Возможно поэтому количество больших частиц с увеличением длительности снижается. И, наоборот, с ростом длительности импульса значительно возрастает количество малых частиц, что проиллюстрировано в табл. 1.
3. Влияние схемы сканирования. При малом расстоянии между импульсами (0 мкм без перекрытия и при перекрытии 50%), часть энергии ЛИ экранируется растущим кавитационным пузырем, тем самым сообщая ему дополнительный нагрев. Механизм агломерации в данном случае схож с результатами, полученными при изучении влияния длительности импульса на размерные характеристики НЧ.

Альтернативным способом влияния на характеристики НЧ является процесс лазерной фрагментации. После генерации НЧ мишень удаляется из кюветы, и производится сканирование по спиральной траектории с целью продвижения НЧ к центру кюветы и более эффективной фрагментации [4] (рис. 2). Во избежание градиента плотности энергии по объему фрагментируемого раствора необходимо, чтобы высота водяного столба не превышала величину глубины резкости фокусировки объектива.

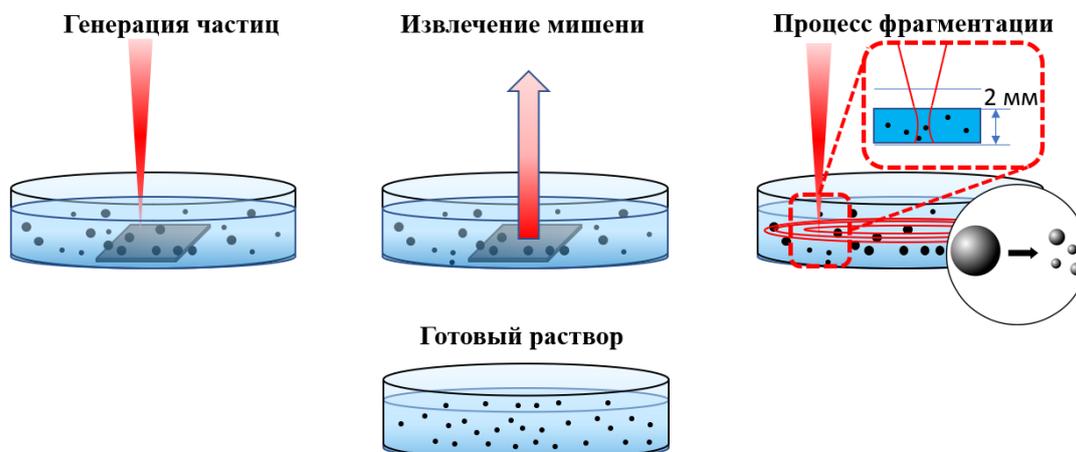
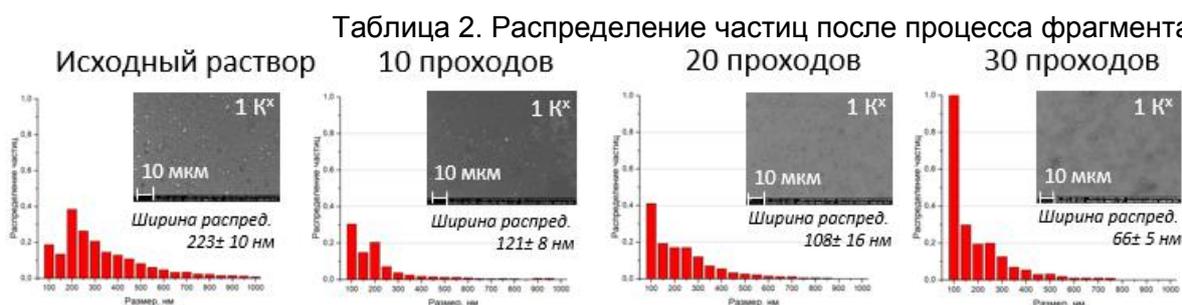


Рис. 2. Схема процесса лазерной фрагментации

Как видно из снимков сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) и гистограмм, представленных в табл. 2, процесс фрагментации сужает распределение по размерам НЧ. Кроме того, с увеличением количества проходов значительно повышается доля частиц малых размеров (100 нм и меньше), что позволяет эффективно управлять размерными характеристиками НЧ.



Заключение. Таким образом, было установлено, что с ростом плотности энергии ЛИ значительно возрастает концентрация частиц, при этом распределение частиц по размерам неоднородно, однако, при повышении длительности импульса количество крупных частиц снижается, а малых (100 нм и меньше) – повышается, что позволяет до некоторой степени контролировать однородность распределения по размерам.

Наилучшие результаты обеспечивает схема сканирования с расстоянием между импульсами 300 мкм. В данном случае отсутствуют большие агломераты, распределение по размерам наиболее однородное.

Процесс фрагментации позволяет управлять размерными характеристиками НЧ. С увеличением количества проходов фрагментации значительно повышается доля частиц малых размеров, распределение становится более однородным [5].

Литература

1. Макаров Г.Н. Применение лазеров в нанотехнологии: получение наночастиц и наноструктур методами лазерной абляции и лазерной нанолитографии // УФН. – 2013. – Т. 183(7). – С. 673–718.
2. Tolstik Elen et al. Studies of silicon nanoparticles uptake and biodegradation in cancer cells by Raman spectroscopy // *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*. – 2016. – V. 12. – № 7. – P. 1931–1940.
3. Priolo F. et al. Silicon nanostructures for photonics and photovoltaics // *Nat. Nanotechnol. Nature Publishing Group*. – 2014. – V. 9. – № 1. – P. 19–32.
4. Ulusoy Ghobadi T.G. et al. Controlling luminescent silicon nanoparticle emission produced by nanosecond pulsed laser ablation: role of interface defect states and crystallinity phase // *RSC Advances*. – 2016. – V. 7. – № 6. – P. 112520–112526.
5. Казакевич В.С., Казакевич П.В., Ярьсько П.С., Нестеров И.Г. Влияние физико-химических свойств жидкости на процессы лазерной абляции и фрагментации наночастиц Au в изолированном объеме // *Изв. Самарского научного центра РАН*. – 2012. – № 4-1. – С. 64–69.

**Льонг Ван Кыонг**

Год рождения: 1987

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра лазерных технологий и систем, аспирантНаправление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение,
оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: cuongbm08@gmail.com

**Романов Валерий Витальевич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра лазерных технологий и систем,

студент группы № В4216

Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные
технологии

e-mail: ionhcsik@rambler.ru

**До Тхань Тунг**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
Кафедра лазерных технологий и систем,

студент группы № В4216

Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные
технологии

e-mail: snowskyfall@gmail.com

**Антипенкова Дарья Андреевна**

Год рождения: 1998

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра лазерных технологий и систем,

студент группы № В3216

Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные
технологии

e-mail: antipenkova_dasha@mail.ru

**Кутепова Мария Сергеевна**

Год рождения: 1998

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра лазерных технологий и систем,

студент группы № В3216

Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные
технологии

e-mail: mariya_kutepova@list.ru

УДК 535-1/-3**РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОРРЕКТИРОВКИ ЦВЕТА МЕТАЛЛОВ ПУТЕМ
ЛАЗЕРНОГО ПОСЛОЙНОГО НАРАЩИВАНИЯ ОКСИДНОЙ ПЛЕНКИ****Льонг В.К., Романов В.В., До Т.Т., Антипенкова Д.А., Кутепова М.С.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Вейко В.П.**

В работе приведен теоретический расчет толщин оксидных пленок при импульсном лазерном воздействии на поверхность титана: толщина верхнего тонкого слоя (TiO_2) варьируется от 0,3 до 2,5 мкм, а толщина нижней оксидной пленки ($TiO+Ti_2O_3$) составляет от 0,2 до 7,5 мкм. Результаты

расчета хорошо коррелируют с экспериментальными данными. На основе данного расчета возможно разработать метод корректировки цвета в процессе нанесения цветного изображения на металлическую поверхность за счет послойного наращивания пленок определенной толщины.

Ключевые слова: цветная лазерная маркировка, импульсное излучение, окисление металлов, титан BT1-0, оксидная пленка.

Цветная лазерная маркировка (ЦЛМ) металлической продукции может найти широкое применение в следующих сферах промышленности: приборостроение, авиа- и автомобилестроение, ювелирное дело, сувенирная продукция и др., а также являться выразительным средством в современном искусстве. Цветной идентификационный знак на поверхности изделия может одновременно использоваться для брендирования, идентификации и защищать продукт от подделки.

Суть технологии ЦЛМ заключается в следующем: при локальном лазерном нагреве металла за счет химического взаимодействия с кислородом на его поверхности образуется многослойная оксидная пленка, цвет которой определяется собственным цветом нижних оксидных слоев (в случае титана: TiO и Ti₂O₃) и интерференционными эффектами в верхнем слое (для титана: TiO₂) [1]. Изменяя температуру нагрева поверхности и время ее обработки, можно локально изменять толщину оксидных пленок и, следовательно, цвет отдельных участков поверхности [2]. Тем не менее, зависимость толщин оксидных пленок от режимов лазерного воздействия для технологии ЦЛМ до сих пор не выявлена.

Целью работы являлось проведение расчета толщин оксидных пленок, сформированных на поверхности титана при импульсном лазерном воздействии. На основе полученных зависимостей может быть разработан метод корректировки цвета металлов путем лазерного послойного наращивания оксидных пленок.

При нагреве металла импульсным излучением постоянной мощности температуру в течение одного импульса ($0 < t \leq \tau$) можно описать следующей формулой [3]:

$$T(x, t) = T_0 + \frac{2Aq_0\sqrt{at}}{k} \operatorname{ierfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right), \quad (1)$$

где T_0 – начальная температура; a – коэффициент температуропроводности; k – коэффициент теплопроводности; q_0 – плотность мощности лазерного импульса.

После окончания действия единичного импульса, температура поверхности в момент $t > \tau$ достигает значения, которое может быть рассчитано по формуле:

$$T(x, t) = T_0 + \frac{2Aq_0\sqrt{a}}{k} \left[\sqrt{t} \cdot \operatorname{ierfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right) - \sqrt{t-\tau} \cdot \operatorname{ierfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{a(t-\tau)}}\right) \right]. \quad (2)$$

Из формул (1) и (2) получаем температуру поверхности в центре зоны облучения после воздействия N импульсов:

$$T(x, t) = T_0 + \frac{2Aq_0\sqrt{a}}{k} \sum_{m=0}^N \left[\sqrt{t - \frac{m}{f}} \cdot \operatorname{ierfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{a\left(t - \frac{m}{f}\right)}}\right) - \sqrt{t - \frac{m}{f} - \tau} \cdot \operatorname{ierfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{a\left(t - \frac{m}{f} - \tau\right)}}\right) \right]. \quad (3)$$

Необходимо отметить, что коэффициенты a и k сильно зависят от температуры нагрева металла, поэтому необходимо учитывать изменение коэффициентов температуропроводности и теплопроводности при нагреве. Из данных в работе [4], используя метод аппроксимации, получаем для титана:

$$a = 10^{-6} \cdot (-0,0056\Delta T^3 + 0,1764\Delta T^2 - 1,4713\Delta T + 10,616), \text{ м}^2/\text{с},$$

$$k = 0,0086\Delta T^3 + 0,0028\Delta T^2 - 0,9413\Delta T + 22,867, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}),$$

где $\Delta T = 1 + \frac{T - T_0}{100}$.

В случае изотермического окисления металла, кинетику процесса окисления можно описать уравнением [5]:

$$\frac{db}{dt} = \frac{B}{b} \exp\left(-\frac{T_a}{T}\right), \quad (4)$$

где B – константа параболического окисления; T_a – энергия активации.

При нагреве металла (в случае нормального падения) импульсным излучением постоянной мощности толщину оксидной пленки можно оценить по формуле:

$$b_{\max} = \sqrt{2B \exp\left(-\frac{T_a}{T_{\max}}\right) t_e + b_{\text{нач}}^2}, \quad (5)$$

где $t_e = \frac{2T_{\max}^2 \tau}{T_a (T_{\max} - T_{\text{н}})}$; $T_{\text{н}}$ – начальная температура перед воздействием лазерного импульса;

T_{\max} – максимальная температура в течение лазерного импульса.

В работе [2] показано, что при технологии ЦЛМ каждый цвет на поверхности металла можно охарактеризовать коэффициентом цветности C_{tech} .

$$C_{\text{tech}} = T \cdot t_{\text{eff}}, \quad (6)$$

где t_{eff} – эффективное время воздействия, $t_{\text{eff}} = \frac{d^2 \tau f N}{V_{\text{ск}}}$; d – диаметр лазерного луча; N – разрешение (линий на мм); $V_{\text{ск}}$ – скорость сканирования.

Предположим, что каждый слой оксидной пленки тоже характеризуется коэффициентом C_{tech} . Из формул (3), (5) и (6) можем рассчитать толщину каждого слоя оксидной пленки:

$$b_i = x_{\text{вер}} - x_{\text{низ}}, \quad (7)$$

где $x_{\text{вер}}$ – значение глубины окисления, при котором C_{tech} равен верхнему пределу для этого оксида; $x_{\text{низ}}$ – значение глубины окисления, при котором C_{tech} равен нижнему пределу для этого оксида.

На рисунке показана зависимость толщины верхнего (TiO_2) и нижнего ($\text{TiO} + \text{Ti}_2\text{O}_3$) слоев оксидной пленки от скорости сканирования. Теоретические результаты хорошо согласуются с экспериментом, описанным в работе [6].

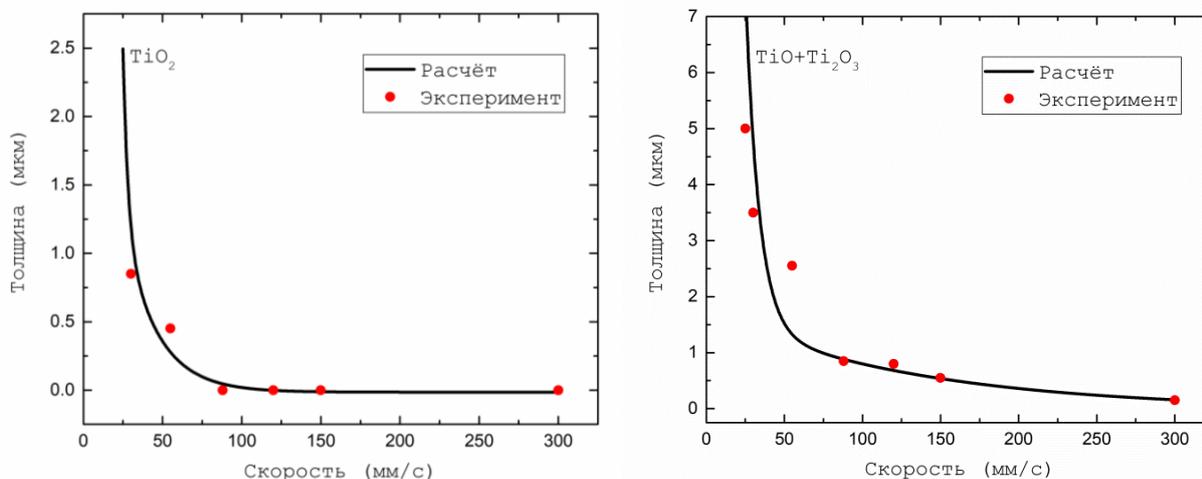


Рисунок. Зависимость толщины слоя оксидной пленки от скорости сканирования

Таким образом, в работе показана зависимость толщин оксидных пленок от скорости сканирования при импульсном лазерном облучении поверхности титана: при изменении скорости сканирования в диапазоне 25–300 мм/с толщина верхнего тонкого слоя (TiO_2) варьируется от 0,3 до 2,5 мкм, а толщина нижней оксидной пленки ($\text{TiO}+\text{Ti}_2\text{O}_3$) составляет от 0,2 до 7,5 мкм.

На основе данного расчета может быть разработан метод корректировки цвета в процессе нанесения цветного изображения на металлическую поверхность за счет послойного наращивания пленок определенной толщины.

Литература

1. Ageev E.I., Andreeva Ya.M., Karlagina Yu.Yu., Kolobov Yu.R., Manokhin S.S., Odintsova G.V., Slobodov A.A., Veiko V.P. Composition analysis of oxide films formed on titanium surface under pulsed laser action by method of chemical thermodynamics // *Laser Physics*. – 2017. – V. 27. – P. 046001-1–10.
2. Veiko V., Odintsova G., Ageev E., Karlagina Yu., Loginov A., Skuratova A., Gorbunova E. Controlled oxide films formation by nanosecond laser pulses for color marking // *Optics Express*. – 2014. – V. 22. – № 20. – P. 24342–24347.
3. Вейко В.П., Либенсон М.Н., Червяков Г.Г., Яковлев Е.Б. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. – М.: Физматлит, 2008. – 312 с.
4. Зиновьев В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах. – *Металлургия*, 1989. – 384 с.
5. Либенсон М.Н. Лазерно-индуцированные оптические и термические процессы в конденсированных средах и их взаимное влияние. – СПб.: Наука, 2017. – 423 с.
6. Perez del Pino A., Serra P., Morenza J.L. Coloring of titanium by pulsed laser processing in air // *Thin Solid Films*. – 2002. – V. 415. – P. 201–205.

**Семьяшкина Юлия Викторовна**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра лазерных технологий и систем, аспирантНаправление подготовки: 11.06.01 – Электроника, радиотехника
и системы связи

e-mail: yvsemyashkina@mail.ru

**Пихота Нина Сергеевна**

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра лазерных технологий и систем,
студент группы № В3415Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные
технологии

e-mail: pihota1997@yandex.ru

УДК 535.212**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ СВЕТОДИОДНОГО СКАЛЬПЕЛЯ.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО УЗЛА ВВОДА ИЗЛУЧЕНИЯ В КВАРЦЕВЫЙ
СВЕТОВОД****Семьяшкина Ю.В., Пихота Н.С.****Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Беликов А.В.**

В медицине для иссечения биотканей достаточно широко применяется лазерное излучение. Альтернативой лазерному скальпелю может стать светодиодный. Представлены результаты моделирования в программном пакете «TracePro Expert-6.0» (Lambda Research Corp., США) ввода излучения мощных светодиодов, излучающих в видимой и ближней инфракрасной областях спектра, в кварцевый световод. Рассчитаны распределения интенсивности света, создаваемые на поверхности входного и выходного торцов кварцевого световода светодиодами, излучающими на длинах волн 555 нм и 850 нм. Определена эффективность ввода светодиодного излучения в кварцевый световод в зависимости от его числовой апертуры и диаметра.

Ключевые слова: скальпель, светодиод, плотность мощности, кварцевый световод, длина волны, моделирование.

Каждый год производство оптоэлектронных компонентов выходит на все более новый уровень, а современная хирургия развивается за счет применения инструментов, работающих на новых физических принципах. В медицинской практике все чаще и чаще используются лазерные скальпели. Лазерное излучение с высокой плотностью энергии иссекает (разделяет, аблирует, испаряет, разрушает и т.д.) мягкие ткани с высоким гемостатическим эффектом. Лазерные скальпели применяются при удалении опухолей, обработке ожоговых поверхностей, в пластической хирургии, операциях на пищеводе, желудке, кишечнике, печени, желчных путях, сердце и т.д. [1]. Чаще всего используются диодные, твердотельные (Nd:YAG) и газовые (Ar, CO₂) лазеры. Средняя мощность излучения этих лазеров может превышать 100 Вт. Доставка излучения осуществляется по оптическим световодам. К существенным недостаткам лазерных скальпелей следует отнести значительные габариты при использовании твердотельных и газовых лазеров, ограниченный срок службы, а также высокую стоимость. В последнее время разработаны мощные и надежные светодиоды, излучающие в области 500–1100 нм, которые могут составить конкуренцию лазерным излучателям.

Цель работы – исследование возможности создания светодиодного скальпеля и моделирование эффективного ввода излучения светодиодов в кварцевый световод.

Средняя мощность и длина волны излучения являются основными параметрами, обуславливающими клиническую эффективность лазерного скальпеля. Условно лазерные скальпели можно разделить на низко- (средняя мощность $P_{cp}=1-5$ Вт), средне- ($P_{cp}=5-20$ Вт) и высокомошные ($P_{cp}=20-100$ Вт и выше). Типичные примеры лазерных скальпелей представлены в табл. 1.

Таблица 1. Лазерные скальпели

| Тип лазера | Длина волны, нм | P_{cp} , Вт | Плотность мощности, Вт/см ² | | | Название | Страна |
|-----------------------------------|-----------------|---------------|--|----------------------------|----------------------------|--------------------|----------|
| | | | $\varnothing_{в}=400$ мкм | $\varnothing_{в}=1000$ мкм | $\varnothing_{в}=1500$ мкм | | |
| СО ₂ | 10600 | 0,5–25 | 400–19900 | от 60 до 3200 | от 28,3 до 1415 | Космо Пульс 25 | Корея |
| Твердотельный (Nd:YAG) | 1064 | до 200 | до 159000 | до 25500 | до 11323 | YL-V20 | Китай |
| Диодный | 980 | 0,1–25 | 80–19900 | 13–3200 | 5,7–1415 | Alta®-ST | США |
| Диодный | 970 | 0,1–6 | 80–4800 | 13–760 | 5,7–340 | Лакта-Милон-970/6 | Россия |
| Диодный | 810, 940, 980 | 1–30 | 800–23900 | 125–3800 | 56,6–1698 | Диолан | Россия |
| Твердотельный (2 ω Nd:YAG) | 532 | до 0,15 | до 120 | до 20 | до 8,5 | Irradia | Швеция |
| Твердотельный (2 ω Nd:YAG) | 532 | 0,03–1,7 | 24–1400 | 4–220 | 1,7–96 | Ophthalmas Eyelite | США |
| Газовый (Ar) | 454–514 | 0,005–0,225 | 4–180 | 0,6–30 | 0,28–12,7 | LGK | Германия |

Видно, что длина волны излучения типичных лазерных скальпелей лежит в видимой (Ar), ближней (твердотельные, диодные) и дальней инфракрасной (ИК) СО₂-областях спектра. В видимой области в основном применяются лазеры, излучение которых лежит в зеленой части спектра (2 ω Nd:YAG, Ar). Минимальная плотность мощности для таких лазерных скальпелей, составляет 0,28–4,0 Вт/см² при диаметре световода 400–1500 мкм соответственно. Минимальная плотность мощности для лазерных скальпелей, излучающих в ближней ИК области составляет 5,7–80,0 Вт/см² для диаметров световода 400–1500 мкм соответственно. Следует отметить, что в лазерных скальпелях наиболее часто используются кварцевые световоды диаметром 400 мкм, отличающиеся высокой прочностью и гибкостью.

В видимой области спектра оптическое излучение поглощается гемоглобином крови, а в ближней ИК к гемоглобину присоединяется вода (рис. 1).

В настоящей работе исследована возможность создания светодиодного скальпеля путем моделирования ввода светодиодного (LED) излучения в кварцевые световоды с числовыми апертурами $NA=0,22-0,5$ и диаметрами световодящей жилы $\varnothing_{в}=1-1,5$ мм. По результатам моделирования для наиболее мощных из представленных на рынке светодиодов, излучающих на длине волны 555 нм (зеленая часть спектра) и 850 нм (ближняя ИК область) определены комбинации NA и $\varnothing_{в}$, при которых плотность мощности светодиодного

излучения на выходе кварцевого волокна превышает минимальное значение плотности мощности для наиболее распространенных моделей лазерных скальпелей.

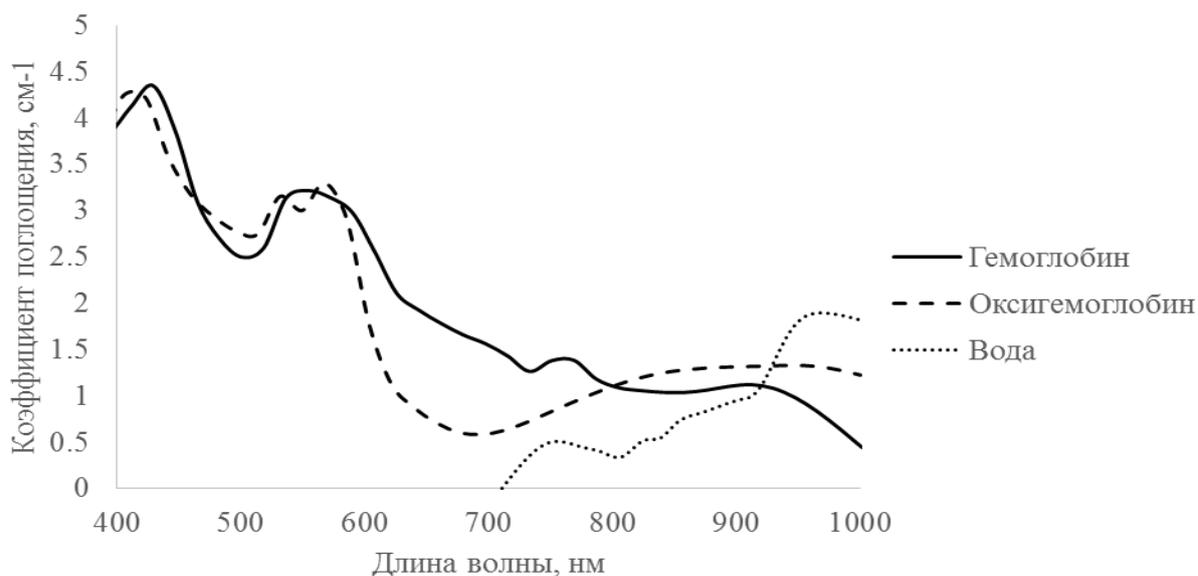


Рис. 1. Спектры поглощения гемоглобина и воды

На рис. 2 представлена модель устройства ввода LED-излучения в световод. Моделирование проводилось в программном пакете «TracePro Expert-6.0» (Lambda Research Corp., США). Геометрия излучающей поверхности задавалась исходя из геометрических размеров излучающей площадки светодиода, взятых из спецификации производителя. В зависимости от расходимости LED-излучения и расстояния от излучающей поверхности до входного торца световода часть излучения попадает на входной торец кварцевого световода, а часть проходит мимо. В нашем случае из конструктивных соображений – это расстояние было выбрано равным 0,1 мм. Далее излучение проходит через световод длиной 5 м и попадает на выходной торец световода. При моделировании рассчитывались плотности мощности (P_{in} , P_{out}) и распределения интенсивности света на входном и выходном торцах волокна. Диаметр кварцевого световода был равен 1,0 или 1,5 мм.

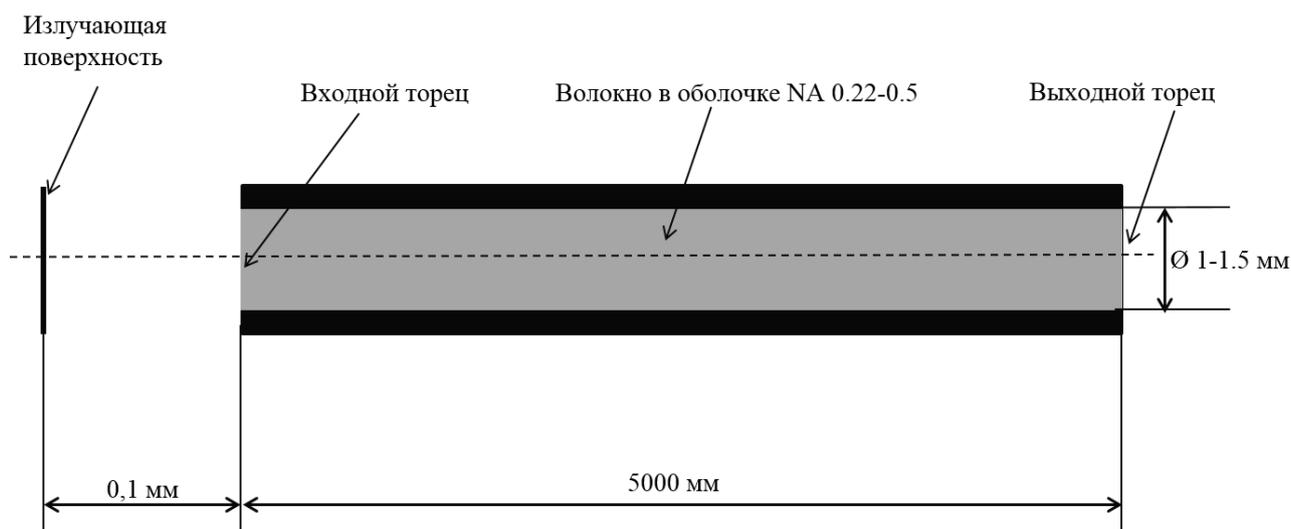


Рис. 2. Модель устройства ввода LED-излучения в световод

Наиболее мощные светодиоды, излучающие в зеленой (500–560 нм) и ближней ИК (800–900 нм) частях спектра, представленные в каталогах фирм Bridgelux, LED Engine, Lumileds, Luminus, Osram, Qt Brightek, LED Engine и Vishay, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Выбор светодиода для модели

| Наименование | Длина волны, нм | P_{LED} , Вт | Угол половинной яркости, ° | I , мА | Площадь излучающей поверхности LED, мм ² | Производитель |
|-------------------|-----------------|----------------|----------------------------|----------|---|---------------|
| LZ1-00G102 | 527 | 0,42 | 100 | 1000 | 1 | LED Engine |
| LZ4-00G108 | 527 | 1,27 | 100 | 700 | ≈1×4 | LED Engine |
| QBHP684UEIGV | 525 | 0,22 | 120 | 700 | н.д. | Qt Brighttek |
| SFT-10-CG-F35 | 555 | 1,4 | 120 | 2500 | 1 | Luminus |
| SFT-20-CG-F35 | 555 | 2,8 | 120 | 1400 | 2 | Luminus |
| VSMY98545DS | 850 | 1,07 | 90 | 1000 | н.д. | Vishay |
| SFH 4715AS | 850 | 2 | 90 | 1500 | 1 | Osram |
| BXIR-85090BA | 850 | 1,3 | 90 | 1000 | н.д. | Bridgelux |
| VSMY98545ADS | 850 | 1,34 | 90 | 1000 | н.д. | Vishay |
| L1I00850060000000 | 850 | 1 | 60 | 1000 | 1 | Lumileds |

Для моделирования в зеленой части спектра был выбран светодиод SFT-10-CG-F35 компании Luminus (Бельгия), излучающий на длине волны 555 нм, $P_{LED}=1,4$ Вт, и при этом имеющий самую высокую из представленных в табл. 2 плотность мощности на излучающей площадке.

Для моделирования в ближней ИК области спектра были выбраны светодиоды SFH 4715AS (Osram) и L1I0-0850060000000 (Lumileds), излучающие на длине волны 850 нм. При одинаковой площади излучающей поверхности (1 мм²) первый имеет самую высокую из представленных в табл. 2 $P_{LED}=2$ Вт, а второй – при меньшей $P_{LED}=1$ Вт, имеет самый малый угол половинной яркости (60°).

Основные технические характеристики кварцевых световодов с диаметром сердцевины 1,0 и 1,5 мм, используемые при моделировании, представлены в табл. 3.

Таблица 3. Технические характеристики световодов

| Номер в каталоге | 57–083* | Ft1000emt** | Fp1000urt** | Fp1500urt** |
|---|---------|--------------|--------------|--------------|
| Числовая апертура | 0,22 | 0,39 | 0,5 | 0,39 |
| Диаметр сердцевины, мкм | 1000 | 1000 | 1000 | 1500 |
| Длина, м | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Диаметр с оболочкой, мкм | 1100 | 1035 | 1035 | 1550 |
| Диаметр с защитным слоем, мкм | 1300 | 1400 | 1400 | 2000 |
| Материал защитного слоя | Nylon | hard polymer | hard polymer | hard polymer |
| Показатель преломления материала сердцевины | 1,457 | 1,458 | 1,458 | 1,458 |
| Показатель преломления материала оболочки | 1,439 | 1,398 | 1,365 | 1,398 |

* <http://www.edmundoptics.com>

** <https://www.thorlabs.com>

Результаты моделирования ввода излучения светодиода SFT-10-CG-F35 (Luminus) в кварцевый световод диаметром 1,0 мм представлены в табл. 4. Видно, что наибольшие эффективность ввода $\mu=6,6\%$ и плотность мощности на выходе световода ($P_{out}/S_B=8,3$ Вт/см², где S_B – площадь сердцевины световода, реализуются для волокон с NA=0,39 и 0,5.

Таблица 4. Результаты моделирования (светодиод SFT-10-CG-F35, $\varnothing=1\text{мм}$)

| NA | $P_{in}/P_{LED}, \%$ | $P_{out}/P_{in}, \%$ | $\mu=P_{out}/P_{LED}, \%$ | $P_{out}/S_B, \text{Вт/см}^2$ |
|------|----------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 0,22 | 70 | 5,8 | 4,1 | 7,3 |
| 0,39 | 70 | 6,6 | 4,6 | 8,3 |
| 0,5 | 70 | 6,6 | 4,6 | 8,3 |

Результаты моделирования ввода излучения светодиода SFT-10-CG-F35 (Luminus) в кварцевый световод с диаметром 1,5 мм и NA=0,5 представлены в табл. 5.

Таблица 5. Результаты моделирования (светодиод SFT-10-CG-F35, $\varnothing=1,5\text{мм}$)

| NA | $P_{in}/P_{LED}, \%$ | $P_{out}/P_{in}, \%$ | $\mu=P_{out}/P_{LED}, \%$ | $P_{out}/S_B, \text{Вт/см}^2$ |
|------|----------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 0,39 | 70 | 15,7 | 15,1 | 12 |

Видно, что при $\varnothing_B=1,5$ мм и NA=0,5 эффективность ввода излучения светодиода SFT-10-CG-F35 достигает 15,7%, а плотность мощности на выходе световода составляет 12,0 Вт/см², при этом мощность на выходе световода $P_{out}=212$ мВт. Плотность мощности, достигаемая в этом случае, на 41% превышает максимальную плотность мощности на выходе лазера «Irradia» (Швеция, $P=0,15\text{Вт}$, $\varnothing_B=1,5$ мм). Этой плотности мощности на длине волны 555 нм вполне достаточно для проведения таких медицинских манипуляций как лечение тромбоза центральной вены сетчатой оболочки глаза (0,5 Вт/см²) [2] и биостимуляция крови (0,5 Вт/см²) [3].

Результаты моделирования ввода излучения светодиодов SFH 4715AS (Osram) и L1I0-0850060000000 (Lumileds) в кварцевый световод с $\varnothing_B=1,5$ мм и NA=0,39 представлены в табл. 6.

Таблица 6. Результаты моделирования (светодиод SFT-10-CG-F35, $\varnothing=1\text{мм}$)

| Светодиод | $P_{in}/P_{LED}, \%$ | $P_{out}/P_{in}, \%$ | $\mu=P_{out}/P_{LED}, \%$ | $P_{out}/S_B, \text{Вт/см}^2$ |
|-------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------------|
| SFH 4715AS | 97,7 | 21,1 | 20,8 | 23,5 |
| L1I00850060000000 | 91,1 | 32,2 | 31,3 | 17,7 |

Видно, что максимальная плотность мощности на длине волны 850 нм (23,5 Вт/см²) достигается при использовании светодиода SFH 4715AS и волокна с $\varnothing_B=1,5$ мм, NA=0,39. Эта плотность мощности в 4,1 раза превышает минимальную и составляет 6,9% от максимальной плотности мощности излучения лазера Лахта-Милон-970/6 (Россия, $P=6$ Вт, $\varnothing_B=1,5$ мм). Этой плотности мощности на длине волны 850 нм вполне достаточно для выполнения таких эндоскопических операций, как коагуляция опухоли (0,16–0,4 Вт/см²) [4], деструкция и испарение опухоли (более 0,4 Вт/см²) [4], а также физиотерапевтических процедур, таких как лечение гипертонической болезни (0,002 Вт/см²) [5] и т.д.

Результаты исследования позволяют ожидать, что при сохранении современных темпов роста мощности и яркости LED светодиодный скальпель в ближайшем будущем может стать серьезной альтернативой лазерному скальпелю.

Литература

1. Fankhauser F., Henchoz P.-D., Kwasniewska S., et. al. Chirurgie mit dem Laserskalpell. Physikalische Grundlagen und klinische Wirksamkeit // Surgery with the Laser Scalpel // Physical and Clinical Aspects. Klin Monatsbl Augenheilkd. – 1993. – V. 203. – № 12. – P. 436–443.
2. Пат. RU 2346678 С1. Способ лечения тромбоза центральной вены сетчатой оболочки глаза, Тахчиди Ч.П., Каштан О.В., Тимохов В.Л., Тилляходжаев С.С. Оpubл. 20.02.2009.
3. Timimi Zahra Al, Jaafar M.S., Mohd Zubir Mat Jafri. Photodynamic therapy and Green Laser blood Therapy // Global Journal of Medical research. – 2011. – V. 11. – № 5. – P. 2249–4618.
4. Соколов В.В. Атлас видеоскопических внутрипросветных операций в клинической онкологии / ред.: А.Х. Трахтенберг, А.Д. Каприн, В.И. Чиссов. – М.: Практическая медицина, 2015. – 152 с.
5. Пат. RU 2314842. Способ лечения гипертонической болезни. В.В. Бутуханова, Бутуханов В.В., Сороковиков В.А., Бакотина Е.В. Оpubл. 31.05.2005.



Яцук Роман Михайлович

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра лазерных технологий и систем, студент группы № В3416
Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные
технологии

e-mail: yatsuk.roman@mail.ru



Грачкова Екатерина Юрьевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра лазерных технологий и систем, студент группы № В3420
Направление подготовки: 16.03.01 – Техническая физика

e-mail: grachkovaekaterina@yandex.ru



Карлагина Юлия Юрьевна

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра лазерных технологий и систем, аспирант

Направление подготовки: 11.06.01 – Электроника, радиотехника
и системы связи

e-mail: jujukarlagina@corp.ifmo.ru



Авилова Екатерина Александровна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра лазерных технологий и систем, студент группы № В3215
Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные
технологии

e-mail: sterhowa@gmail.com

УДК 53.043

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛАЗЕРНОГО СТРУКТУРИРОВАНИЯ
ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА VT1-0 И СТАЛИ AISI 304 НА СМАЧИВАЕМОСТЬ**

Яцук Р.М., Грачкова Е.Ю., Карлагина Ю.Ю., Авилова Е.А.

Научный руководитель – к.т.н., н.с. Одинцова Г.В.

Настоящая работа посвящена лазерному структурированию поверхности титана VT1-0 и стали AISI 304. Рассмотрено влияние рельефов, получаемых при лазерном структурировании, на изменение свойств смачиваемости поверхности исследуемых марок титана и стали. Определена зависимость угла смачивания и времени полного растекания капли тестовой жидкости (дистиллированная вода) от плотности мощности лазерного излучения и перекрытий импульсов по осям сканирования. Замечен эффект старения (переход от гидрофильной поверхности к гидрофобной) на полученных образцах.

Ключевые слова: смачивание, лазерная микрообработка, структурирование поверхности, титан VT1-0, сталь AISI 304, биосовместимость, гидрофобность, гидрофильность.

Смачиваемость – один из ключевых параметров при эксплуатации широкого круга изделий в различных областях промышленности. Важны как гидрофобные, так и

гидрофильные поверхности. Гидрофобная поверхность минимально взаимодействует с жидкостями и способствует защите изделия от коррозии (в металлообработке), водонепроницаемости, устойчивости к неорганическим загрязнениям, созданию антиобледенительной поверхности (например, в авиастроении) [1]. Гидрофильная поверхность, наоборот, хорошо смачивается жидкостями, способствует улучшению адгезии (при склеивании, сварке, нанесении лакокрасочных покрытий), взаимодействию поверхности титана с биологическими жидкостями и клеточными элементами, что имеет особое значение на ранних этапах остеоинтеграции [2].

В настоящее время существуют различные методы управления смачиваемостью поверхности, но все их можно разделить на химические, механические и тепловые. Получение гидрофильных или гидрофобных поверхностей на титане и стали на данный момент возможно с помощью таких технологических методов, как пескоструйная обработка, напыление дополнительного слоя металла, анодирование, распыление гидрофобных спреев и другие [3]. Общим недостатком всех методов является отсутствие точного контроля размера получаемых микроструктур. Кроме того, для многих из этих методов существует проблема очистки поверхности после обработки от загрязнений. В случае нанесения слоя дополнительного материала на поверхность возникают сложности с долговечностью адгезии.

Тепловой метод лазерной обработки лишен таких недостатков. Лазерное структурирование поверхности является одним из наиболее перспективных методов благодаря локальности воздействия, вариативности параметров и простоте использования. Существует достаточно большое количество работ, в которых управление смачиваемостью осуществляется посредством лазерного структурирования. Как правило, в этих работах получают определенный угол смачивания для решения конкретных задач, но в целом отсутствует связь между параметрами лазерного воздействия и углом смачивания обработанной поверхности.

Целью данной работы являлось исследование зависимости углов смачивания поверхностей титана BT1-0 и стали AISI 304 от режимов лазерного воздействия. В настоящей работе были созданы трехмерные рельефы на поверхности исследуемых материалов при различных комбинациях следующих параметров импульсного лазерного воздействия: плотность мощности лазерного излучения, перекрытие импульсов по горизонтальной и по вертикальной осям сканирования. Структурирование поверхностей стали марки AISI 304 и титана марки BT1-0 производилось с помощью технологической установки на базе волоконного импульсного иттербиевого лазера «Минимаркер-2» (Россия). Диапазон значений плотности мощности составлял от $28,3 \text{ МВт/см}^2$ до $282,9 \text{ МВт/см}^2$, а перекрытий – от 0 до 90%. При этом перекрытия по осям X и Y совпадают, а границы диапазона плотностей мощности определяются параметрами технологической установки. Исследование структур осуществлялось с помощью оптического микроскопа Zeiss Axio Imager A1M и прибора для измерения краевого угла DSA25. В качестве тестовой жидкости использовалась дистиллированная вода.

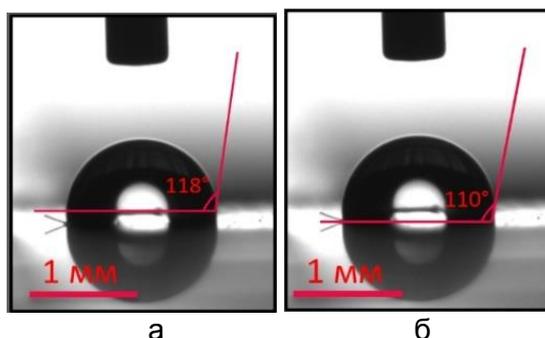


Рис. 1. Краевой угол смачивания поверхностей стали AISI 304 (а) и титана BT1-0 (б) до лазерной обработки

На рис. 1 приведены фотографии капли жидкости на исходных поверхностях стали и титана. Исходные поверхности являются гидрофобными (их угол смачивания больше 90°).

Результаты экспериментов показали, что углы смачивания поверхностей стали и титана уменьшаются при увеличении плотности мощности лазерного излучения и значений перекрытий. При 90% перекрытии импульсов поверхности металлов становятся «супергидрофильными», угол смачивания стремится к нулю. На диаграммах справа (рис. 2 и рис. 3) представлено время полного растекания капли тестовой жидкости по структурированной поверхности. Замечено, что для гидрофильных образцов время полного растекания капли различно, а это значит, что некоторые структуры смачиваются активнее (быстрее).

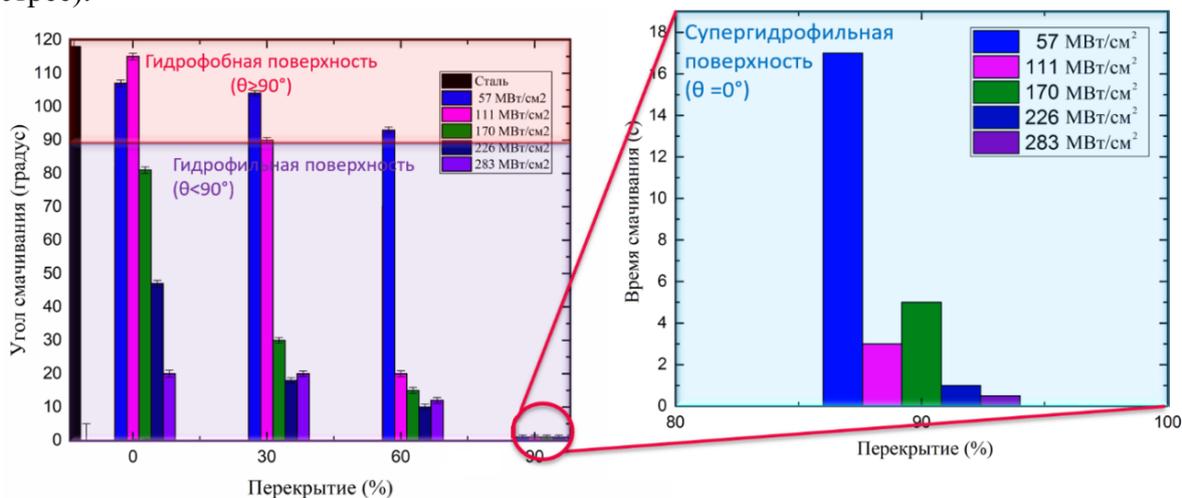


Рис. 2. Влияние режимов лазерного воздействия на угол смачивания поверхности стали AISI

304

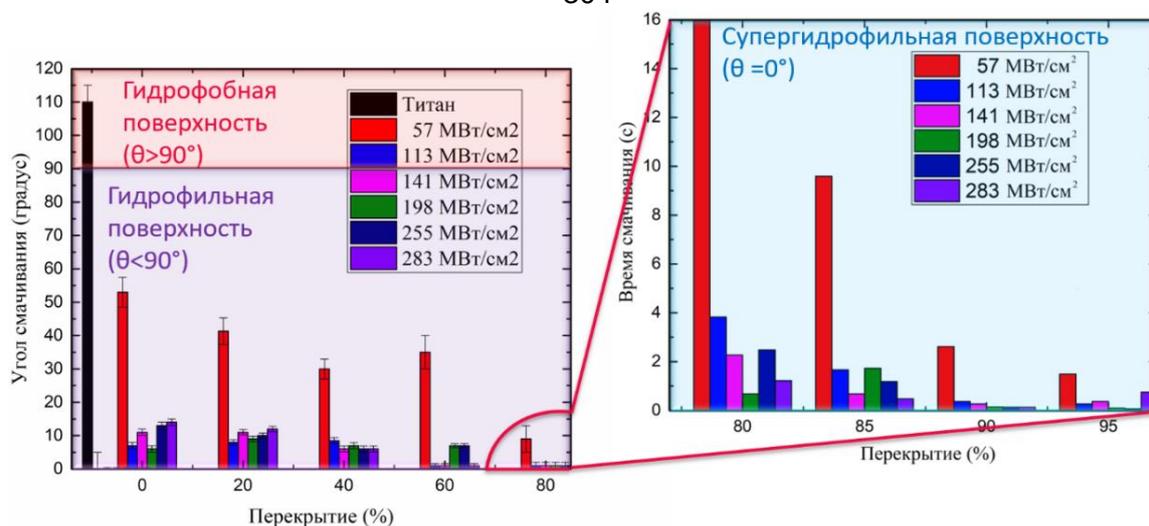


Рис. 3. Влияние режимов лазерного воздействия на угол смачивания поверхности титана VT1-0

Также на стали и титане был обнаружен эффект изменения угла смачивания спустя продолжительное время после лазерного структурирования. На рис. 4 представлены снимки капли тестовой жидкости на стали, спустя 3 дня (рис. 4, а) и 2 месяца (рис. 4, б) после лазерного структурирования. Замечено, что смачиваемость существенно изменилась, и поверхность превратилась из супергидрофильной в супергидрофобную. Подобные закономерности наблюдались и в работах других исследовательских групп [4]. Необходимо отметить, что после лазерного структурирования образцы хранились в воздушной атмосфере.

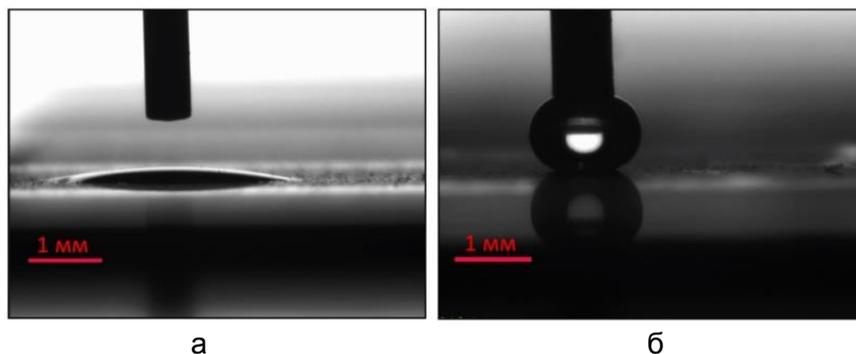


Рис. 4. Краевой угол смачивания поверхности стали AISI 304 после лазерной обработки: через 3 дня (а); через 2 месяца (б)

Таким образом, в работе осуществлено лазерное структурирование поверхностей титана VT1-0 и стали AISI 304 для изменения угла смачивания. Экспериментально определены зависимости угла смачивания от плотности мощности лазерного излучения и перекрытий импульсов. На стали замечен эффект старения структурированной поверхности, приводящий к изменению смачиваемости, который будет подробнее изучен в дальнейшей работе. Также планируется проведение испытаний на смачиваемость с использованием других тестовых жидкостей, имеющих практическое применение (масла, краски, биологические жидкости), и исследование износостойкости полученных структур.

Авторы работы выражают благодарность Институту металлургии, машиностроения и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого за помощь в измерениях смачиваемости.

Литература

1. Liu Y. et al. Anti-icing property of bio-inspired micro-structure superhydrophobic surfaces and heat transfer model // *Applied Surface Science*. – 2017. – V. 400. – P. 498–505.
2. Gittens R.A. et al. A review on the wettability of dental implant surfaces II: biological and clinical aspects // *Acta biomaterialia*. – 2014. – V. 10. – № 7. – P. 2907–2918.
3. Guizzardi S. et al. Different titanium surface treatment influences human mandibular osteoblast response // *Journal of periodontology*. – 2004. – V. 75. – № 2. – P. 273–282.
4. Kim D., Kim J.G., Chu C.N. Aging effect on the wettability of stainless steel // *Materials Letters*. – 2016. – V. 170. – P. 18–20.



Бененсон Екатерина Александровна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем,
студент группы № В3205

Направление подготовки: 12.03.02 – Опотехника

e-mail: ekaterina.benenson@gmail.com

УДК 004.031.2; 004.021

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СИСТЕМ И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Бененсон Е.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Коняхин И.А.

Работа выполнена при государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (субсидия 074-U01).

В работе рассмотрены несколько методов измерения углового перемещения контрольных точек контролируемого объекта для крупно- и мелкогабаритных объектов, а также несколько систем, использующих эти методы. Проведен сравнительный анализ методов и систем, и сделан вывод, какие из них наиболее универсальны, а какие требуют специфичных условий.

Ключевые слова: измерение углового перемещения, бесконтактные методы контроля, метод прямого визирования, автоколлиматор, интерферометр, лазерный трекер.

Оптико-электронные приборы и системы в современном мире применяются в различных областях науки и техники для наблюдения, бесконтактного неразрушающего контроля, измерения параметров и количественных характеристик. Вопрос безопасности и надежности сооружений всегда актуален, в том числе в машино- и судостроении. Для бесконтактного контроля деформаций часто используют оптико-электронные системы, измеряющие дальность до объекта, а также угловые и линейные перемещения точек контролируемого объекта. Многообразие методов объясняется контрастностью условий их применения: измерения могут проводиться в условиях цеха, а могут в условиях космоса. Для каждой среды свой прибор. На выбор метода также влияют габариты контролируемого объекта.

Рассмотрим несколько методов измерения углового перемещения: автоколлимационный, интерференционный и метод прямого визирования и триангуляции.

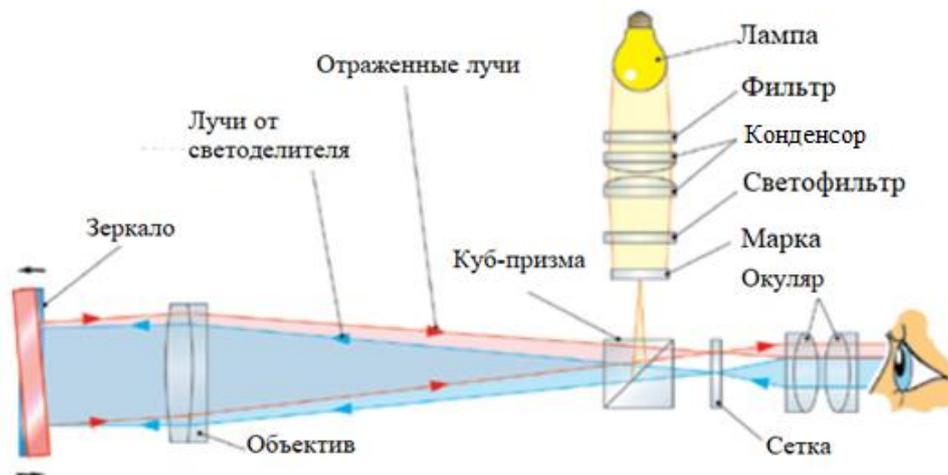


Рис. 1. Принцип работы автоколлимационного метода

Автоколлимационный метод является пассивным бесконтактным методом. Его главное отличие и преимущество в том, что источник света и приемник, улавливающий деформации, находятся в одном месте, т.е. оптическая система, посылая световой пучок на отражающую поверхность, после отражения дает действительное изображение предмета в плоскости самого предмета. За счет этого он приобретает такие преимущества, как точность и универсальность с точки зрения габаритов измеряемого объекта [1, 2].

На рис. 1 изображен принцип работы автоколлимационного метода.

Автоколлимационный метод основывается на законах геометрической оптики, из-за чего и появляются определенные погрешности в измерениях.

Оптико-физические методы считаются потенциально наиболее точными по сравнению с остальными, несмотря на большую зависимость от температуры, влажности и колебаний воздуха. Данные методы основаны на применении лазерных – когерентных – источников света. Для лучшего понимания метода на рис. 2, а, изображена оптическая схема лазерного интерферометра.

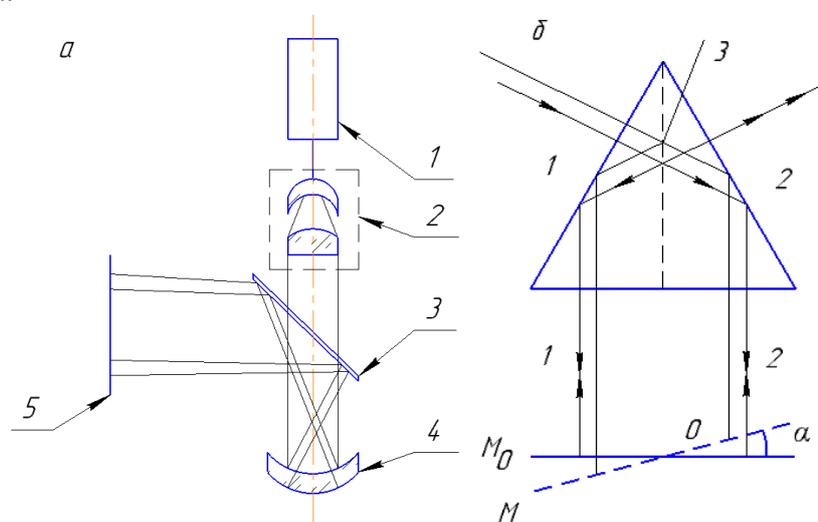


Рис. 2. Оптическая схема лазерного интерферометра (а); внешний вид призмы Кестерса и ход лучей в ней (б)

Лазерный луч 1 расширяется телескопической системой 2 и падает на полупрозрачную пластину 3. Часть света проходит сквозь нее на контролируемый объект – линзу 4. Далее свет отражается от верхней и нижней поверхностей линзы, и возникает интерференционная картина, которую рассматривают в наблюдательную систему 5. Анализируя ее, делают выводы о деформации. Если ее нет, то картина будет состоять из параллельных друг другу полос, а их искажение говорит о характере и величине перемещения контрольных точек объекта.

В основе интерферометра может быть интерферометр Майкельсона или интерферометр Кестерса, и второй имеет больше преимуществ. Главным преимуществом призмы Кестерса является независимость от длины когерентности и наличие «нулевой» картины, т.е. при отсутствии деформаций или перемещений контролируемого объекта, отсутствует и интерференционная картина. Как только появляется перемещение объекта, возникает картина и, анализируя ее, считают линейное и угловое перемещение объекта. Внешний вид призмы Кестерса и ход лучей изображен на рис. 2, б.

В идеальных условиях интерферометры могут позволить проводить измерения в диапазоне до 10° на дистанции до 80 м с точностью порядка $0,01''$ [3]. За счет большой зависимости интерференционного метода от внешних условий, степень точности, достигаемая им и автоколлимационным, одного порядка.

Очень часто применяется метод прямого визирования, но им можно лишь определить положение объекта. Для непосредственного измерения перемещения используется метод

триангуляции, суть которого в сравнении начального и настоящего положений контролируемого объекта.

Рассмотрим еще несколько оптико-электронных систем, измеряющих угловое перемещение объектов.

Прибор, также как и метод, выбирается в зависимости от габаритов контролируемого объекта и от требуемой точности измерений. В качестве измерителей очень часто применяются автоколлимационные системы, принцип работы которых описан на рис. 1. Автоколлиматоры довольно чувствительны к внешним условиям, они эксплуатируются в условиях цехов или лабораторий в температурном режиме приблизительно 20° и влажностью не более 80%. Среди всех автоколлимационных систем наиболее известные и точные системы производят компании НПК «Диагностика» (Россия), Taylor Hobson (США) и Trioptics (Германия). В зависимости от модели прибора угловой измеряемый диапазон может достигать $45'$, а точность измерения – $0,3''$. Самым важным элементом электронных автоколлиматоров является фоточувствительный элемент – ПЗС-матрица, именно она принимает излучение и анализирует полученную картину [4].

Самыми современными приборами, позволяющими контролировать угловое перемещение, являются лазерные трекары, использующие методы прямого визирования и триангуляции. Лазерные трекары меньше всех зависят от внешних условий, и это их главное преимущество, которое позволяет эксплуатировать их даже в аэрокосмических работах. Трекары компактны и мобильны: весят до 22 кг и составляют примерно до 620 мм в длину и до 420 мм в высоту. Лазерные трекары обладают прочной конструкцией и высокой термической стабильностью. Подходящие для их работы условия – температура в диапазоне от -15°C до $+50^{\circ}\text{C}$ и влажность меньше 90%. Трекары отличаются своими возможностями по дальности и точности съемки, некоторые способны измерять параметры объектов на расстоянии 160 м в диаметре, охватывая 360° вокруг себя по горизонтали и 125° по вертикали. Схема работы лазерного трекара изображена на рис. 3.

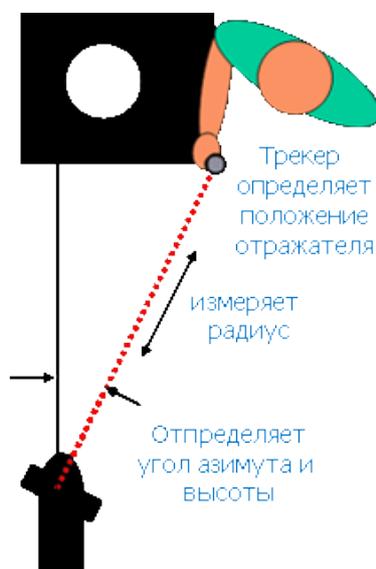


Рис. 3. Принцип работы лазерного трекара

Лазерный трекары оценивает расстояние до объекта и измеряет 2 угла: вертикальный и азимутальный, по этим данным определяет координату точки на объекте. Измерив координаты трех точек, определяет положение объекта и сравнивает начальное положение с настоящим. Измерения проводятся со скоростью около 1000 точек в секунду. Погрешность измерения определяется как отклонение от номинальной координаты точки. Точность может достигать $0,001''$ при угловых измерениях и 25 мкм при линейных [5].

Стоимость перечисленных оптико-электронных систем зависит от их комплектации, однако самым дорогостоящим является лазерный трекер. Автоколлимационные системы самые оптимальные и по цене, и по точности производимых измерений. Они применимы для измерения перемещения, как углового, так и линейного перемещения крупно- и мелкогабаритных объектов. Важным достоинством автоколлимационных систем является возможность измерения перемещений по нескольким координатным осям одновременно. Задачами дальнейших исследований является изучение возможностей автоколлимационных систем и их потенциального совершенствования.

Литература

1. Соснов А.Н., Соснова Н.К., Критинина С.В. Оптические методы контроля ошибок изготовления точных цилиндрических линз [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/opticheskie-metody-kontrolya-oshibok-izgotovleniya-tochnyh-tsilindricheskih-linz>, своб.
2. Гукайло М.Я. Основные принципы конструирования оптических контрольно-юстировочных приборов. – М.-Киев: Машгиз, 1959. – 127 с.
3. Базыкин С.Н., Базыкина Н.А., Капезин С.В. Измерение отклонений от прямолинейности с помощью лазерных интерферометров // НиКа. – 2011. – С. 8–12.
4. TriOptics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.trioptics.com/products/electronic-autocollimators/triangle/> (дата обращения: 13.12.2017).
5. Hexagon Manufacturing Intelligence [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hexagonmi.com/ru-RU/products/laser-tracker-systems/leica-absolute-tracker-at960> (дата обращения: 07.12.2017).



Васильева Анна Владимировна

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение,
оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: avasileva@corp.ifmo.ru



Рыжова Виктория Александровна

Год рождения: 1966

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем,

к.т.н., доцент

e-mail: victoria_ryz@mail.ru

УДК 004.932, 681.7.01

**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ТВЕРДОТЕЛЬНОГО КРЕМНИЕВОГО ФОТОЭЛЕКТРОННОГО УМНОЖИТЕЛЯ
И КОДИРУЮЩЕЙ АПЕРТУРЫ**

Васильева А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Рыжова В.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615868 «Исследование методов и принципов построения автоматизированных видеоинформационных систем для контроля качества продуктов, объектов, материалов».

В работе рассмотрены физические принципы формирования гамма-изображения сцинтилляционным методом с использованием кодирующей апертуры. Исследована эффективность фотоэффекта для различных сцинтилляционных материалов. Показан принцип работы кодирующей апертуры и результаты ее экспериментального исследования.

Ключевые слова: гамма-визуализация, SiФЭУ, сцинтиллятор, поглощение гамма-излучения, кодирующая апертура.

Гамма-излучение представляет опасность для здоровья человека, особенно в случае высокой дозы и продолжительности облучения. Имеется множество методов его детектирования, которые постоянно развиваются и совершенствуются. На сегодняшний день перспективным направлением является визуализация гамма-излучения. Для его реализации, как правило, используется сцинтилляционный способ детектирования гамма-квантов, реализация которого требует проведения исследований в двух направлениях:

1. изучение процесса сцинтилляции, эффективности его протекания и влияющих факторов;
2. изучение методов и механизмов формирования изображения в гамма-диапазоне спектра.

Процесс сцинтилляции заключается в испускании сцинтиллятором оптической вспышки при его взаимодействии с ионизирующим излучением. В зависимости от типа ионизирующей частицы, различные эффекты вызывают частичное или полное ее поглощение веществом сцинтиллятора. В случае гамма-кванта основными процессами являются фотоэффект, комптоновское рассеяние и генерация электрон-позитронных пар [1].

Эффективное сечение каждого из этих процессов зависит от первоначальной энергии гамма-кванта, а также от физических свойств сцинтиллятора (в частности, его эффективного атомного номера). Наиболее информативным процессом для детектирования и идентификации гамма-излучения является фотоэффект, поскольку его эффективное сечение с высокой линейностью зависит от энергии гамма-квантов (рис. 1).

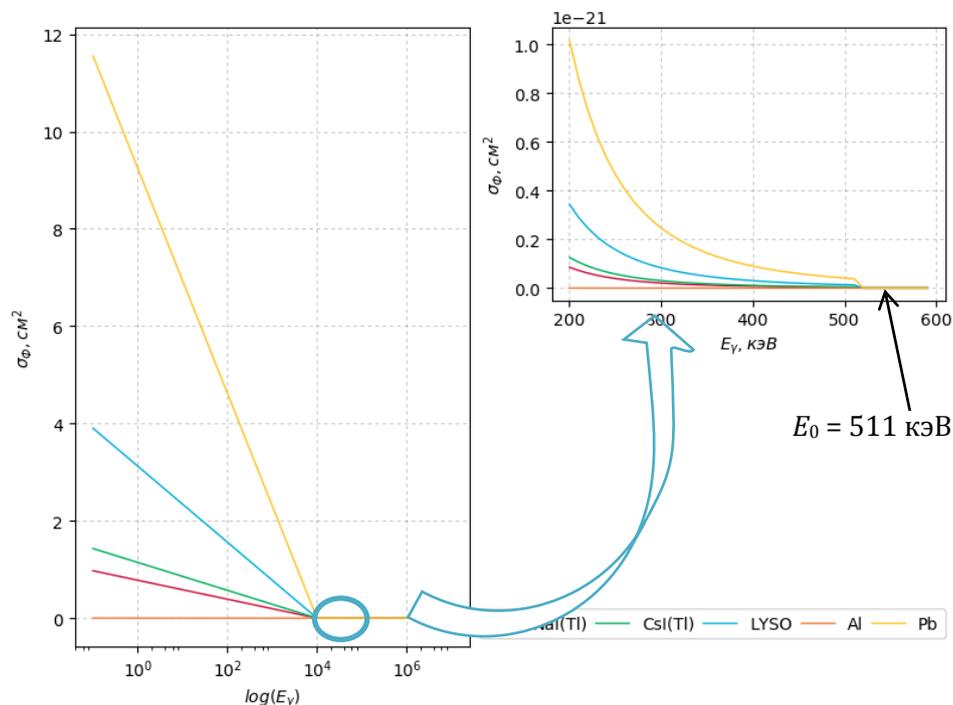


Рис. 1. Сечение фотоэффекта для различных сцинтилляторов и некоторых металлов

Зависимости эффективного сечения указанных процессов от свойств материала и энергии гамма-квантов целесообразно использовать для выбора сцинтиллятора в системах детектирования, в том числе визуализации, гамма-излучения. Наиболее часто применяемыми сцинтилляторами являются NaI(Tl), CsI(Tl), CsI(Na), LYSO [2]. Их основные свойства, важные при детектировании, в частности визуализации, гамма-излучения показаны в таблице.

Таблица. Характеристики наиболее часто применяемых сцинтилляторов

| Кристалл | Время затухания, нс | Световой выход, фотонов/МэВ | Плотность, г/см ³ | Гигроскопичность |
|----------|---------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|
| NaI(Tl) | 250 | 40000 | 3,67 | да |
| CsI(Tl) | 1000 | 55700 | 4,51 | да |
| CsI(Na) | 630 | 41000 | 4,51 | да |
| LYSO | 40 | 33000 | 7,4 | нет |

Для формирования изображений в гамма-диапазоне спектра применение зеркальных или линзовых систем невозможно. Это связано с ярко выраженными корпускулярными свойствами этого излучения и менее выраженными волновыми. Прежде всего, это относится к рентгеновскому и гамма-излучению. Альтернативной линзовым системам в этой спектральной области является кодирующая апертура. Это устройство формирования изображения чаще всего применяется в рентгеновской и гамма-астрономии.

Кодирующая апертура представляется в виде двумерной матрицы, которая является бинарной: каждый ее элемент имеет значение 1, если элемент физической апертуры прозрачен для падающего излучения, и значение 0, если не прозрачен. Излучение от источника **S**, прошедшее через маску **A**, образует на приемнике тенеграмму **N**, соответствующую конфигурации источника (рис. 2).

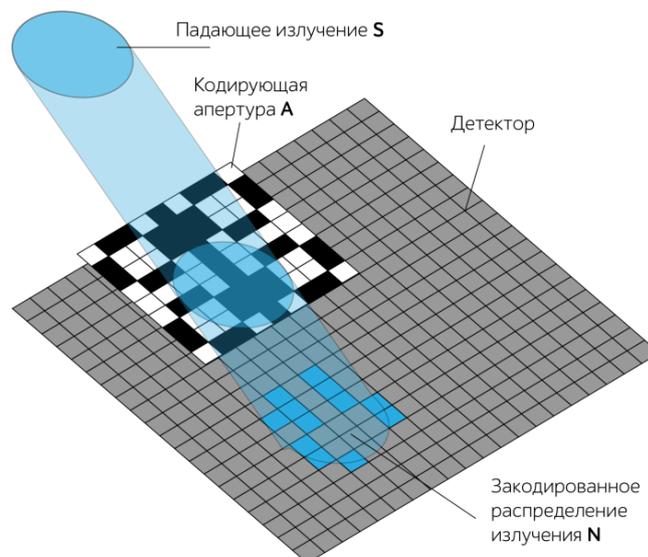


Рис. 2. Принцип действия кодирующей апертуры для визуализации гамма-излучения

Восстановить изображение F , отображающее пространственное распределение источника, можно с помощью математической обработки тенеграммы N , а именно, путем ее свертки с известной заранее декодирующей матрицей G .

Последующая обработка полученного распределения N позволяет получить реконструированное изображение F , соответствующее пространственному расположению источника, путем свертки с матрицей декодирования G :

$$F = S + UG.$$

Декодирующая матрица G соответствует матрице апертуры A , являясь ее корреляционной инверсией.

Маска кодирующей апертуры может быть сформирована несколькими способами. На сегодняшний день наиболее часто применяется маска MURA, которая может быть сгенерирована в линейной, квадратной или гексагональной конфигурации [3]. Пример маски MURA ранга 5, ее численное представление и соответствующая матрица декодирования показаны на рис. 3.

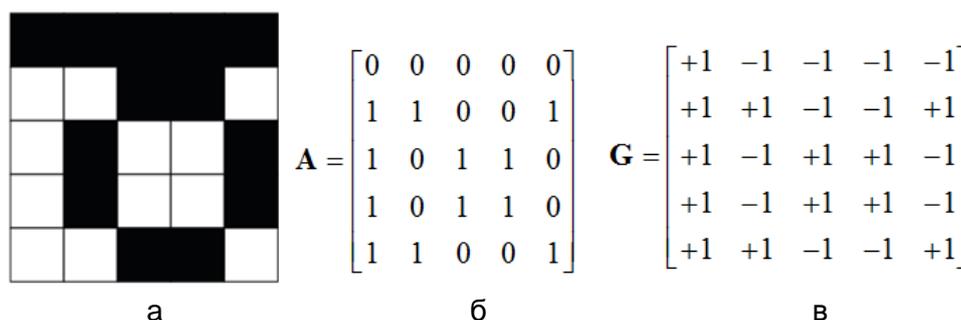


Рис. 3. Кодирующая апертура ранга 5: общий вид (а); численное представление (б); матрица декодирования (в)

Восстановление закодированного изображения производится с помощью матрицы декодирования, соответствующей конфигурации матрицы апертуры. Восстановленное вышеизложенным способом изображение приводится в форму, пригодную для визуального анализа или последующей математической обработки. На рис. 4 показан результат экспериментального исследования формирования и восстановления изображения с помощью кодирующей апертуры. Рис. 4, а, иллюстрирует изображаемый объект, рис. 4, б, – соответствующую ему тенеграмму, а рис. 4, в, – восстановленное изображение объекта. В эксперименте использовалась маска ранга 59, физически реализованная с помощью лазерной печати.

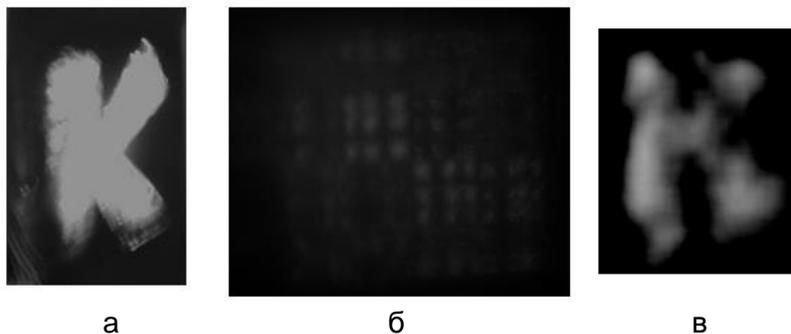


Рис. 4. Экспериментальное исследование кодирующей апертуры: изображаемый объект (а); зафиксированная тенеграмма (б); восстановленное изображение (в)

Таким образом, кодирующая апертура позволяет передать на изображении общие очертания объекта с невысоким пространственным разрешением. Улучшение контраста апертуры позволит формировать изображения лучшего качества.

В работе изложены физические принципы формирования гамма-изображения в системах визуализации гамма-излучения. Показаны основные процессы, происходящие в сцинтилляционных кристаллах при взаимодействии с гамма-излучением, а именно, фотоэффект, комптоновское рассеяние и генерация пар, а также зависимости сечения фотоэффекта от энергии гамма-квантов. Из этих зависимостей видно, что наибольшей эффективностью при регистрации гамма-излучения обладают «тяжелые» материалы. Показаны основные свойства сцинтилляционных кристаллов NaI(Tl), CsI(Tl), LYSO, существенные для визуализации гамма-излучения.

Показан принцип формирования гамма-изображения, основанный на использовании кодирующей апертуры, и принцип восстановления закодированного изображения. Представлены результаты экспериментального исследования формирования и восстановления изображения с помощью кодирующей апертуры.

Литература

1. Васильев А.Н., Михайлин В.В. Введение в спектроскопию диэлектриков. Часть II. Вторичные процессы. – М.: Университетская книга, 2010. – 238 с.
2. Шендрик Р.Ю. Методы экспериментальной физики конденсированного состояния. Часть 3. Введение в физику сцинтилляторов: учебное пособие. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2013. – 110 с.
3. Gottesman S.R., Fenimore E.E. New family of binary arrays for coded aperture imaging // Applied optics. – 1989. – V. 28(20). – P. 4344–4352.



Васильева Анна Владимировна

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение,
оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: avasileva@corp.ifmo.ru



Медников Сергей Васильевич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем,
студент группы № В4207

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптико-электронные методы
и средства обработки видеoinформации

e-mail: mednikov_sv@corp.ifmo.ru.ru



Васильев Александр Сергеевич

Год рождения: 1988

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем,

к.т.н., ассистент

e-mail: a_s_vasilev@corp.ifmo.ru

УДК 539.16.07

**РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ
ТВЕРДОТЕЛЬНОГО КРЕМНИЕВОГО ФОТОУМНОЖИТЕЛЯ**

Васильева А.В., Медников С.В.

Научный консультант – к.т.н., ассистент Васильев А.С.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 417014 «Разработка системы визуализации гамма-излучения для мониторинга радиоактивных загрязнений».

В работе показаны результаты экспериментального исследования кодирующей апертуры как устройства для формирования изображений. Продемонстрированы результаты комплексирования изображений, получаемых с помощью линзовой системы и кодирующей апертуры в видимом спектральном диапазоне. Показан ход разработки оптического канала системы визуализации гамма-излучения.

Ключевые слова: гамма-визуализация, SiФЭУ, сцинтиллятор, поглощение гамма-излучения, кодирующая апертура.

Для мониторинга радиоактивных загрязнений, а также для предупреждения чрезвычайных ситуаций, связанных с радиоактивным излучением, актуальным представляется развитие методов его детектирования. Перспективным направлением в этой области является визуализация источников радиоактивного, в частности, гамма-излучения. На разработку системы, реализующей визуализацию гамма-излучения, была направлена данная работа.

На текущем этапе работы проводились исследования функционирования кодирующей апертуры, а также методов восстановления изображений, формируемых с ее использованием.

В рамках экспериментального исследования кодирующая апертура ранга 59 (рис. 1, а) была реализована с помощью лазерной печати. В качестве изображаемого объекта использовалась лампа, излучающая в широком спектральном диапазоне, совместно с фигурной диафрагмой (рис. 1, б). Изображение объекта (тенеграмма), зафиксированное КМОП-матрицей, показано на рис. 1, в, а соответствующее ему изображение, восстановленное путем обработки с использованием операции свертки – на рис. 1, г.

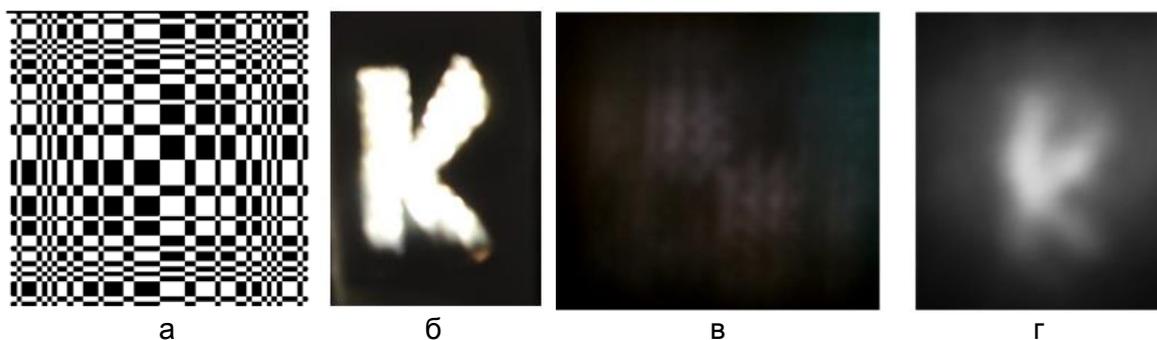


Рис. 1. Экспериментальное исследование кодирующей апертуры: кодирующая апертура ранга 59 (а); изображаемый объект (б); зафиксированная тенеграмма (в); восстановленное изображение (г)

Из результатов эксперимента видно, что кодирующая апертура полностью передает очертания изображаемого объекта. Для повышения контраста и резкости изображения целесообразно повышение качества изготавливаемой кодирующей апертуры. Одним из перспективных способов ее реализации является лазерное испарение напыления.

С помощью системы визуализации гамма-излучения предполагается получать изображения, отображающие распределение источника гамма-излучения с пространственной привязкой к местности, т.е. к изображению, получаемому в видимом спектральном диапазоне. Такое изображение формируется с помощью методов комплексирования [1]. Пример комплексирования изображений, полученных с помощью линзовой системы и кодирующей апертуры, показан на рис. 2.

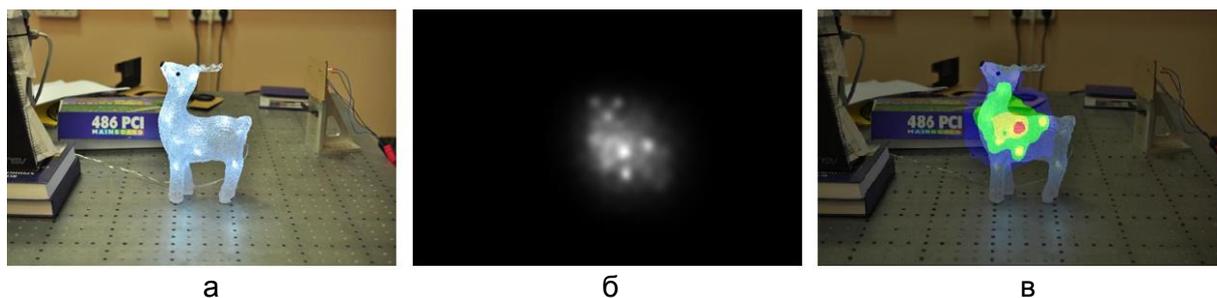


Рис. 2. Пример реализации метода комплексирования: изображение, полученное с помощью линзовой оптической системы (а); изображение, полученное с помощью кодирующей апертуры (б); комплексированное изображение (в)

Следующим этапом выполнения работы являлась реализация сцинтилляционного детектора, выполненного на основе матричного кремниевого фотоумножителя (SiPM Array), сопряженного со сцинтилляционным кристаллом CsI(Tl), имеющий максимум эмиссии на длине волны 540 нм [2]. Проверка работоспособности алгоритмов восстановления изображения, сформированного гамма-каналом, а также комплексирования изображений, предполагалась с использованием излучения дальнего и среднего ультрафиолетового диапазона, которое обладает достаточной энергией, чтобы инициировать процесс сцинтилляции (рис. 3).

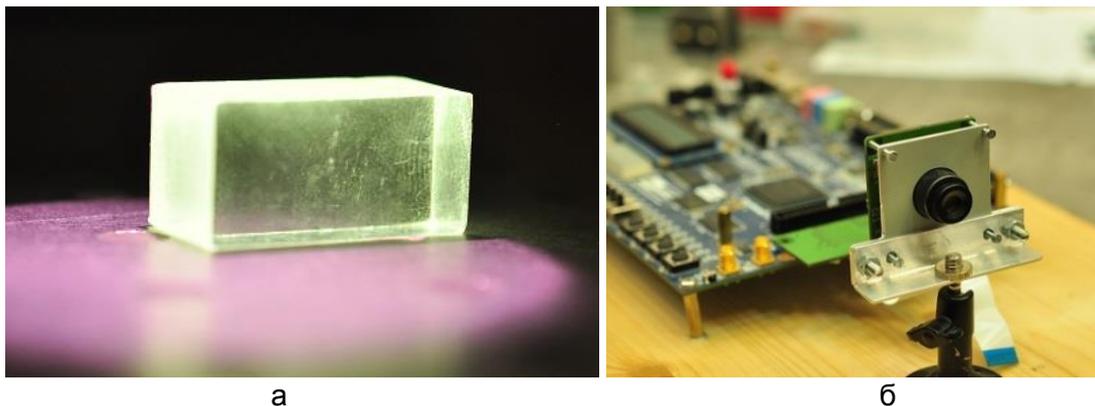


Рис. 3. Сцинтиллятор CsI(Tl), облучаемый источником ультрафиолетового излучения (а);
оптический канал системы визуализации гамма-излучения (б)

В качестве источника ультрафиолетового излучения для облучения кристалла на рис. 3, а, использовалась дейтериевая лампа Hamamatsu L2D2, излучающая в спектральном диапазоне 160–400 нм.

Для получения информации о пространственном распределении видимого излучения реализован оптический канал (рис. 3, б) на базе цветной КМОП-матрицы с максимальным разрешением 2592×1944 , и с частотой кадров 12 Гц при таком разрешении.

Для формирования оптического изображения использовался мегапиксельный объектив с фокусным расстоянием 25 мм, установленный на электрической плате оптического канала.

Таким образом, в ходе экспериментальных исследований доказано функционирование кодирующей апертуры в видимой области спектра, а также алгоритма восстановления изображений. Основной задачей на следующем этапе работы является масштабирование указанных методов и результатов на спектральный диапазон, соответствующий гамма-излучению.

Литература

1. Васильев А.С., Трушкина А.В. Методы комплексирования изображений в многоспектральных оптико-электронных системах // ГрафиКон'2016: 26-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению: труды конференции. – 2016. – С. 314–318.
2. Шендрик Р.Ю. Методы экспериментальной физики конденсированного состояния. Часть 3. Введение в физику сцинтилляторов: учебное пособие – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2013. – 110 с.



Климов Александр Александрович

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем,
студент группы № В4108

Направление подготовки: 12.03.02 – Опотехника

e-mail: klim2495@mail.ru

УДК 531.743

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ 0,8–1,6 МКМ НА ИХ МОЩНОСТНЫЕ И ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Климов А.А.

Научный руководитель – к.т.н., ст.н.с. Тимофеев А.Н.

Проведен аналитический обзор существующих конструкций полупроводниковых лазеров и влияния параметров рассматриваемых приборов на мощностные и пространственные характеристики лазера.

Ключевые слова: полупроводниковый лазер, конструкции полупроводникового лазера, волновод, гетероструктура.

Первым этапом исследования влияния конструкции полупроводниковых лазеров с длиной волны излучения в диапазоне 0,8–1,6 мкм на их мощностные и пространственные характеристики стало проведение аналитического обзора существующих видов конструктивных исполнений полупроводниковых лазерных диодов. В процессе работы были рассмотрены: мезаполосковая, зарощенная, гребневая конструкции; туннельно-связанные лазеры, конструкция «задающий генератор с усилителем мощности» [1].

Мезаполосковая конструкция [2] разработана для борьбы с эффектом растекания тока. Сутью данной конструкции является травление канавок (мез) вглубь кристалла справа и слева от контактной площадки, тем самым происходит ограничение тока в латеральной плоскости. В зависимости от глубины травления мез различают глубокую мезу (рис. 1, а) и мелкую мезу (рис. 1, б).

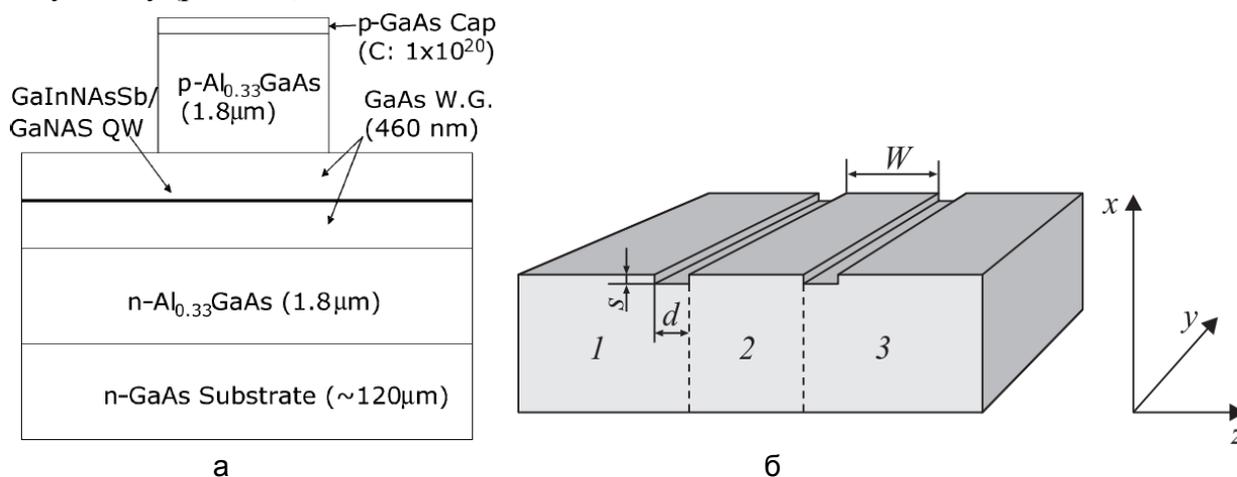


Рис. 1. Конструкция полупроводникового лазера с глубокой мезой (а) и схематическое изображение кристалла полупроводникового лазерного диода мезаполосковой конструкции с мелкой мезой: 1 и 3 – пассивные области; 2 – прокачиваемая область шириной W , ограничиваемая мезаканавками. d – ширина мезаканавки; s – глубина мезаканавки (б)

В конструкции с мелкой мезой канавка протравлена до слоя p -эмиттера, и не доходит до волновода. Такая глубина позволяет добиться ограничения тока, что уменьшает влияние

эффекта растекания, однако, не полностью устраняется эффект увеличения апертуры при повышении тока накачки и остается возможность срыва генерации лазера.

Достоинствами мелкой мезы являются: высокая технологичность, повышенное качество излучения и малое количество дефектов в волноводе и активной области.

В качестве недостатков можно выделить: слабую локализацию тока и оптического поля, изменение апертуры лазера с повышением тока накачки, возможность срыва генерации.

Глубокая меза протравливается на всю глубину волновода [3], до слоя n -эмиттера. Это позволяет полностью ограничить ток в латеральном направлении, полностью исключить изменение апертуры излучения при повышении тока накачки, и полное ограничение оптического поля лазера. Но при такой глубине мез излучение отражается от стенок канавки и переотражается внутри структуры, что вызывает ухудшение качества излучения, также в конструкции с глубокой мезой присутствует эффект поверхностной рекомбинации на стенках канавок, который можно устранить только их пассивацией.

Достоинствами конструкции с глубокой мезой являются: полное ограничение тока и оптического поля в латеральном направлении и отсутствие растекание тока, а также высокая технологичность. К недостаткам можно отнести переотражение излучения на стенках мез, поверхностную рекомбинацию на стенках мез.

Зарощенная конструкция [4] лазерного диода представляет из себя структуру, где контактный и эмиттерный слой стравлены до слоя волновода, а после в вытравленных местах выращивают слой материала, имеющего n -тип проводимости, что позволяет создать в местах контакта n и p слоев обратную смещенную область, которая не будет пропускать ток. В результате можно добиться ограничения распространения тока в данных областях, и ограничить пучок выходного излучения в латеральной плоскости.

Достоинствами зарощенной конструкции являются: отсутствие поверхностной рекомбинации, ограничение тока накачки от растекания, управляемое ограничение оптического поля. К недостаткам можно отнести сложный технологический процесс зарощивания и возможность электрического пробоя пассивных частей.

Три рассмотренные конструкции позволяют уменьшить угол расходимости пучка излучения и, как следствие, увеличить яркость излучения. Но также яркость можно повысить, увеличивая мощность излучения.

Далее была рассмотрена конструкция «задающий генератор с услителем мощности» (МОРА) [5, 6], которая позволяет добиться увеличения мощности одномодовых лазеров при сохранении высокого качества излучения.

Одномодовые лазеры обладают хорошим качеством пучка, но низкой мощностью. Лазеры конструкции МОРА позволяют добиться существенного повышения мощности одномодовых лазеров при сохранении качества излучения.

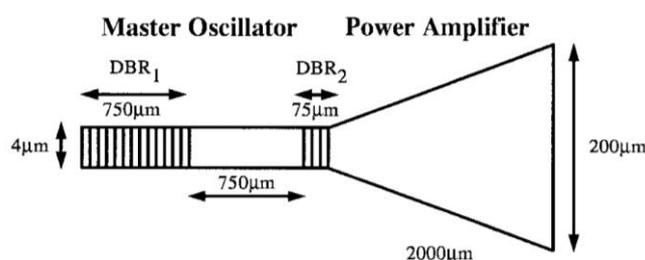


Рис. 2. Схематичное изображение конструкции МОРА-лазера

Конструктивно МОРА-лазер представляет собой полупроводниковый лазер, соединенный с резонатором, который по составу и внутренней организации полностью идентичен лазеру, но имеет особую форму (рис. 2). Угол стенок резонатора соответствует углу расходимости излучения из лазера-генератора и обусловлен необходимостью обеспечить отсутствие собственной внутренней генерации в резонаторе и необходимостью

эффективно задействовать всю область кристалла, что не позволяет сделать резонатор прямоугольной формы.

Соединение генератора и усилителя производится за счет DBR 2 – distributed Bragg reflector (распределенный брегговский отражатель) брегговской решетки с наклонными канавками для более эффективного перехода фотонов между структурами, так как наличие зеркала между двумя составными частями прибора при такой конструкции невозможно.

Ток прокачивается и через лазер-генератор, и через резонатор, который, не имея обратной связи усиливает попадающее в него излучение.

К достоинствам лазерных диодов такой конструкции можно отнести: высокое качество излучения, выражающееся в малых углах расходимости и значении M^2 близком к единице, более высокую мощность по сравнению с одномодовыми лазерами других конструкций и более узкий спектр в отличие от приборов других типов.

К недостаткам МОРА-лазеров относятся: высокий астигматизм и сложный технологический процесс производства лазера.

В настоящее время наука и техника обеспечивает большое многообразие вариантов конструктивного исполнения полупроводниковых лазеров, с теми или иными улучшенными характеристиками, большей мощностью или улучшенными показателями расходимости излучения после выходного зеркала лазера. Однако не все из них на данный момент являются технологичными в производстве. Лазерные диоды многих конструкций обладают высокой плотностью дефектов и плохой повторяемостью, из-за наличия сложных технологических операций в процессе производства.

Исходя из этого, для исследований в представляемой работе была выбрана мезаполосковая конструкция лазера. Она является технологичной в производстве, процесс ее формирования отработан, что позволяет получить большой выход годных приборов, высокую повторяемость и хорошее качество получаемых структур. Также лазеры такой конструкции уже обеспечивают требуемую мощность и эффективность и не нуждаются в улучшениях по этим критериям. В этой связи актуальным являлось данное исследование и улучшение качества излучения именно таких лазеров, при сохранении их мощностных параметров.

Литература

1. Жуков А.Е. Лазеры на основе полупроводниковых наноструктур. – СПб.: ООО «Техномедиа» Изд-во «Элмор», 2007. – 304 с.
2. Слипченко С.О., Винокуров Д.А., Лютецкий А.В., Пихтин Н.А., Станкевич А.Л., Фетисова Н.В., Бондарев А.Д., Тарасов И.С. Срыв генерации в мощных полупроводниковых лазерах // Физика и техника полупроводников. – 2009. – Т. 43. – Вып. 10. – С. 1409–1412.
3. Горлачук П.В., Рябоштан Ю.Л., Мармалюк А.А., Курносков В.Д., Курносков К.В., Журавлева О.В., Романцевич В.И., Чернов Р.В., Иванов А.В., Симаков В.А. Мощные импульсные лазерные излучатели спектрального диапазона 1,5–1,6 мкм // Физика и техника полупроводников. – 2014. – Т. 48. – Вып. 1. – С. 100–103.
4. Tsai C.-L., Chou Y.-L., Wang Y.S., Chang S.J., Wu M.-C. and Lin W. 1.3 μ m Strain-Compensated InGaAsP Planar Buried Heterostructure Laser Diodes with a TO-Can Package for Optical Fiber Communications // Journal of The Electrochemical Society. – 2009. – V. 156(12). – P. H903–H907.
5. Welch D.F., Parke R., Mehuys D., Hardy A., Lang R., S O'Brien. and Scifres S. 1.1 W CW, diffraction-limited operation of a monolithically integrated flared-amplifier master oscillator power amplifier // Electron. Lett. – 1992. – V. 28. – № 21. – P. 2011–2013.
6. Uberna R., Bratcher A. and Tiemann B.G. Power scaling of a fiber master oscillator power amplifier system using a coherent polarization beam combination // Applied Optics. – 2010. – V. 49. – № 35. – P. 6762–6765.



Комаров Денис Евгеньевич

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем,
студент группы № В4210

Направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика

e-mail: dkomar94@mail.ru



Рыжова Виктория Александровна

Год рождения: 1966

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем,
к.т.н., доцент

e-mail: victoria_ryz@mail.ru



Васильева Анна Владимировна

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение,
оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: avasileva@corp.ifmo.ru

УДК 539.16.07

**РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АПЕРТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
КРЕМНИЕВОГО ФОТОУМНОЖИТЕЛЯ**

Комаров Д.Е., Рыжова В.А., Васильева А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Рыжова В.А.

Исследования выполнялись при государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (субсидия 074-U01).

Работа посвящена разработке лабораторного стенда для изменения апертурных характеристик кремниевого фотоумножителя. Выполнен аналитический обзор существующих технических решений в области исследования характеристик приемников оптического излучения на основе лавинных фотодиодов. На основе обзора разработана структурная схема стенда и обоснован выбор ее основных элементов.

Ключевые слова: кремниевый фотоумножитель, SiФЭУ, гамма-спектрометр, апертурные характеристики, характеристики фотоумножителей.

Геофизические измерения могут рассматриваться как один из наиболее консервативных видов измерений. Многолетний опыт измерений геофизических полей был подчинен в первую очередь требованиям высокой точности и адекватности результатов измерений (соответствия реальной картине физического мира). Эти требования в значительной мере обеспечивались преемственностью технологии измерений. Как следствие, номенклатура приборов, их функциональные возможности, методическое и метрологическое обеспечение десятилетиями оставались без изменения.

Многие пользователи вполне удовлетворены таким состоянием дел: применение одних и тех же приборов в течение десятков лет обеспечивает преемственность технологии измерения, обработки и интерпретации данных.

Однако сегодня эта картина начинает меняться: появились новые технологии, в том числе информационно-компьютерные, существенно усложнились условия проведения измерений, растет конкуренция на рынке геофизических услуг. В мировой практике осуществляется повсеместный переход на геофизическую аппаратуру 5-го поколения, для которой характерны малые габариты, высокий уровень автоматизации, многоканальность, цифровая фильтрация, спутниковая синхронизация, отсутствие проводной связи, возможность объединения в систему неограниченного числа приборов, цифровая запись на долговременную память с большим ресурсом, питание от долгоживущих источников и пр. Таким образом, качественно новой основой изучения земных недр становится инструментальная геология [1].

В современных геологических приборах, в частности, в полевом гамма-спектрометре, морально устаревшие вакуумные фотоэлектронные умножители (ФЭУ) активно вытесняются твердотельными кремниевыми фотоумножителями (SiФЭУ), применяемыми в паре с кристаллом-сцинтиллятором. SiФЭУ обладают рядом эксплуатационных и стоимостных преимуществ перед вакуумными ФЭУ, что позволяет применять их в полевой аппаратуре. Благодаря этому практически одновременно в ряде стран начались исследования прикладных аспектов использования SiФЭУ [2].

Первые образцы SiФЭУ были разработаны совместными усилиями кафедры физики элементарных частиц Московского инженерно-физического института и ФГУП НПП «Пульсар» при поддержке Немецкого национального исследовательского центра DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron), Гамбург [3].

Фотодиоды этого типа способны регистрировать единичные световые кванты при комнатной температуре. Коэффициент усиления SiФЭУ достигает величины 10^6 при эффективности детектирования фотонов 20–40% в широком диапазоне длин волн, что сравнимо с параметрами традиционных вакуумных фотоэлектронных умножителей.

Для анализа применения SiФЭУ в проектируемых приборах для регистрации слабых физических полей необходимо точно знать параметры и характеристики приемных модулей с чувствительными элементами на основе микропиксельных лавинных фотодиодов, составляющих основу твердотельных.

Одним из важнейших вопросов при использовании SiФЭУ совместно со сцинтиллятором является их взаимное оптическое расположение, которое обеспечивало бы максимальную эффективность детектирования оптического излучения. Конструкция данного узла во многом зависит от апертурных характеристик SiФЭУ. В связи с этим представляется актуальной разработка лабораторного стенда для исследования зависимости сигнала на выходе SiФЭУ от угла падения излучения на его входную границу раздела сред.

В ходе аналитического обзора были рассмотрены технические решения для исследования параметров подобных приемников оптического излучения на основе лавинных фотодиодов.

Измерительный стенд для исследования параметров SiФЭУ эксперимента ЕММА [4] позволяет измерять напряжение лавинного пробоя фотоумножителей, определять рабочее напряжение питания фотоумножителей, измерять скорость счета импульсов темного тока фотоумножителей, оптимизировать уровни дискриминации сигналов фотоумножителей и сцинтилляционного счетчика, измерять эффективность регистрации фотонов SiФЭУ.

Известен стенд для исследования пороговых характеристик лавинных МДП (металл-диэлектрик-полупроводник) фотоприемников в режиме синхронного счета фотонов [5]. Данная установка предназначена для исследования амплитудного распределения напряжения шумов в зависимости от электрического режима и амплитудного распределения импульсов

фотосигнала в зависимости от электрического режима на длинах волн излучения $\lambda=0,53$ и $\lambda=1,06$ мкм.

В рамках аналитического обзора также выявлен ряд технических решений для экспериментального исследования параметров и характеристик SiФЭУ, среди которых устройство, позволяющее непосредственно измерять вольт-амперные характеристики лавинных фотодиодов в области умножения, лабораторная установка для исследования спектральных характеристик чувствительности SiФЭУ на основе микропиксельного лавинного фотодиода, а также лабораторная установка для исследования динамического диапазона SiФЭУ на основе микропиксельного лавинного фотодиода.

Рассмотрев различные варианты установок, устройств для измерения характеристик приемников оптического излучения на основе лавинных фотодиодов, сделан вывод о том, что для исследования апертурных характеристик SiФЭУ целесообразно разрабатывать собственную схему и метод измерения на основе последних двух лабораторных установок.

Таким образом, в ходе данной работы была разработана структурная схема, представленная на рисунке.

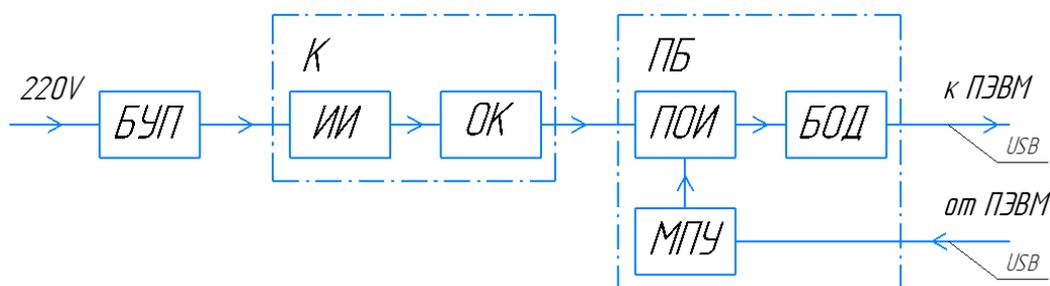


Рисунок. Схема комбинированная структурная лабораторного стенда

Свет от источника излучения (ИИ), пройдя через объектив коллиматора (ОК), попадает на приемный блок (ПБ), в качестве чувствительного элемента содержащий исследуемый матричный фотоумножитель. Приемник оптического излучения (ПОИ) установлен на механическом поворотном устройстве (МПУ). Затем в приемном блоке (ПБ) сигнал от ПОИ попадает в блок обработки данных (БОД), после которого передается для обработки на ПЭВМ (персональная электронно-вычислительная машина).

Кремниевый фотоумножитель AgauC-60035-4P-EVB, выступающий в качестве объекта исследования, обладает очень низким пороговым значением освещенности, а значит, поток излучения, попадающий на входной зрачок приемного блока должен быть также малым. Добиться этого можно управлением питанием источника излучения. Для этого в схеме предусмотрен блок управления питанием (БУП), способный создавать короткие импульсы длительностью несколько микросекунд.

Механическое поворотное устройство (МПУ), на котором закреплен исследуемый фотоумножитель, управляется с помощью ПЭВМ. В данном МПУ предусмотрена возможность поворота ФЭУ в одной плоскости. Для выполнения исследований в другой плоскости необходимо заново закрепить фотоумножитель, повернув на 90° .

Применяемый в гамма-спектрометре кристалл-сцинтиллятор излучает свет с длиной волны 532 нм, поэтому в качестве источника излучения выбран зеленый светодиод VL-L324PGC с максимумом на длине волны 525 нм.

Механическое поворотное устройство должно удовлетворять следующим условиям: угол поворота – не менее 180° ; наличие шагового двигателя и возможности управления с персонального компьютера. Для данного стенда выбрано поворотное устройство 8MR190-2-4247, которое управляется с помощью персонального компьютера.

Таким образом, в ходе работы на основе аналитического обзора была разработана структурная схема лабораторного стенда, обусловлен выбор элементов структурной схемы.

Разработка стенда позволит более подробно изучить свойства кремниевого фотоумножителя. Полученная информация будет полезна в разработке полевого гамма-спектрометра, основным элементом которого является приемник гамма-излучения, представляющий собой пару кристалл-сцинтиллятор – кремниевый фотоумножитель.

Литература

1. Коротяев В.В. Разработка прототипа высокочувствительного полевого гамма-спектрометра на базе твердотельных кремниевых ФЭУ. – СПб., 2016.
2. Бердникова А.К. Сцинтилляционный гамма-зонд для радионуклидной диагностики в ядерной медицине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.docme.ru/doc/1415926/scintillyacionnyj-gamma-zond-dlya-radionuklidnoj-diagnostik> (дата обращения: 26.01.2018).
3. Полещук Р.В. Разработка фотонных методов для экспериментального комплекса Центра подземной физики CUPP : автореферат дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.04.01; [Место защиты: Ин-т ядер. исслед. РАН]. – М., 2015. – 35 с.
4. Савранский С. Исследование пороговых характеристик лавинных МДП фотоприемников в режиме синхронного счета фотонов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ioptica.com/SiMOS_PDF/Chapter_2_SiMOS_PM.pdf (дата обращения: 19.11.2017).
5. Wagner A., Tan W.P., Chalut K., Charity R.J., Davin B., Laroche Y., Lenek M.D., Liu T.X., Liu X.D., Lynch W.G., Ramos A.M., Shomin R., Sobotka L.G., de Souza R.T., Tsang M.B., Verde G., Xu H.S. Energy resolution and energy-light response of CsI(Tl) scintillators for charged particle detection // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment. – 2000. – P. 290–299.



Репин Владислав Андреевич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем,
студент группы № В5508

Направление подготовки: 12.05.01 – Электронные и оптико-
электронные приборы и системы специального назначения

e-mail: vladrepin777@yandex.ru

УДК 53.087

**РЕАЛИЗАЦИЯ МАКЕТА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ С ДИСКРЕТНЫМ
ПОЛЕМ АНАЛИЗА НА ОСНОВЕ ФОТОДИОДОВ**

Репин В.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Чертов А.Н.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615868 «Исследование методов и принципов построения автоматизированных видеоинформационных систем для контроля качества продуктов, объектов, материалов».

В работе представлены результаты проектирования макета оптико-электронной системы с дискретным угловым полем для анализа перемещений малоразмерных источников излучения. Предложена структурная схема макета, представлены численные результаты габаритно-энергетического расчета, проведено математическое моделирование конструкции макета, представлены сведения об элементной базе и алгоритме работы макета.

Ключевые слова: фотодиод, угловое поле, оптико-электронная система.

Существует широкий спектр задач (например, ориентация беспилотных летательных аппаратов, системы детектирования перемещений), для решения которых необходим анализ окружающей обстановки в широком угловом поле. При этом можно использовать различные технические решения, например:

- применение электропривода для реализации сканирования местности;
- использование панорамных кольцевых линз;
- использование объективов типа fish-eye [1].

Среди имеющихся инженерных решений для получения информации об объектах в широком угловом поле можно выделить применение дискретного (иначе, составного, фасеточного, матричного) углового поля, подобного полю зрения насекомых. Как известно, эти представители животного мира обладают фасеточным зрительным аппаратом. Среди преимуществ данного подхода стоит выделить следующие:

- большое суммарное угловое поле;
- возможность реализации стереоскопического восприятия;
- малые габариты, так как нет необходимости использовать крупногабаритные оптические компоненты;
- возможность работы в нескольких спектральных диапазонах;
- независимость каналов.

Основываясь на анализе существующих научных источников информации по данной теме, можно отметить следующие возможные применения оптико-электронных систем с дискретным угловым полем:

- оценка расстояний до препятствий для людей с ослабленным зрением;
- ориентация беспилотных летательных аппаратов;
- использование в качестве органов ориентации автомобильного транспорта;

- разработка гибких камер;
- спектрональная съемка.

Также, основываясь на изученных публикациях, можно сказать, что исследования оптико-электронных систем с дискретным угловым полем ведутся активно и идут по пути наращивания количества каналов регистрации и уменьшения габаритов самих систем, а также по пути исследования возможности создания гибких деформируемых камер. Однако на настоящий момент достигнутые результаты ограничиваются экспериментальными образцами. Все это говорит об актуальности исследования методов создания таких систем [2, 3].

Таким образом, цель данной работы – реализация макета оптико-электронной системы с дискретным угловым полем на основе фотодиодов для оценки перемещений малогабаритного объекта (источника излучения).

Была предложена следующая схема построения разрабатываемого макета (рис. 1).

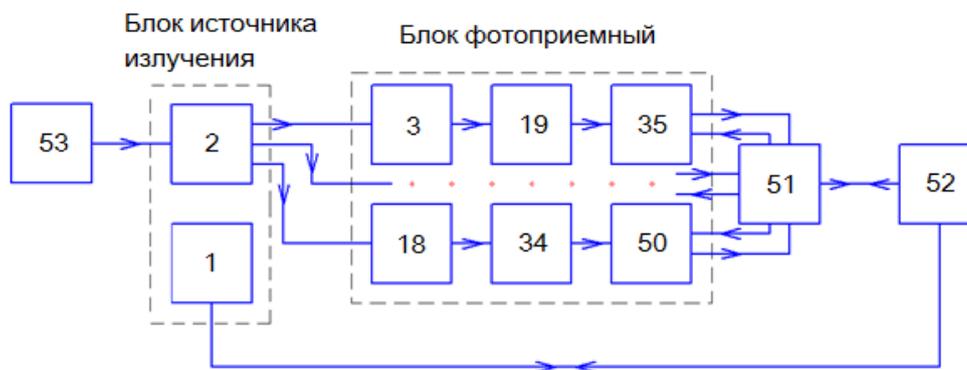


Рис. 1. Структурная схема макета оптико-электронной системы с дискретным угловым полем: 1 – моторизованный двухкоординатный позиционер (необходим для имитации перемещения источника излучения); 2 – источник излучения; 3–18 – линзы фотодиодов; 19–34 – фотодиоды; 35–50 – преобразователи малых токов в напряжение на операционных усилителях; 51 – блок приема электрического сигнала (микроконтроллер); 52 – блок обработки информации (персональный компьютер); 53 – блок питания

Фотоприемный блок макета имеет 16 каналов регистрации излучения. Данные каналы представлены фотодиодами SFH203FA с максимумом кривой спектральной чувствительности на длине волны 900 нм и спектральной областью чувствительности от 750 нм до 1100 нм. Токовый сигнал фотодиодов преобразуется в напряжение в преобразователях на четырехканальных операционных усилителях LM224N (используется классическая схема преобразователя тока в напряжение на операционном усилителе с пассивным RC-фильтром нижних частот на выходе). С преобразователей сигналы для оцифровки и дальнейшей обработки поступают на микроконтроллер ATmega2560 и далее в персональный компьютер.

В качестве источника излучения используется излучающий диод TSAL5100 с максимумом кривой спектрального распределения потока излучения на длине волны 940 нм и спектральным диапазоном излучения от 890 до 990 нм. Пара источника и приемника оптического излучения были выбраны на основании энергетического расчета, который при ориентировочном расстоянии 1 м между источником и приемником дал следующие результаты:

- энергетический поток на чувствительной площадке приемника оптического излучения 0,26 мкВт;
- интегральная чувствительность приемника оптического излучения по рабочему источнику излучения 0,68 А/Вт;
- ток на выходе фотоприемника 0,18 мкА;
- отношение сигнал/шум на выходе электронного тракта 101 дБ [4].

Высокое значение отношения сигнал/шум позволяет говорить о возможности увеличения дальности действия системы.

Было проведено математическое моделирование сферического каркаса для монтажа фотодиодов, при котором принималось условие перекрытия угловых полей смежных каналов на половину углового поля каждого канала. В результате были получены данные, представленные на графике (рис. 2).

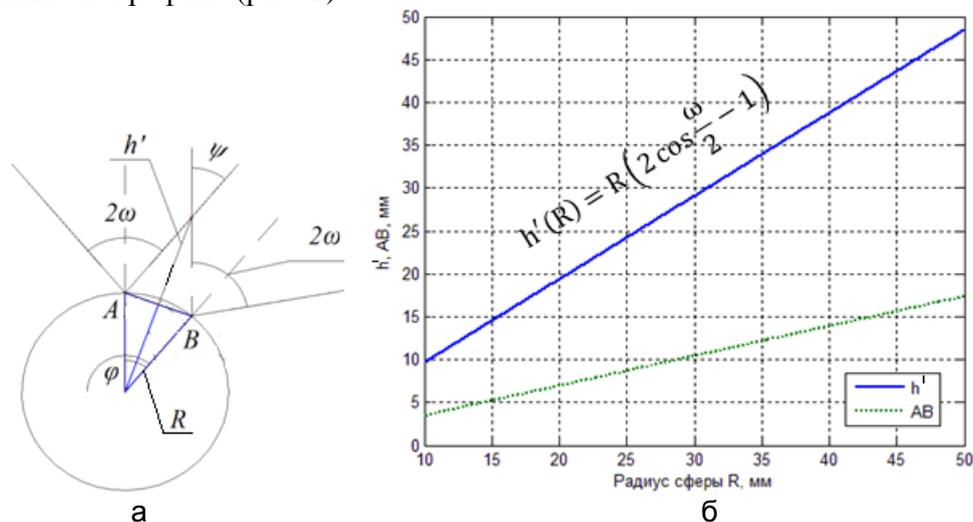


Рис. 2. К определению оптимального радиуса кривизны сферического корпуса для монтажа фотодиодов: геометрическая иллюстрация конструктивных параметров макета, где ψ – угол перекрытия угловых полей, φ – угол между фотодиодами, 2ω – угловое поле фотодиода (а); графики зависимостей высоты h' «слепой зоны» и расстояния между центрами фотоприемников (хорда AB на рис. 2, а) от радиуса кривизны корпуса R при угле перекрытия угловых полей $\psi = \varphi = \omega$ (б)

Исходя из того, что габариты устройства должны быть минимальными, при используемой элементной базе (фотодиоды) с помощью модели, представленной на рис. 2, были выбраны следующие конструктивные параметры макета:

- радиус сферической поверхности $R \approx 40$ мм;
- расстояние между центрами фотоприемников $AB \approx 14$ мм;
- высота «слепой зоны» $h' \approx 39,4$ мм.

Корпус был изготовлен методами трехмерной печати, был осуществлен монтаж фотоприемников. Преобразователи тока в напряжение были разведены на макетной плате. Плата с микроконтроллером и плата с преобразователями помещались в единый корпус. Электрическая схема соединялась с фотоприемным блоком через шлейф (рис. 3).

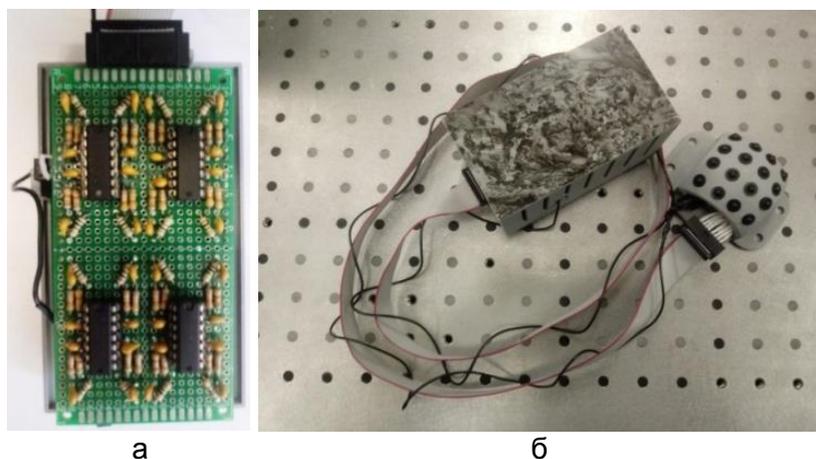


Рис. 3. Реализованный макет оптико-электронной системы с дискретным угловым полем: электрическая схема на плате (а); макет в сборе (б)

В среде LabVIEW была создана программа для тестирования макета, которая демонстрировала оцифрованный после приема сигнал в виде динамически изменяющихся значений двумерного массива размером 4×4 .

На данный момент идет разработка программы, которая визуализирует перемещения источника излучения в поле зрения системы в виде векторных полей. Для этого было принято решение использовать дифференциальный метод оценки оптического потока, предложенный Лукасом и Канаде в 1981 г. Под оптическим потоком в данном случае понимается векторное поле явного движения объектов в визуальной сцене между кадрами, вызванное относительным движением между наблюдателем и сценой [5]. В основе метода лежит применение частных производных по пространственным координатам и времени, а решение уравнений алгоритма позволяет получить векторы смещения объектов сцены. На данный момент посредством среды LabVIEW оптический поток был визуализирован для одного канала регистрации.

В дальнейшем планируется визуализировать оптический поток для других каналов и провести экспериментальные исследования. В конечном итоге можно получить устройство, позволяющее при малых габаритах в широком поле обзора оценивать перемещения объектов.

Литература

1. Соломатин В.А., Иванова Н.В. Современные направления развития панорамных оптических и оптико-электронных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.oop-ros.org/maket2012/part1/ref1_1/1.2.1.pdf (дата обращения: 07.11.2017).
2. Dobrzynski M.K., Pericet-Camara R. and Floreano D. Vision Tape – A Flexible Compound Vision Sensor for Motion Detection and Proximity Estimation // IEEE Sensors Journal. – 2012. – V. 12. – № 5. – P. 1131–1139.
3. Young Min Song et al. Digital cameras with designs inspired by the arthropod eye // Nature. – 2013. – V. 497. – P. 95–99.
4. Коротаев В.В., Мусяков В.Л. Энергетический расчет ОЭП. Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. – 44 с.
5. Сакович И.О., Белов Ю.С. Применение метода Лукаса–Канаде для вычисления оптического потока [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://engjournal.ru/articles/1275/1275.pdf> (дата обращения: 07.11.2017).



Смирнов Леонид Владимирович

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение,
оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: as13@ro.ru



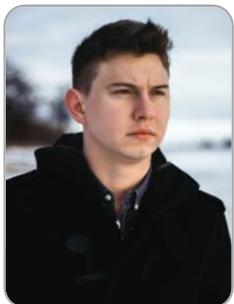
Рыжова Виктория Александровна

Год рождения: 1966

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем,

к.т.н., доцент

e-mail: victoria_ryz@mail.ru



Гришканич Александр Сергеевич

Год рождения: 1989

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности,

к.т.н., доцент

e-mail: grishkanich@yandex.ru

УДК 535–31

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ
МЕТОДАМИ ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИИ**

Смирнов Л.В., Рыжова В.А., Гришканич А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Рыжова В.А.

В работе рассмотрены вещества-индикаторы, позволяющие своевременно детектировать зарождения погодного явления, называемого ураганом. Предложен метод дистанционного зондирования для детектирования индикаторных веществ. Выбрана область зондирования для исследования атмосферы на наличие веществ-индикаторов.

Ключевые слова: лидар, индикатор, ураган, диапазон, вещество.

Контроль состояния атмосферы прибрежных районов позволит своевременно обнаруживать образующиеся или надвигающиеся погодные явления. Одним из таких погодных явлений является ураган, поскольку несет весьма разрушительный характер.

На сегодняшний день в мире ежегодно случается около сотни природных явлений, называемых ураганами. Самые большие показатели ураганов на территории США [1], однако, на территории России эти явления не столь распространены, как в остальных странах. Тем не менее, во избежание подобных явлений возникает необходимость разработки прибора, способного заблаговременно обнаруживать ураган в самом начале его зарождения.

По большей части эти стихийные бедствия зарождаются на морской поверхности и после этого движутся в сторону суши, поэтому зондирование атмосферы прибрежных районах имеет ключевое значение. Поскольку атмосферные явления в прибрежных районах нередко носят разрушительных характер, то исследование слоев атмосферы несет за собой

возможность контроля этих явлений. Наибольший интерес представляет дистанционное обнаружение формирующихся ураганов. Поскольку своевременное обнаружение зарождающегося урагана может способствовать сведению разрушительных последствий к минимуму.

Целью работы являлась разработка активного оптико-электронного прибора анализа состояния атмосферы.

Для достижения указанной цели необходимо для начала вынести на рассмотрение и решить следующие задачи:

- выбрать область зондирования атмосферы Земли;
- определить вещества-индикаторы;
- выбрать метод зондирования веществ-индикаторов;
- выбор схемы дистанционного зондирования.

При выборе области зондирования атмосферы необходимо учитывать некоторые важные факторы, такие как состав атмосферы и спектральное распределение атмосферы.

Зная спектральные характеристики веществ, содержащихся в атмосфере, и принимая во внимание интенсивность солнечного излучения [2], становится ясно, что наилучшей областью для исследований является ультрафиолетовый (УФ) диапазон оптического излучения. Так как именно в УФ-области спектра солнечная засветка приемного телескопа минимальна, следовательно, достигается максимальное пропускание зондирующего пучка, а как следствие, максимальное количество информации от исследуемого объекта.

Сам же ураган представляет собой закрученные потоки воздуха смешанные с песком, дымом и другими частицами, также в центре урагана наблюдаются области пониженного давления. Стадии зарождения урагана представлены на рис. 1, а на рис. 2 – его строение. Однако детектирование урагана возможно лишь на последней стадии, когда происходит увеличение концентрации веществ в воздухе.

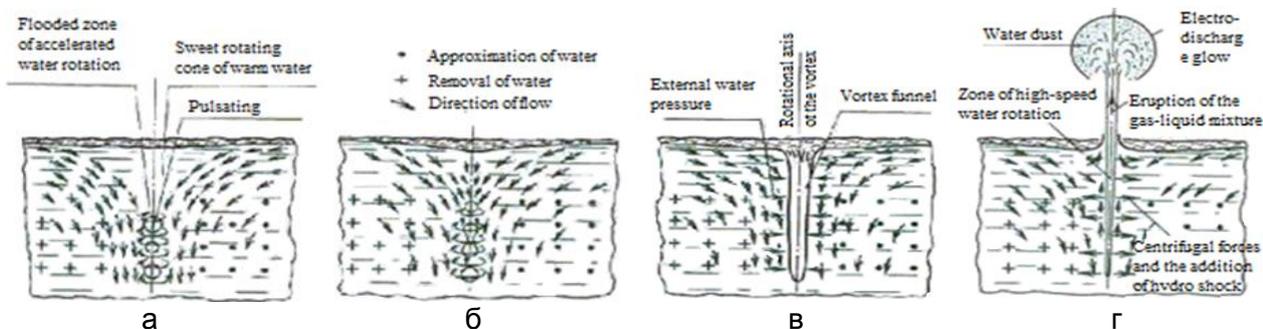


Рис. 1. Стадии зарождения урагана [3]

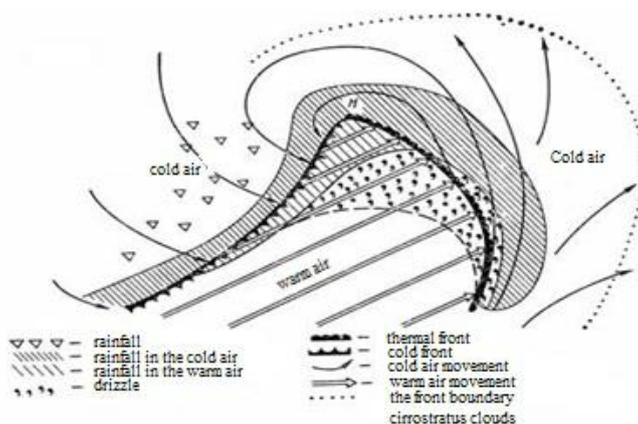


Рис. 2. Строение урагана [3]

Поскольку ураган зарождается на морской поверхности, то содержит большое количество морской соли. Натуральная морская соль содержит 90–95% NaCl (хлорид натрия) и до 2% других минералов: соли: магния, кальция, калия, марганца, фосфора, йода и других веществ [4].

Таблица 1. Ионный состав морской соли [4]

| Вещество | Хим. состав, % | Содержание, мг/л |
|-----------------------------|----------------|------------------|
| Хлориды (Cl ⁻) | 55,03 | 19385 |
| Натрий (Na ⁺) | 30,59 | 10752 |
| Магний (Mg ²⁺) | 3,68 | 1295 |
| Кальций (Ca ²⁺) | 1,18 | 416 |

Из табл. 1 ясно видно, что основные составляющие морской соли – это натрий и хлориды, однако и концентрации других веществ могут позволить детектировать морскую соль. Как следствие, в качестве индикаторов будут выбраны все эти вещества, а именно, хлор, натрий, магний и кальций. Такой широкий спектр индикаторов позволит более точным образом судить об увеличении количества морской соли в атмосфере.

Во избежание разрушительных последствий урагана в будущем необходимо разработать активную оптико-электронную систему, способную своевременно детектировать выбранные вещества-индикаторы. А поскольку проектирование лидарной техники относится к одному из важнейших направлений оптико-электронного приборостроения, то сенсоры, основанные на методах лазерного дистанционного зондирования, позволяют проводить детальный анализ исследуемых объектов и компонентов окружающей среды по их спектральным характеристикам [5].

Наиболее перспективными методами для дистанционного зондирования являются метод комбинационного рассеяния (КР) и метод дифференциального поглощения и рассеяния (ДПР). По значениям дифференциальных сечений (табл. 2) можно судить об относительной и абсолютной интенсивности процессов зондирования [5]. Следовательно, чем выше коэффициент дифференциального сечения, тем выше мощность сигнала обратного рассеяния на фотоприемнике.

Таблица 2. Дифференциальное сечение взаимодействия

| Эффект взаимодействия | Коэффициент дифференциального сечения ($d\sigma/d\Omega$), см ² /ср |
|--|---|
| Комбинационное рассеяние | 10^{-30} – 10^{-27} |
| Дифференциальное поглощение и рассеяние | 10^{-22} – 10^{-18} |

Однако, несмотря на высокий показатель дифференциального сечения, метод ДПР представляется не столь эффективным, поскольку требует значительного энергетического обеспечения, нежели метод КР. Кроме того, метод КР позволяет одновременно детектировать большой перечень веществ-индикаторов, чем ДПР. Становится ясно, что использование метода КР является наилучшим вариантом для детектирования выбранного круга веществ-индикаторов.

Существуют два метода реализации оптического локатора, они строятся на принципах бистатического, разнесения источника и приемника на некоторое расстояние, и моностатического, нахождения источника и приемника в непосредственной близости друг относительно друга, лазерного зондирования.

Для решения поставленной задачи целесообразнее использование моностатической схемы лазерной локации, поскольку источник и приемник оптического излучения находятся в одном месте, что значительно упрощает процесс установки и регулирования лидара, работающего на этой схеме (рис. 3).

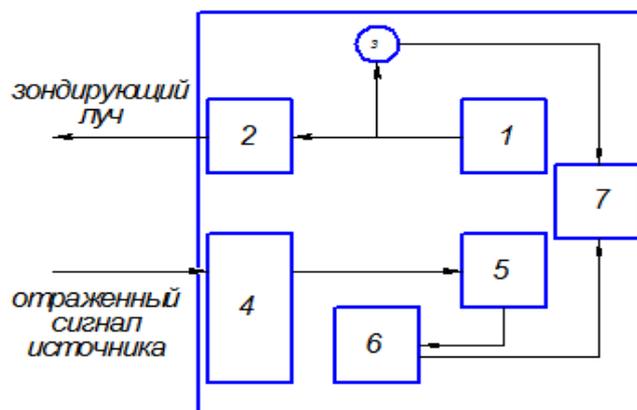


Рис. 3. Моностатическая схема лазерной локации: 1 – источник излучения; 2 – акустооптический модулятор; 3 – опорный импульс; 4 – приемный объектив; 5 – дифракционная решетка; 6 – приемник оптического излучения; 7 – блок обработки информации [5]

На рис. 3 показан путь следования лазерного луча в системе. Первоначально зондирующий луч, испускаемый источником излучения, доходит до поверхности исследования, где часть излучения теряется, а остальное отражается и возвращается обратно, неся с собой информацию об исследуемой поверхности. Затем отраженный сигнал проходит через приемный объектив и попадает на фотоприемный блок. После чего излучение преобразовывается в электрический сигнал и поступает в блок обработки информации.

В ходе проделанной работы были получены следующие результаты:

- в качестве веществ-индикаторов выбраны хлор, натрий, магний и кальций, как основные компоненты морской соли;
- областью зондирования будет являться УФ диапазон;
- комбинационное рассеяние будет являться методом дистанционного зондирования выбранных веществ-индикаторов;
- за основу для структурной схемы была выбрана моностатическая схема лазерной локации.

Литература

1. How to See the Atmosphere [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nasa.gov/image-feature/how-to-see-the-atmosphere> (дата обращения: 19.02.2018).
2. Ишанин Г.Г., Челибанов В.П. Приемники оптического излучения / Под ред. В.В. Коротаева. – СПб.: Лань, 2014. – 303 с.
3. Герман М.А. Спутниковая метеорология: Основы косм. методов исследования в метеорологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 367 с.
4. Алёкин О.А., Ляхин Ю.И. Химия океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 34 с.
5. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование / Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 550 с.



Файзуллин Вадим Илдарович

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем,
студент группы № В4210

Направление подготовки: 12.03.02 – Опотехника

e-mail: rim_09@mail.ru



Сычева Елена Александровна

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем

sychevaelena@gmail.com

УДК 535.317.1

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРОГИБОМЕРА
С ЕДИНЫМ МАТРИЧНЫМ ПОЛЕМ ДЛЯ МНОГОТОЧЕЧНОГО КОНТРОЛЯ
ПРОФИЛЯ ПЛАВАЮЩЕГО ДОКА**

Файзуллин В.И., Сычева Е.В.

Научный руководитель – к.т.н., ст.н.с. Тимофеев А.Н.

Среди источников погрешностей в распределенных оптико-электронных структурах мониторингового контроля важную роль играет влияние воздушного тракта, особенно при значительных дистанциях или перепадах температур. Для уменьшения данного воздействия на результат измерений решено применять алгоритм определения координат реперных меток при спектрально-зональном методе.

Ключевые слова: градиент температур, спектрально-зональный метод, систематическая погрешность, воздушный тракт, рефракция.

В условиях, когда используемая техника имеет значительный износ, резко возрастает вероятность аварий вследствие возникновения деформаций, превышающих предельно допустимые значения. По этой причине чрезвычайную актуальность приобретает внедрение систем дистанционного контроля, предназначенных для систематического измерения деформаций крупногабаритных объектов с целью предотвращения возможных аварий. В связи с этим целью работы являлось исследование погрешностей оптико-электронного прогибомера с единым матричным полем для многоточечного контроля профиля плавающего дока.

Ранее при обработке изображений использовался алгоритм определения энергетического центра распределения освещенности для монохромного излучения, по которому вычислялись относительные координаты реперных меток (РМ), но результаты предварительной работы показали, что наибольшее влияние на работу системы оказывает воздействие вертикального градиента температуры воздушного тракта. В этой связи для компенсации этой погрешности решено применять спектрально-зональный алгоритм обработки информации на цветном матричном поле.

Согласно законам геометрической оптики хроматическая разность вертикальных смещений лучей будет связана с разностью смещений изображений этих лучей на матрице (рис. 1) следующим выражением:

$$\Delta H = \frac{H' \cdot z_1}{2f'} = \frac{p\Delta M z_1}{2f'},$$

где p – линейный размер пикселя; ΔM – разность координат энергетических центров изображений источника излучения при длинах волн λ_b и λ_r , выраженная в пикселях.

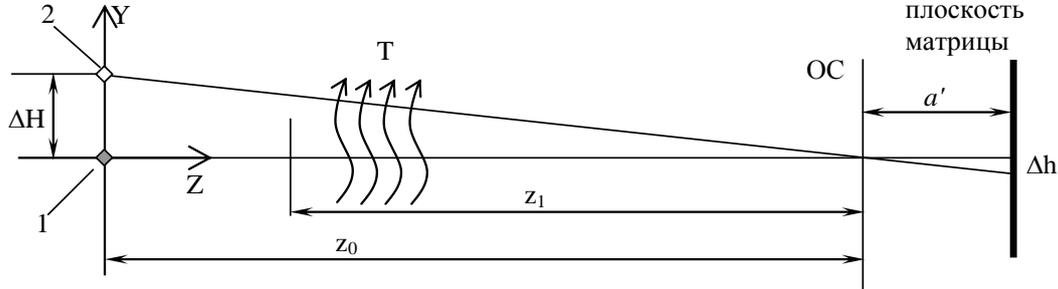


Рис. 1. Измерение смещения положения основного репера из-за рефракции:
1 – основная РМ; 2 – смещенное из-за рефракции положение РМ, регистрируемое приемником; z_1 – расстояние, на котором находится промежуточная РМ; ОС – оптическая система приемной части; a' – расстояние от оптической системы до плоскости расположения матрицы; Δh – величина смещения ΔH , регистрируемая на приемнике

С небольшим приближением градиент температуры в вертикальной плоскости $grad_y T$ для длин волн λ_b и λ_r оптического излучения вызовет на расстоянии z_0 соответственно смещения лучей на величины ΔH_b и ΔH_r :

$$\Delta H_b = -\frac{n_b - 1}{T} grad_y T \frac{z_1^2}{2}; \quad \Delta H_r = -\frac{n_r - 1}{T} grad_y T \frac{z_1^2}{2},$$

где n_b и n_r – показатели преломления атмосферы для синего и красного излучения.

Через хроматическую разность вертикальных смещений лучей синей (В) и красной (R) РМ можно определить величину вертикального градиента температуры воздушного тракта:

$$grad_y T = \frac{p\Delta M T}{z_0(n_b - n_r)f'}. \quad (1)$$

По данному выражению можно определить составляющие погрешности определения вертикального градиента температур:

1. погрешность линейного размера пикселя, определяемая технологией производства δp ;
2. погрешность определения разности координат энергетических центров изображений $\delta \Delta M$;
3. погрешность определения температуры δT ;
4. погрешность установки РМ на заданную дистанцию δz_0 ;
5. погрешность определения разности показателей преломления $\delta(n_b - n_r)$;
6. погрешность определения фокусного расстояния $\delta f'$.

Влияние малого приращения любого из этих параметров на погрешность определения вертикального градиента температур определяется аналитически путем дифференцирования по данному параметру.

Дифференцирование выражения (1) по параметру p :

$$\frac{\delta grad_y T}{\delta p} = \frac{\Delta M T}{z_0(n_b - n_r)f'}. \quad (2)$$

При серийном производстве матричных фотоприемников погрешность от линейного размера пикселя, обусловленная технологией производства, составляет не более 1%.

Дифференцирование выражения (1) по параметру ΔM :

$$\frac{\delta grad_y T}{\delta \Delta M} = \frac{pT}{z_0(n_b - n_r)f'}. \quad (3)$$

Основной составляющей погрешности регистрации изображения на матрице являются шумы матричного фотоприемника. График зависимости среднеквадратической погрешности измерения координат изображения объекта от отношения сигнал/шум для КМОП-матрицы фирмы OmniVision OV5620 при уровне квантования $N=8$ представлен на рис. 2 [1].

Тогда среднеквадратическая погрешность измерения координат изображения метки составит для красного светодиода 0,000024 мм, а для синего – 0,00007 мм.

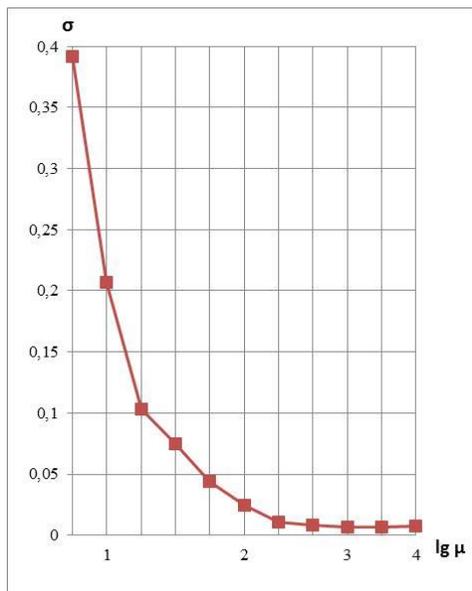


Рис. 2. График зависимости среднеквадратической погрешности измерения координат изображения объекта от отношения сигнал-шум

Дифференцирование выражения (1) по параметру δT :

$$\frac{\delta grad_y T}{\delta T} = \frac{p\Delta M}{z_0(n_b - n_r)f'}. \quad (4)$$

Температура воздушного тракта измеряется датчиком температуры, погрешность которого составляет 0,1°C.

Дифференцирование выражения (1) по параметру z_0 :

$$\frac{\delta grad_y T}{\delta z_0} = \frac{p\Delta MT}{z_0^2(n_b - n_r)f'}. \quad (5)$$

Установка РМ на заданную дистанцию осуществляется с помощью оптического лазерного дальномера Leica DISTO D3 с погрешностью измерений ± 1 мм.

Дифференцирование выражения (1) по параметру $(n_b - n_r)$ [2]:

$$\frac{\delta grad_y T}{\delta(n_b - n_r)} = \frac{p\Delta MT}{z_0(n_b - n_r)f'^2}. \quad (6)$$

Дифференцирование выражения (1) по параметру f' :

$$\frac{\delta grad_y T}{\delta f'} = \frac{pT}{z_0(n_b - n_r)f'}. \quad (7)$$

Для определения фокусного расстояния объективов, работающих в видимой области спектра и являющихся серийно производимыми, используют метод увеличения, относительная погрешность которого равна 0,5% [3].

Также необходимо учитывать погрешность определения фокусного расстояния, которая возникает из-за теплового расширения корпуса объектива. Данная зависимость хорошо подчиняется закону:

$$f'_d = f'_n [1 + a\Delta T], \quad (8)$$

где f'_d и f'_n – действительное и номинальное значения фокусного расстояния объектива; a – коэффициент линейного расширения.

Дифференцируя формулу (8) по ΔT , получим:

$$\frac{\delta f'_{\Delta T}}{\delta \Delta T} = f'_n a.$$

Величина погрешности определения разности температуры составляет 0,2°C.

В конечном виде, с учетом выражений (2)–(7), погрешность определения вертикального градиента температуры воздушного тракта будет составлять:

$$\delta grad_y T = \sqrt{\left(\frac{\delta grad_y T}{\delta p} \delta p\right)^2 + \dots + \left(\frac{\delta grad_y T}{\delta f'} \delta f'\right)^2}.$$

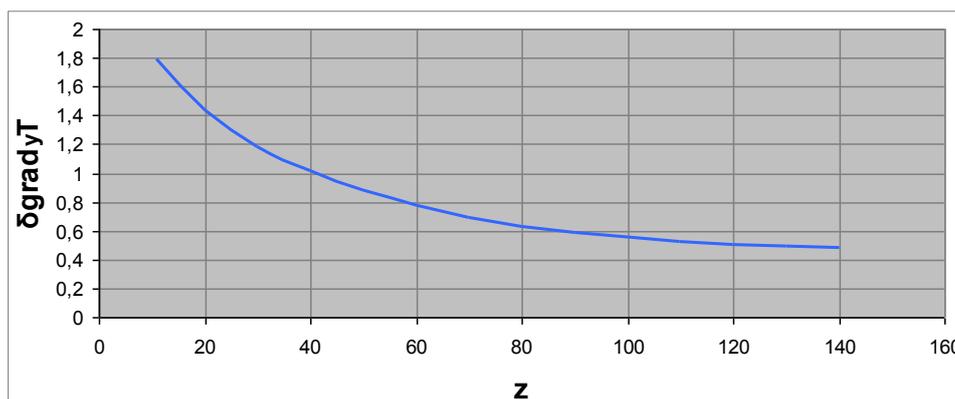


Рис. 3. Зависимость относительной погрешности определения вертикального градиента температуры воздушного тракта от дистанции измерения

Как и ожидалось, неисключенная составляющая погрешности воздействия вертикального градиента температуры воздушного тракта уменьшается с увеличением дистанции измерения и на расстоянии 120 м равна 0,5 мм (рис. 3).

При этом суммарная погрешность основных составляющих погрешностей измерений системы составила 0,76 мм, что является доказательством значительного преимущества использования спектрального метода.

В дальнейшем планируются экспериментальные исследования погрешностей модернизированного оптико-электронного прогибомера с единым матричным полем, для многоточечного контроля профиля плавающего дока.

Литература

1. Андреев А.Л. Моделирование и расчет автоматизированных видеоинформационных систем наблюдения за объектами. Методические указания к лабораторным работам. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 109 с.
2. Мусяков В.Л., Панков Э.Д., Тимофеев А.Н. Теоретическая оценка воздействия воздушного тракта на измерительную базу в виде полихроматической оптической равносигнальной зоны при геодезических измерениях. – СПб.: НИУ ИТМО, 2004. – 117 с.
3. ГОСТ 13095-82. Объективы. Методы измерения фокусного расстояния. – Введен 01.01.1984. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 11 с.



Фам Нгок Туан

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение,
оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: ngoctuan1301@gmail.com



Тимофеев Александр Николаевич

Год рождения: 1945

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем,

к.т.н., ст.н.с.

e-mail: timofeev@corp.ifmo.ru



Васильев Александр Сергеевич

Год рождения: 1988

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем,

к.т.н., ассистент

e-mail: a_s_vasilev@corp.ifmo.ru

УДК 681.78

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ БЫСТРОДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

Фам Н.Т., Тимофеев А.Н., Васильев А.С.

Научный руководитель – к.т.н., ст.н.с. Тимофеев А.Н.

Рассмотрены методы контроля параметров быстродвижущихся объектов с помощью высокоскоростных видеоизмерительных систем в различных областях. В результате работы определили диапазоны эффективного применения высокоскоростных видеоизмерительных систем, а также методы ослабления влияния смаза в современных условиях.

Ключевые слова: камера высокоскоростная, контроль положения, синхронизация, компьютерное зрение.

В жестких условиях непрерывной работы аппаратуры для современных технологий получение объективной информации о фактических характеристиках быстро перемещающихся объектов является актуальной проблемой. Высокоскоростные видеоизмерительные системы являются одним из наиболее эффективных средств и позволяют решать частные задачи (исследование или измерение формы, координат и скорости и др.) при исследовании быстро перемещающихся объектов.

Целью работы являлся анализ возможностей применения видеоизмерительных систем для определения параметров (пространственного положения, формы, траектории, скорости перемещения, излучательных характеристик, цвета и т.д.) быстро перемещающихся объектов.

1. Высокоскоростные видеоизмерительные системы для научно-исследовательских задач. В настоящее время множество разнообразных научных исследований связано с

необходимостью регистрации быстропротекающих процессов. К таким процессам относятся горение, взрывы, распространение излучения, химические реакции, механические испытания, диффузия и многое другое [1]. Большинство подобных исследований связано с качественным анализом исследуемого процесса. Целью при этом, как правило, является детальное исследование определенной стадии его протекания, выявление ранее неизвестных особенностей, обнаружение новых эффектов. Высокоскоростные видеоизмерительные системы для научно-исследовательских задач можно использовать для следующих исследований: регистрация и видеосъемка быстропротекающих процессов, испытание при исследованиях, количественный анализ, измерение размеров, скорости и ускорения объектов, гидродинамика.

2. Высокоскоростные видеоизмерительные системы для оборонной промышленности и испытательных полигонов. В области военных разработок эти системы успешно используются для видеоанализа ударной волны, изменений траектории, столкновений быстро движущихся объектов, диагностики и проектирования высокоскоростных машин, испытания вооружений и средств защиты, баллистики, исследования взрыва, пробивания металлических объектов пулей и т.д. В этой области компания «Видеоскан» является одной из ведущих компаний по созданию высокоскоростной видеоизмерительной системы, реализованной на основе использования оптико-электронного преобразователя [2] (рис. 1, а) а также на основе лазерной импульсной подсветки для получения теневых изображений [3] (рис. 1, б).

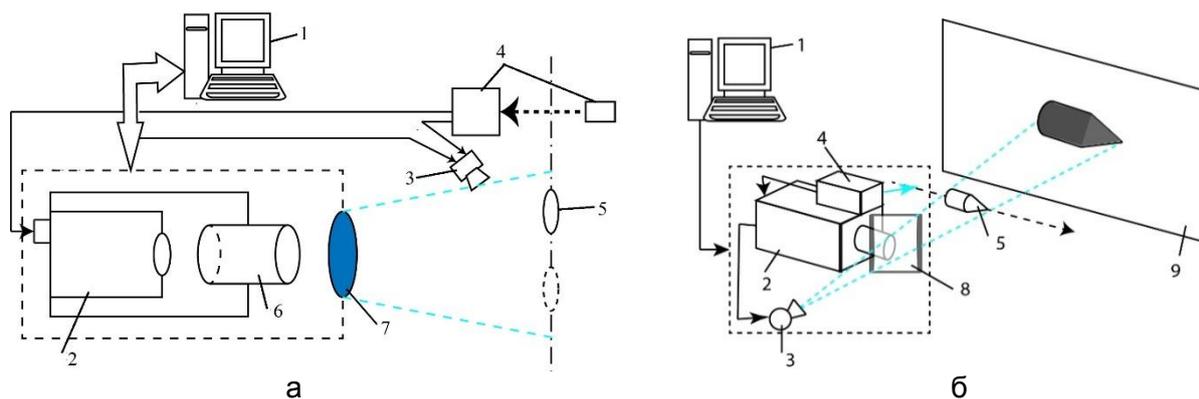


Рис. 1. Структурная схема: одноканальной программно-управляемой электронно-оптической камеры (а); регистратора «видеоТИР» (б): 1 – компьютер; 2 – камера; 3 – лазерный импульсный диод; 4 – устройство синхронизации; 5 – объект; 6 – оптико-электронный преобразователь (ЭОП); 7 – входной объектив; 8 – полупрозрачное зеркало; 9 – световозвращающий экран

Принцип работы систем заключается в следующем: после того как объект прерывает лазерный луч, устройство синхронизации вырабатывает синхроимпульсы для запуска импульсной лампы вспышки и камеры (электронно-оптической камеры (ЭОК) в первой системе или камеры ВИДЕОСКАН-285-USB во второй системе). К моменту времени, когда объект оказывается в поле зрения камеры, происходит их запуск. Для системы с ЭОК изображение объекта через входной объектив проецируется на фотокатод ЭОП, затвор которого в этот момент открывается. Электроны, вылетевшие с фотокатода, образуют определенный заряд, который, усиливаясь, вызывает на экране ЭОП оптическую вспышку соответствующей энергии. С экрана ЭОК усиленное изображение переносится на фоточувствительную площадку цифровой ПЗС-камеры, которая также работает в ждущем режиме и к данному моменту перешла в режим накопления заряда. Время накопления выбирается немного больше времени послесвечения люминофора ЭОП. За это время (для люминофора Р-20 оно равно 3–5 мс) накапливаются все сигнальные фотоны, и дальнейшее накопление «собирает» только фоновый шум. После этого видеоданные оцифровываются в 10 битный код и через вентиляционную матрицу, программируемую пользователем, попадают на

приемопередатчики. На этом принципе построена специальная восьмиканальная высокоскоростная камера «наногейт-22». Высокоскоростная камера «наногейт-22» позволяет обеспечить длительность экспозиции: от 40 нс до 1000 мкс, при этом временной интервал между кадрами: 3 нс–20 мкс.

Существенным недостатком при видеоизмерениях является смаз изображений, который также может быть ослаблен при использовании импульсной подсветки [4]. Для этого используются лазерные диоды, которые позволяют формировать короткие импульсы с энергией, достаточной для регистрации как теневых изображений, так и с некоторыми ограничениями изображений в отраженном свете. Различные виды лазерной подсветки используются в регистраторах «ВидеоТИР», «ВидеоТОР» и «ВидеоЛОР». Рассмотрим регистратор «видеоТИР», принцип работы которого почти аналогичен системе с ОЭК и представлен на рис. 1, б. Но регистратор «ВидеоТИР» предназначен для получения теневых изображений объектов с экспозициями 30–100 нс, что при скорости движения объекта до 10 км/с обеспечивает «смаз» изображения менее 1 мм. Причем указанная экспозиция относится к устройству подсветки, и нет принципиальных ограничений получить пикосекундные времена экспозиции при использовании излучателей с меньшим временем излучения при условии создания потока с интегральной энергией порядка 1 мкДж.

3. Высокоскоростные видеоизмерительные системы для народной промышленности. Для непрерывной диагностики и контроля работы оборудования часто используются системы на основе скоростных видеокамер. Помимо качественного анализа процессы зачастую сопряжены с необходимостью проведения измерений различных кинематических параметров. Такими параметрами являются измерение двумерных (в случае съемки одной камерой) или трехмерных (в случае стереосъемки) координат, скоростей, ускорений, положения центров тяжести и пр. Подобные измерения проведены в Университете ИТМО при разработке оптико-электронной системы контроля положения реперных меток [5] (рис. 2), которая позволяет в процессе движения выправочной машины определять просадки рельсовой нити в вертикальной плоскости с погрешностью не более 1 мм, взаимное положение рельсовых нитей по высоте, положение в плане с погрешностью 2 мм и длину пройденного пути относительно инфракрасных реперных меток, сопряженных с геодезической опорной сетью. Работа системы заключается в том, что при проезде измерительной тележки по пути базовый блок 1 регистрирует излучение светодиода 7 точно в створе с реперной меткой 5, закрепленной на опоре столбов.

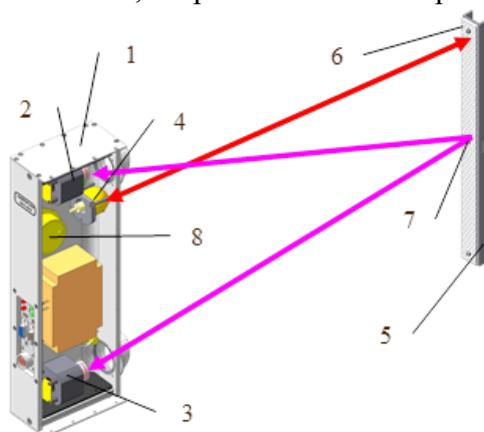


Рис. 2. Структура базового блока и метки реперной

При этом устройство синхронизации 4 вырабатывает управляющий сигнал, по которому фотомодули 2 и 3 захватывают изображение светодиода 7 и преобразуют его в цифровые электрические сигналы, поступающие в блок обработки. Блок обработки преобразует полученные сигналы, с учетом сигналов от электронного уровня 8, и выдает микропроцессорной системе управления выправкой пути (МСУВП) три координаты

(смещение, дистанция, наклон), определяющие положение базового блока относительно реперной метки. Полученные координаты определяют реальное положение железнодорожного пути относительно меток, установленных на опорах контактной сети. МСУВП преобразует полученные координаты в параметры, необходимые для работы выправочной машины при постановке пути в проектное положение.

Основная составляющая погрешности обусловлена смазыванием изображения из-за смещения изображения метки в кадре.

4. Высокоскоростные видеоизмерительные системы также успешно используются для авиации и космонавтики (испытание газотурбинных двигателей, пусков ракет, аэродинамика, испытания авиационных кресел.); для настройки и диагностики деформации и разрушения [6] (скоростных производственных линий, поиск неисправностей, упаковка и др.); для спорта и медицины (анализ движений спортсмена, биомеханика спорта, диагностика нарушений опорно-двигательного аппарата, биомеханика, цифровая микроскопия).

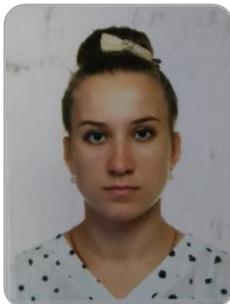
Заключение. Проведенные исследования существующих комплексов показали:

- диапазоны работы высокоскоростных видеоизмерительных систем можно разбить на три группы: системы с частотой до 500 кадр/с (исследования объектов животного мира, большинство машин и механизмов, спорта); системы с частотой до 10000 кадр/с (физика, химия горения и взрыва, космическая и авиационная техника, баллистика, бионика и т.д.) и системы с частотой до нескольких миллионов кадр/с (исследования излучения лазеров, быстрого горения и взрыва, диагностика плазмы и пр.);
- уменьшение влияния «смаза» изображения, кроме классических методов [7] (таких как диссекция изображения, растровая фоторегистрация, щелевая фоторегистрация), в современных условиях целесообразно реализовывать по методу импульсного управления затвором, лазерной подсветки или методу смещения поля зрения;
- показано, что в разработанных высокоскоростных видеоизмерительных системах вся память камеры заполняется в течение нескольких секунд, что и ограничивает время наблюдения.

Проведенный анализ позволяет определить необходимость научных исследований для высокоскоростных видеоизмерительных систем в направлении определения зависимостей объемов памяти при цифровой регистрации матричных изображений от времени синхронизации кадра, а также положения объекта с размером матричного поля анализа систем.

Литература

1. Камеры высокоскоростной съемки EVERCAM. Каталог продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://evercam.ru/dokumentatsiya/>, своб.
2. ВидеоТИР. Каталог продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://videoscan.ru/page/809>, своб.
3. Майоров В.П., Семин М.С. Актуальные разработки НПК ВИДЕОСКАН в области регистраторов быстропротекающих процессов 2009 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://videoscan.ru/store_files/magazine/20/aktual_razrabot.pdf, своб.
4. Крутик М.И. Многоканальные программно-управляемые электронно-оптические комплексы для скоростной регистрации серии изображений быстропротекающего процесса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://videoscan.ru/page/711>, своб.
5. Коротаев В.В., Пантюшин А.В., Тимофеев А.Н. Оптико-электронные системы контроля положения реперных меток // Путь и путевое хозяйство. – 2012. – № 11. – С. 34–37.
6. Корпоративные информационные системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pandia.ru/text/78/263/4531.php/>, своб.
7. Кулягин С.В. Аппаратура для научной фоторегистрации и киносъемки. – М.: Машиностроение, 1989. – 161 с.



Евlampьева Екатерина Сергеевна

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра технологий интроскопии, студент группы № В4250

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: lampa_mail@mail.ru



Черкасова Дина Николаевна

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики,

к.т.н., тьютор

e-mail: cherkasovarjev@gmail.com

УДК 621.383.7

**ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К РАЗРАБОТКЕ
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ПРОГРАММАМ
«ЭРГОНОМИКА ЗРИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»
И «ОПТИЧЕСКИЕ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ»**

Евlampьева Е.С.

Научный руководитель – к.т.н., тьютор Черкасова Д.Н.

В работе систематизированы результаты применения на практике комплексного подхода к разработке учебно-методической литературы по направлениям: 12.03.02 «Опtotехника» (Университет ИТМО), 34.02.01 «Медицинская оптика» (СПб МТК ФМБА России). Выявлены общие черты и особенности содержания печатных учебных пособий и пособий, обеспечивающих выполнение лабораторных работ и самостоятельную работу студента Университета ИТМО и СПб МТК ФМБА России.

Ключевые слова: эргономика, линейка оптических офтальмологических приборов и составных систем, медицинская оптика, оптометрия, медицинский оптик, нормативная документация.

Содержание таких общеобразовательных дисциплин, преподаваемых в обоих учебных заведениях, как: геометрическая оптика, физическая оптика, физиологическая оптика, существенно отличается. В частности, в рамках курса «Геометрическая оптика» в Университете ИТМО (далее – Университет) преподают основы оптического расчета с применением пакета прикладных программ «ZEMAX», «ОПАЛ», «SARO», «Компас», «AutoCAD». В СПб МТК ФМБА России (далее – Колледж) студенты осваивают расчет хода нулевого и апертурного лучей вручную, без использования пакета прикладных программ. В рамках курса «Физическая оптика» изучается волновая природа света, при этом в Университете дается теория аббераций волнового фронта. В Колледже теория аббераций осваивается на примере очковых линз по ГОСТ: в форме мениска, с использованием терминологии, принятой в офтальмологической оптике, и диоптрийного исчисления. В Университете «Физиологическая оптика» не преподается. В Колледже содержанием образовательной программы «Медицинская оптика» являются устройство и функции зрительного анализатора человека в норме и при аметропии высокой степени.

В настоящее время в Университете по направлению 12.03.02 «Опtotехника» введены специальные образовательные программы «Эргономика зрительной деятельности» (бакалавриат) и «Оптические офтальмологические приборы и системы» (магистратура).

В Колледже при подготовке специалистов среднего профессионального звена: медицинский оптик, медицинский оптик-оптометрист, по направлению 34.02.01 «Медицинская оптика» введен междисциплинарный курс «Офтальмодиагностические приборы».

В обоих учебных заведениях содержание курсов осваивается на лекциях, семинарах, лабораторных работах. Схожи только содержание этапов освоения междисциплинарных курсов бакалавриата Университета и Колледжа. Содержание курсов «Офтальмодиагностические приборы» и «Оптические офтальмологические приборы и системы» существенно отличаются при одном и том же методологическом подходе, единственным объектом исследования является зрительный анализатор человека. При этом в рамках учебных курсов Университета рассматривается только зрительный анализатор в норме. Причем соотносится терминология понятий в физической и физиологической оптике. В Колледже изучается не только зрительный анализатор в норме, но осваиваются методы диагностики аномалий рефракций, подбор средств коррекции зрения и технология изготовления средств коррекции зрения (очки, очковые линзы, контактные линзы). В результате темы лабораторных и выпускных работ существенно отличаются.

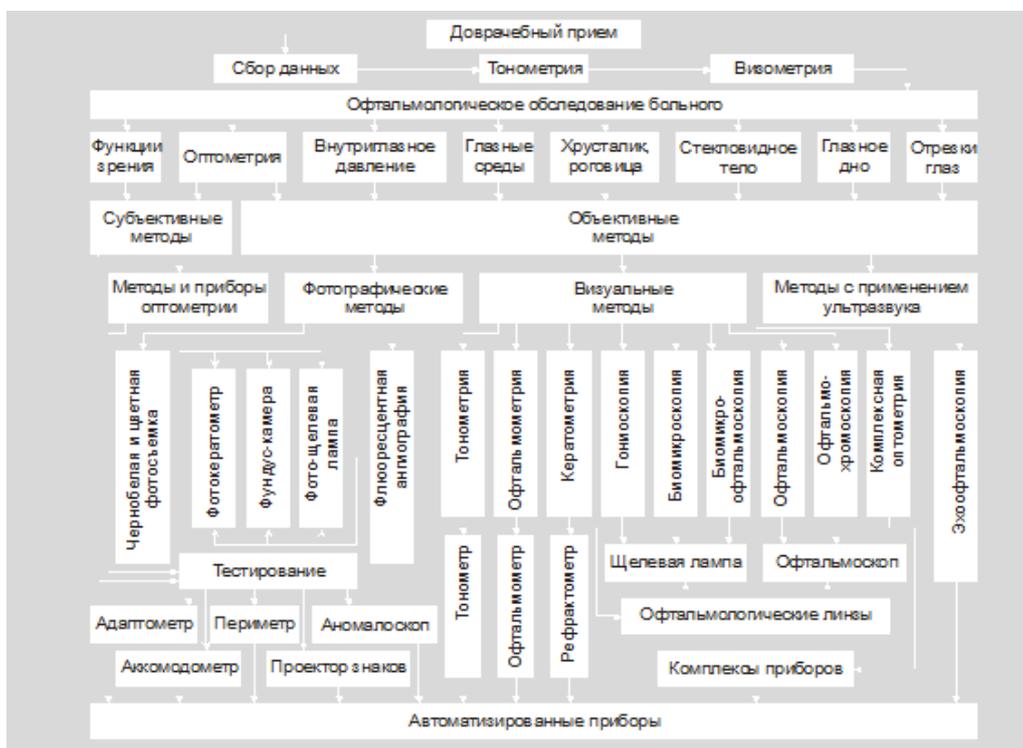


Рис. 1. Линейка оптических офтальмологических приборов и систем

В Университете по программе «Оптические офтальмологические приборы и системы» осваивается линейка нормированных оптических офтальмологических приборов и составных систем (рис. 1). Классификация приборов производится по принципу композиции и особенностей оптического расчета. При этом оптическая система зрительного анализатора оператора изучается в рамках курса бакалавриата. В Колледже освоение работы оператора за прибором связывают с применяемыми методами офтальмологической диагностики, выполняемой врачом-офтальмологом. Связующим звеном программ обоих учебных заведения являются применение единой нормативной базы ИСО и ГОСТ и единый подход к проблеме работы за приборами. Освоение работы за приборами в Колледже заканчивается умением работать совместно с врачами-офтальмологами. В Университете с практического применения только начинается освоение композиции приборов и оптического расчета.

Особое внимание уделено самостоятельной работе студентов, которая составляет содержание лабораторных практикумов, семинаров, докладов на научных конференциях и выпускных квалификационных работ.

В Университете по программе «Эргономика зрительной деятельности» студенты выполняют следующие лабораторные работы: «Стандартизованные очковые линзы»; «Исследование цветового зрения»; «Аккомодометрия»; «Оптические имитаторы глаза»; «Исследование функций бинокулярного зрения»; «Биомикроскопия»; «Субъективная визометрия и рефрактометрия»; «Приборная офтальмометрия»; «Диоптриметр с аналоговым отсчетом». Содержание рефератов составляет характеристика ISO, ГОСТ, ГОСТ Р по направлению «Офтальмологическая оптика».

Приведем темы выпускных квалификационных работ (ВКР) в рамках бакалавриата: «Системы смены увеличений микроскопа со щелевой лампой»; «Разработка системы смены увеличений настольной фундус-камеры»; «Контактная офтальмологическая линза «Панфундоскоп»; «Моделирование оптической системы глаза в состоянии напряжения аккомодации»; «Ручная щелевая лампа с осветителем на основе оптического волокна»; «Расчет индивидуальных очковых линз»; «Офтальмоскоп прямого вида с осветителем на основе гибкого регулярного жгута оптических волокон».

По программе «Оптические офтальмологические приборы и системы» содержание лекционного материала образует 4 раздела: «Зрительный анализатор как оптическая система»; «Оптическая коррекция зрения»; «Линейка оптических офтальмологических приборов и составных систем»; «Компьютерные технологии в офтальмологии». Лабораторный практикум данной программы содержит работы: «Освоение теоретических основ правильного астигматизма»; «Большой безрефлексный офтальмоскоп»; «Ручной офтальмоскоп»; «Приборная рефрактометрия»; «Офтальмометр»; «Составная система биомикроофтальмоскопии»; «Проектор зрительных знаков»; «Компьютерное моделирование оптической системы глаза индивидуума»; «Проверка диоптриметра с аналоговым отсчетом»; «Составные оптические системы скиаскопии»; «Проекционный периметр». Темы рефератов в рамках магистратуры следующие: «Составные системы для исследования зрения на близком расстоянии»; «Энтоптические явления в зрительном анализаторе как основа оптических офтальмологических приборов»; «Компьютерный синдром»; «Приборное обеспечение функциональных методов лечения»; «Теоретические основы скиаскопии»; «Теоретические основы очковой коррекции»; «Приборное обеспечение офтальмоскопии»; «Стандартизованные интраокулярные, очковые линзы, контактные линзы»; «Линейки фундус-камер»; «Составные системы с контактными и бесконтактными офтальмологическими линзами»; «Композиции рабочего места врача-офтальмолога»; «Компьютерные модели «Схематический глаз» в пакете прикладных программ «ZEMAX», «OPAL»; «Компьютерное моделирование оптической системы глаза индивидуума с применением оптических офтальмологических приборов»; «Возможности оптимизации моделей глаза индивидуума»; «Использование компьютера в офтальмологической практике». Темы ВКР магистрантов следующие: «Разработка лабораторного стенда на базе патентно чистых вариантов оптической системы фундус-камеры»; «Создание базовых моделей «Схематический глаз по Гультранду» в пакете прикладных программ «OPAL», «ZEMAX»; «Формирование метрологической базы оптических систем объективной рефрактометрии»; «Передающий канал фундус-камеры»; «Анализ и композиция офтальмоскопических осветительных систем»; «Моделирование оптической системы глаза пресбиопии»; «Расчет и исследование составных оптических систем с офтальмологическими линзами»; «Осветительный канал фундус-камеры». Научно-методическая литература приводится в [1–4].

В Колледже по курсу «Офтальмодиагностические приборы» лабораторный практикум имеет следующее содержание: «Сравнительный анализ результатов исследования авторефрактометра и рефрактометра Хартингера»; «Освоение устройства и методики

исследования клинической рефракции глаза с помощью авторефкератометра»; «Ретиноскопия»; «Исследование бинокулярного зрения»; «Методика работы на щелевой лампе ЩЛ SM-4N»; «Таблицы и приборы для исследования цветовой чувствительности глаза»; «Проекционные периметры»; «Автоматический периметр»; «Методика работы на бесконтактном тонометре»; «Пахиметрия». На практике студенты Колледжа посещают медицинские организации для ознакомления с порядком диагностического обследования пациента. Темы рефератов следующие: «Обзор приборов для исследования внутриглазного давления»; «Обзор офтальмологических ультразвуковых приборов»; «Обзор приборов для исследования поля зрения»; «Гониоскопы и гониолизы»; «Методы исследования бинокулярного зрения» и некоторые другие.

По курсу «Технология изготовления средств коррекции зрения» студенты Колледжа выполняют следующие лабораторные работы: «Определение положения центра зрачка в проеме ободка подобранной оправы для изготовления очков с многофокальными линзами»; «Определение положения центра зрачка в проеме ободка подобранной оправы для изготовления очков с линзами асферического дизайна»; «Определение диаметра линзы при приеме заказа на очки с многофокальными линзами»; «Определение соответствия параметров многофокальных линз рецепту при комплектации заказа»; «Разметка бифокальных очковых линз по рецепту»; «Изготовление очков по рецепту»; «Определение соответствия готовых очков с линзами различных конструкций на соответствие рецепту и требованиям действующих стандартов»; «Окраска полимерных линз»; «Разметка стигматических очковых линз по рецепту». Темы ВКР следующие: «Особенности обследования пациентов с гиперметропией и методы коррекции»; «Особенности оптометрического обследования пациентов с кератоконусом»; «Использование микроскопа со щелевой лампой в работе медицинского оптика-оптометриста»; «Методы исследования контрастной чувствительности при заболевании зрительной системы»; «Анализ соответствия оснащения оптической мастерской современному технологическому уровню».

Содержание программ показывает, что Университет и Колледж готовят совместно специалистов для всех этапов разработки, изготовления, испытаний и эксплуатации оптических офтальмологических приборов. Подготовка квалифицированных медицинских оптиков-оптометристов в Колледже стимулирует постоянное освоение станочного парка и современного оборудования с целью изготовления средств коррекции зрения (рис. 2).

Научно-методическая литература приводится в [5, 6].



Рис. 2. Алгоритм изготовления очков на современном оборудовании

Таким образом, особенности преподавания общих и специальных дисциплин позволяют готовить специалистов разного уровня по направлениям 12.03.02 «Оптехника» (Университет), 34.02.01 «Медицинская оптика» (Колледж), что отражено в содержании

курсов лекций и лабораторных работ, презентаций, в выборе тем рефератов и выпускных работ. Комплексный подход к разработке научно-методической литературы на основе общей нормативной базы обеспечивает непрерывность и преемственность освоения образовательных программ. Содержание курсов офтальмологической оптики и в Университете и в Колледже достаточно тесно связано с последующей работой выпускников. Сильной стороной в образовательной системе Колледжа является постоянное повышение квалификации специалистов.

Литература

1. Черкасова Д.Н. Оптические офтальмологические приборы: учебн. пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2004. – 239 с.
2. Черкасова Д.Н., Бахолдин А.В. Оптические офтальмологические приборы и составные системы. Часть 1: учебное пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 159 с.
3. Черкасова Д.Н. Офтальмологическая оптика. Курс лекций. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2001. – 192 с.
4. Черкасова Д.Н., Бахолдин А.В. Лекции оптические офтальмологические приборы и системы (презентации) – 260 слайдов.
5. Гурьянова Т.М. Офтальмодиагностические приборы: учебн. пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2007. – 138 с.
6. Евлампьева Е.С. Офтальмодиагностические приборы: презентации (177 слайдов), технология изготовления очков (153 слайда), технология изготовления линз и оправ (121 слайд).

**Ежова Василиса Викторовна**

Год рождения: 1988

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики,

к.т.н., ассистент

e-mail: evv_foist@mail.ru

УДК 535.317

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ КВАЗИАПЛАНАТИЧЕСКОЙ
И КВАЗИАПЛАНАТИЧЕСКОЙ АХРОМАТИЧЕСКОЙ ЛИНЗ****Ежова В.В.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Андреев Л.Н.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617031 «Исследование и разработка методов и средств решения прикладных задач фотоники».

В работе рассмотрены квазиапланатическая и квазиапланатическая ахроматическая линзы. Для иллюстрации приведены оптические схемы и рекомендации по их расчету.

Ключевые слова: квазиапланатическая линза, aberrации.

Квазиапланатические линзы в отличие от апланатических менисков располагаются в параллельных пучках лучей, а сферическая aberrация и кома у них исправлена только в области Зейделя (в области aberrаций третьего порядка) [1–3].

В области Зейделя сферическая aberrация и кома для тонкой линзы определяются параметрами P и W .

Рассмотрим тонкую линзу с исправленной комой $W = 0$ (рис. 1).

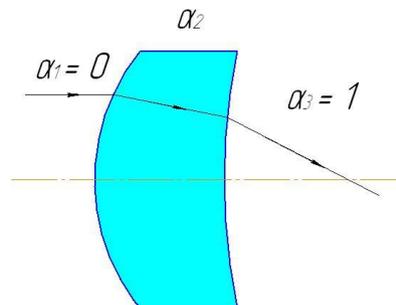


Рис. 1. Квазиапланатическая линза

Раскрывая выражения для параметра $W = \sum_1^2 \Delta\alpha \frac{1}{n} \frac{\Delta\alpha}{\Delta n}$ при условии $\alpha_1 = 0$, $\alpha' = 1$,

получаем:

$$W = \frac{n}{n-1} - \frac{n+1}{n-1} \alpha_2. \quad (1)$$

Приравняв $W = 0$, имеем:

$$\alpha_2 = \frac{n}{n+1}. \quad (2)$$

Далее по известной рекуррентной формуле $r = \frac{\Delta n}{\Delta \alpha n} h$ определяются радиусы поверхностей линзы:

$$r_1 = \frac{n^2 - 1}{n^2} f', \quad (3)$$

$$r_2 = \frac{n^2 - 1}{n^2 - n - 1} f'.$$

На рис. 2 приведен график зависимости параметра W от α_2 $W = f(\alpha_2, n)$.

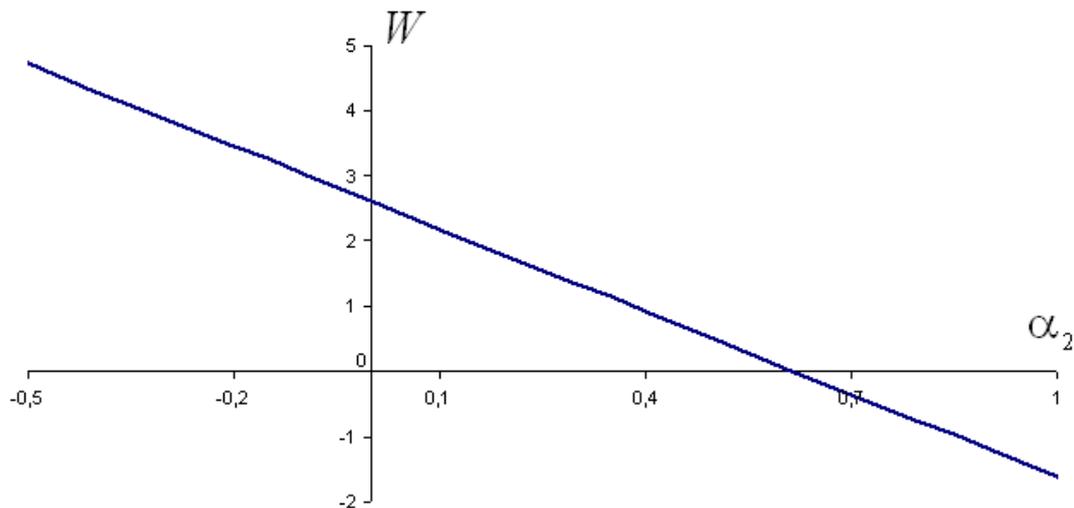


Рис. 2. График зависимости $W = f(\alpha_2, n)$

Из (1) следует, что при

$$\begin{aligned} \alpha_2 = 0: W &= \frac{n}{n-1}; \\ \alpha_2 = \frac{n}{n+1}: W &= 0; \\ \alpha_2 = 1: W &= -\frac{1}{n-1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Для коррекции сферической аберрации в квазиапланатической линзе необходимо выполнить первую сферическую поверхность асферической второго порядка с уравнением поверхности: $y^2 = 2r_0z + (1 - e^2)z^2$, где e^2 – квадрат эксцентриситета (рис. 3) [4].

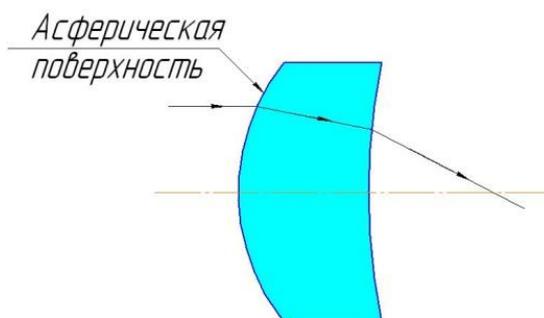


Рис. 3. Квазиапланатическая линза с асферической поверхностью

Варьируя значением параметра e^2 , добиваются $P = 0$.

Следует заметить, что e^2 не влияет на W .

В таблице приведены результаты расчета квазиапланатических линз из разных марок оптических стекол: ТК14 ($n = 1,6155$), СТК9 ($n = 1,7460$), СТФ2 ($n = 1,9554$) при следующих параметрах системы $f' = 100$ (мм), $D/f' = 1:2,5$.

Таблица 1. Результаты расчета квазиапланатических линз

| tgσ' | ТК14 | | СТК9 | | СТФ2 | |
|------|---------|--------|---------|--------|---------|-------|
| | Δy', мм | η, % | η, мм | η, % | Δy', мм | η, % |
| 0,20 | 0 | 0,014 | -0,0003 | -0,002 | 0 | 0,027 |
| 0,18 | 0,0013 | 0,006 | 0,0004 | -0,004 | 0,0003 | 0,019 |
| 0,14 | 0,0014 | 0 | 0,0006 | -0,004 | 0,0003 | 0,012 |
| 0,10 | 0,0007 | -0,001 | 0,0003 | -0,003 | 0,0001 | 0,006 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Из рассмотрения таблицы вытекает, что при увеличении показателя преломления материала линз, сферическая aberrация (Δy') уменьшается.

Для ахроматизации квазиапланатической линзы, ее следует выполнить двухсклеенной из хроматических пар стекол, у которых $n_1 \approx n_2$, $v_1 = v_2$ (рис. 4).

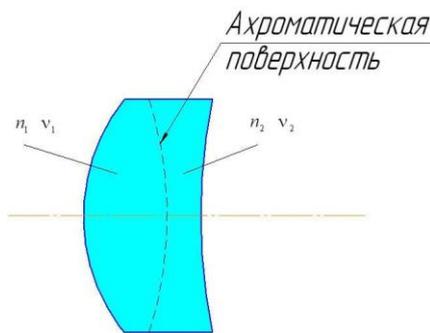


Рис. 4. Ахроматическая квазиапланатическая линза

Варьируя хроматическим радиусом, добиваются необходимой коррекции хроматизма.

Квазиапланатические линзы можно использовать в различных оптических системах:

- объектив для оптической записи и считывания информации $f' = 40$ (мм), $A = 0,40$ (рис. 5, а);
- высокоапертурный конденсор $f' = 30$ (мм), $A = 0,90$ (рис. 5, б);
- светосильный объектив $f' = 100$ (мм), $D/f' = 1:2,5$, $2\omega = 15^\circ$ (рис. 5, в).

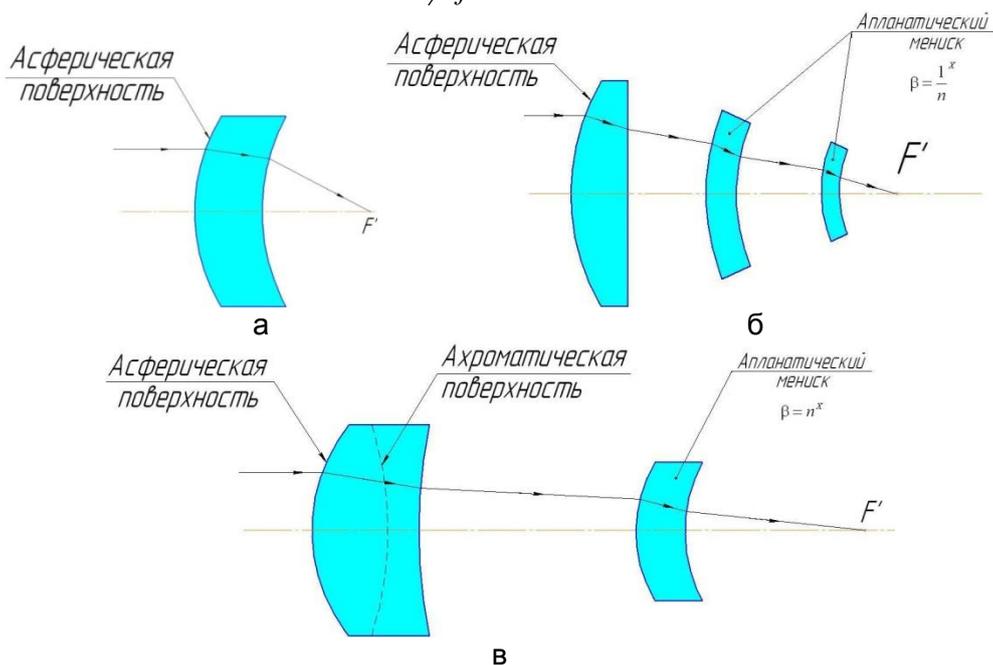


Рис. 5. Примеры оптических систем с квазиапланатическими линзами

Литература

1. Андреев Л.Н. Прикладная теория aberrаций. Учебное пособие. – СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 2002. – 98 с.
2. Андреев Л.Н., Ежова В.В. Прикладная теория aberrаций. Часть вторая. – Учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2011. – 52 с.
3. Андреев Л.Н., Ежова В.В., Дегтярева Г.С. Прикладная теория aberrаций. Часть третья. – Учебное пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 46 с.
4. Андреев Л.Н., Дегтярева Г.С. Патент РФ №156256, G02B 9/00 на полезную модель «Квазиапланатическая одиночная линза» от 25.03.2014.

**Кожина Анастасия Дмитриевна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики,
студент группы № В4101Направление подготовки: 12.04.02 – Прикладная оптика

e-mail: crensta@mail.ru

**Толстоба Надежда Дмитриевна**

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики,
к.т.н., доцент

e-mail: nadinet@mail.ru

**Романова Галина Эдуардовна**Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики,
к.т.н., доцент

e-mail: romanova_g_e@mail.ru

УДК 535.31**МЕТОДИКА РАБОТЫ С ПАРАМЕТРАМИ АСФЕРИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ В РАЗЛИЧНЫХ САЕ-СРЕДАХ
(ПРОГРАММАХ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ)****Кожина А.Д., Толстоба Н.Д., Романова Г.Э.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Толстоба Н.Д.**

В работе рассмотрены наиболее распространенные программы для инженерных расчетов в области оплотехники, разработаны методические указания, описаны приемы и возможности задания асферических поверхностей в программах ОПАЛ, САРО, ZEMAX. Особое внимание уделяется параметрам, необходимым для выполнения конструкторской документации.

Ключевые слова: асферические поверхности, САЕ-системы, системы автоматизированного проектирования, ОПАЛ, САРО, ZEMAX.

Известно, что асферические поверхности имеют ряд преимуществ перед сферическими поверхностями. Их используют для уменьшения габаритных размеров, числа компонентов и улучшения характеристик качества изображения оптической системы.

Асферическими называют все поверхности, форма которых отличается от сферы или плоскости [1]. Их традиционно делят на поверхности второго и высшего порядка. Асферические поверхности второго порядка в зависимости от вида кривой, которой они образованы, (значения эксцентриситета поверхности) подразделяют на осесимметричный эллипсоид ($0 < e^2 < 1$), сплюснутый сфероид ($e^2 < 0$), параболоид ($e^2 = 1$) или гиперболоид ($1 < e^2$). Сферическая поверхность является частным случаем асферической ($e^2 = 0$).

Существует несколько представлений уравнений асферических поверхностей. Рассмотрим некоторые из них:

1. полиномиальное уравнение [2, 3]

$$u = c_1 z + c_2 z^2 + c_3 z^3 + \dots c_n z^n, \quad (1)$$

где $u = x^2 + y^2$, c_1, c_2, c_3, \dots – коэффициенты асферической поверхности; при этом коэффициент c_1 в данном уравнении связан с радиусом кривизны r_0 при вершине поверхности: $c_1 = 2r_0$, коэффициент c_2 с квадратом эксцентриситета e^2 образующей кривой порядка: $c_2 = (e^2 - 1)$.

Для асферической поверхности второго порядка уравнение выглядит следующим образом:

$$u = 2r_0 z - (1 - e^2)z^2; \quad (2)$$

2. международное [3, 4]

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - r^2 c^2 (1+k)}} + b_1 r^1 + b_2 r^2 + \dots + b_n r^n, \quad (3)$$

где $c = \frac{1}{r_0}$ – кривизна поверхности при вершине; $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ – радиальная координата; b_1, b_2, \dots – коэффициенты асферической поверхности; $k = -e^2$ – коническая константа асферической поверхности.

Для случая асферической поверхности второго порядка, остается только первый член уравнения:

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - r^2 c^2 (1+k)}}. \quad (4)$$

Все системы инженерных расчетов по-разному описывают асферические поверхности. Эти различия основаны на традициях страны, языка программирования и особенностях первичного расчета оптической системы. Кроме того, значительные трудности возникают при переходе из одной САЕ-среды в другую. Довольно часто возникает необходимость проверить информацию патентов или чертежей.

Рассмотрим особенности трех наиболее распространенных в России программ инженерных расчетов для изображающей оптики.

1. ZEMAX [3]. В данном программном обеспечении возможен выбор типа поверхности и, соответственно, выбор типа уравнения, с помощью которого будет описана поверхность. Самый простой тип поверхности – это «Standard», уравнение для описания такого типа поверхности имеет вид (4). С его помощью можно задавать плоскость, сферу и асферику второго порядка. Для описания этой поверхности достаточно ввести радиус кривизны поверхности при вершине и коническую константу (рис. 1).

| Surf | Type | Comment | Radius | Thickness | Glass | Semi-Diameter | Conic | |
|------|----------|---------|-----------|-----------|-------|---------------|---------|--------|
| OBJ | Standard | | Infinity | Infinity | | Infinity | 0.000 | |
| STO | Standard | | Infinity | 0.000 | | 550.000 | 0.000 | |
| 2 | Standard | | -5742.000 | -2871.000 | M | MIRROR | 559.937 | -1.000 |
| IMA | Standard | | Infinity | - | | 1158.153 | 0.000 | |

Рис. 1. Программное обеспечение ZEMAX. Ввод данных для поверхности типа «Standard»

Для описания поверхностей высшего порядка в зависимости от количества используемых коэффициентов и четных/нечетных порядков используются типы поверхностей, представленные в таблице.

Таблица. Типы поверхностей для определения асферики высшего порядка

| | Количество коэффициентов асферики | |
|---------------------------|--|---|
| | 8 коэффициентов асферики | 240 коэффициентов асферики |
| Только четные порядки | Even Asphere $z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - r^2c^2(1+k)}} + \alpha_1r^2 + \alpha_2r^4 + \dots + \alpha_8r^{16}$ | Extended Asphere $z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - r^2c^2(1+k)}} + \sum_{i=1}^N \alpha_i r^{2i}$ |
| Четные и нечетные порядки | Odd Asphere $z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - r^2c^2(1+k)}} + b_1r^1 + b_2r^2 + \dots + b_8r^8$ | Extended Odd Asphere $z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - r^2c^2(1+k)}} + \sum_{i=1}^N \alpha_i r^i$ |

2. OPAL PC. В данном пакете программ для описания асферических поверхностей необходимо задать радиус кривизны, квадрат эксцентриситета и коэффициенты асферики (для уравнений высшего порядка) (рис. 2).

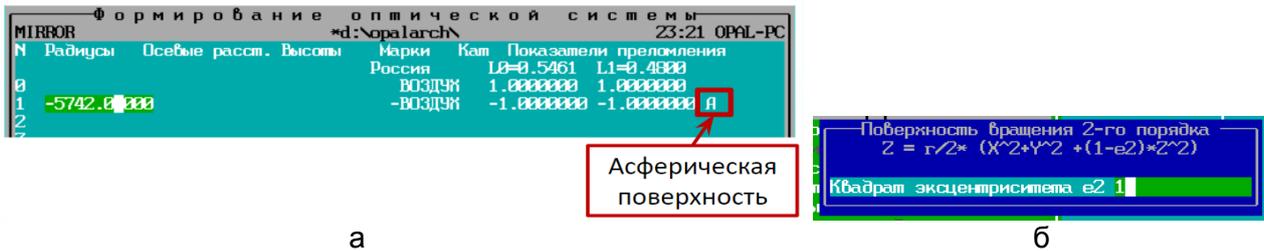


Рис. 2. Пакет программ ОПАЛ: конструктивные параметры (а); диалоговое окно ввода квадрата эксцентриситета для поверхности второго порядка (б)

Буква А в окне конструктивных параметров (рис. 2, а) показывает, что данная поверхность асферическая.

Для асферических поверхностей второго порядка в ОПАЛ используется уравнение:

$$z - r_0(x^2 + y^2 + (1 - e^2)z^2) = 0, \tag{5}$$

где r_0 – радиус кривизны при вершине поверхности; e^2 – квадрат эксцентриситета.

Для определения поверхностей вращения высшего порядка используются уравнения международного, полиномиального (для z и u) и универсального ОПАЛ типа.

Уравнение международного типа приведено выше (3).

Уравнение полиномиального типа в пакете программ ОПАЛ представлено в 2-х видах:

- тип Z представлен уравнением (1);
- тип U: $z = A_1u^2 + A_2u^4 + \dots + A_nu^{2n}$, где $u = x^2 + y^2$.

Уравнение универсального ОПАЛ образуется из уравнения второго порядка (5) с добавлением деформации высшего порядка: $z - r_0(x^2 + y^2 + (1 - e^2)z^2) - Q = 0$.

3. SAPO. В данном пакете программ для описания асферических поверхностей, в отличие от рассмотренных выше программ, для определения первых коэффициентов асферики вводятся не квадрат эксцентриситета и радиус кривизны, а сами коэффициенты асферики (рис. 3).

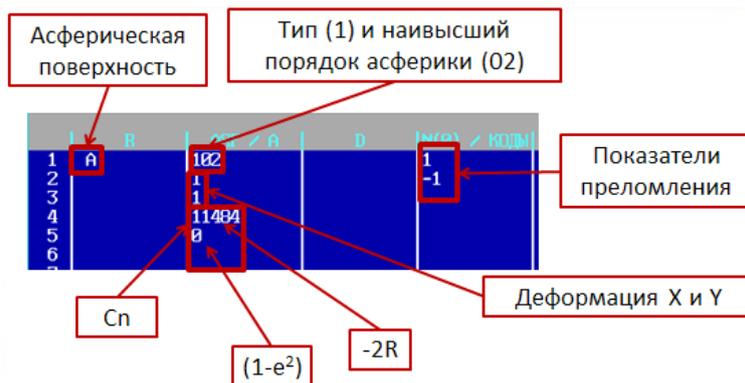


Рис. 3. Программный комплекс CAPO. Пример описания асферического зеркала

В пакете программ CAPO асферические поверхности задаются тремя типами уравнений.

Тип 1. $B \cdot y^2 + C \cdot x^2 + A_1 z + A_2 z^2 + A_3 z^3 + \dots + A_n z^n = 0$, где B и C – коэффициенты деформации при X и Y дают возможность описания тороидальных и цилиндрических поверхностей.

Тип 2. $z = A_1 t^2 + A_2 (t^2)^2 + A_3 (t^2)^3 + \dots + A_n (t^2)^n$, где $t^2 = x^2 + y^2$.

В случае если будут необходимы нечетные коэффициенты в уравнении типа 2, то используют уравнение типа 3.

Тип 3. $z = A_1 t + A_2 t^2 + A_3 t^3 + \dots + A_n t^n$.

В ходе работы были рассмотрены программы инженерных расчетов для изображающей оптики. Были приведены особенности описания асферических поверхностей в рассмотренных САЕ-системах. Программный комплекс ОПАЛ позволяет задавать асферические поверхности описанные уравнениями и полиномиального, и международного типов. Пакет программ CAPO позволяет задавать асферику полиномиальным уравнением. В программном обеспечении ZEMAX нельзя использовать полиномиальное уравнение. В нем используется уравнение международного типа.

Литература

1. Шрёдер Г., Трайбер Х. Техническая оптика. – М.: Техносфера, 2006. – 424 с.
2. Русинов М.М. Несферические поверхности в оптике: расчет, изготовление и контроль. – Изд. 4-е. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 296 с.
3. Родионов С.А., Шехонин А.А. Математические модели оптических поверхностей при автоматизированном проектировании // Изв. вузов. Приборостроение. – 1996. – Т. 39. – С. 99–103.
4. ZEMAX Optical Design program: User's Guide. – 2013. – 879 p.



Конева Татьяна Александровна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики,
студент группы № В4202

Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: takoneva@bk.ru



Романова Галина Эдуардовна

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики,

к.т.н., доцент

e-mail: romanova_g_e@mail.ru

УДК 535.317

РАЗРАБОТКА КОМПАКТНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОЧКОВ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Конева Т.А., Романова Г.Э.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Романова Г.Э.

В работе рассмотрены существующие методы реализации монокулярных оптических систем дополненной реальности. Выполнен габаритный расчет системы, а также предложено несколько вариантов оптических схем, выполнен их абберрационный расчет и анализ качества изображения.

Ключевые слова: дополненная реальность, очки дополненной реальности, расчет оптических систем, габаритный расчет.

В настоящее время все более популярными становятся системы дополненной реальности. В таких системах в качестве источника изображения используется микродисплей. Существуют различные пути реализации передачи изображения от микродисплея. Самый простой способ – использовать диагональное зеркало или призму (рис. 1, а). Однако в этом случае система будет иметь довольно большие габариты, а при разумных ограничениях на габариты может иметь умеренные размеры зрачковой зоны и углового поля зрения.

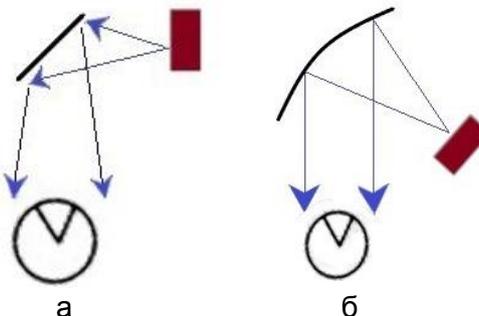


Рис. 1. Диагональное зеркало (а) и неплоское зеркало (б)

Для достижения большего угла поля зрения и обеспечения достаточного выноса зрачка часто используются неплоские зеркала (рис. 1, б), в том числе нецентрированные зеркальные поверхности и наклонное положение микродисплея по отношению к главному лучу. В такого рода схемах можно обеспечить несколько большие диаметр зрачка и угловое поле зрения при тех же размерах [1].

Некоторые компании используют оптические системы, работающие на явлении полного внутреннего отражения, рабочие оптические поверхности при этом могут быть свободной формы (рис. 2, а). Однако такая система может иметь достаточно большие габариты, объем и массу, поэтому она чаще используется не в массовом производстве, а для решения отдельных профессиональных задач, в том числе в исследовательских целях, для демонстрации принципиальных возможностей систем и т.п. В системах такого типа возможны большой диаметр зрачка и умеренное значение поля зрения.

Другие принципиальные схемы, на которых возможно построение систем дополненной реальности, приведены на рис. 2, б–г: волноводная схема (рис. 2, б), система на базе массива микропризм (рис. 2, в) или микрозеркал (рис. 2, г). Основное достоинство световодных и волноводных систем – небольшие габариты, позволяющие реализовать миниатюрные системы с достаточными характеристиками [2].

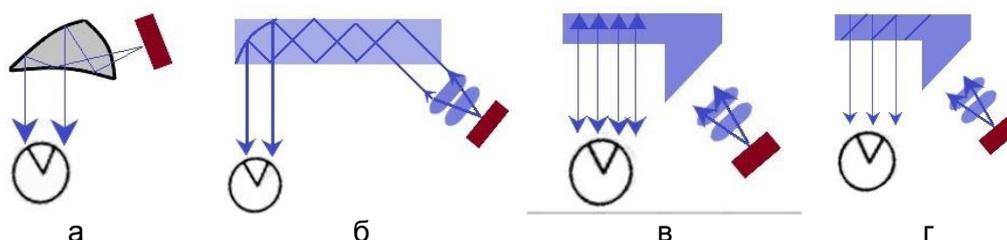


Рис. 2. Призма с поверхностями свободной формы (а); волновод (б); массив микропризм (в); массив микрозеркал (г)

Каждый из описанных выше подходов обладает как достоинствами, так и недостатками. Системы, представленные на рис. 1, не позволяют добиться требуемых характеристик поля зрения, а системы, представленные на рис. 2, достаточно сложны в производстве, что приведет к значительному удорожанию готового продукта. В связи с этим целью работы являлся анализ и разработка оптических схем очков дополненной реальности, обеспечивающих необходимые характеристики и позволяющие реализовать их в условиях российского производства.

Требования к оптической схеме очков дополненной реальности: диагональное поле зрения $2\omega \geq 20^\circ$, максимально возможный диаметр выходного зрачка (не менее 6–10 мм), угловой размер пикселя не должен превышать $1,5'$. Для использования в схеме выбран микродисплей фирмы Корин с разрешением экрана 640×480 пикселей, размером дисплея $7,2 \times 5,4$ мм (диагональ экрана $2y' = 9$ мм) [3]. Выбор микродисплея обоснован ограничениями по габаритам и требуемыми характеристиками. С учетом исходных данных фокусное расстояние системы:

$$f' = \frac{y'}{\operatorname{tg}\omega'} = 25,5 \text{ мм.} \quad (1)$$

Кроме того, фокусное расстояние системы определяет, будет ли пользователь системы различать пиксельную структуру изображения. Шаг пиксельной структуры выбранного дисплея составляет 11,25 мкм, тогда угловой размер пикселя для наблюдателя в пространстве глаза:

$$\psi = \frac{\operatorname{pix}}{f'} = 1,5'. \quad (2)$$

Таким образом, соблюдены требования по минимальному диагональному полю зрения и угловому размеру пикселя.

Все рассматриваемые схемы анализируются в обратном ходе лучей – от глаза наблюдателя к микродисплею, а качество изображения оценивается по размеру пятен рассеяния и функции передачи модуляции.

Один из возможных вариантов – схема с силовым зеркалом и двумя диагональными зеркалами (рис. 3). Такой вариант используется в очках Google Glass [4]. Несмотря на достаточно небольшие размеры пятен рассеяния, в такой схеме невозможно достичь

требуемых значений поля зрения ($2w=20^\circ$), так как невозможно разместить микродисплей, диагональное и силовое зеркала друг относительно друга. Для выбранного микродисплея данная схема работает до поля зрения $2w=15^\circ$. Фокусное расстояние при этом 38,25 мм. Достоинством однозеркальной системы является простая схема, обеспечивающая возможность разместить всю схему на оправе очков.

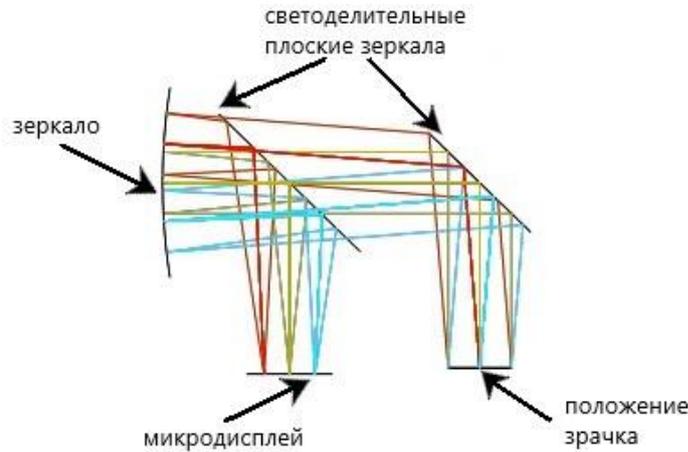


Рис. 3. Однозеркальный объектив

В простых схемах невозможно достижение требуемых значений характеристик, поэтому необходимо рассматривать более сложные схемы.

Один из рассмотренных вариантов – объектив на базе трехзеркальной системы (рис. 4) [5]: в стартовой системе, выбранной для дальнейшего расчета, одно из зеркал – плоское, первое и третье – представляют собой асферические зеркала. При этом поверхность может быть реализована как единый элемент, на одну часть которого нанесено светораспределительное покрытие, а на другую – зеркальное. Линзовая часть системы на рисунке показана идеальной тонкой линзой. Расчет ведется в обратном ходе для длины волны $\lambda=0,55$ мкм. Диагональное поле зрения $2w=20^\circ$. Диаметр входного зрачка $D=6$ мм. Фокусное расстояние системы 25,5 мм.

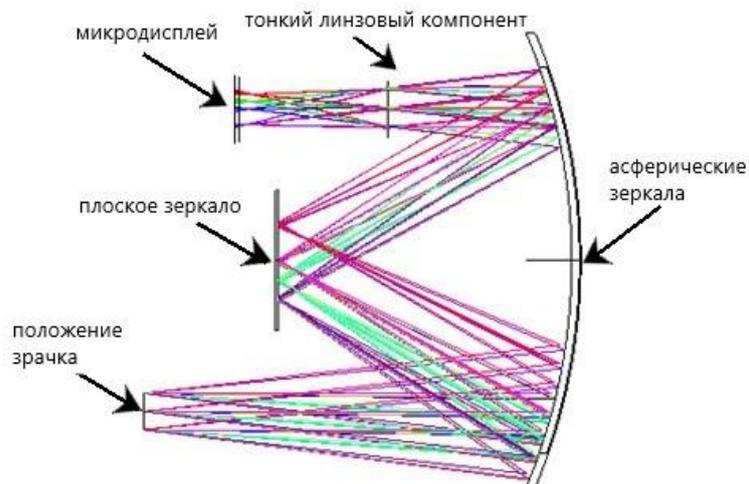


Рис. 4. Стартовая схема на базе трехзеркального объектива

Если использовать в качестве линзовой части двухлинзовую систему, то после автоматизированной коррекции можно получить систему, показанную на рис. 5, а. В качестве коррекционных параметров использовались радиусы кривизны всех поверхностей, коэффициенты асферических деформаций зеркал и поверхностей линзы. Однако качество изображения системы из-за недостаточно большого числа коррекционных параметров остается невысоким. Угловой размер пятна рассеяния на краю поля равен $14'$, функция передачи модуляции (ФПМ) показана на рис. 5, б.

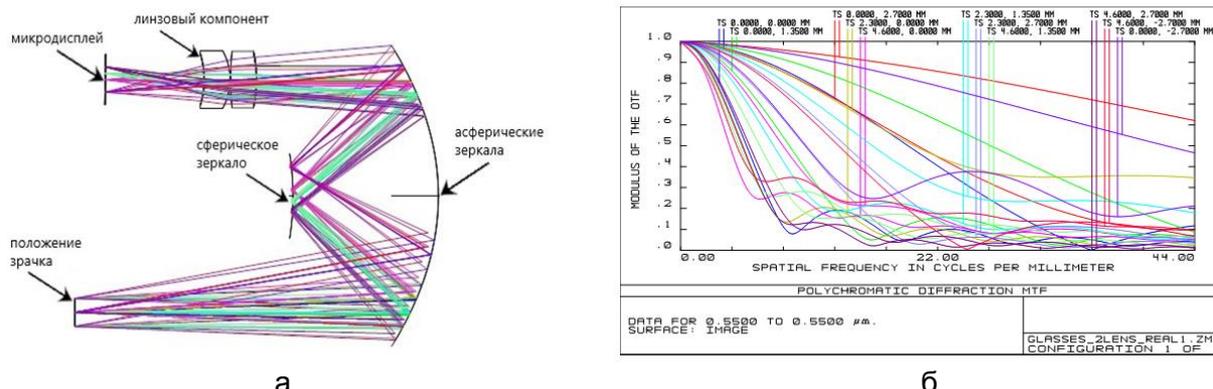


Рис. 5. Трехзеркальный объектив с двухлинзовым компонентом (а) и его ФПМ (б)

Усложнение линзовой части позволяет улучшить абберационную коррекцию системы. В системе, показанной на рис. 6, а, три линзы с двумя асферическими поверхностями, сферическое и асферические зеркала. К коррекционным параметрам добавлены наклоны линзовой части, плоского зеркала и микродисплея. Наклоны элементов не превышают нескольких градусов.

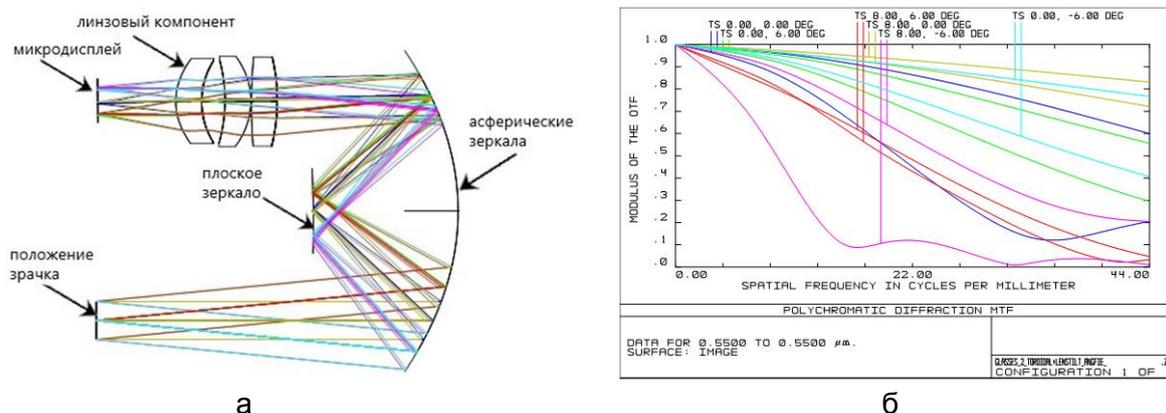


Рис. 6. Трехзеркальный объектив с трехлинзовым компонентом (а) и его ФПМ (б)

Контраст на частоте Найквиста для всех полей, кроме края, превышает 0,2 (рис. 6, б). Угловой размер пятна рассеяния меньше 7'. Дисторсия менее 10%, что позволяет исправлять ее цифровыми методами.

Система может служить стартовой точкой для дальнейшей оптимизации – подбора габаритов для размещения конструкции на оправе очков и дальнейшей коррекции качества изображения.

Литература

1. Kress B., Saeed I.E., Brac-de-la-Perriere V. The segmentation of the HMD market: optics for smart glasses, smart eyewear, AR and VR headsets // Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering. – 2014. – V. 9202. – P. 92020D-1–92020D-14.
2. Kress B., Starnier T. A review of head-mounted displays (hmd) technologies and applications for consumer elec-tronics // Proc. SPIE. – 2013. – V. 8720. – P. 87200A–87200A-13.
3. Commercials Displays [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kopin.com/offerings/products/displays/commercial-displays/default.aspx#VGA>, своб.
4. Method and apparatus for an ear-to-eye display: пат. 20130033756 США / Spitzer, Mark B., Miao Xiaoyu, Amirparviz Babak; заявитель и патентообладатель GOOGLEINC; заявл. 08.02.11; опубл. 02.07.13; приоритет 359/630, № 13/196212 (США).
5. Hoshi H., Taniguchi N., Morishima H., Akiyama T., Yamazaki S., Okuyama A. Off-axial HMD optical system consisting of aspherical surfaces without rotational symmetry // SPIE Proceedings. – 1996. – V. 2653. – P. 234–242.

**Лапкаев Игорь Владиславович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики,
студент группы № В4101Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: ilapkaev@gmail.com

**Ежова Василиса Викторовна**

Год рождения: 1988

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики,

к.т.н., ассистент

e-mail: evv_foist@mail.ru

**Жаров Дмитрий Дмитриевич**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
кафедра оптико-цифровых систем и технологий (базовая),
студент группы № Р4290Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: dmitry.zharov@gmail.com

**Злобин Дмитрий Александрович**

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики, тьютор

e-mail: di-zloba@yandex.ru

**Кожина Анастасия Дмитриевна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики,
студент группы № В4101Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: crensta@mail.ru

УДК 681.7**РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО ЭТАПА
ПО РАЗРАБОТКЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ БАЗИРОВАНИЯ
КОНТРОЛЬНЫХ ЗЕРКАЛ ДИАМЕТРОМ ДО ДВУХСОТ МИЛЛИМЕТРОВ**

Лапкаев И.В., Ежова В.В., Жаров Д.Д., Злобин Д.А., Кожина А.Д.

Научный руководитель – к.т.н., ассистент Ежова В.В.

Научный консультант – тьютор Злобин Д.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 417018 «Универсальный стенд для базирования контрольных зеркал диаметром до 200 мм».

В работе представлены технические характеристики универсального стенда для базирования контрольных зеркал. Разработана структурная схема стенда и показаны результаты патентного поиска.

Ключевые слова: зеркала, контроль поверхностей, позиционирование, оптические крепления, самоцентрирующийся держатель.

В различных областях гражданской и военной промышленности необходим контроль качества поверхности оптических элементов. Часто используется интерференционный метод контроля поверхности [1, 2]. Во избежание дополнительных ошибок (погрешностей) в контрольной схеме требуется располагать контрольное зеркало и исследуемую оптическую систему соосно. Для обеспечения необходимой соосности установка, содержащая контрольное зеркало, должна содержать подвижки.

Некоторые объекты контроля имеют свой диапазон перемещений при штатной работе. В таких случаях возникает необходимость контроля качества поверхности в крайних и промежуточных точках. По этой причине установка должна иметь возможность вращать и наклонять контрольное зеркало. Также для таких объектов возникает необходимость контроля качества поверхности в крайних и промежуточных точках.

Анализ принципа работы держателей-аналогов показал, что они не позволяют производить контроль оптических поверхностей объектов, имеющих диапазон перемещения, без выполнения дополнительных трудоемких операций. Также основным недостатком в работе таких держателей является смещение вершины контрольного зеркала от ее первоначального положения при наклоне зеркала в процессе юстировки схемы контроля. Данный недостаток приводит к дополнительным действиям в процессе юстировки (рис. 1).

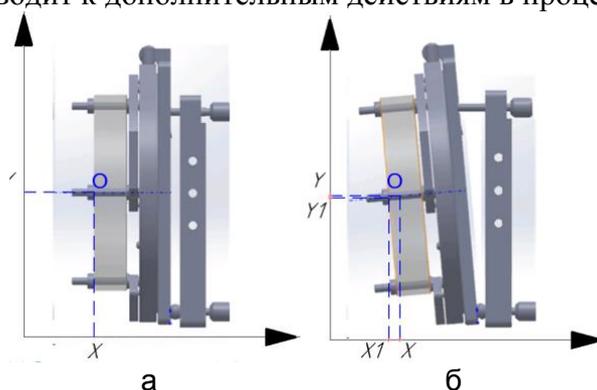


Рис. 1. Наклон оптического элемента в стендах-аналогах на примере Standa 5AM-100: начальное положение вершины зеркала (а); смещение вершины зеркала при наклоне (б)

Главное преимущество разрабатываемого стенда по сравнению с аналогами состоит в том, что при наклоне оправы вершина контрольного зеркала остается неподвижной. Это достигается путем совмещения осей поворота стенда с вершиной контрольного зеркала (рис. 2).

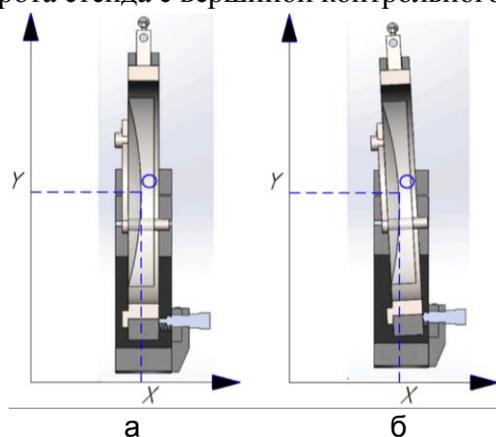


Рис. 2. Описание работы универсального стенда для базирования контрольных зеркал: начальное положение вершины зеркала (а); положение вершины зеркала при наклоне (б)

Также в совокупности с линейными перемещениями появляется возможность контроля динамических объектов в крайних или промежуточных точках без перебазирования станда.

Все эти преимущества экономят время юстировки контрольных схем и упрощают сам процесс контроля.

Разрабатываемый станд можно разделить на три основных функциональных устройства: систему линейных перемещений, систему угловых перемещений и самоцентрирующуюся оправу (рис. 3).

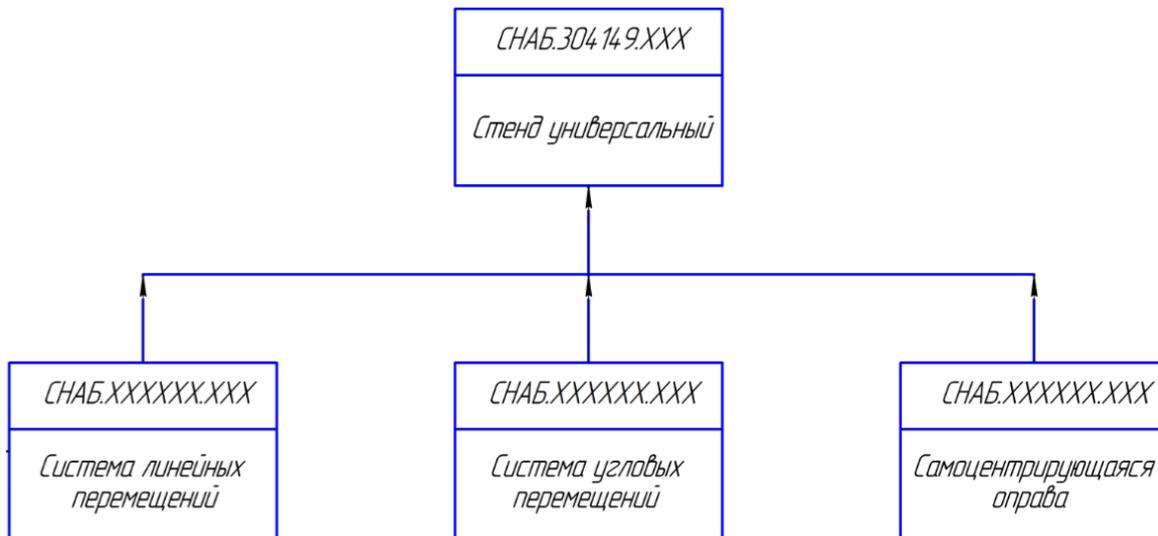


Рис. 3. Структурная схема разрабатываемого станда

Техническое задание на универсальный станд для базирования контрольных зеркал (УСБКЗ) содержит следующие требования:

- станд должен обеспечивать надежное закрепление зеркал диаметром до 200 мм и толщиной до 45 мм;
- самоцентрирующаяся оправка должна обеспечивать перемещение контрольного зеркала вдоль хода лучей в диапазоне ± 15 мм с погрешностью не более 5 мкм;
- основание УСБКЗ должно иметь регулируемые опоры для нивелирования неровности плоскости установки в диапазоне $\pm 5^\circ$ с погрешностью не более 5';
- для регулировки по осям XYZ оправка должна иметь диапазон перемещения по осям $XYZ \pm 5$ мм с погрешностью перемещения 10 мкм;
- для регулировки по углу оправка должна иметь диапазон вращения вокруг оси $Y \pm 3^\circ$, вокруг оси $Z \pm 10^\circ$ с погрешностью перемещения 5';
- габариты УСБКЗ не должны превышать $500 \times 500 \times 500$ мм, а масса 25 кг.

Патентные исследования проводились с целью выявления новизны и ближайших существующих аналогов, разрабатываемых универсальных стандов для базирования контрольных зеркал.

Патентное исследование проводилось в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96.

В результате патентных исследований выявлено 14 патентных документов, 7 из которых распространяются на территории Российской Федерации, 7 принадлежат иностранным организациям.

В результате исследования выявлены следующие организации, получившие патенты в исследуемой области:

- Открытое акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения» (ОАО «НПК «СПП») (RU, Российская Федерация);
- Открытое акционерное общество «Красногорский завод им. С.А. Зверева» (RU, Российская Федерация);

- Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» (Госкорпорация «Росатом») (RU, Российская Федерация);
- Федеральное государственное унитарное предприятие «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи» (ФГУП «РНИИРС») (RU, Российская Федерация);
- Институт прикладной физики РАН (RU, Российская Федерация);
- Sagem Defense Securite (FR, Франция);
- Newport Corporation (US, США);
- Thorlabs Inc. (US, США);
- Corning Incorporated (US, США);
- Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics the Chinese Academy of Sciences (CN, Китай).

Патентные исследования проводились с использованием базы данных федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам Российской Федерации [3], United States Patent and Trademark Office [4].

В результате патентного поиска аналогов разрабатываемого устройства не выявлено.

Литература

1. Русинов М.М. Несферические поверхности в оптике: расчет, изготовление и контроль. – Изд. 4-е. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 296 с.
2. Кирилловский В.К., Точилина Т.В. Методы исследования и контроля качества оптических систем. Учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 125 с.
3. Федеральный институт промышленной собственности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.FIPS.ru, своб.
4. United States Patent and Trademark Office [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.USPTO.gov, своб.

**Саминина Валерия Сергеевна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики,
студент группы № В4201Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: lera_saminina@mail.ru

**Толстоба Надежда Дмитриевна**

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики,
к.т.н., доцент

e-mail: nadinet@mail.ru

УДК 681.7.072.2

**РАЗРАБОТКА КРЕПЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ШЛЕМА
ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ****Саминина В.С., Толстоба Н.Д.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Толстоба Н.Д.**

В последние годы большую популярность набирают устройства виртуальной и дополненной реальности. Дополненная реальность – это технологии, которые позволяют внедрить в изображение реальных объектов различные объекты компьютерной графики. Работа посвящена разработке конструкции крепления оптической системы для создания макета шлема дополненной реальности. Представлены разработанные конструкции крепления линз и призмы.

Ключевые слова: дополненная реальность, шлем дополненной реальности, конструкция крепления.

Первый шлем дополненной реальности был разработан в 1968 году Айвеном Сазерлендом. Его вес был настолько большим, что он подвешивался к потолку. Сейчас устройства дополненной реальности применяются в самых различных сферах: образование, развлечения, медицина, реклама и военно-промышленный комплекс [1, 2].

Целью работы являлась разработка конструкции крепления оптической системы для создания макета шлема дополненной реальности с помощью 3D-печати. Для реализации дополненной реальности использовался объектив с плоским комбинером. Система рассчитана в обратном ходе (рис. 1), фокусное расстояние 25 мм, диаметр входного зрачка 7 мм. В качестве источника изображения использовался массив микрозеркал размером $6,6 \times 3,7 \text{ мм}^2$, размер элемента 10,8 мкм. Максимальный световой диаметр линз 18,6 мм. Для освещения дисплея в системах дополненной реальности использовались светоделительные призмы.

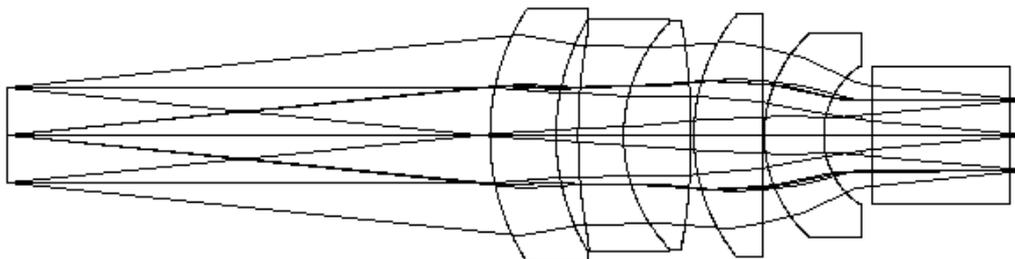


Рис. 1. Объектив системы дополненной реальности

Допуски на децентрировку линз превышают 10 мкм, это позволяет использовать насыпную конструкцию (рис. 2). Так как системы достаточно небольшие, для выдерживания необходимых воздушных промежутков требуются промежуточные кольца малой толщины.

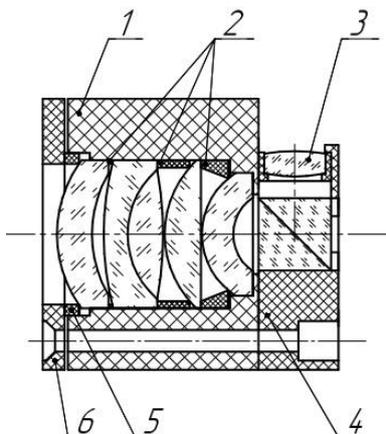


Рис. 2. Конструкция крепления оптической системы дополненной реальности: 1 – корпус; 2 – промежуточные кольца; 3 – линза для освещения дисплея; 4 – оправа для призмы; 5 – упорное кольцо; 6 – крышка

При разработке конструкции крепления встал вопрос об обеспечении соосности призмы и оптической системы. Для этого была разработана оправа, представленная на рис. 3. Конструкция представляет собой небольшой цилиндр с отверстием для призмы и пазом для крепления линзы, использующейся для освещения дисплея. Чтобы ограничить смещение призмы вдоль оси, с одной стороны предусмотрены опорные буртики. С другой стороны смещение призмы и линзы ограничивает тубус с линзами. Чтобы обеспечить силовое замыкание при неточном изготовлении деталей, корпус с линзами, крышка и оправа для призмы скрепляются болтами с гайками.

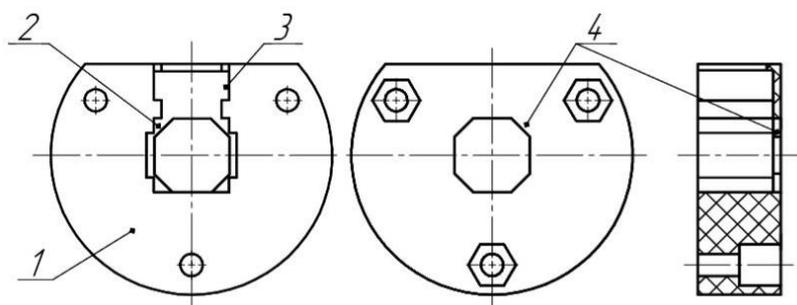
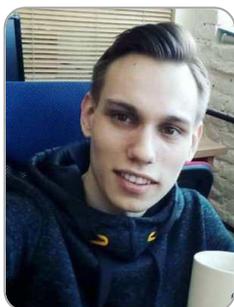


Рис. 3. Оправа для призмы: 1 – оправа; 2 – отверстие под призму; 3 – паз под линзу; 4 – опорные буртики

Разработанную конструкцию планировалось изготовить из пластика с помощью трехмерной печати. Так как коэффициент линейного расширения пластмассы значительно превышает коэффициенты линейного расширения используемых марок стекол, при большом изменении температур возможно как пережатие линз, приводящее к увеличению aberrаций, так и увеличение зазора, что приводит к большим децентрировкам [3]. Проведенные расчеты показали, что функционировать система будет при изменении температур $\Delta t=10^{\circ}\text{C}$. Несмотря на небольшой диапазон температур данную конструкцию можно использовать, так как она разработана для создания макета шлема дополненной реальности с целью проверить работоспособность оптической системы. Однако для производства рабочего образца или для серийного производства шлемов дополненной реальности с использованием данной оптической системы, для изготовления конструкции крепления целесообразно использовать металлы, например, сплав алюминия, у которого коэффициент линейного расширения в несколько раз меньше чем у ABS-пластика.

Литература

1. AR-жизнь: применение и перспективы дополненной реальности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dtf.ru/7800-ar-zhizn-primeneniye-i-perspektivy-dopolnennoy-realnosti>, своб.
2. Дополненная реальность в военно-промышленном комплексе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://robo-hunter.com/news/dopolnennaya-realnost-v-voenno-promishlennom-komplekse>, своб.
3. Иванов А.Н. Проектирование узлов оптико-электронных приборов. Методические указания к выполнению курсового проекта. Учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 72 с.



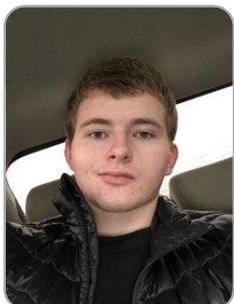
Белов Владислав Сергеевич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра световых технологий и оптоэлектроники,
студент группы № В4236

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

email: vladbelov@xaker.ru



Вимба Иван Александрович

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра световых технологий и оптоэлектроники,
студент группы № В4236

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

email: enrayman@gmail.com



Смирнов Юрий Юрьевич

Год рождения: 1987

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра световых технологий и оптоэлектроники,
к.т.н., доцент

email: yuri.smirnov@corp.ifmo.ru

УДК 621.397

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
АПАРТ-ЦЕНТРОВ**

Белов В.С., Вимба И.А., Смирнов Ю.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Смирнов Ю.Ю.

В работе рассмотрено создание типового шаблона разработки комплексной системы безопасности для апарт-центра, что обосновано ростом спроса на данный тип объектов, а также развивающимися средствами обеспечения безопасности.

Ключевые слова: апарт-центр, система безопасности, телевизионная система наблюдения, ТВСН, система охранной сигнализации, система пожарной безопасности, СКУД.

В последнее время все большую популярность на рынке приобретает недвижимость, имеющая статус апартаментов. Квартиры отличает от апартаментов ряд важных деталей. И если раньше апартаментами считались большие квартиры-студии, то сейчас этот вид жилья приобретает более точные правовые черты. По сути, это тот же отель, в котором можно купить номер с кухней, в стоимость которого входит отдельная инфраструктура. Здесь уже могут быть места для отдыха, фитнес-залы, рестораны и СПА, а также офисные помещения и конференц-залы. Апартаменты – это нежилые помещения, теоретически – это коммерческая недвижимость. Именно поэтому многие апарт-комплексы – это переоборудованные офисные здания. В Петербурге в районах, где застройка жилых объектов запрещена, вполне законно можно построить апартаменты и продавать их в качестве помещений для проживания. Прописка в апартаментах запрещена, поскольку апартаменты являются не жилыми помещениями, при этом временно зарегистрироваться в них можно.

Таким образом, главное различие апарт-центров и жилых домов в России – разный юридический статус. Статус нежилого помещения позволяет владельцам апарт-центров регистрировать юридические лица, что может быть удобным для компаний.

Апарт-центры можно назвать сложными объектами с точки зрения проектирования систем безопасности. Так как в данном типе строений может располагаться все, что угодно: начиная от складов, квартир и парковок, заканчивая магазинами, офисами и торговыми центрами. При этом систему безопасности нужно проектировать так, чтобы была возможность дальнейшего масштабирования.

Рассмотрим апарт-комплекс «Cruise Apart» (рис. 1) – комплекс апарт-апартаментов, строящийся в рамках проекта «Светлый мир «Я – Романтик» на Васильевском острове.



Рис. 1. Здание комплекса апарт-апартаментов «Cruise Apart»

Здание состоит из двух секций (18–19 этажей) внешне напоминающих корабль. В апарт-комплексе будет работать своя служба по содержанию помещений и сдаче в аренду. Также к услугам жильцов будет построено уютное кафе и ресторан с открытыми террасами и видами на Финский залив. Для любителей спорта доступен собственный фитнес-центр, расположенный в здании. Запроектирован трехэтажный торговый центр, общей площадью 6500 кв.м.

Мы можем сделать вывод, что объект имеет сложную структуру, и построение системы безопасности таит в себе много сложностей.

Проанализировав угрозы, выделяем основные из них: терроризм, промышленный шпионаж, кража имущества, телефонный терроризм, бытовые конфликты, поджог, природные катаклизмы. Далее определяем требования к системе безопасности: универсальность, эффективность системы для разного типа помещений, масштабируемость, возможность расширения системы, если этого потребует новый владелец/арендатор помещения, соответствие правовым нормам, стабильность работы. Так как выход из строя части системы безопасности может нарушить работу всей системы, поэтому важно обеспечить надежность функционирования каждого отдельного элемента. Также ввиду сложности системы необходимо оптимизировать методы управления системой, а также методы ее контроля.

Основной особенностью с точки зрения права является то, что апарт-апартаменты имеют статус «нежилого помещения», поэтому нормы и ограничения жилых помещений к данному типу строений не применимы. Отсюда следует несколько важных особенностей: отсутствие постоянной прописки у жильцов (постоянное изменение контингента лиц, находящихся на территории комплекса), также не действуют нормы, регулирующие режим жизни в жилых помещениях, в том числе «закон о тишине» (возможен шум и конфликты на его почве). Помимо всего прочего, застройщик не обязан благоустраивать прилегающую территорию.

На основании вышеизложенного следует особое внимание уделить специфическим для апарт-центров угрозам, таким как: угрозы здоровью жильцов (правовая незащищенность по части ненормированного шума), повышенная вероятность бытовых конфликтов, возможность несанкционированного проникновения, а также действий преступников, ввиду постоянного изменения контингента посетителей.

Среди методов предотвращения шума можем выделить активное шумоподавление – с помощью микрофонов и датчиков вибрации она определяет «излишний» шум и гул, и успешно фильтрует их, выдавая внутрь помещения звук в противофазе. Находится на стадии разработки. Шумоизоляция – консервативное решение, которое приведет к уменьшению полезной площади помещений, а также к росту стоимости имущества. Датчики шума – гораздо более простое и эффективное решение, после преодоления определенного шумового порога датчик передает сигнал на пункт охраны, далее вопрос повышенного шума может быть решен административными мерами.

Среди методов предотвращения бытовых конфликтов выделяется видеоаналитика в трех пунктах, детектирование антисоциального поведения происходит по следующему алгоритму:

- анализируется история движения объектов (людей) и определяется общий уровень движения;
- выявляются всплески и неравномерности в движении, определяется быстрое движение (бег);
- на основе собранной статистики выносятся решение о наличии нестандартного поведения.

Целесообразнее всего будет использовать систему IP-видеонаблюдения [1], ввиду ее легкой масштабируемости, что указано среди основных требований. Схема расстановки камер для типового этажа 2 корпуса объекта представлена на рис. 2 [2].

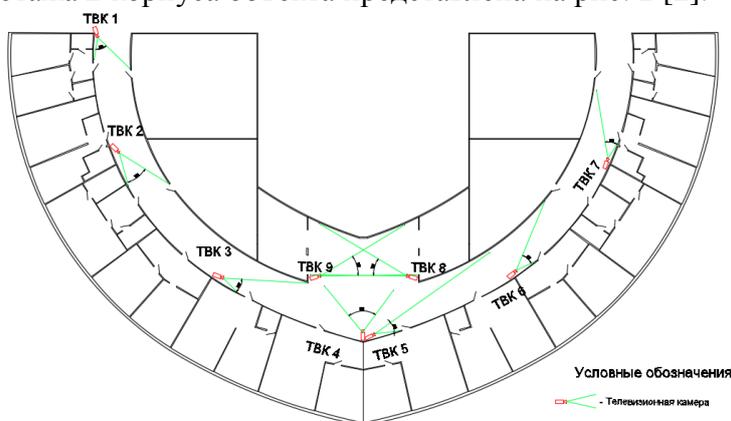


Рис. 2. Схема расстановки камер для типового этажа 2 корпуса здания «Cruise Apart»

Также может быть увеличено количества операторов за мониторами на пункте охраны. Среди недостатков можно отметить дополнительные ежемесячные затраты и повышенную вероятность отсутствия реагирования на ситуацию из-за человеческого фактора.

Методы предотвращения несанкционированного проникновения. Среди них перспективными для апарт-центров являются: внедрение системы контроля и управления доступом (СКУД) (введение ограниченного доступа на территорию объекта: установить пункт охраны на входе и домофон, с помощью охранной сигнализации); установка комбинированных датчиков движения по периметру здания у потенциально возможных мест несанкционированного проникновения; с помощью видеонаблюдения: установка на всех входах и потенциальных местах несанкционированного проникновения камер с высокой разрешающей способностью (не меньше 250 рх/метр) [3]. При этом должна выполняться задача идентификации всех людей, входящих в здание. Также необходима установка уличных камер по наружному периметру здания.

В работе были рассмотрены особенности проектирования системы безопасности апартаментов, а также представлены возможные универсальные решения для предотвращения угроз, свойственных данному типу объектов.

Литература

1. Лыткин А. IP-Видеонаблюдение. – Авторская книга, 2011. – 199 с.
2. Волхонский В.В. Некоторые особенности выбора положения и ориентации телевизионных камер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://algoritm.org/arch/11_3/11_3_17.pdf, своб.
3. Волхонский В.В. Критерии выбора разрешающей способности телевизионных систем // PROSystem CCTV. – 2009. – № 2(38). – С. 60–64.



Егорова Анастасия Михайловна

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра световых технологий и оптоэлектроники,
студент группы № В4236

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

email: nastya.e.638@gmail.com



Чеколовец Артем Сергеевич

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра световых технологий и оптоэлектроники,
студент группы № В4236

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

email: chekolovec@gmail.com



Смирнов Юрий Юрьевич

Год рождения: 1987

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра световых технологий и оптоэлектроники,
к.т.н., доцент

email: yuri.smirnov@corp.ifmo.ru

УДК 57.087.1

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ЛИЧНОСТИ В МЕСТАХ МАССОВОГО СКОПЛЕНИЯ ЛЮДЕЙ**

Егорова А.М., Чеколовец А.С., Смирнов Ю.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Смирнов Ю.Ю.

В работе был составлен обзор по системам биометрии и алгоритмам анализа и определен алгоритм, который наиболее эффективен в системах биометрии в местах с большим скоплением людей. Рассмотрены разработанные архитектуры высокопроизводительных систем передачи и обработки данных и определена архитектура, которая наилучшим образом будет отвечать нашим требованиям.

Ключевые слова: биометрия, системы биометрической идентификации, идентификация.

На данный момент в мире в связи с деятельностью различных террористических, экстремистских организаций растет опасность совершения терактов в местах массового скопления людей. Преступники ставят своей целью создание атмосферы страха в обществе, дискредитацию деятельности государственных структур и органов власти различных уровней, создание в обществе обстановки нетерпимости и подозрительности. Теракты, производящиеся различными методами, как нельзя лучше отвечают требованиям террористов как средство достижения целей.

В связи с этим системы, автоматически анализирующие биометрические характеристики человека в потоке людей в реальном времени и сверяющие их с базой данных преступников, получают все большее распространение.

Таким образом, в данной работе были поставлены следующие задачи: анализ разработанных алгоритмов идентификации человека по изображению его лица, определение

наиболее эффективного алгоритма с точки зрения применения для идентификации личностей в массовом потоке людей, анализ дальнейшего развития систем идентификации личности, разработка типовых решений систем идентификации в местах массовых скоплений людей.

В самом общем случае алгоритм решения задачи обнаружения и идентификации человека по изображению его лица состоит из следующих шагов: обнаружение факта присутствия человека на анализируемой сцене, выделение фигуры человека, выделение головы, определение ракурса наблюдения головы (анфас, профиль), выделение лица, сравнение с эталонами и идентификация [1].

При всем многообразии различных алгоритмов и методов распознавания изображений, метод распознавания состоит из трех основных компонент:

- преобразование исходного изображения в стандартное представление;
- выделение ключевых характеристик;
- механизм классификации (моделирования): кластерная модель, метрика, нейронная сеть и т.п.

Среди алгоритмов распознавания изображений можно выделить следующие: метод главных компонент, линейный дискриминантный анализ, синтез объектов линейных классов, гибкие контурные модели лица, сравнение эластичных графов, методы, основанные на геометрических характеристиках лица, сравнение шаблонов, скрытые марковские модели, многослойные нейронные сети, сети габоровых вейвлетов, нейронные сети Хопфилда.

Проанализировав вышеуказанные алгоритмы, можно сделать вывод, что использование методов, основанных на геометрических характеристиках лица, а также метод сравнения шаблонов, налагают повышенные требования на ракурс, в котором регистрируется лицо человека, а также требуют больших вычислительных мощностей. Методы на основе нейронных сетей имеют проблемы математического характера, связанные с обучением: попадание в локальный оптимум, выбор оптимального шага оптимизации, переобучение и т.д. Трудно формализуется этап выбора архитектуры сети (количество нейронов, слоев, характер связей). Обобщая вышесказанное, можно заключить, для скрытых марковских моделей необходимо подбирать параметры модели для каждой базы данных, что усложняет его применение. Наиболее проработанными методами являются метод главных компонент, использование его также рационально с точки зрения необходимой вычислительной мощности, и методы на основе нейронных сетей, которые постоянно развиваются и также очень перспективны.

Для повышения эффективности идентификации к системе также необходимо применять следующие требования:

- распознавание людей, лица которых фиксируются под различными углами, в различных ракурсах;
- возможность отсева шумов для более точной идентификации, очков, головных уборов и т.д.;
- высокое разрешение используемого видеоборудования.

Для анализа картинки с множества камер требуют для своей работы высокопроизводительные системы передачи и обработки данных. Используют для анализа специальное программное обеспечение. На данный момент разработаны несколько прототипов систем, и также освоено их производство – монтаж и обслуживание. Данные системы имеют широкое внедрение [2].

Для дальнейшего развития и внедрения систем на таких объектах как метро, наземный транспорт, бизнес-центры и т.д. потребуется существенное увеличение производительности систем биометрии и передачи данных, и анализ их работы. Серьезной проблемой, стоящей перед системами, является большая изменчивость визуальных образов, связанная с изменениями освещенности, окраски, масштабов, ракурсов наблюдения. Цвет и яркость отдельных пикселей на изображении также зависит от большого количества трудно

прогнозируемых факторов. В число этих факторов входят: число и расположение источников света, цвет и интенсивность излучения, тени или отражение от окружающих объектов.

Системе биометрического контроля с сотнями и тысячами видеочамер требуется высокопроизводительная коммутируемая сетевая архитектура, которая должна работать в реальном времени, должна иметь достаточную пропускную способность на уровне нескольких десятков гигабайт в секунду для передачи и обработки данных, она должна быть достаточно энергоэффективной, должна поддерживать передачу данных на расстоянии 1–10 км. Данным требованиям лучшим образом отвечает архитектура FDR InfiniBand [3].

Отличительные особенности технологии FDR InfiniBand в том, что по сравнению с предыдущими поколениями InfiniBand показатели параметров Link speed и Link были увеличены, что позволило повысить эффективность передачи данных и подключения устройств хранения.

В данной работе рассмотрены учреждения культуры, в частности, театры. При разработке системы биометрической идентификации нужно учитывать особенности помещений. Как правило, такого типа здания относятся к культурному наследию и памятникам архитектуры, помещения имеют большие открытые пространства, стены со сложной структурой и высокими потолками, а также имеют ограниченное количество запасных выходов и узкие проходы. Из этого следует возникновение различных угроз: криминальная (кража), террористическая, вандализм (порча имущества), пожар.

На основе анализа типов угроз и современного состояния систем безопасности для учреждений культуры отмечаем недостаточное применение систем безопасности всех типов с учетом современных угроз. Для решения этого предлагается внедрить автоматические системы биометрической идентификации посетителей, увеличить численность сотрудников охраны или создание подразделений охраны, а также разработать планы действий на случай различных чрезвычайных ситуаций (ЧС), создание таких планов на еще не рассмотренные потенциальные ЧС и создание информационных стендов и других источников информирования посетителей при отсутствии таковых.

Авторами были предложены типовые решения:

- на рисунке, а, посетители идентифицируются при входе. Так как камеры направлены на терминалы, через которые проходят по одному, в кадре будет всегда находиться один человек, что увеличит вероятность идентификации;
- на рисунке, б, изображена установка камер по краям, таким образом, чтобы избежать загромождения и, следовательно, большей вероятности идентификации;
- на рисунке, в, изображены камеры, установленные над сценой, направленные на места.

Каждая камера направлена на свою зону, в которой идентифицирует в партере.

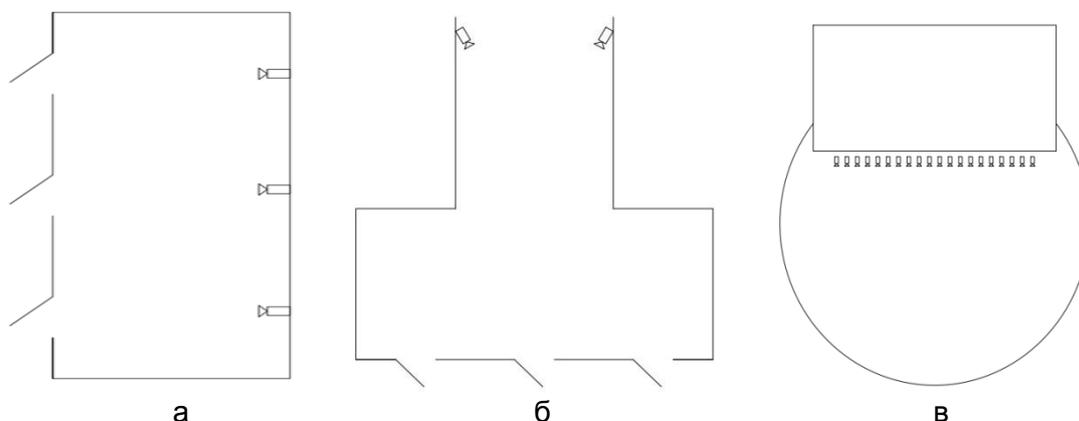


Рисунок. Типовые решения обеспечения безопасности театральные учреждений: на входе (а); проходы (б); на сцене (в)

На основе результатов исследования можно заключить, что метод главных компонент является оптимальным для применения в системах идентификации людей в местах

массового скопления людей, большие возможности дает метод на основе нейронных сетей, хотя налагает повышенные требования на вычислительную архитектуру. Дальнейшее активное внедрение высокопроизводительных систем биометрической безопасности потребует роста вычислительной мощности систем обработки данных, для реализации данной задачи оптимально применять архитектуру FDR InfiniBand.

Литература

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/126144/>, своб.
2. Бойко А.А., Милевская Ю.С. Обзор биометрических систем безопасности. Применение биометрических систем контроля доступа в деятельности сотрудников органов внутренних дел // Вестник Московского университета МВД России. – 2017. – № 5. – С. 291–293.
3. Егорова А.М., Чеколовец А.С., Вимба И.А., Белов В.С., Смирнов Ю.Ю. Моделирование высокопроизводительной сетевой инфраструктуры обработки данных биометрических систем безопасности // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/5319/5319.pdf>, своб.



Самохин Никита Юрьевич

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,
кафедра сетевых и облачных технологий, аспирант

Направление подготовки: 11.06.01 – Электроника, радиотехника
и системы связи

e-mail: samon@corp.ifmo.ru



Булькина Анастасия Борисовна

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение,
оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: a.bulykina@mail.ru



Ахмедзянова Регина Радиковна

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,
кафедра сетевых и облачных технологий, аспирант

Направление подготовки: 11.06.01 – Электроника, радиотехника
и системы связи

e-mail: regina.ahm@mail.ru

УДК 004.75

**ДАННЫЕ ПО УТИЛИЗАЦИИ РЕСУРСОВ ВИРТУАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.
ЗАПРОСЫ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ОЧЕРЕДЕЙ СООБЩЕНИЙ**

Самохин Н.Ю., Булькина А.Б., Ахмедзянова Р.Р.

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Хоружников С.Э.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России (Договор № 03.G25.31.0229).

Центр обработки данных – совокупность серверного/сетевое оборудования, предназначен для обработки, хранения и распространения информации. Виртуализация – это предоставление вычислительных ресурсов на основе аппаратного обеспечения при изоляции от последнего. Независимо от типа используемой инфраструктуры должен осуществляться мониторинг состояния, а также утилизации ресурсов. При отсутствии доступа к фронт-энду системы мониторинга по различным причинам должен осуществляться доступ другими способами, в том числе по API. Общение между пользователем и системой мониторинга должно быть асинхронно в рамках диалога запрос-ответ. Предлагается реализовать асинхронность диалога с помощью использования технологии очередей и брокера сообщений.

Ключевые слова: ЦОД, виртуализация, мониторинг, биллинг, очереди сообщений, Zabbix, RabbitMQ.

На сегодняшний день ЦОД (Центр обработки данных), как правило, исполняет свои основные функции в интересах корпоративных клиентов – обычно он ориентирован на предоставление сервисов и услуг ради решения бизнес-задач. Тем не менее, использование ЦОД в определенных моментах можно расценить как риск в виде возникновения единичных

точек отказа. Как минимум по этой причине вся инфраструктура должна быть подключена к системе мониторинга (СМ). Использование СМ предоставляет целый ряд возможностей, из которых стоит выделить мониторинг состояния системы, мониторинг утилизации ресурсов и биллинг. Биллинг является одним из важных компонентов системы в рамках предоставления ресурсов ЦОД в качестве услуги. Таким образом, биллинг позволяет оценить предоставляемые клиенту и им потребляемые ресурсы в денежном эквиваленте.

Главная цель, преследуемая данной работой – разработать и предложить метод предоставления данных для биллинга с помощью запроса к системе мониторинга в асинхронном режиме.

Асинхронный режим предполагает отсутствие зависимости состояний пользователя и СМ друг от друга. Таким образом, отправитель запроса не обязан поддерживать сессию и ожидать ответа от СМ после того, как запрос был сделан. Запрос информации по утилизации ресурсов ЦОД может обрабатываться продолжительное время, в зависимости, например, от интересующего пользователя диапазона дат. В качестве известного примера подобной модели на рис. 1 представляется запрос детализации биллинга у сотового оператора.

[Меню Личного кабинета](#) / [Счет](#) / [Заказанные документы](#)

Заказанные документы

Если у Вас возникли вопросы по расшифровке детализации, смотрите [здесь](#)

В данном разделе вы можете просмотреть документы, ранее заказанные со способом доставки «в Личный кабинет».

Обращаем Ваше внимание, что заказанные документы будут доступны в Личном кабинете в течение 17 дней с момента заказа для просмотра и сохранения на Вашем компьютере.

| Документ | Формат | Дата заказа ↑ | Размер |
|---|------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Детализация разговоров за период с 14.02.2018 по 14.03.2018 | XML | 14.03.2018 21:57 | 145,75 КБ |

Рис. 1. Запрошенная детализация разговоров в личном кабинете МТС

Разработка. Для реализации упомянутой модели предлагается разработать специальный агент, призванный находиться в состоянии ожидания, который будет обрабатывать поступивший от пользователя запрос, отправлять его системе мониторинга и обрабатывать поступивший ответ. Пользователь может получить ответ на искомый запрос в любом удобном для него виде; в рамках данной модели предлагается использовать базу данных (БД) для хранения запросов и ответов. Для общения между пользователем и СМ предлагается использовать систему сообщений.

Используемый в работе инструментарий:

- система мониторинга Zabbix [1], ввиду ее гибкости, отличной масштабируемости и удобству работы с API;
- система сообщений и очередей RabbitMQ [2];
- язык программирования Python для реализации функций агента.

На рис. 2 представлена примерная схема связи компонентов разрабатываемой системы.

Тестирование разработанного метода производилось в условиях виртуальной инфраструктуры (т.е. с использованием виртуальных машин). Тем не менее, использование

метода вполне оправдано в любой среде, подключенной к системе мониторинга. Блок `sm_request` обозначает тестовую программу, имитирующую пользователя, отправляющего запрос. Блок `sm_main` обозначает ядро разработанного агента, которое принимает запрос, обрабатывает его, пересылает СМ, получает ответ, записывает ответ в БД и отправляет пользователю ответ на его запрос в виде ссылки на запись в БД. Предполагается, что у пользователя есть права на чтение в упомянутой БД.

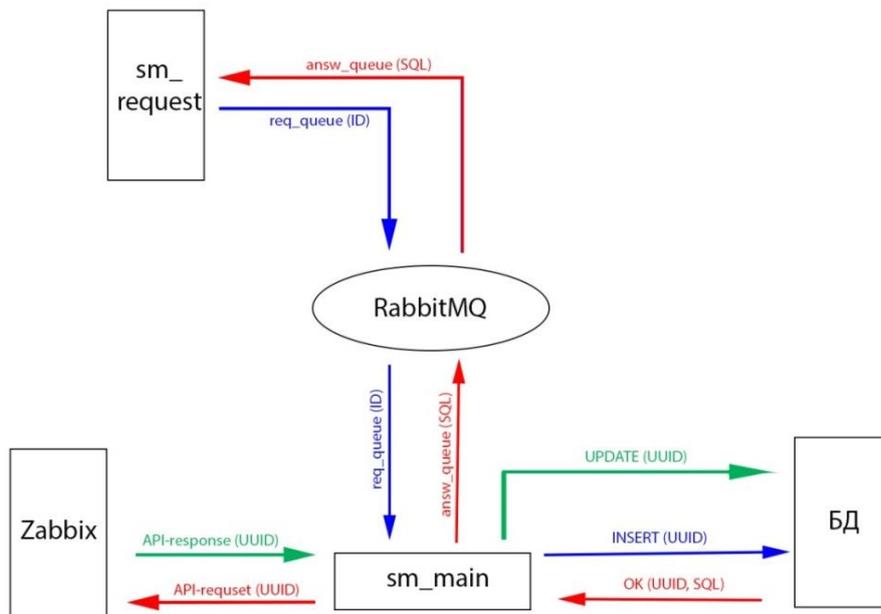
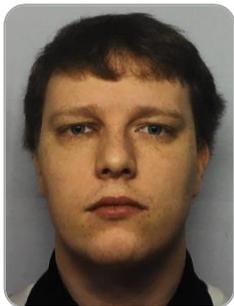


Рис. 2. Общая схема разработанной системы обмена сообщениями по запросу

Данная работа представляет собой краткий обзор варианта реализации асинхронного общения между пользователем и системой мониторинга для различных нужд, в том числе для биллинга. Предложенный вариант исключает ожидания ответа со стороны пользователя благодаря использованию технологии очередей сообщений и «прослойки» в виде агента. Агент работает с пользователем, системой мониторинга и базой данных, в которой фиксируются все запросы и ответы.

Литература

1. Zabbix 3.4 Documentation. API [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.zabbix.com/documentation/3.4/manual/api>, своб.
2. Introduction to RabbitMQ. Tutorial [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rabbitmq.com/tutorials/tutorial-one-python.html>, своб.

**Соколовский Андрей Сергеевич**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра современных функциональных материалов, аспирантНаправление подготовки: 03.06.01 – Физика и астрономия

e-mail: sokolovskiy.a.s@niuitmo.ru

УДК 539.21

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА АВТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ GaP НИТЕВИДНЫХ
НАНОКРИСТАЛЛОВ****Соколовский А.С.****Научный руководитель – д.ф.-м.н. Дубровский В.Г.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617031 «Исследование и разработка методов и средств решения прикладных задач фотоники».

Были выращены самокаталитические GaP нитевидные нанокристаллы на кремниевой подложке методом молекулярно-пучковой эпитаксии. При росте изменялось значение отношения потока элементов группы V к потоку элементов группы III, что позволило управлять морфологией нитевидных нанокристаллов от расширяющейся к сужающейся. В работе продемонстрирована возможность управлять морфологией за счет изменения отношения потоков, также возможность роста тонких нитевидных нанокристаллов со стационарным радиусом 12 нм, с последующим встраиванием квантовых точек.

Ключевые слова: нитевидные нанокристаллы, автокаталитический рост.

В последнее время нитевидные нанокристаллы (ННК) из различных полупроводниковых материалов привлекают большое внимание из-за их важности для наноразмерной электроники и фотоники. Традиционно ННК растут по методу «пар-жидкость-кристалл» (ПЖК) с использованием металлической затравочной капли, чаще всего Au, осажденной на кремневую или III-V подложку. Использование подобных капель удобно при контроле состава и строения ННК, однако, это приводит к некоторым проблемам, например, несовместимости Au и Si из-за образования глубоких дефектов, а также включения золота в состав ННК, что уменьшает время жизни носителей заряда. При так называемом автокаталитическом режиме роста III-V ННК по механизму ПЖК, вместо золота используются металлические капли группы III, одного из элементов ННК. Автокаталитический рост III-V ННК позволяет не только избежать нежелательного загрязнения, но и достичь превосходной чистоты кристаллической фазы [1] и высокой степени однородности ансамблей ННК по радиусу [2] и длине [3]. Изначально разработанный метод роста GaAs ННК – молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ), на данный момент широко используется для роста автокаталитических ННК групп III-V из других элементов, например, GaP.

В работе [4] проведен эксперимент по росту автокаталитических GaP ННК при различных отношениях потоков V/III: при V/III=1 морфология ННК неограниченно расширяющаяся, при V/III=3 практически прямая и при V/III≥4 сужающаяся от основания к вершине. В эксперименте было обнаружено два типа ННК: ННК типа А, сохранившую каплю катализатора на вершине до конца роста; ННК типа Б, потребившую каплю катализатора во время роста (рис. 1).

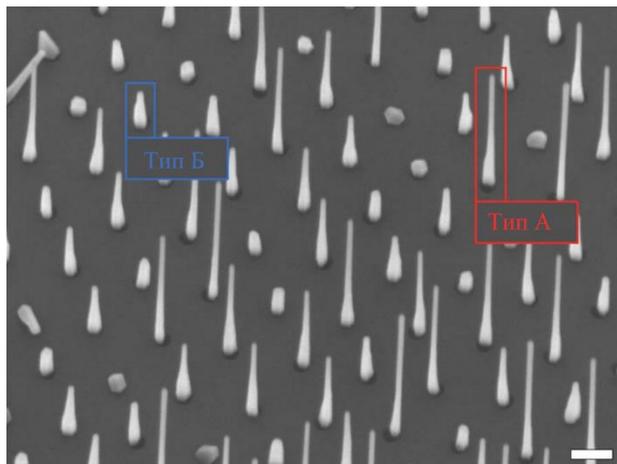


Рис. 1. Изображение образца, полученное сканирующим электронным микроскопом при соотношении потоков V/III равным 4. Показаны оба типа ННК. Масштаб 200 нм

Для понимания эволюции формы автокаталитических GaP ННК, выращенных по механизму ПЖК, необходимо составить систему кинетических уравнений, описывающих изменения числа атомов групп III (n_3) и V (n_5) в капле галлия на вершине ННК:

$$\frac{dn_3}{dt} = \varphi_3 I_3 \pi r^2 + 2\lambda_3 I_3 r - \frac{\pi r^2}{\Omega_{35}} \frac{dL}{dt}, \quad (1)$$

$$\frac{dn_5}{dt} = \varphi_5 I_5 \pi r^2 - \frac{\pi r^2}{\Omega_{35}} \frac{dL}{dt}, \quad (2)$$

где $\frac{dL}{dt}$ – скорость удлинения ННК; r – радиус вершины ННК; φ_k – коэффициент, описывающий количественно потоки I_k попадающие в каплю ($k=3,5$); λ_3 – эффективная диффузионная длина адатомов галлия на стенках ННК; $\Omega_{35}=0,0405 \text{ нм}^3$ – элементарный объем, приходящийся на пару GaP в твердой фазе.

Из экспериментальных данных видно, что скорость удлинения ННК пропорциональна потоку фосфора, поэтому предполагается стационарный режим роста по фосфору $\frac{dn_5}{dt} = 0$.

Решение системы уравнений (1) и (2) позволяет получить зависимость длины ННК от радиуса:

$$L(r) = L_0 + \frac{F_{53}}{\varepsilon(F_{53} - 1)} \left[r_0 - r + r_s \ln \left(\frac{r_0 - r_s}{r - r_s} \right) \right], \quad (3)$$

где $F_{53} = \frac{I_5}{I_3}$ – эффективное отношение потоков элементов V и III группы, которые фактически попадают в каплю; ε – константа, зависящая от формы капли; r_s – стационарный радиус вершины ННК:

$$r_s = \frac{2\lambda_3}{\pi\varphi(F_{53} - 1)}. \quad (4)$$

На рис. 2 представлены зависимости радиуса ННК от расстояния до основания для GaP ННК типов А и Б, измеренных с одного образца. Из графика видно, что обе кривые хорошо описываются уравнением (3) для ННК различной длины: 1375 нм ННК типа А и всего 250 нм ННК типа Б. Таким образом, можно предположить что ННК типа Б прекратил рост сразу же после потери капли, так как скорость роста по механизму «пар-кристалл» много меньше скорости роста по механизму ПЖК, Из полученных данных можно оценить время после

начала роста, потребовавшееся на потерю капли для ННК типа Б, с момента переключения отношения потоков со значения 2 до 6 до момента потери капли прошло 97 секунд.

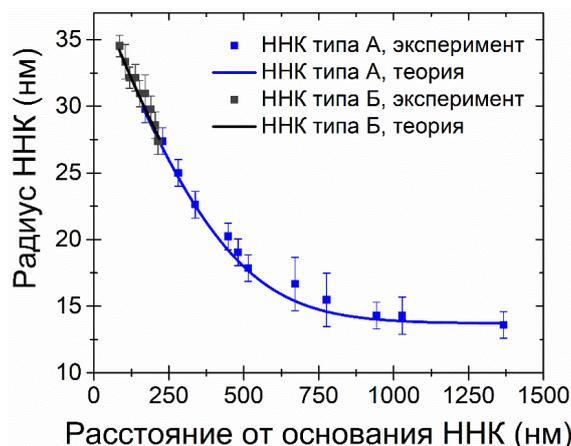


Рис. 2. Экспериментальные и теоретические зависимости формы ННК типов А и Б, выращенных при отношении потоков $V/III=6$

Было показано, что морфология автокаталитических GaP ННК хорошо описывается простым кинетическим уравнением для различных значений отношения потока элемента V группы к потоку элементу III группы и расстояния до ближайших соседних ННК. Основным ростовым параметром, который управляет морфологией, является именно отношение потоков. Увеличение отношения потоков приводит к изменению морфологии ННК от расширяющейся до сужающейся и ультратонких ННК со стационарным радиусом, равным 12 нм. Как показано в работе [5] для автокаталитических GaAs ННК возможно получить квантово-тонкие вершины GaP ННК. Таким образом, разработанный метод роста возможно использовать для внедрения квантовых точек GaAs с прямой зоной в тонкие вершины GaP ННК. Планируется продолжать исследования в данной области.

Литература

1. Dubrovskii V.G., Cirilin G.E., Sibirev N.V., Jabeen F., Harmand J.C. and Werner P. New mode of vapor-liquid-solid nanowire growth // *Nano Letters*. – 2011. – V. 11. – P. 1247–1253.
2. Dubrovskii V.G., Xu T., Díaz Álvarez A., Plissard S., Caroff P., Glas F. and Grandidier B. Self-equilibration of the diameter of Ga-catalyzed GaAs nanowires // *Nano Letters*. – 2015. – V. 15. – P. 5580–5584.
3. Koivusalo E., Hakkarainen T., Guina M.D. and Dubrovskii V.G. Sub-Poissonian narrowing of length distributions realized in Ga-catalyzed GaAs nanowires // *Nano Letters*. – 2017. – V. 17. – P. 5350–5355.
4. Kuyanov P., Boulanger J. and LaPierre R.R. Control of GaP nanowire morphology by group V flux in gas source molecular beam epitaxy // *Journal of Crystal Growth*. – 2017. – V. 462. – P. 29–34.
5. Kim W., Dubrovskii V.G., Vukajlovic-Plestina J., Tütüncüoğlu G., Francaviglia L., Güniat L., Potts H., Friedl M., Leran J.B. and Fontcuberta i Morral A. Bi-stability of contact angle and its role in achieving quantum-thin self-assisted GaAs nanowires // *Nano Letters*. – 2018. – V. 18. – P. 49–57.



Касаткин Артем Николаевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра технологий интроскопии, студент группы № В3450

Направление подготовки: 16.03.01 – Техническая физика

e-mail: kasatkin_16@mail.ru

УДК 533.6.08:536.5:532.1:681.2.087:616.211

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКОВ ВОЗДУХА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ
ДЫХАНИЯ В ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПОЛОСТИ НОСА**

Касаткин А.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Рассадина А.А.

Представлена сенсорная система для измерения давления в твердотельной 3D-модели носовой полости и результаты ее предварительного тестирования.

Ключевые слова: полость носа, твердотельная модель, конвекция, сенсорная система, моделирование дыхания.

Движение воздуха в носовой полости человека – сложная и индивидуальная задача, решаемая для каждого человека в отдельности. Полость носа миниатюрная, сложноразветвленная структура, с многочисленными выступами и неровностями внутренней поверхности. В полость носа открываются пазухи – воздухоносные объемы в структуре черепа. Задача определения конвективного воздухообмена в полости носа является очень сложной и требует многочисленных и разнообразных исследований, так как невозможно разместить датчики непосредственно в полостях носа человека в нужных для нас областях. Можно выделить три направления исследований: диагностика в полости носа, как правило – это вход и выход из полости носа (ноздри и хоаны); численное моделирование; эксперимент на твердотельных моделях полости носа, трупах людей и животных.

Практическая значимость данных исследований велика. Это и рекомендации по образу жизни, среде обитания, и первые шаги в развитии нового направления медицины – виртуальной медицины. В хирургии, как показано в статистических исследованиях, только 30% довольны выполненной им операцией на полости носа, и отмечают улучшение [1]. Отсюда огромное желание врачей улучшить результат, минимизировать и индивидуализировать воздействие. Вот почему последние 5 лет говорят о новом тренде виртуальной операции – когда врач делает виртуальный разрез на 3D-модели полости носа конкретного пациента, и далее инженер выполняет численный расчет аэродинамики [2].

Можно выделить некие общие черты в движении воздуха при дыхании, а также три типа полости носа, форма которых сформирована под климатическими особенностями ареала обитания. Это африканский – широкая платикавительная полость (рис. 1, б), монголоидная – средняя мезокавительная полость носа (рис. 2), и европейская – узкая – лептокавительная полость носа (рис. 1) [3].

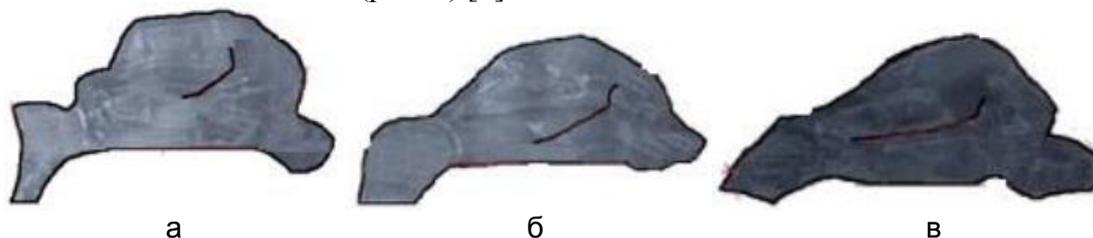


Рис. 1. Полость носа: платикавительная (а); мезокавительная (б); лептокавительная (в)

Геометрические особенности полости носа определяют направление конвективного теплообмена и воздухообмена при дыхании. Так, в работе нашего аспиранта Малышева Алексея и в др. исследовательских работах показано [3–6], что предположительно в платикавительной полости носа основная часть воздушного потока идет при вдохе и выдохе по дну полости носа, у лептокавительной полости носа – в верхних отделах полости носа. У мезокавительной полости носа – смешанный тип движения. Движение по верхним отделам увеличивает путь воздушного потока по полости, позволяя быстрее согреть воздух в полости. Вот почему, например, как показано в медицинских исследованиях, люди с широкой полостью носа очень плохо переносят северный климат, часто страдают в нем от хронического гайморита, ларингита и др. ринологических заболеваний. Их полость не адаптирована для жизни в северных условиях.

Поставленные перед автором данной работы цели и задачи не столь глобальны. Вместе с тем они входят в общий контекст исследований.

Цель: разработать сенсорную систему для измерения давления в 3D-модели носовой полости и сравнить полученные результаты с ранее проведенным численным экспериментом.

Задачи:

1. спроектировать электрическую схему для измерения давления в носовой полости;
2. проверить ее работоспособность.

Сенсорная система позволит исследовать движение воздушного потока в твердотельной модели полости носа мезокавительного типа, имеющейся на кафедре. В дальнейшем с этой системой предполагается исследовать и плати- и лептокавительные модели полости носа.

Для реализации сенсорной системы был выбран датчик давления MPXV5004GVP, который является пьезорезистивным преобразователем с кремниевой мембраной и предназначен, в частности, для использования с микроконтроллерами, имеющими аналого-цифровой преобразователь. Его характеристики приведены в таблице.

Таблица. Характеристики датчика давления MPXV5004GVP

| Характеристика | Символ | Min | Typ | Max | Units |
|----------------------|-----------|------|-----|------|-----------|
| Диапазон давления | P_{op} | 0 | – | 3,92 | kPa |
| Напряжение источника | V_s | 4,75 | 5 | 5,25 | V_{dc} |
| Ток источника | I_s | – | – | 10 | mA_{dc} |
| Сдвиг | V_{off} | 0,75 | 1 | 1,25 | V |
| Чувствительность | V/P | – | 1,0 | – | V/kPa |

Известно, что диапазон перепада давления в носовой полости составляет – 250 Па. Следовательно, без всякого усиления сигнала мы увидим сигнал порядка 250 мВ.

Исходя из данных характеристик и опытных данных, были сделаны выводы:

1. амплитудный сдвиг у каждого из датчиков в общем случае может быть разным из-за неодинаковости изготовления и влияния температуры;
2. амплитудный сдвиг не позволит должным образом усилить сигнал и уловить полезные флуктуации давления.

Исходя из этого, были поставлены следующие задачи:

1. убрать составляющую, которая смещает сигнал по амплитуде;
2. усилить сигнал датчика, чтобы выходной сигнал был порядка ± 5 В;
3. оставить только полезные флуктуации.

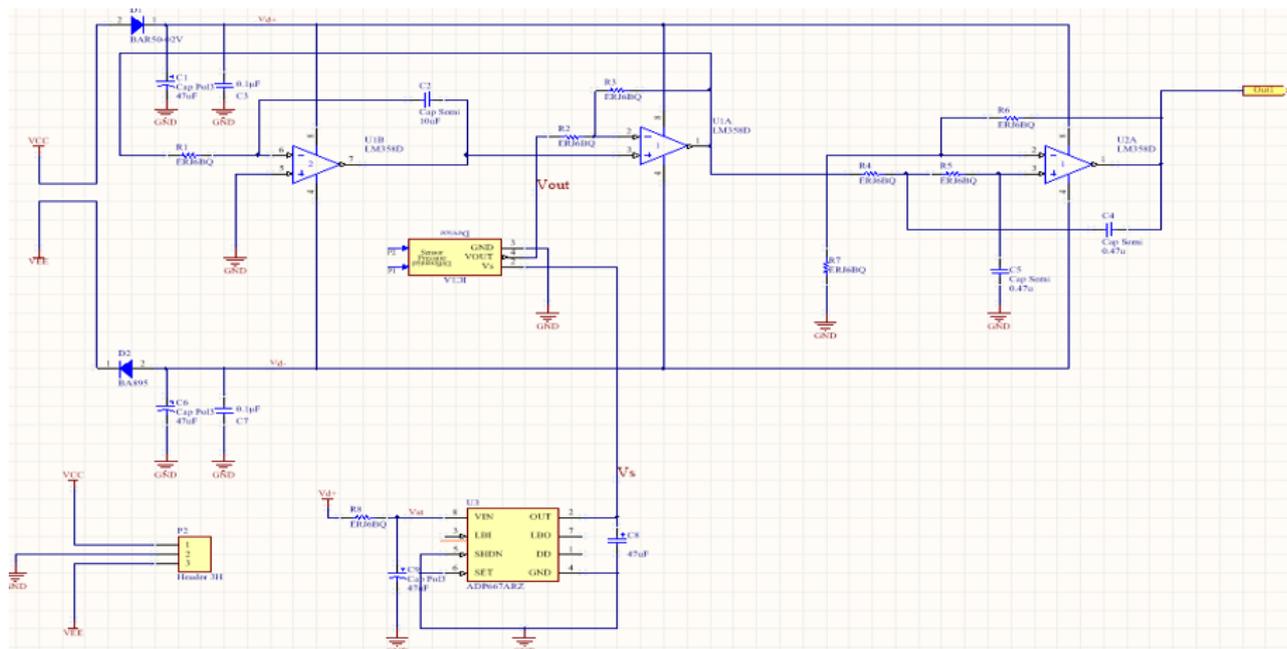


Рис. 2. Принципиальная схема сенсора для исследования турбулентно-ламинарных течений воздуха

Для того чтобы убрать постоянную составляющую, было решено использовать схему с интегратором на операционном усилителе (рис. 2). В данном случае интегратор (рис. 3) является фильтром низких частот.

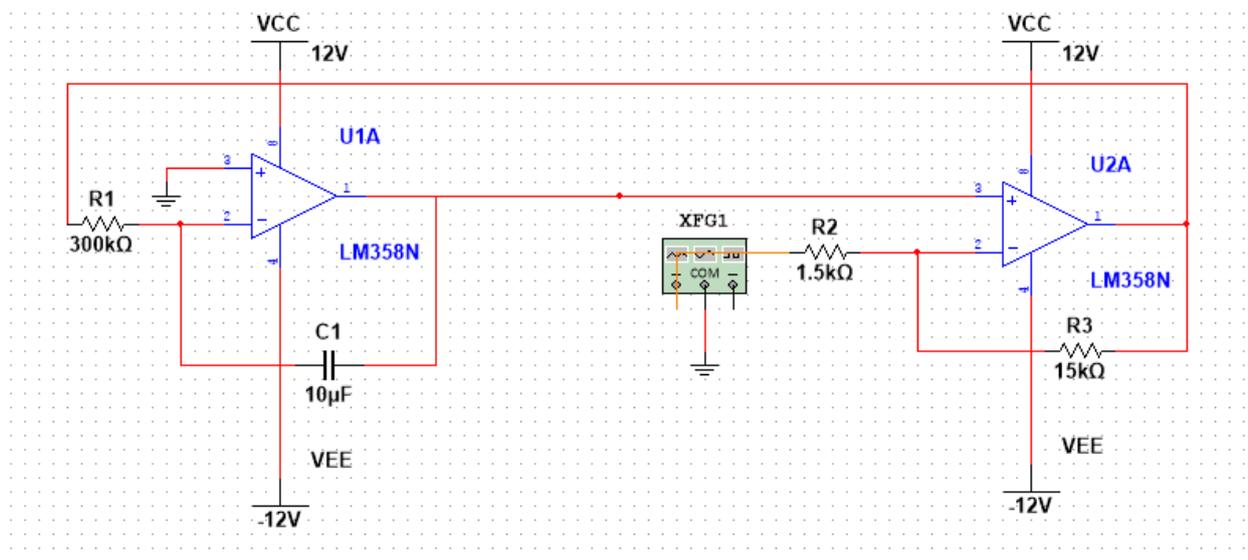


Рис. 3. Интегратор

Также на одном из усилителей происходит вычитание постоянной составляющей и усиление сигнала в 20 раз. Коэффициент усиления равен отношению сопротивлений:

$$K = \frac{R_{oc}}{R_{inp}} = \frac{30000}{1500} = 20.$$

Далее был использован фильтр нижних частот Саллена–Ки (рис. 4), чтобы оставить лишь полезные частоты (от 0,1 Гц до 1000 Гц).

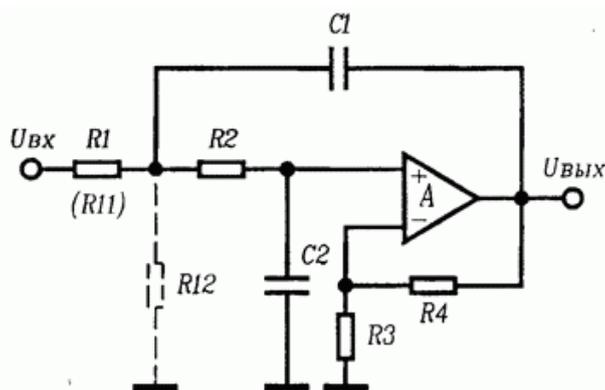


Рис. 4. Фильтр Саллена–Ки

Достигнуты следующие результаты работы:

1. работоспособность данной схемы была проверена в программе Multisim 14. При симуляции дыхания были получены графики зависимости амплитуды перепада давления от времени;
2. произведена сборка данной схемы на макетной плате. Подтверждена ее работоспособность;
3. с помощью программы Altium 17 был изготовлен проект печатной платы и отправлен в производство;
4. в настоящее время платы изготовлены, производится монтаж компонентов;
5. в ближайшем будущем планируется провести эксперимент по измерению давления на твердотельной модели полости носа.

Литература

1. Пискунов Г.З. Причины роста распространенности заболеваний носа и околоносовых пазух // Российская ринология. – 2009. – Т. 17. – № 2. – С. 1.
2. Лукьянов Г.Н., Воронин А.А., Рассадина А.А. Моделирование конвективных потоков в каналах нерегулярной формы на примере полости носа и околоносовых пазух человека // Журнал технической физики. – 2017. – Т. 87. – № 3. – С. 462–467.
3. Неронов Р.В., Лукьянов Г.Н., Рассадина А.А., Воронин А.А., Малышев А.Г. Влияние формы полости носа на распределение воздушных потоков при вдохе // Российская оториноларингология. – 2017. – № 1(86). – С. 83–94.
4. Гайворонский И.В., Неронов Р.В., Гайворонский А.И. Форма полости носа как показатель особенностей строения внутриносовых структур и носоглотки // Морфология. – 2016. – Т. 150. – № 6. – С. 44–50.
5. Неронов Р.В., Гайворонский А.И. Особенности строения лепто-, мезо- и платикавитальной полости носа // Российская оториноларингология. – 2016. – № 5(84). – С. 72–79.
6. Ульянов Ю.П. Аэродинамика носа // Журнал Врач. – 1996. – № 11. – С. 39–40.



Карпова Марина Владимировна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра технологий интроскопии, студент группы № В4155

Направление подготовки: 12.04.01 – Информационно-измерительные комплексы

e-mail: minina.marina24@gmail.com



Ростовский Кирилл Михайлович

Год рождения: 1989

ОАО «Авангард», инженер 1 категории

e-mail: kmrost@ya.ru



Прибыткин Павел Александрович

Год рождения: 1982

ОАО «Авангард», к.т.н.

e-mail: pavel.pribitkin@gmail.com

УДК 62-523.2

**РАЗРАБОТКА МАЛОГАБАРИТНЫХ ПРЕЦИЗИОННЫХ ЦИФРОВЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УГЛА ВСТРАИВАЕМОГО ТИПА**

Карпова М.В. (Университет ИТМО), **Ростовский К.М.** (ОАО «Авангард»)

Научный руководитель – к.т.н. Прибыткин П.А. (ОАО «Авангард»)

Рассмотрен ряд отечественных малогабаритных фотоэлектрических цифровых преобразователей угла встраиваемого типа, предназначенных для управления различными объектами, в частности: космическими объектами, авиационными, зенитными, противотанковыми ракетами, управляемыми стрелковыми боеприпасами, корректирующими авиабомбами, системами связи.

Ключевые слова: преобразователь, датчик угла, ФЦПУ, повышенная стойкость, кодовая шкала.

Была выполнена разработка датчика положения выходного звена электропривода поступательного движения [1–3].

В процессе разработки датчика было выявлено несколько проблем:

1. габаритные размеры датчика:
 - диаметр – 32 мм;
 - длина не более – 38 мм;
2. частота вращения вала преобразователя 350 об/с.

Для решения данных проблем были поставлены следующие задачи:

1. для уменьшения габаритных размеров необходимо разработать малогабаритную кодовую шкалу;
2. разработать встраиваемую конструкцию с малыми габаритами;
3. обеспечить заданную разрешающую способность при высоких частотах вращения.

Разработанный датчик повышенной стойкости и надежности предназначен для применения в блоке управления одноканальным регулируемым редукторным реверсивным электроприводом поступательного движения с вентильным электродвигателем.

Применение электроприводов позволит уменьшить время обнаружения и захвата цели, обеспечить возможность более оперативного маневра, обзора и наведения на цель, снизить расход топлива маршевых двигателей, снизить трудоемкость обслуживания, увеличить сроки проведения межрегламентных операций, повысить эксплуатационную надежность, исключить зависимость от стран ближнего зарубежья в комплектации исполнительными механизмами рулей. Принцип действия фотоэлектрических преобразователей основан на пространственной модуляции проходящего светового потока. В качестве модулятора выступает пара кодовый диск – диафрагма. Для абсолютных преобразователей сочетание засвеченных и затененных окон однозначно определяется угловым положением вала преобразователя.

Основным элементом таких преобразователей, определяющим их наиболее важные характеристики, является кодовая шкала.

Конструктивно классический преобразователь состоит из: оптико-механического блока (ОМБ), модуля выходного кода и выходного разъема. Фотоэлектрический цифровой преобразователь угла (ФЦПУ) имеет однокорпусное исполнение.

ОМБ является прецизионным устройством, оказывающим наибольшее влияние на точностные параметры ФЦПУ. Его функция – преобразование углового перемещения вала ФЦПУ в аналоговые электрические сигналы фотоприемников.

Источником и приемником излучения в ФЦПУ служат диоды инфракрасного диапазона.

Описание встраиваемой конструкции датчика. Датчик не имеет собственных опор и встраивается в электропривод. Сборка кодирующих элементов (дисков) происходит без юстировки. Вся сборка осуществляется через нишу в корпусе привода в условиях ограниченного объема. Сборка двух основных блоков датчика осуществляется через байонетное соединение.

Разрядность преобразователя определяется рисунком кодовой маски диска и диафрагмы. Формирование рисунка кодового диска основывается на применении бинарного кода, кода Грея и рекурсивной кодовой последовательности.

Кодовый диск 10-разрядного датчика содержит три кодовые дорожки. Две старшие дорожки, предназначенные для формирования 1–3-го и 4–5-го разрядов соответственно, выполнены на основе нелинейных кодовых последовательностей. Это позволило минимизировать количество кодовых дорожек. Третья кодовая дорожка выполнена в виде периодического кодового рисунка, содержащего 32 градации, и является младшей оптической дорожкой. Для устранения неоднозначности считывания применяется пара фотоприемников, тактируемых от старшего разряда предыдущей кодовой дорожки. На диафрагме этой дорожке соответствуют четыре фотоприемника с геометрическим сдвигом в 90° . Геометрическое расположение позволяет минимизировать влияния биения вала объекта применения и эксцентриситета кодового диска, получить с фотоприемников шестнадцать синусоидальных сигналов с фазовым сдвигом в 90° , которые поступают на фазовый интерполятор для формирования 6–10-го разрядов.

Внедренные и опробованные решения, а именно, минимальные габаритные размеры и высокая частота вращения вала преобразователя, позволят применять датчик и его аналоги в различных образцах техники, в том числе в наших собственных разработках.

Литература

1. Домрачев В.Г., Мейко Б.С. Цифровые преобразователи угла: принципы построения, теория точности, методы контроля. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 328 с.
2. Ожиганов А.А., Прибыткин П.А. Кодовые шкалы на основе нелинейных последовательностей для преобразователей угловых перемещений // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2010. – № 4(68). – С. 81–84.
3. Ожиганов А.А., Прибыткин П.А. Использование нелинейных последовательностей при построении двухдорожечных кодовых шкал для преобразователей угловых перемещений // Изв. вузов. Приборостроение. – 2010. – Т. 53. – № 7. – С. 39–44.



Виирпалу Яана Ааревна

Год рождения: 199

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности (базовая),
студент группы № W4150

Направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность

e-mail: Yaana91@bk.ru



Иванова Елизавета Сергеевна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности (базовая),
студент группы № W4150

Направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность

e-mail: solnewia@mail.ru



Хусан Перизат Хусановна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности (базовая),
студент группы № W4150

Направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность

e-mail: khusan.perizat@mail.ru

УДК 628,336:005.936.5

МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

Виирпалу Я.А., Иванова Е.С., Хусан П.Х.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.

В работе были проанализированы основные преимущества использования биогаза, возможные виды.

Ключевые слова: биогаз, альтернативные источники энергии, переработка отходов, биогазовая установка, возобновляемый источник энергии.

Все более актуальным становится вопрос исчерпания запасов привычного для человечества органического топлива, его недостаточная безопасность для окружающей среды, а значит, и необходимости поиска альтернативных источников энергии. Одной из подобных альтернатив является биогаз.

Биогаз представляет собой смесь газов, а именно (%): метан (CH_4) – 55–70% и углекислый газ (CO_2) – 28–43%, а также незначительные примеси других газов и элементов, как сероводород (0–3%), аммиак, водород (0–1%), азот (0–10%), кислород (0–2%), монооксид углерода. Содержание метана может меняться в зависимости от состава субстрата и технологии в пределах 55–75% [1].

Это продукт брожения органических отходов, получаемый в результате анаэробной ферментации органических веществ за счет водородного или метанового брожения биомассы. Метановое разложение биомассы происходит под воздействием трех видов бактерий. В цепочке питания последующие бактерии питаются продуктами жизнедеятельности предыдущих (гидролизные, кислотообразующие, метанообразующие). В производстве биогаза участвуют все три вида [2].

Производство и применение биогаза позволяет решить часть связанных с традиционным топливом проблем и обеспечить ряд преимуществ:

- для производства биогаза используется возобновляемая биомасса, что делает его возобновляемым источником энергии (ВИЭ);
- обширный спектр используемого сырья для производства биогаза дает возможность строить биогазовые установки (БГУ) практически в любом месте, где сконцентрированы предприятия сельского хозяйства;
- стабильность производства электроэнергии из биогаза в течение года позволяет покрывать пиковые нагрузки в сети, в том числе и в случае использования нестабильных ВИЭ, например, солнечных и ветровых электростанций;
- снижение негативного воздействия на окружающую среду за счет переработки и обезвреживания отходов путем контролируемого сбраживания в биогазовых реакторах;
- агротехнический эффект от применения сброженной в биогазовых реакторах массы на сельскохозяйственных полях проявляется в улучшении структуры почв, регенерации и повышении их плодородия за счет внесения питательных веществ органического происхождения.

В начале технологического процесса осуществляется гомогенизация массы отходов, затем подготовленное сырье подается с помощью загрузчика в подогреваемый и утепленный реактор, где непосредственно и происходит процесс метанового брожения при температуре примерно 35–38°C, где масса отходов постоянно перемешивается. Образующийся биогаз поступает в газгольдер (используется для хранения газа), а затем подается на электрогенератор.

Полученный биогаз заменяет обычный природный газ. Можно использовать как биотопливо, либо вырабатывать из него электроэнергию. Наиболее распространенным способом энергетического использования биогаза является сжигание в газопоршневых двигателях в составе мини-ТЭЦ с производством электроэнергии и тепла.

В качестве сырья для производства биогаза могут использоваться как органические агропромышленные или бытовые отходы, так и растительное сырье.

В настоящее время получение биогаза связано, прежде всего, с переработкой и утилизацией отходов животноводства, в особенности, навоза крупного рогатого скота (КРС). Содержание одной головы КРС позволяет обеспечить в год 6,6–35 т жидкого навоза. Этот объем сырья может быть переработан в 257–1785 м³ биогаза. По параметру теплоты сгорания указанные показатели соответствуют: 193–1339 м³ природного газа, 157–1089 кг бензина, 185–1285 кг мазута, 380–2642 кг дров [3].

Однако современные ученые придумывают все новые способы получения биогаза из различного сырья. Эти разработки могут помочь справиться с образованием большого количества пищевых и агропромышленных отходов и проблемой использования невозобновляемых источников энергии.

Недавние исследования, проведенные ООН, выявили, что треть всех продуктов питания в мире становится мусором. Объем выбрасываемых продуктов варьируется от 100 кг/человека в год в Европе и Северной Америке до 10 кг/человека в год в бедных регионах Африки и Азии. Общий объем выбрасываемых продуктов составляет 1,3 млрд т в год. Утилизация такого объема продуктов – большая проблема. В этой связи сегодня быстрыми темпами развиваются новые способы экологически чистого производства биотоплива. Далее представлены некоторые из них.

Ученые из Сколтеха и Объединенного института высоких температур РАН предложили перерабатывать пищевые отходы в биотопливо методом гидротермального сжижения. Этот метод не только значительно более энергоэффективен по сравнению с альтернативными подходами, но и позволяет переводить в биотопливо все сырье с

минимальным объемом отходов. Метод гидротермального сжижения также позволяет получать биотопливо напрямую из влажной биомассы, исключая энергозатратную стадию сушки сырья [4].

Водоросли являются самыми быстрорастущими растениями на земле (масса за сутки удваивается), для их роста требуется легкодоступное сырье: солнечный свет, вода и диоксид углерода. Топливо из водорослей сейчас называют биотопливом третьего поколения.

200 тысяч гектаров прудов могут производить топливо, достаточное для годового потребления 5% автомобилей США. 200 тысяч гектаров – это менее 0,1% земель США пригодных для выращивания водорослей.

Коммерческому применению водорослей в качестве топлива препятствует в первую очередь отсутствие эффективных инструментов для сбора водорослей в больших объемах [5].

Общая энергетическая эффективность биогазового комплекса с ТЭЦ на биогазе составляет в среднем 75–80%. В ситуации, когда все тепло, получаемое от когенерационной станции при производстве электроэнергии невозможно потребить (распространенная ситуация из-за отсутствия внешних потребителей тепла), оно отводится в атмосферу. В таком случае энергетическая эффективность биогазовой ТЭС составляет лишь 35% от общей энергии биогаза.

Выработанная электрическая и тепловая энергия может обеспечить не только потребности комплекса, но и прилегающей инфраструктуры. При этом сырье для БГУ бесплатное, что обеспечивает высокую экономическую эффективность после завершения периода окупаемости (4–7 лет). Себестоимость вырабатываемой на БГУ энергии со временем не растет, а напротив – уменьшается. Кроме того, при использовании БГУ переброшенная масса тут же может использоваться как высокоэффективное биоудобрение. Удобрения, полученные с помощью биогаза, содержат минерализованный азот в виде солей аммония (наиболее легко усвояемая форма азота), минерализованные фосфор, калий и другие, необходимые для растения биогенные макро- и микроэлементы, биологически активные вещества, витамины, аминокислоты, гуминоподобные соединения, структурирующие почву. Таким образом, производство биогаза становится практически безотходным.

Литература

1. Рыскиева К.А., Жусамбаева А.К.. Основы экологии производства и практические отчеты. – Алматы: Изд-во «Экономика», 2016. – С. 340–343.
2. GreenVolt – альтернативная энергетика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://greenvolt.ru>, своб.
3. Биогазовые установки (станции) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biogaz-russia.ru>, своб.
4. Способ превращения мусора в топливо [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://news.rambler.ru/scitech/38437125-rossiyskie-uchenye-predlozhili-novyy-sposob-prevrasheniya-musora-v-toplivo/>, своб.
5. Биотопливо из водорослей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cleandex.ru/articles/2016/01/19/aglae-biofuels>, своб.

**Воронцова Екатерина Николаевна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности (базовая),
студент группы № W4250Направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность
e-mail: voronakathy1004@gmail.com**Кустиков Юрий Анатольевич**

Год рождения: 1949

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности (базовая),
к.т.н., доцент

e-mail: y.a.kustikov@vniim.ru

УДК 504.75.05**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА
НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА ИЖЕВСКА****Воронцова Е.Н.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустиков Ю.А.**

Атмосфера – одна из систем, в которой протекает жизнедеятельность человека. Воздействие на наш организм атмосферного воздуха не исчерпывается регуляцией теплообмена и влиянием на состав крови, кровяное давление и деятельность сердца, оно широко проявляется увеличением заболеваемости респираторными, кардиологическими и другими болезнями. Человек живет в атмосфере, дышит и является ее частью, поэтому все изменения, происходящие в ней, находят отклик в человеческом организме.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, нормативы качества окружающей среды, влияние на здоровье, источники загрязнения.

Целью работы являлась разработка нормативов качества окружающей среды с учетом оценки рисков причинения вреда здоровью человека на основе санитарных норм и правил, а также с учетом качества отдельных компонентов природной среды, исходя из природного фонового состояния территорий и акваторий [1–3].

Ижевск – столица Удмуртской Республики, крупный промышленный, культурный центр, узел шоссейных и железнодорожных линий, «оружейная столица России», двадцатый по численности город в России, лидер в области оборонной, машиностроительной и металлургической промышленности.

По итогам заседания Государственного совета РФ от 27 декабря 2016 года, Президентом РФ В.В. Путиным 24 января 2017 года был утвержден перечень поручений, в котором предусмотрена подготовка Предложений по разработке нормативов качества окружающей среды с учетом оценки рисков причинения вреда здоровью человека на основе санитарных норм и правил, а также с учетом качества отдельных компонентов природной среды исходя из природного фонового состояния территорий и акваторий.

Ежегодно 7–8 млн человек во всем мире умирает в результате загрязнения атмосферного воздуха. Основной вклад в загрязнение воздуха вносят автотранспорт, промышленность, сжигание угля и других видов ископаемого топлива. В Ижевске на долю автомобилей приходится около 56% выбросов и ущерба здоровью от загрязнения воздуха.

Загрязнение окружающей среды дорого обходится обществу. Невысокая продолжительность жизни и плохое здоровье являются главным препятствием для развития человеческого потенциала. Восстановление «бесплатной» природы обходится также дорого, как и восстановление «бесплатного» здоровья после того, как оно уже подорвано.

На количество выбросов в атмосферные слои загрязняющих веществ влияет деятельность 74 промышленных объектов. Среднее суммарное количество годовых выбросов составляет порядка 18 тыс. т. Объем твердых выбросов приблизительно равняется 3 тыс. т. Газообразные и жидкие выбросы составляют около 15 тыс. т. Размер удельного выброса в перерасчете на одного жителя составляет примерно 29 кг. Наибольшее негативное воздействие на загрязнение атмосферы оказывают стационарные источники, представленные предприятиями теплоэнергетики, машиностроения и черной металлургии. Это ОАО «Ижсталь», ТЭЦ-1 и ТЭЦ – 2, ФГУП «Ижевский механический завод»; ОАО Ижевский мотозавод «Аксион-холдинг»; ОАО «Ижевский радиозавод»; ОАО Ижевский электромеханический завод «Купол».

Из полученных данных по количеству выбросов от автотранспорта нельзя говорить о точной статистике, но за три года видна тенденция к увеличению выбросов, что неблагоприятно сказывается на состоянии атмосферного воздуха.

По данным Государственной геофизической обсерватории за последние 5 лет прослеживается тенденция к увеличению вредных примесей в воздухе. Так, концентрации оксида углерода и фенола за 5 лет выросли в два раза, на 44% увеличился показатель формальдегида, на 16% и 28% увеличились показатели концентрации диоксида и оксида азота соответственно.

Исходя из полученных данных от регионального медицинского информационно-аналитического центра, можно предположить о возрастании показателей заболеваемости: наибольшее число злокачественных новообразований, болезней органов дыхания и системы кровообращения, высокая смертность от сердечно-сосудистых заболеваний и болезней дыхательной системы.

По итогам исследования можно определить ряд выполненных задач. Во-первых, сбор недостающих статистических данных. Во-вторых, комплексный анализ всех видов загрязнения, метеоусловий и медицинских данных. Третья задача – оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха на здоровье. И, наконец, разработка нормативов качества окружающей среды с учетом оценки рисков причинения вреда здоровью.

Литература

1. Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В. Воздух городов и его изменения. – СПб.: Астерион, 2008. – 254 с.
2. Ежегодник. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России в 2013 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://voeikovmgo.ru/images/stories/publications/ejegodnik_zagr_atm_2013.pdf, своб.
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rmiac.udmmed.ru/>, своб.

**Долгих Наталья Юрьевна**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности (базовая), аспирантНаправление подготовки: 05.06.01 – Науки о земле

e-mail: dollka93_93@mail.ru

**Кустикова Марина Александровна**

Год рождения: 1958

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности (базовая),

к.т.н., доцент

e-mail: makustikova@corp.ifmo.ru

УДК 504.064.36

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ
ТЕРРИТОРИЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ**

Долгих Н.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617028 «Ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии углеводородной энергетики и низкотемпературных систем».

Активное промышленное освоение российской Арктики приводит к увеличению антропогенной нагрузки на природные экосистемы. Создание сети комплексного экологического мониторинга на особо охраняемых природных территориях позволит изучать реакцию окружающей среды на антропогенное воздействие, а также контролировать состояния биосферы в местах, удаленных от производственной активности.

Ключевые слова: экологический мониторинг, особо охраняемые природные территории, антропогенное загрязнение, наблюдение за состоянием окружающей среды, Арктическая зона РФ.

Большой ресурсный потенциал Арктических регионов России делает эти территории площадкой для активной промышленной и хозяйственной деятельности. Современные темпы индустриального развития ведут к превышению порогового уровня нагрузки на природные экосистемы. Происходит постепенное слияние промышленных центров и увеличение количества компонентов техносферы, что приводит к деградации территорий и уменьшению видового состава. Вместе с тем возрастает необходимость контроля за состоянием окружающей среды и проведения экологического мониторинга.

Российский сектор занимает не менее трети всей территории Арктики и играет важную роль в сохранении арктических экосистем, поскольку именно в российском секторе представлены наиболее типичные арктические ландшафты, обитает до 80% всех видов живых организмов, свойственных арктическим экосистемам, и 90% типичных арктических видов [1].

Учитывая высокую степень угрозы загрязнения и несомненную ценность территорий, экологическая безопасность становится одним из приоритетных направлений в политике по развитию Арктического региона Российской Федерации (РФ). Одной из основных

природоохранных мер является «установление особых режимов природопользования и охраны окружающей природной среды, включая мониторинг ее загрязнения» [2].

Цель работы – определение основных принципов создания программы экологического мониторинга на особо охраняемых территориях (ООПТ) Арктики, куда входят:

- рассмотрение основных угроз антропогенного загрязнения;
- оценка текущего состояния ООПТ Арктической зоны РФ;
- рассмотрение специфики арктического региона, влияющей на организацию мероприятий по экологическому мониторингу;
- определение основных структурных компонентов мониторинга.

В настоящее время в российском арктическом секторе сосредоточено более 300 промышленных объектов, которые отнесены к категории особо ответственных. Также за полярным кругом было открыто свыше 400 наземных месторождений нефти и газа. На 60 из них активно ведется добыча. Более двух третей разрабатываемых месторождений находится в России.

Серьезную экологическую угрозу в будущем представляет разработка арктических шельфовых месторождений. Арктическая шельфовая зона России имеет огромный ресурсный потенциал, почти 90% от всей ее площади приходится на перспективные нефтегазоносные области. Впоследствии компоненты нефте- и газодобычи будут в значительной степени сконцентрированы в данном регионе.

В настоящее время на территории Российской Арктики существует более 450 особо охраняемых природных территорий общей площадью (без учета морских акваторий) чуть более 94,6 млн га, что составляет около 16,2% ее общей площади [1].

Однако установление статуса ООПТ означает не только прекращение любой промышленной деятельности на данной территории и поддержание природных экосистем в естественном состоянии. В задачи таких категорий ООПТ, как национальные парки и биосферные заповедники, входит: изучение реакции окружающей среды на антропогенное воздействие, а также контроль состояния биосферы в местах, удаленных от производственной активности.

На настоящий момент на территории Арктической зоны РФ не существует сети комплексного экологического мониторинга.

Согласно положению «Об организации и осуществлении государственного мониторинга окружающей среды», под государственным экологическим мониторингом (далее – мониторинг) понимается комплексная система наблюдения за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов [3].

К основным задачам мониторинга на территории ООПТ Арктики относятся:

- исследование природных процессов (климатических, геологических и др.);
- оценка влияния антропогенных воздействий в высоких арктических широтах с целью прогнозирования региональных последствий глобальных изменений;
- наблюдение за популяциями эндемичных видов животных и растений.

Специфические условия арктических территорий России накладывают определенные требования к проводимым там мероприятиям. При реализации программ мониторинга в условиях Арктики необходимо учитывать специфику региона и природно-климатические особенности, такие как:

1. удаленность от основных городов и инфраструктуры;
2. Арктика не имеет надлежащего покрытия спутниковыми системами, позволяющими точно определить координаты любой точки. По сравнению с более низкими широтами, определение местоположения и навигация в Арктике затруднены;
3. условия полярного дня и полярной ночи влияют на суточные и сезонные биологические циклы. При планировании исследований с отборами проб, организации должны оценивать риски, связанные с полярным циклом чередования дня и ночи;

4. методы, используемые для экологического мониторинга, должны учитывать, что в Арктике имеют место низкие температуры;
5. наличие/отсутствие льда, постоянное/временное, должно учитываться при разработке программы экологического мониторинга [4].

На рис. 1 показана структурная схема мониторинга. В зависимости от характеристик ООПТ разработана оптимальная программа, которая включает грамотную комбинацию различных компонентов блока наблюдений, позволяющая получить наиболее полную информации об объекте мониторинга.

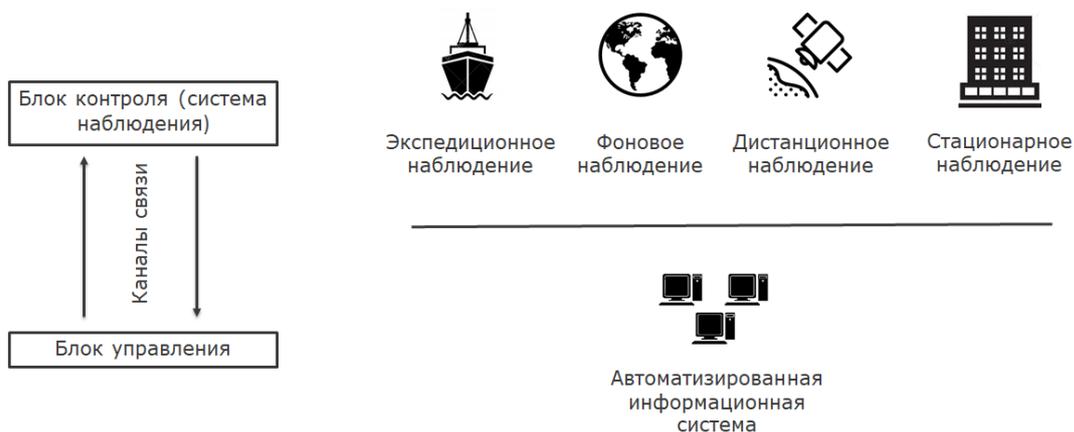


Рис. 1. Структурная схема мониторинга

Система наблюдения за состоянием и загрязнением окружающей среды формируется с использованием современных средств наблюдения наземного, авиационного и космического базирования, и интегрированием с существующими и создаваемыми международными системами экологического наблюдения, и обеспечивающей обнаружение и прогноз степени антропогенного влияния на природные экосистемы в Арктической зоне РФ, в том числе слежение за изменением климата Земли [5].

Каждый элемент блока наблюдения включает в себя набор средств и методов экологического мониторинга, которые подбираются, исходя из поставленных задач, и регламентируются государственными стандартами.

На территории ООПТ может располагаться стационарный пост мониторинга, куда включены: лаборатория, в которой проводится химический анализ всех видов проб из контролируемой зоны; аналитический павильон, который производит непрерывный автоматизированный контроль (рис. 2): состояния атмосферного воздуха; радиационного фона; метеорологических параметров.

Полученная в ходе наблюдений информация передается в центр приема и обработки данных (подразделения Росгидромета).

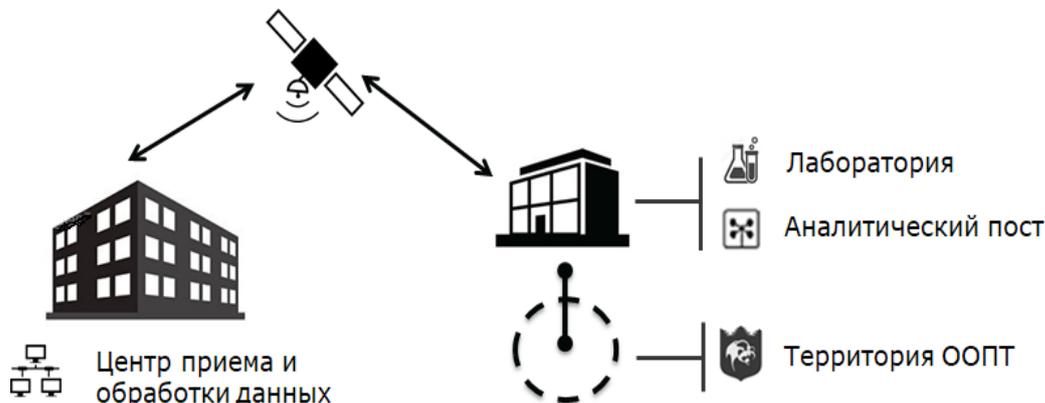


Рис. 2. Схема системы экологического наблюдения на территории ООПТ

В рамках выполняемой работы по всестороннему анализу характеристик особо охраняемых природных территорий Арктической зоны РФ, а также идентификация основных рисков, связанных с антропогенным влиянием на природу на примере Национального парка «Русская Арктика», было обосновано решение по созданию программ экологического мониторинга на территориях ООПТ. Проводимые мероприятия по наблюдению за состоянием окружающей среды должны учитывать территориальное расположение и особые климатические условия региона. Осуществить это возможно путем совмещения дистанционных методов наблюдения и полевых геоэкологических исследований. Выбор мест для возведения современных стационарных станций основывается на репрезентативности получаемых данных, наиболее рациональном географическом положении, а также на возможности нахождения персонала на территории станций. В перспективе компоненты мониторинга ООПТ будут составлять в единую сеть, которая позволит получать информацию для оценки эффективности осуществления природоохранных мер; данные о динамике природных процессов, а также поможет выявить наиболее уязвимые компоненты биосферы.

Современная действительность и скорость развития промышленной мощи диктует нам необходимость проведения серьезных природоохранных мероприятий, направленных на защиту и контроль состояния окружающей среды. Экологический мониторинг является одним из основных средств защиты окружающей среды. Расширение сети мониторинга, грамотно спланированные мероприятия и оснащение современным оборудованием, отвечающим мировым стандартам, позволит получать информацию для оценки эффективности осуществления природоохранных мер; данные о динамике природных процессов, а также поможет выявить наиболее уязвимые компоненты биосферы.

Литература

1. Особо охраняемые природные территории Российской Арктики: современное состояние и перспективы развития: обзор / авт.-сост.: М.С. Стишов. – Томск; М.: Скорость цвета WWF России, 2013. – С. 425–427.
2. «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу» (утв. Президентом РФ 18.09.2008 № Пр-1969).
3. Постановление Правительства РФ от 9 августа 2013 г. № 681 «О государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды)».
4. ISO/TC 67/SC 8/WG 3. Нефтяная и газовая промышленность – Арктические операции. Экологический мониторинг.
5. «Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» (утв. Президентом РФ от 18.09.08).

**Желтышев Михаил Александрович**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности, аспирантНаправление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение,
оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: mihalich93@bk.ru

УДК 535.016

**ПОВЕРХНОСТНО-УСИЛЕННОЕ КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЙЯНИЕ СВЕТА
(SERS) НА НАНОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУРАХ ИЗ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
МАТЕРИАЛОВ****Желтышев М.А.****Научный руководитель – к.хим.н., доцент Челибанов В.П.**

В работе описана актуальность разработки и применения современных методов химического анализа при исследовании следовых количеств химических веществ. В качестве перспективного метода предложен метод SERS. Поставлен эксперимент по анализу модельного вещества с применением SERS с использованием полупроводникового и диэлектрического субстратов. Модельным веществом выступил наноразмерный порошок TiO_2 , в качестве подложек – 9,10-дифенилантрацен и галловая кислота.

Ключевые слова: анализ следовых количеств химических веществ, раман-спектроскопия, SERS, полупроводниковые материалы.

Актуальность. Разработка и внедрение новых, гибких методов и подходов к анализу следовых количеств химических веществ является в полной мере актуальной задачей для широкого круга исследований, к числу которых можно отнести и контроль качества окружающей среды. Так, эффективным в этом отношении методом может явиться спектроскопия SERS (Surface Enhanced Raman Spectroscopy).

Целью данного исследования явилось изучение SERS-качеств, перспективных с точки зрения применимости субстратов с полупроводниковыми и диэлектрическими свойствами при анализе мелкодисперсного порошка TiO_2 , выступающего в качестве модельного вещества.

Раман-спектроскопия и SERS. Рамановская спектроскопия (спектроскопия комбинационного рассеяния, КРС) – вид спектроскопии, в основе которой лежит способность исследуемых систем (молекул) к неупругому (рамановскому, или комбинационному) рассеянию монохроматического света.

К достоинствам, обуславливающим столь широкую востребованность метода спектроскопии КРС, следует отнести простоту, экспрессность, возможность работы с широким набором химических веществ в различных фазах.

Основным же недостатком «классической» спектроскопии КРС, существенно сдерживающим развитие и применение метода в течение более полувека после открытия явления неупругого рассеяния света, является гораздо более низкая интенсивность рамановских линий относительно релеевских линий спектра.

Благодаря открытому в 1970-е годы явлению поверхностного усиления КРС (SERS), наблюдаемого на шероховатых (в наномасштабе) поверхностях металлов 11-ой группы периодической таблицы (Au, Ag, Cu), описанный недостаток удалось в существенной степени нивелировать.

На сегодняшний день, благодаря развитию SERS-подложек, стало возможным усиливать слабый КРС-сигнал вплоть до 10^{14} – 10^{16} раз, что позволило снизить пределы

обнаружения некоторых веществ до 1(!) молекулы с помощью метода КРС при использовании металлических подложек. Но, по причине слабой адсорбирующей способности и, соответственно, селективности ко многим соединениям, а также дороговизне и сложности производства наноструктурированных подложек на основе благородных металлов, применение SERS-подложек подобного класса зачастую сильно ограничено и существенно повышает стоимость проведения анализа.

Перспективным направлением развития SERS-метода в последние несколько лет стало исследование усиливающих свойств поверхностей полупроводниковых и диэлектрических материалов, а также разработка соответствующего теоретического аппарата [1].

Использованное оборудование. В качестве рабочей установки для проведения модельных экспериментов была использована аналитическая система комбинационного рассеивания света OPTIC-785TRS-2700, выпускаемая предприятием АО «ОПТЭК».

Работа с установкой (сбор, обработка, анализ и экспорт данных) осуществлялась посредством специализированного программного обеспечения BW Spec 4, совместимого с операционной системой не ранее Windows 7.

Для возбуждения рамановского сигнала в установке использовалась коаксиальная схема, что позволило осуществить сопряжение оптического модуля с конфокальным микроскопом. Используемый в системе спектрометр построен по схеме Черни–Тернера [2].

Материалы. В качестве анализируемого модельного вещества выступил коммерчески доступный мелкодисперсный порошок TiO_2 (анатазная модификация, средний размер частиц – менее 80 нм).

Оксид титана (IV) TiO_2 – амфотерный оксид четырехвалентного титана. Основной продукт титановой индустрии. Оксид титана существует в виде нескольких модификаций. В природе встречаются кристаллы с тетрагональной (анатаз, рутил) и ромбической сингонией (брукит).

TiO_2 имеет диэлектрическую проницаемость $\epsilon \approx 6$, ширину запрещенной зоны 3,2 эВ [3]. Не растворим в воде и разбавленных минеральных кислотах (за исключением плавиковой).

В качестве полупроводникового SERS-субстрата выступил раствор 9,10-дифенилантрацена в хлороформе, использованный для образования тонкого кристаллического слоя, химически сорбируемого на поверхности частиц диоксида титана после нанесения раствора (в виде капли) и испарении растворителя. Ширина запрещенной зоны составляет порядка 3,14 эВ [4]. В нормальных условиях представляет собой желтый мелкодисперсный порошок (пудра).

Диэлектрическим SERS-субстратом выступил раствор галловой кислоты в этаноле, наносимый на поверхность TiO_2 для образования на нем кристаллического слоя. Не являясь полупроводником, галловая кислота представляет собой не меньший интерес для исследования SERS в связи с особой игольчатой структурой данного вещества в кристаллической форме. Показано [1], что SERS-эффекты могут наиболее интенсивно проявляться именно на подобных наноразмерных поверхностях веществ (а именно, вблизи и на вершинах острий), в том числе и диэлектриков.

Результаты экспериментов. На совмещенном графике (рисунок) расположены спектры используемых модельных веществ, полученные в результате проведенных измерений. По основной оси ординат графика (слева) отложена интенсивность сигнала для спектров TiO_2 (индивидуальный и с добавлением на поверхность раствора SERS-субстрата), по вспомогательной – интенсивность сигнала для индивидуальных спектров субстратов. Спектры TiO_2 (слой, толщиной приблизительно 0,1–0,2 мм), полученные после добавления на его поверхность капель SERS-растворов 9,10-дифенилантрацена и галловой кислоты, представлен на графике сплошной линией. Режим работы установки оставался неизменным для всех экспериментов.

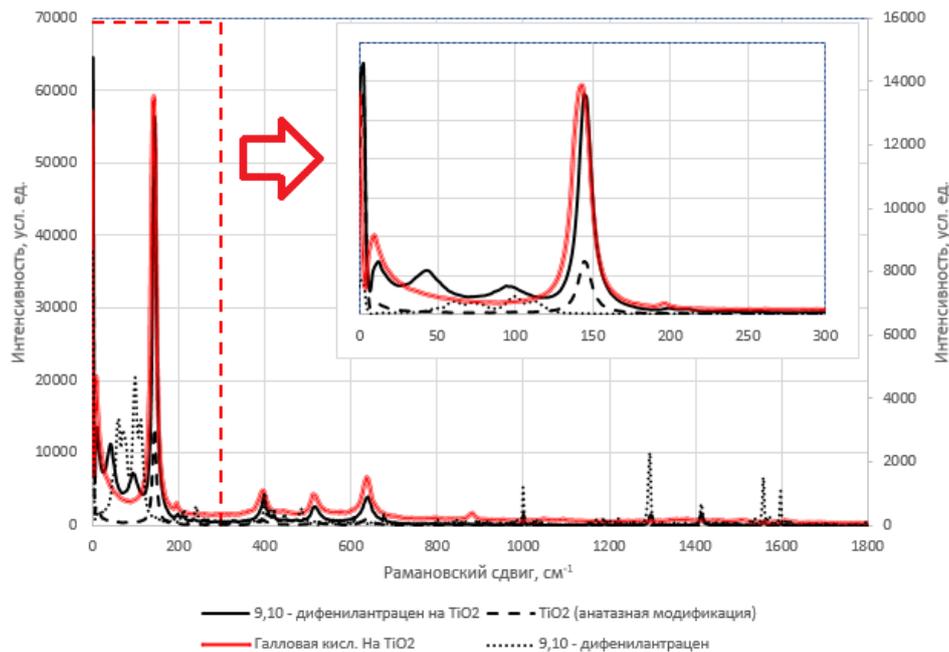


Рисунок. Рамановские спектры модельных веществ

В условиях применения раствора органического полупроводника 9,10-дифенилантрацена в качестве усиливающего агента, без какой-либо предварительной технологической подготовки, в рамках проведенных экспериментов удалось достичь усиления интенсивности рассеяния на характеристических для TiO_2 частотах рамановского сдвига. Так, например, интенсивность наиболее выраженного пика TiO_2 при рамановском сдвиге порядка 140 см^{-1} была усилена в 4,3 раза (с 13 134 усл. ед. до 56 496 усл. ед.). В то же время, другие характеристические пики модельного вещества, расположенные на отметках 400 см^{-1} , 525 см^{-1} и 645 см^{-1} , были усилены от 3 до 6 раз.

При использовании галловой кислоты в качестве усиливающего субстрата удалось выявить сравнимую с вышеизложенным степень усиления характеристических пиков модельного вещества. Так, усиление наиболее интенсивного пика при рамановском сдвиге порядка 140 см^{-1} составило порядка 4,5 раз (с 13 134 ед. до 59 101 усл. ед.). Усиление на отметках порядка 400 см^{-1} , 525 см^{-1} и 645 см^{-1} составило от 6 до 7 раз.

Полученные результаты будут использованы для проведения дальнейших исследований SERS-свойств полупроводниковых и диэлектрических материалов, которые в перспективе могут привести к разработке нового, высокочувствительного, простого и недорогого подхода к анализу широкого спектра веществ, в том числе и в сфере исследований состояния окружающей среды.

Литература

1. Polubotko A.M., Chelibanov V.P. The Theory of SERS on Semiconductor and Dielectric Substrates // *Optics and Spectroscopy*. – 2017. – V. 122. – № 6. – P. 937–943.
2. Ясенко Е.А., Челибанов В.П. Мобильный терагерцовый рамановский конфокальный спектрометр OPTEC-785_TRS // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. [Электронное издание]. – Режим доступа: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/2187/2187.pdf>, своб.
3. Гриценко Д.В., Шаймеев С.С., Атучин В.В., Григорьева Т.И., Покровский Л.Д., Пчеляков О.П., Гриценко В.А., Асеев А.Л., Лифшиц В.Г. Двухзонная проводимость TiO_2 // *Физика твердого тела*. – 2006. – Т. 48. – № 2. – С. 210–213.
4. Serevičius T., Komskis R., Adomėnas P., Adomėnienė O., Jankauskas V., Gruodis A., Kazlauskas K., Juršėnas S. Non-symmetric 9,10-diphenylanthracene-based deep-blue emitters with enhanced charge transport properties // *Physical Chemistry Chemical Physics*. – 2017. – V. 16. – № 15. – P. 7089–7101.



Казанцев Александр Олегович

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности,
студент группы № W4150

Направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность

e-mail: aokazantcev@corp.ifmo.ru

УДК 504.064.38

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРНОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Казанцев А.О.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустиков Ю.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617028 «Ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии углеводородной энергетики и низкотемпературных систем».

В работе отражено обоснование важности достижения безопасности информации в качестве задачи при разработке методов и систем сбора и хранения информации об окружающей среде и систем фиксации антропогенного влияния на нее.

Ключевые слова: информационная безопасность, системы контроля выбросов, задачи разработки систем узкой специализации, устойчивое развитие.

Ведение деятельности по защите информации на производственном предприятии представляется широкому кругу лиц как защита законных интересов предприятия и частных лиц, связанных с ним нормативными документами региона. В рамках концепции устойчивого развития также осуществляется развитие методов, средств и систем защиты окружающей среды, продуктом деятельности которых, в большинстве случаев, является информация. К данным системам относятся также системы сбора и хранения информации о состоянии окружающей среды по различным критериям.

Цель работы. Данная работа направлена на определение степени важности защиты продуктов деятельности методов, средств и систем, целью создания которых является получение и хранение информации о состоянии окружающей среды либо антропогенного воздействия на нее, где субъектами защиты будут являться общество и государство, в неопределенной на данный момент форме.

Базовые положения. В ходе работы были определены следующие основные категории объектов, являющиеся системами сбора и хранения информации, вне метода реализации:

1. системы контроля выбросов вредных веществ в атмосферный воздух на промышленных предприятиях;
2. стационарные и передвижные системы сбора и хранения информации о состоянии атмосферного воздуха либо водного объекта.

Каждая система представляет собой совокупность следующих компонентов:

1. простые датчики либо устройства получения и обработки первичной информации с исследуемого природного объекта. Данные компоненты являются наиболее технически сложными при сборке, монтаже, обслуживании в процессе эксплуатации и, соответственно, дорогостоящими;
2. регистратор данных. Всевозможные вариации данных компонентов помогают решать вспомогательные задачи, такие как визуализация и ручная обработка данных без их предварительного извлечения из системы. Обычным является также облачное обслуживание через серверы обслуживающей компании либо производителя.

Узконаправленные регистраторы данных имеют программное обеспечение, созданное для реализации потенциала совокупности присоединенных датчиков и устройств получения первичной информации с природного объекта, что усложняет их самостоятельное обслуживание сотрудниками предприятия;

3. технические средства объединения источников информации, регистратора данных и пользователя. Сюда могут включаться все физические пути передачи информации от первичного источника к регистратору и от регистратора к внешнему устройству хранения, либо к конечному пользователю.

После отбора объектов изучения был создан перечень характеристик, относительно которых данные устройства категоризируются и относятся к различным ценовым категориям. Такими характеристиками были все заявленные производителем устройства характеристики, так как для мониторинга состояния атмосферного воздуха на мобильных объектах необходима компактность и автономность системы, а на аналогичных системах сбора информации на производственных предприятиях необходимы более защищенные устройства получения первичной информации, большая точность и гибкость прикладного программного обеспечения, а также возможность интеграции в информационные сети и системы предприятия.

К сожалению, ни одно устройство, представленное на данном рынке, не имеет сертифицированной защиты от несанкционированного доступа через любой из имеющихся у устройства каналов возможной передачи данных [1]. Защита информации в рамках таких систем не является задачей для производителей, пользователей и контролирующих органов, что привело к отсутствию комплексности защиты.

Обеспечение населения информацией о состоянии окружающей среды и минимизация влияния деятельности человека на окружающую среду является целью ведения деятельности по контролю выбросов и мониторингу состояния атмосферного воздуха. В то же время все системы контроля находятся на территории стороны, заинтересованной в искажении этой информации с целью получения необходимых значений и их использования. Например, очевидно, что производственному предприятию в краткосрочной перспективе может быть выгоднее искажение информации о количественных показателях выбросов и сбросов, нежели модернизация аппаратуры по принципу наилучших доступных технологий. В комплексе с психологическими образами современного человека мы можем с точностью сказать, что данными краткосрочными возможностями пользуются в настоящее время.

Целью общества и государства в данный момент должна стать разработка такой методики получения информации о состоянии окружающей среды и антропогенном воздействии на нее, при которой не будет сторон, заинтересованных в искажении получаемой информации. Социальные институты, занимающиеся этим вопросом, имеют некоторый успех в странах западной Европы, который мы перенимаем в процессе экономического сотрудничества [2].

Данные результаты заставляют говорить о необходимости пересмотра отношения к получаемой информации в рамках ведения деятельности по контролю выбросов, а также о необходимости внесения защиты получаемой информации на всех этапах жизни системы в перечень задач разработки методов, средств и систем контроля выбросов и контроля состояния окружающей среды в различных его проявлениях.

Литература

1. Государственный реестр сертифицированных средств защиты информации N РОСС RU.0001.01БИ00 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty-po-sertifikatsii/153-sistema-sertifikatsii/591-gosudarstvennyj-reestr-sertifitsirovannykh-sredstv-zashchity-informatsii-n-ross-ru-0001-01bi00>, своб.
2. Бадагуев Б.Т. Экологическая безопасность предприятия: Приказы, акты, инструкции, журналы, положения, планы. – М.: Альфа-Пресс, 2012. – 568 с.



Костыгина Алевтина Алексеевна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности,
студент группы № W4150

Направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность

e-mail: alevtinasya@mail.ru

УДК 62-663.3

**ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕХОДА ПРЕДПРИЯТИЙ УГОЛЬНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПРИНЦИПЫ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

Костыгина А.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.

В работе приведены первые этапы научно-исследовательской работы, ознакомление с основными правовыми документами, терминологией. Сделан анализ дальнейшего развития, внедрения и уже применяемые наилучшие доступные технологии в угольной промышленности, а также обзор зарубежных технологий.

Ключевые слова: наилучшие доступные технологии, угольная промышленность, загрязнение воздуха, законодательство в сфере охраны окружающей среды.

Угольная промышленность России – это более 100 млрд т известных запасов угля. В эту цифру входят месторождения антрацитов, бурого, каменного и коксующего угля. В настоящее время уголь добывается в 16 угольных бассейнах, которые охватывают 85 муниципальных образований Российской Федерации (РФ). На сегодня угольная промышленность РФ – это 85 шахт, которые за год выдают около 383 млн т угля. Самым крупным угледобывающим бассейном в настоящее время является Кузнецкий бассейн.

Добыча угля имеет первостепенное значение для динамичного развития экономики, это своеобразный двигатель текущего и будущего развития. Чтобы эффективно использовать потенциал горнодобывающего сектора, необходим всеобъемлющий и скоординированный подход к различным аспектам устойчивого развития: экономическая устойчивость, т.е. реализация политики и разработка стимулов и стратегий для повышения подходов в добыче полезных ископаемых, таких как медь, уголь и другие. Важно использовать современные и экологически чистые технологии, которые, среди прочего, помогают экономить энергию и воду. Кроме того, необходимо реализовывать процессы, которые направлены на обеспечение социальной устойчивости, и разрабатывать инструменты, которые регулируют сотрудничество участвующих сторон в форме диалоговых процессов, а также механизмы переговоров.

Решением экологической проблемы добычи угля могут стать, прежде всего, принятие ряда законов и нормативов, которые регулируют все этапы разработки месторождений. Федеральный закон от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» поставил перед горнодобывающими предприятиями задачу перехода на наилучшие доступные технологии (НДТ) [1]. Такие изменения позволят горнодобывающим компаниям начать новый этап модернизации производства путем внедрения НДТ и использование мер экономического стимулирования, заложенных в природоохранном законодательстве и нормативных актах, регламентирующих промышленное развитие. Основные положения вышеуказанного федерального нормативно-правового документа направлены на создание систем стимулирования перехода горных предприятий на НДТ.

Интерес зарубежных инвесторов к угольной промышленности в последнее время только увеличивается. Это говорит о том, что инвестиционная активность в угольной отрасли как иностранных, так и российских компаний – явление закономерное и цена угольных активов в перспективе будет только повышаться.

Основные проблемы отечественной угольной промышленности обозначены в распоряжении Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р «Об энергетической стратегии России на период до 2030 года» [2]. Наиболее существенными проблемами угольной отрасли являются:

- медленное обновление в малых объемах основных производственных фондов;
- недостаточный объем инвестиционных средств для реализации масштабных инфраструктурных проектов по развитию ресурсно-производственного потенциала угольной промышленности.

Главные стратегические задачи процесса перехода предприятий на наилучшие доступные технологии – это создание нормативно-правовой базы, система эффективного финансового стимулирования предприятий и усовершенствование системы управления охраной окружающей среды, с целью снижения уровня негативного воздействия на окружающую среду.

Последовательность перехода на НДТ предприятий можно определить следующим образом:

1. оценка и подготовка плана модернизации предприятия;
2. установление временно согласованных лимитов на реализацию плана;
3. поэтапное внедрение НДТ.

Переход предприятий на НДТ позволит усовершенствовать систему мониторинга и контроля за негативным воздействием производства на окружающую среду. Создание условий для перехода займет предположительно от 3 до 5 лет, все зависит от сроков подготовки перечней НДТ и согласования проектов нормативных правовых актов.

Таким образом, наиболее важным следствием применения механизма НДТ, наряду с общим снижением уровня загрязненности окружающей среды, будет являться ускоренное технологическое развитие. Предприятия будут вынуждены принимать дополнительные меры по сохранению себестоимости продукции на конкурентном уровне, учитывая необходимость постоянного требуемого снижения негативного воздействия на окружающую среду. Единственно возможными дополнительными мерами по сохранению себестоимости станет развитие технологий, повышение их эффективности, снижение всех возможных затрат. Внедрение механизма НДТ позволит не устанавливать единые для всех предприятий жесткие нормы, поскольку с учетом разнообразия природных условий, применяемого сырья, процессов производства единообразие требований для всех предприятий нерентабельно.

Заключение. Опыт разработки и внедрения наилучших доступных технологий странами Европейского Союза свидетельствует о том, что применение данных технологий должно быть подкреплено и обеспечено комплексом финансовых и организационных мер, государственной поддержкой, научно-техническими программами разработки и внедрения новых экологически чистых технологий производства, действенной системой нормативно-методических документов. Разработанный алгоритм выбора наилучших доступных технологий представлен в европейских справочниках [3]. Этапы алгоритма дополнены рекомендациями по практическому применению основных принципов и требований методологии для российских предприятий.

Литература

1. Федеральный закон от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_165823/, своб.

2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р «Об энергетической стратегии России на период до 2030 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94054/, своб.
3. Экономические аспекты и вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://14000.ru/brefs/BREF_ECME.pdf/, своб.

**Медведь Кристина Валерьевна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности,
студент группы № W4150Направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность

e-mail: medved.kristina@bk.ru

**Шац Кристина Олеговна**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности,
студент группы № W4150Направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность

e-mail: tyo-plet@yandex.ru

**Кустикова Марина Александровна**

Год рождения: 1958

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности (базовая),
к.т.н., доцент

e-mail: makustikova@corp.ifmo.ru

УДК 658.5.012.011.56

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ****Медведь К.В., Шац К.О.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617028 «Ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии углеводородной энергетики и низкотемпературных систем».

В работе рассмотрены системы, которые являются полностью автоматическими и способные работать 24 часа в сутки. Такие системы ведут наблюдения, передают полученную информацию о данных в центр мониторинга, выполняют в автоматическом режиме очистку зондов и калибровку. Даны основные цели и задачи автоматизированных информационных систем и представлены методы реализации контроля источников выбросов.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, информационные системы, контроль источников выбросов, экологический мониторинг, объекты I категории.

Для обработки информации были созданы и внедрены многочисленные системы электронной обработки данных самых разных уровней реализации и назначения, получившие общее название «Автоматизированные информационные системы».

Цели автоматизации информационных процессов:

- повысить производительность и эффективность труда работников;
- улучшить качество информационной продукции и услуг;
- повысить сервис и оперативность обслуживания пользователей.

К основным задачам автоматизации информационных процессов относятся:

1. сокращение трудозатрат при выполнении традиционных информационных процессов и операций;
2. устранение рутинных операций; ускорение процессов обработки и преобразования информации; расширение возможностей осуществления статистического анализа и повышение точности учетно-отчетной информации;
3. повышение оперативности и качественного уровня обслуживания пользователей;
4. модернизация или полная замена элементов традиционных технологий;
5. расширение возможностей организации и эффективного использования информационных ресурсов;
6. облегчение возможностей широкого обмена информацией, участия в корпоративных и других проектах, способствующих интеграции и т.п.

Информационно-вычислительные системы различного назначения занимают одно из лидирующих мест в совершенствовании управления организациями.

Структурированные данные в виде чисел и текстов хранятся и обрабатываются с помощью фактографических систем. Информационные системы разделяются на ручные, автоматические и автоматизированные, основываясь на степени автоматизации информационных процессов в системе управления фирмой.

В зависимости от сферы применения различают следующие классы информационных систем: интегрированные (корпоративные), информационные системы организационного управления, информационные системы управления технологическими процессами (ТП), информационные системы автоматизированного проектирования (САПР).

В зависимости от характера обработки данных информационные системы делятся на информационно-поисковые и информационно-решающие.

Управляющая информация решающих информационных систем непосредственно трансформируется в принимаемые человеком решения. Для этих систем характерны задачи расчетного характера и обработка больших объемов данных [1].

С 1 января 2018 г. на объектах I категории стационарные источники выбросов должны быть оснащены автоматическими средствами измерения и учета объема выбросов загрязняющих веществ, а также средствами фиксации и передачи информации об объеме и концентрациях выбросов в государственный фонд данных государственного экологического мониторинга.

Будут требоваться измерения на предприятиях, где основные загрязняющие компоненты – это оксид углерода, оксид азота, диоксид серы, взвешенные вещества и для некоторых предприятий – сероводород.

Сложнейшей задачей является одновременный контроль нескольких источников выбросов в атмосферу при помощи одной системы.

Контроль нескольких источников выбросов возможен такими системами, как «ГОРИЗОНТ» и СГК-510 «SOLER».

Автоматизированная система «ГОРИЗОНТ» реализует контроль тремя методами:

1. контроль выбросов осуществляется путем поочередного, циклического запроса от каждого источника. Таким образом, происходит подача пробы газа от каждого источника на газоанализатор поочередно. В таком методе анализ каждого источника осуществляется за минимальный промежуток времени. Расположение источников выбросов при таком методе контроля подразумевается на расстоянии не более чем 100–150 м от места установки аналитического модуля;
2. одновременный контроль каждого источника выбросов собственным газоанализатором. Источник выбросов при таком контроле должен располагаться на удалении не более чем 100–150 м от места установки аналитического модуля, как и в первом методе;
3. контроль каждого источника выбросов собственной, независимой системой. При применении данного метода, расстояние между источниками выбросов не имеет значение,

как и характер технологического процесса. В реализации такого контроля выбросов полученные данные объединяются непосредственно на рабочем месте для эколога или сервере [2].

Второй рассматриваемый вариант – это автоматизированная система измерения СГК-510 «SOLER». Экологический мониторинг и оптимизация технологического процесса решает задачи:

1. увеличить КПД оборудования;
2. снизить потребление энергоресурсов предприятий;
3. определить фактические выбросы предприятия для инвентаризации выбросов в атмосферу;
4. повысить качество выпускаемой продукции;
5. определить эффективность работы пылегазоочистного оборудования, аспирационных и вентиляционных систем;
6. приведение измеренных значений к нормальным условиям (температура 0°C, давление 101,3 кПа, коэффициент избытка воздуха 1,4);
7. периодический контроль выбросов согласно условиям разрешения на выбросы.

Системой экологического мониторинга СГК-510 «SOLER» осуществляются непрерывные измерения и учет объема, массы выбросов и концентрации загрязняющих веществ в окружающую среду [3].

Рассмотренные системы являются полностью автоматическими, способны работать 24 часа в сутки, ведут наблюдения, передают полученную информацию о данных в центр мониторинга, выполняют в автоматическом режиме очистку зондов и калибровку. Предъявляемые экологические и технологические вопросы и задачи в документе [4] имеют решения при использовании систем СГК-510 «SOLER» и «ГОРИЗОНТ».

Литература

1. Максимов Н.В., Алешин Л.И. Информационные технологии. Учебное пособие. – М.: Изд-во Московского международного института эконометрики, информатики, финансов и права, 2004. – 556 с.
2. Контроль промышленных выбросов – Автоматизированная система контроля промышленных выбросов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.intertech-corp.ru/aboutproduct.asp?gr=19&subgr=100&prid=331>, своб.
3. Система автоматического контроля выбросов СГК-510 SOLER [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pmg54.ru/ru/resheniya/sistema-avtomaticheskogo-kontrolya-vybrosov-sgk-510-soler>, своб.
4. Федеральный закон «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 21.07.2014 № 219-ФЗ.



Медведь Кристина Валерьевна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности,
студент группы № W4150

Направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность

e-mail: medved.kristina@bk.ru



Шац Кристина Олеговна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности,
студент группы № W4150

Направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность

e-mail: tyo-plet@yandex.ru



Кустикова Марина Александровна

Год рождения: 1958

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности (базовая),
к.т.н., доцент

e-mail: makustikova@corp.ifmo.ru

УДК 665.6

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ: РОССИЙСКИЙ
И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ (ОБЗОР)**

Медведь К.В., Шац К.О.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617028 «Ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии углеводородной энергетики и низкотемпературных систем».

Вопросы промышленной безопасности становятся все более актуальными в свете возрастающего числа техногенных катастроф. Разнообразие рисков, исходящих от предприятий топливно-энергетического комплекса, предопределяет необходимость комплексного подхода к минимизации возможности аварии и катастрофы. В связи с этим поставлена задача о проведении критического анализа существующих зарубежных и отечественных способов обеспечения промышленной безопасности в топливно-энергетическом комплексе.

Ключевые слова: промышленная безопасность, опасные производственные объекты, топливно-энергетический комплекс, обеспечение безопасности, анализ риска, управление рисками.

1. Методы декларирования (обоснования) аварийных выбросов и количественной оценке рисков на предприятиях топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Основой процедуры обоснования промышленной безопасности любого опасного промышленного объекта (ОПО) являются результаты расчета, базирующиеся на использовании методов количественной оценки рисков. В топливно-энергетической сфере весьма важен

корректный расчет риска при выбросе и детонации облаков топливно-воздушной смеси (ТВС), а также размеры зон поражения.

Существует российский нормативный документ – методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (РД 03-409-01) и ее иностранный аналог (Нидерланды) – мультиэнергетический метод компании TNO. Результаты расчетов с использованием данных программ с небольшими расхождениями подтверждаются результатами работ.

В то же время, сравнивая эффективность применения алгоритма РД 03-409-01 и зарубежного программного комплекса PHAST (компания DNV), точность прогнозирования последствия детонации ТВС в режиме дефлаграции намного выше и может быть использована для более корректной оценки пожарного риска [1].

2. Методы мониторинга оборудования на опасных производственных объектах ТЭК.

Существует два типа подхода к организации надзорно-контрольных мероприятий: 1) традиционный подход, основой которого является исполнение соответствующих предписаний по срокам и методам инспектирования; 2) риск-ориентированный подход, применяемый с учетом фактического состояния промышленного оборудования и факторов, влияющих на риск их отказа и возможного выхода из строя.

В зарубежной практике риск-ориентированный подход в промышленной безопасности называется *risk based inspections*. Длительный опыт применения в промышленности показал, что частота мониторинга (инспектирования) технического состояния оборудования, приведенная в нормативных документах мало влияет на уменьшение риска возникновения аварии, в большинстве случаев изнашивается уже работающее оборудование (за исключением проверки нового) и наносится экономический ущерб предприятию в результате простоя. В то же время применение риск-ориентированного подхода не отменяет обязанности проверки оборудования ОПО, а предлагает дифференциацию оборудования по критериям риска с учетом его технического состояния. Это позволяет кардинально уменьшить риск возникновения аварии [2].

3. Правовые методы обеспечения промышленной безопасности ТЭК. В отношении экологии действует стандарт менеджмента ISO 14001-2004, основной задачей которого является гармонизация всех технологических процессов ОПО с экосистемой. Результатами внедрения данного стандарта является повышение качества производства, контроль над утилизацией и рециклингом отходов, уменьшения энерго- и ресурсоемкости производства. В настоящее время все большее количество предприятий России стремятся сертифицировать свои системы экоменеджмента в соответствии с данным стандартом, так как экологичность производства дает неоспоримые преимущества при ведении бизнеса.

Международный стандарт OHSAS 18001 принят в Великобритании, с 2016 г. в качестве нормативного документа он фигурирует как ISO 45001. Основными задачами, решаемыми внедрением стандарта на производство, предприятия которого относятся к ОПО, являются:

- исключение рисков, либо их значительное сокращение для персонала, которые могут подвергаться рискам при исполнении своих трудовых обязанностей;
- управление рисками, возникающими в процессе функционирования, как отдельных технологических цепочек, так и предприятия в целом;
- минимизация возможности возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций;
- интегрирование и гармонизация системы менеджмента предприятия с международными нормами [3].

4. Технические методы обеспечения промышленной безопасности ТЭК. В настоящее время успешное функционирование нефтегазового комплекса немислимо без автоматизированной системы управления и интеграционных интернет-коммуникаций. С одной стороны, автоматизация и контроль процессов позволяет оптимизировать работу предприятий, обеспечить достаточно высокие технико-экономические показатели производства и уровня безопасности. С другой стороны, любые средства автоматики

подвержены ошибкам в работе и уязвимостям в управлении, которые могут привести к нарушению корректной работы технологических процессов и несанкционированному доступу, например, к системам сбора данных и диспетчерского управления, а также к системам управления производством (MES-системы).

В качестве уязвимостей в автоматизированной системе управления технологическим процессом (АСУ ТП) с учетом мирового опыта можно указать: реализацию произвольного программного кода и файлов (нарушение авторизации), раскрытие доступа посторонним лицам к файлам системы, частичный или полный отказ в обслуживании. Это в совокупности может создать реальные предпосылки для реализации чрезвычайной ситуации на производстве.

Такие страны как, например, США очень серьезно относятся к вопросам кибербезопасности промышленного производства, особенно добычи/транспортировки нефти и природного газа. Это выражается в принятии необходимых правовых документов, например, закона об информационной безопасности (CyberArt), а также проведения учений по противостоянию киберугрозам (CyberStorm).

В отношении защищенности нефтегазовой промышленности России от кибератак можно заключить, что положение крайне неудовлетворительное. Это связано с тотальной зависимостью от иностранного промышленного оборудования и программного обеспечения. Несмотря на попытки импортозамещения кардинально ситуация не меняется, и информационная безопасность данной сферы промышленности остается весьма низкой [4].

Резюмируя материалы приведенного критического анализа состояния методов промышленной безопасности в ТЭК России, с учетом зарубежного опыта можно заключить что:

1. методики и программные комплексы отечественных разработчиков в области расчета аварийных выбросов и количественной оценке рисков на предприятиях ТЭК находятся на мировом уровне, и даже превосходят зарубежные аналоги;
2. методы мониторинга на опасных производственных объектах ТЭК России синхронизированы с мировыми, однако требуют дальнейшего развития и совершенствования для повышения уровня безопасности производства с оптимальными как финансовыми, так и временными затратами, с персональным учетом технического состояния каждого промышленного объекта;
3. правовые нормы обеспечения экоменеджмента и охраны труда согласованы и сертифицированы с международными стандартами ISO 14001-2004 и ISO 45001;
4. требуется развитие информационных методов, обеспечивающих защиту систем автоматического управления производством в ТЭК России, как на уровне государства (более эффективное развитие процесса импортозамещения), так и ведущими игроками рынка углеводородов, в виде развития соответствующих подразделений в структурах своих компаний.

Литература

1. Ханухов Х.М. Комплексный мониторинг технического состояния особо опасных объектов – изотермических резервуаров для хранения сжиженных газов, с учетом зарубежного опыта // Материалы научно-практической конференции по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций «Опыт ликвидации крупномасштабных чрезвычайных ситуаций в России и за рубежом». – 2014. – С. 383–395.
2. Брагинский О.Б. Мировой нефтегазовый комплекс. – М.: Наука, 2009. – 605 с.
3. Храпцов Б.А., Гаевой А.П., Дивиченко И.В. Промышленная безопасность опасных производственных объектов: уч. пособие. – Белгород: БГТУ, 2007. – 187 с.
4. Иванова С.А. Императивы современного этапа развития российского нефтегазового сектора // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 557.



Наталенко Ирина Владимировна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности,
студент группы № W4151

Направление подготовки: 27.04.01 – Стандартизация и метрология

e-mail: irina.natalenko@mail.ru

УДК 621.082.64

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ КАЛИБРОВКЕ
МЕР ЭДС**

Наталенко И.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Пинчук О.А.

В работе рассмотрена методика измерения, построенная на использовании косвенного измерения сопротивления термопреобразователя и образцовой меры электрического сопротивления. Предложенная методика позволяет измерять температуру рабочего объема термостата с точностью, требуемой для калибровки мер ЭДС. Особенностью реализации данной методики является работа при малых токах, не вызывающих нагрева элементов схемы и рабочего объема термостата.

Ключевые слова: термопреобразователь сопротивления, косвенное измерение, калибровка мер ЭДС, измерения температуры, бюджет неопределенности, метрология.

С древних времен люди замечали влияние температуры на различные процессы и явления. С развитием науки и техники выяснилось, что контроль температуры важен практически во всех областях человеческой деятельности: в химической промышленности, в приборостроении, в нефтепромышленности и других областях [1].

Особую роль контроль температуры играет в точных измерениях, поскольку свойства многих материалов и веществ уже хорошо изучены. Так, например, для поддержания стабильности напряжения нормального элемента Х482, входящего во вторичный эталон постоянного вольта, $\pm 2 \cdot 10^{-8}$ В [2] необходимо контролировать температуру с точностью $\pm 0,005$ °С. Во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева необходимую стабильность температур обеспечивают термостаты ТНЭ-24 и ТНЭ-24М.

Для измерения температуры в этих термостатах используют платиновые термометры сопротивления (ПТС), которые считаются самыми надежными и стабильными. ПТС – это первичный преобразователь температуры, выходной величиной которого является электрическое сопротивление. И, кажется, вполне логичным измерять сопротивление ПТС омметром, но омметр подключается непосредственно к элементу и сам подает на него необходимый ток. Подаваемый омметром ток слишком велик для ПТС. Например, комбинированный прибор Agilent 34420А в режиме омметра на пределах 1 Ом, 10 Ом, 100 Ом подает ток 10 мА, а максимально допустимый ток термопреобразователя сопротивления Метран-2000 1–5 мА.

Исходя из этого, для измерения сопротивления рассмотрим метод двух вольтметров [3], который позволяет избежать самонагрева ПТС, вызванного прямым измерением.

Соединим последовательно однозначную меру электрического сопротивления (ОМЭС) и ПТС (рисунок). Напряжение на R_T :

$$U_T = I \cdot R_T.$$

А напряжение на R_0 :

$$U_0 = I \cdot R_0.$$

Так как в обоих элементах протекает одинаковый ток, то по закону Ома:

$$\frac{U_0}{R_0} = \frac{U_T}{R_T}.$$

Отсюда можем найти искомое R_T :

$$R_T = \frac{U_T \cdot R_0}{U_0}. \quad (1)$$

Значение R_0 известно с максимальной точностью для класса точности меры и данных условий. Вольтметром измерим напряжение U_0 на ОМЭС, затем измерим напряжение U_T на ТС.

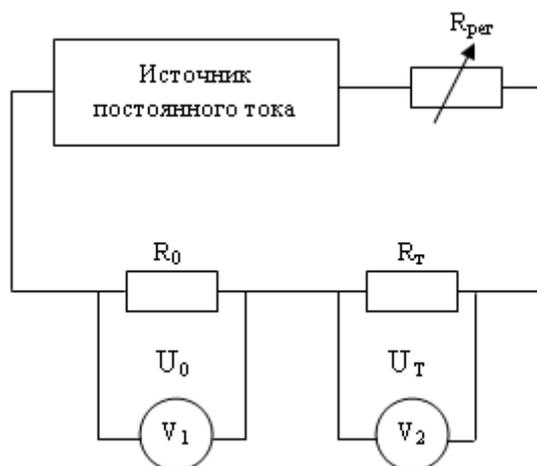


Рисунок. Структурная схема установки: R_0 – однозначная мера электрического сопротивления; $R_{\text{пер}}$ – регулируемое сопротивление, необходимое для регулировки тока в цепи; R_T – сопротивление ТС; U_0 и U_T – напряжения на однозначной мере и на ТС соответственно

Для данного метода измерений была разработана и опробована методика измерений. Измерения температуры в термостате ТЭН-24 проводились ТС-1088 Pt100. В качестве образцовой меры использовали МС 3050 класса точности 0,002, источник тока – калибратор напряжений ПЗ27, регулируемое сопротивление – МС 3070. Измерение напряжения проводили двухканальным комбинированным прибором Agilent 34420А в режиме вольтметра. Метрологические характеристики средств измерений и вспомогательных устройств представлены в табл. 1.

Была проведена большая серия измерений (50 опытов). Полученные показания были проверены критерием трех сигма на наличие промахов и по критерию Пирсона на нормальность закона распределения. Оба массива полученных показаний – напряжение на мере и напряжение на термометре – не имеют промахов и подчиняются нормальному закону распределения.

Сопротивление МС 3050 $R_0=99,9989$ Ом измерено при $(20,00\pm 0,01)^\circ\text{C}$, так как мера помещена в термостат, значение сопротивления ТС рассчитываем по формуле (1).

Значение температуры рассчитываем согласно ГОСТ 6651-2009 [4]:

$$t = \frac{\sqrt{A^2 - 4B(1 - R_{\text{cp}}/R_{0\text{T}})} - A}{2B}, \quad (2)$$

где t – температура по МТШ-90, $^\circ\text{C}$; R_{cp} – среднее сопротивление при температуре t ; $R_{0\text{T}}$ – номинальное сопротивление ТС при 0°C , равное 100,3693 Ом.

Согласно руководству по эксплуатации значение температурного коэффициента термопреобразователя сопротивления ТС-1088 Pt100 $\alpha=0,00385^\circ\text{C}^{-1}$. Значения коэффициентов A и B $3,9083 \cdot 10^{-3}^\circ\text{C}^{-1}$ и $-5,775 \cdot 10^{-7}^\circ\text{C}^{-2}$ соответственно.

$$R_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}, \quad (3)$$

где n – число измерений сопротивления ТС; R_i – результат i -го измерения сопротивления.
Рассчитав по формулам (3) и (2), получаем $R_{cp}=108,4249$ Ом и $t=20,598^\circ\text{C}$.

Таблица 1. Характеристики средств измерений и измерительного оборудования

| Прибор | Класс точности (КТ) или абсолютная погрешность (АП) измерения | Номинальное значение | Предел измерений |
|-------------------|---|----------------------|--|
| ТС-1088 Pt100 | АП $\pm(0,1+0,0017 t)^\circ\text{C}$ t – температура измеряемой среды | 100 Ом | от 0 до $+150^\circ\text{C}$ |
| Agilent 34420A | АП $\pm(0,0035\% \cdot U_{изм} + 0,0004\% \cdot U_{пр})$ В | – | 1 В |
| ТНЭ-24 | АП $\pm 0,02^\circ\text{C}$ | – | от $+20^\circ\text{C}$ до $+100^\circ\text{C}$ |
| МС 3050 | КТ 0,002 | 100 Ом | – |

Также была проведена оценка бюджета неопределенности, который состоит из ряда составляющих: неопределенность, оцениваемая по типу А напряжения ОМЭС, неопределенность, оцениваемая по типу А напряжения ТС, неопределенность образцовой меры, погрешность измерения напряжения, и другие менее значительные факторы (влияние температуры, давления и влажности в помещении). Полученные значения составляющих бюджета неопределенности представлены в табл. 2.

Таблица 2. Бюджет неопределенности измерения сопротивления

| Составляющие суммарной стандартной неопределенности | Тип | Оценка составляющих неопределенностей, $\cdot 10^{-6}$ |
|---|-------|--|
| Неопределенность статистической обработки результатов измерений u_{A0} u_{AT} | u_A | 3,4 5,6 |
| Неопределенность образцовой меры $u_{ОМЭС}$ | u_B | 4,46 |
| Неопределенность измерения напряжения Agilent 34420A $u_{напрВ}$ | u_B | 2,25 |

Рассчитаем суммарную стандартную неопределенность u_Σ :

$$u_\Sigma = \sqrt{u_{A0}^2 + u_{AT}^2 + u_{ОМЭСВ}^2 + u_{напрВ}^2} = \sqrt{(3,4)^2 + (5,6)^2 + (4,6)^2 + (2,25)^2} \cdot 10^{-6} = 8,31 \cdot 10^{-6}.$$

Расширенная неопределенность U равна произведению стандартной неопределенности u_Σ результата измерений на коэффициент охвата k , который принимаем равным 2:

$$U = k u_\Sigma = 2 \cdot 8,31 \cdot 10^{-6} = 16,62 \cdot 10^{-6}.$$

Результат измерения сопротивления:

$$R_i = R_{cp} \pm R_{cp} \cdot U,$$

$$R_i = 108,4249 \pm 108,4249 \cdot 16,62 \cdot 10^{-6} = (108,4249 \pm 0,0018) \text{ Ом}.$$

Чтобы найти неопределенность измерения температуры, найдем максимальное и минимальное значения сопротивления, так как температурная шкала – это шкала интервалов:

$$R_{i\min} = (108,4249 - 0,0018) \text{ Ом} = 108,4231 \text{ Ом},$$

$$R_{i\max} = (108,4249 + 0,0018) \text{ Ом} = 108,4267 \text{ Ом}.$$

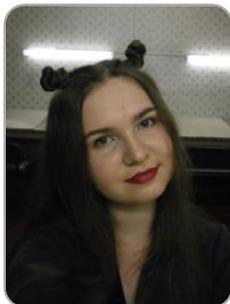
По формуле (2) найдем $t_{\min}=20,596^\circ\text{C}$ и $t_{\max}=20,601^\circ\text{C}$, тогда нестабильность температуры в рабочем объеме термостата Δt :

$$\Delta t = t_{\max} - t_{\min} = 20,601 - 20,596 = 0,005^\circ\text{C}.$$

Таким образом, методы измерения температуры продолжают развиваться и совершенствоваться. Современные методы используют волоконные брэгговские решетки и ядерный квадрупольный резонанс. Но, как и более 100 лет назад платиновые термометры сопротивления остаются наиболее точными и стабильными. Разработанная для них методика измерений позволяет получать результаты измерений температуры с требуемой точностью.

Литература

1. Российская метрологическая энциклопедия / Под ред. академика РАН В.В. Окрепилова. – 2-е изд. В двух томах. – Т. 1. – СПб.: ИИФ «Лики России», 2015. – 904 с.
2. ГОСТ 8.027-2001. Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы. – Введен 01.07.2002. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.
3. Кравцов А.В. Метрология и электрические измерения. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1999. – 216 с.
4. ГОСТ 6651-2009. Термопреобразователи сопротивления из платины меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний. – Введен 01.01.2011. – М.: Стандартиформ, 2011. – 32 с.

**Новикова Ксения Александровна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности,
студент группы № W4250Направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность
e-mail: novikova.xenia@mail.ru

УДК 581.526

**МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФИЛИМОНОВСКОГО БОЛОТНОГО
КОМПЛЕКСА БОЛЬШОГО СОЛОВЕЦКОГО ОСТРОВА НА ОСНОВЕ
ЛЕСОУСТРОИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ И МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ****Новикова К.А.****Научный руководитель – к.биол.н., доцент Кобелева Н.В.**

В работе рассмотрена динамика морфологической структуры торфяного болотного комплекса Большого Соловецкого острова после торфоразработок.

Ключевые слова: структура, спонтанная антропогенная динамика, торфяные болота, ГИС-технологии.

В результате развития рекреационной деятельности на территории Соловецких островов возникла необходимость инвентаризации природных ресурсов с целью получения качественных и пространственных данных состояния окружающей среды [1–4].

Цель работы заключалась в выявлении количественных показателей морфологической структуры стадий восстановления Филимоновского болотного комплекса после торфоразработок.

Для выполнения поставленной цели были решены следующие задачи:

- проведение инвентаризации территории Большого Соловецкого острова для выявления слабодренированных участков и их динамического состояния;
- построение спонтанных и антропогенных эколого-фитоценологических рядов торфяных болот;
- выявление морфологической структуры одного из самых больших болотных комплексов Большого Соловецкого острова – Филимоновского.

Филимоновское болото расположено на северо-востоке Соловецкого острова, окружено множеством озер, самые крупные из которых: Большое Угольное, Большое Куйкино, Зеленое. Это самый большой, подвергшийся антропогенному влиянию разрабатываемый болотный участок. В 1930-х годах в этом месте велись масштабные разработки торфа.

Для проведения инвентаризации территории Большого Соловецкого острова была построена карта индекса вегетации растительности NDVI на основе материалов дистанционного зондирования. Анализ полученного материала позволяет оценить степень антропогенного воздействия и охарактеризовать структуру растительного покрова всего острова, так лесные угодья составляют 87% и 13% занимают торфяные болота.

Морфологическая структура болотного комплекса представляет собой пространственное его сложение. Структура выработанного торфяного болота включает в себя процесс восстановления формы, состава, облика и других свойств рассматриваемого природного объекта под воздействием внешних факторов в сочетании с сохранившимися свойствами объекта.

Для выявления стадий морфологических структур восстановления растительного покрова нарушенных болот были использованы лесоустроительные пространственные показатели и таксономические описания.

Морфологическая структура анализируется через картографический материал. На основании выявленных структурных особенностей динамических тенденций восстановления нарушенных территорий была создана фитоэкологическая карта. Структура легенды к фитоэкологической карте отражает степень восстановления растительного покрова при изменении экологических факторов.

Качественные и количественные морфологические показатели болотных массивов определяются на основе лесоустроительного материала, который позволяет оценить современное состояние болотных экосистем и их нарушения в связи с антропогенным воздействием.

Использование ГИС-технологий при обработке пространственных фитоэкологических данных, позволило получить количественные показатели морфологической структуры исследуемой территории. Так, в ходе работ было определено, что процесс восстановления не облесенной части торфяного болота (49% от общей его трансформированной площади) идет более быстрым темпом, чем облесенное болото, хотя эти территории подверглись большей антропогенной нагрузке. При этом на осоково-сфагновом переходном болоте (11% территории) изменилось соотношение проективного покрытия видов растений, увеличилось проективное покрытие подроста березы. Степень восстановления облесенных болот зависела от степени антропогенной нагрузки: сосновое сфагновое болото со слабой антропогенной нагрузкой (площадь болотного комплекса занимает 3%), растительный покров не трансформировался, изменилось соотношение проективного покрытия видов, сомкнутость крон сосны составила 30%; сфагновое облесенное со средней антропогенной нагрузкой (9,2%), растительный покров частично трансформировался, сомкнутость крон сосны составляет 20%; сфагновое с единичными соснами с сильной антропогенной нагрузкой (16%), растительный покров трансформировался, сомкнутость крон сосны составила 10%.

Выводы

1. Карта индекса вегетации NDVI, составленная на основе использования материалов дистанционного зондирования, является информативным материалом, для выявления эколого-фитоценотической структуры больших территорий, такого как Большой Соловецкий остров.
2. Степень восстановления эколого-фитоценотических рядов Филимоновского болотного комплекса оценивается на основе их спонтанной и антропогенной динамики. Материалом для выявления подобных зависимостей являются таксономические описания.
3. Карты лесоустройства и таксационные описания содержат информацию о структуре и динамике типов болот, являются информативным материалом для изучения морфологической структуры.
4. Использование ГИС-технологий для обработки лесоустроительных и топографических материалов позволяют получить количественные показатели морфологической структуры анализируемых участков.

Литература

1. Перспективное использование выработанных торфяных болот: монография / Под общей ред. В.В. Панова. – Тверь: ООО «Издательство «Триада», 2013. – 280 с.
2. Инструкция по восстановлению торфяных болот после добычи торфа // Нормативно-информационные материалы торфяной отрасли. – 2002. – С. 22–27.
3. Методические указания по исследованию выработанных площадей торфяных месторождений. – М.: Геолторфразведка, 2010. – 54 с.
4. Суворов В.И., Женихов Ю.Н., Панов В.В., Лопатин К.И. Актуальные вопросы использования торфа и болот: монография. – Тверь: ООО «Издательство «Триада», 2012. – 152 с.

**Орлова Евгения Константиновна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности,
студент группы № W4250Направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность

e-mail: jane_6575@mail.ru

УДК 614.8.013

СИСТЕМА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОХРАНЫ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИИ**Орлова Е.К.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Конопелько Л.А.**

В работе рассмотрен порядок действий для организации системы управления охраной труда в организации.

Ключевые слова: система управления охраной труда, производство, производственный фактор, безопасные условия труда.

Система управления охраной труда (СУОТ) – это единый комплекс взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов, устанавливающих политику и цели в области охраны труда у конкретного работодателя и процедуры по достижению этих целей. Для этого следует выполнить поставленные задачи [1–4].

Задачи:

1. изучить нормативную базу документов;
2. исследовать влияние вредных и опасных производственных факторов;
3. составить систему управления охраной труда, предложить план с мероприятиями, разработать план внедрения.

На каждом предприятии необходимо организовать СУОТ, так как она поможет организованно подойти к вопросам защиты здоровья работников от вредных и опасных производственных факторов. Для тщательного контроля безопасного выполнения работ и предотвращения возможных негативных последствий требуется организовать СУОТ в каждом структурном подразделении в частности.

Все структурные подразделения производства имеют свои особенности, такие как различное оборудование, воздействие разных физических факторов и т.д.

СУОТ начинается с профилактических мероприятий и заканчивается внедрением технических изменений в работу производства. К профилактическим мероприятиям относятся: проведение инструктажей по охране труда; предоставление нормативов, правил, инструкций, стандартов; анализ условий работы на предприятии и имевших место аварийных ситуаций и несчастных случаев; подготовка статистических отчетов; повышение квалификации работников и проведение проверки знаний по охране труда; совершенствование технологических процессов. К техническим мероприятиям можно отнести создание защитных ограждений на опасных участках оборудования, системы автоматического отключения оборудования в случае выявления неисправностей и т.д.

Для управления системой охраны труда организуется определенная иерархия документации, так как все требования, необходимые к исполнению, должны быть четко донесены до работников организации. Внедрение данной документации осуществляется Руководством (Положением), в котором описываются основные элементы системы и то, как они взаимодействуют друг с другом. Руководство (Положение) утверждается руководителем организации и внедряется в работу.

Основой начала работы СУОТ в каждом структурном подразделении являются следующие требования:

1. проведение инструктажей по охране труда каждому работнику. Это такие инструктажи как вводный, первичный, повторный, внеплановый, целевой и инструктаж по пожарной безопасности;
2. обучение безопасным методам и приемам выполнения работ на рабочем месте. Обучение оказанию первой помощи пострадавшим на производстве;
3. проведение обучения при работе с опасным оборудованием, механизмом при такой необходимости;
4. организовать доступность к документам по охране труда обязательных к выполнению. К таким документам относятся правила, инструкции, стандарты. Примером организованного места для ознакомления работников с документацией может быть стенд по охране труда, расположенный в каждом структурном подразделении;
5. организовать возможность повышения квалификации работников и проведение проверки знаний по охране труда.

Для организованной работы в области охраны труда требуется разделить обязанности среди руководящего состава организации. Можно разделить руководство по иерархии следующим образом:

- на каждого непосредственного руководителя возлагается ответственность за контроль выполнения требований безопасных методов и приемов выполнения работ. Непосредственный руководитель должен быть заинтересован и содействовать в помощи организации лучших условий труда в подразделении;
- на следующей ступени после непосредственных руководителей работников располагаются руководители подразделения, которые контролируют соблюдение требований охраны труда, стимулируют и наказывают, а также информируют работников;
- руководство организации организует систему управления охраной труда и создает политику, философию организации в области охраны труда.

Необходимо выделить этапы в работе СУОТ, такие как: выявление опасности; определение возможного ущерба; анализ условий работы на предприятии и имевших место аварийных ситуаций и несчастных случаев; подготовка статистических отчетов; оценка степени риска и принятие профилактических мер; проведение переоценки условий труда в организации.

При проведении данных мероприятий можно свести к минимуму возможность неблагоприятных последствий, оказывающих негативное влияние на здоровье работников организации.

Вывод. Организация системы управления охраной труда в организации необходима для четких и структурированных действий, направленных на предоставление безопасных условий труда на рабочем месте.

Литература

1. ГОСТ 12.0.230-2007. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Системы управления охраной труда. Общие требования (с Изменением № 1). – Введен 01.07.2009. – М.: Стандартинформ, 2008. – 15 с.
2. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 29.07.2017) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.10.2017).
3. Постановление Минтруда РФ и Минобразования РФ от 13 января 2003 г. № 1/29 «Об утверждении Порядка обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников организаций».
4. Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 № 426-ФЗ.

**Позднякова Виктория Владимировна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности,
студент группы № W4250Направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность

e-mail: viktoriya.17@mail.ru

УДК 696.133.34

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЛИВНЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ ДЛЯ КАМПУСА
БРЮССЕЛЬСКОГО СВОБОДНОГО УНИВЕРСИТЕТА****Позднякова В.В.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Пинчук О.А.**

В работе рассмотрена существующая система ливневой канализации в кампусе Брюссельского свободного университета (VUB), а также проведен анализ пригодности системы после включения в нее новых сооружений, планирующихся к постройке к 2020 году.

Ключевые слова: ливневые стоки, система ливневой канализации, канализационная сеть, SWMM-модель, LID-методы.

Основная функция канализационной системы состоит в отведении ливневых стоков и (или) сточных вод от определенной местности через систему водоотведения (сеть труб). Существует множество проблем, вызванных с неправильным водоотведением, такие как затопляемость, некачественная вода и т.д. В зависимости от демографических и климатических изменений система водоотведения должна периодически проверяться.

Целью данной работы являлось построение модели ливневой канализации с учетом строительства новых зданий.

Областью исследования является кампус Etterbeek Брюссельского свободного университета (VUB) в столице Бельгии. Кампус находится в густонаселенном районе южной части Брюсселя и занимает площадь около 17 га [1], из которых около 10 га (70%) составляют в основном строительные или асфальтированные участки, а остальные 30% – зеленые зоны. Однако из-за новых построек, зеленые зоны сокращаются.

Канализационная система в кампусе Брюссельского свободного университета была разработана в 1970-х годах. Максимальный сток в систему канализации регулируется властями, имеет ограничения и составляет 0,115 м³/с. Изначально были предприняты некоторые меры по его снижению, такие как установка ливнесборной камеры (резервуара с водосливом) с насосом (рис. 1). В рамках существующего кампуса система ливневой канализации работала достаточно хорошо и обеспечивала сток в пределах назначенного лимита. Однако в 2015 году было принято решение о расширении кампуса и строительства новых зданий на его территории, что приведет к увеличению объемов ливневых стоков. Окончание строительных работ планируется к 2020 году. Для обеспечения успешного функционирования расширенного кампуса необходимо разработать систему мер для обеспечения установленного максимального стока.

Для построения модели канализационной сети использовалось программное обеспечение EPA SWMM (Storm Water Management Model) [2, 3]. Исследуемая территория была разделена на 48 водосборных площадок в соответствии с планами строительства существующей канализационной сети, в которых все сетевые подключения к зданию могут быть четко визуализированы. Для определения наклона каждой водосборной площадки использовалась карта поверхностных склонов, сформированная на основе Digital Elevation Model (DEM) с точным разрешением 1 м×1 м, что облегчает оценку направления дренажного стока во время ливня. DEM была предоставлена Географическим институтом Фландрии (AGIV).

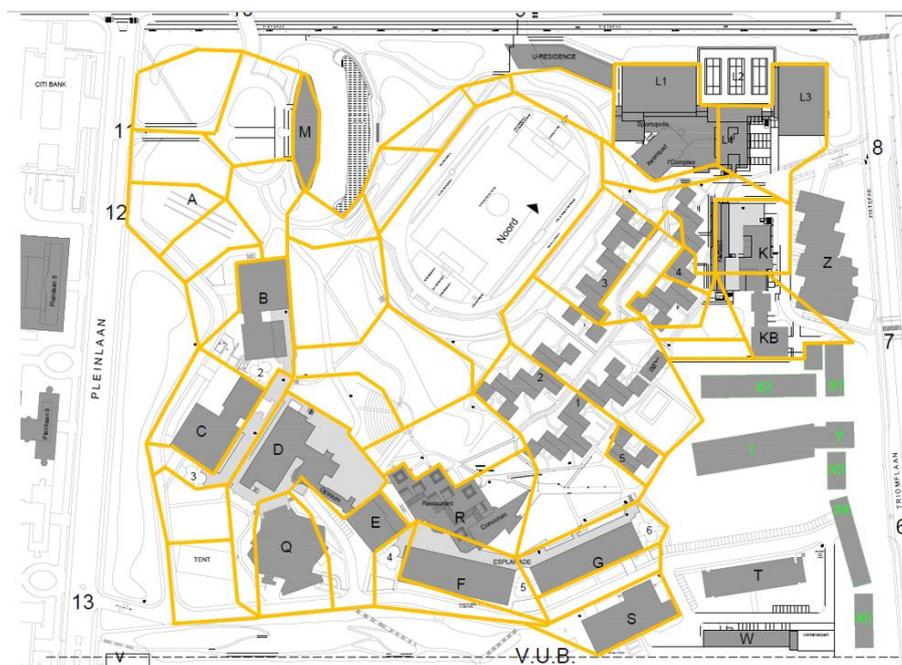


Рис. 1. Схема существующей сети ливневой канализации кампуса университета

Следуя карте канализационной сети (рис. 1), в EPA SWMM были размещены трубопроводы и узлы, гидротехнические объекты и сооружения. Водосборные площадки были размещены в непосредственной близости к узлам, и их площадь была рассчитана при помощи программного обеспечения AutoCAD. На рис. 2 представлено изображение SWMM-модели.

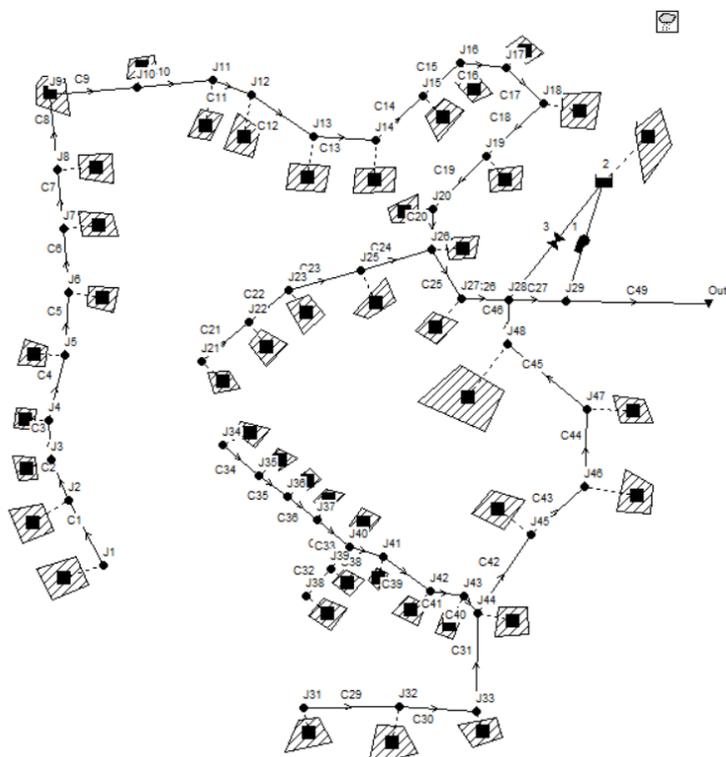


Рис. 2. SWMM-модель системы ливневой канализации

Как упоминалось ранее, новые здания планируются достроить к 2020 году, и как результат, ожидается уменьшение части осадков, которые фильтруются в почву. Для оценки влияния увеличения кампуса необходимо расширить существующую канализационную сеть и включить новые здания в модель SWMM.

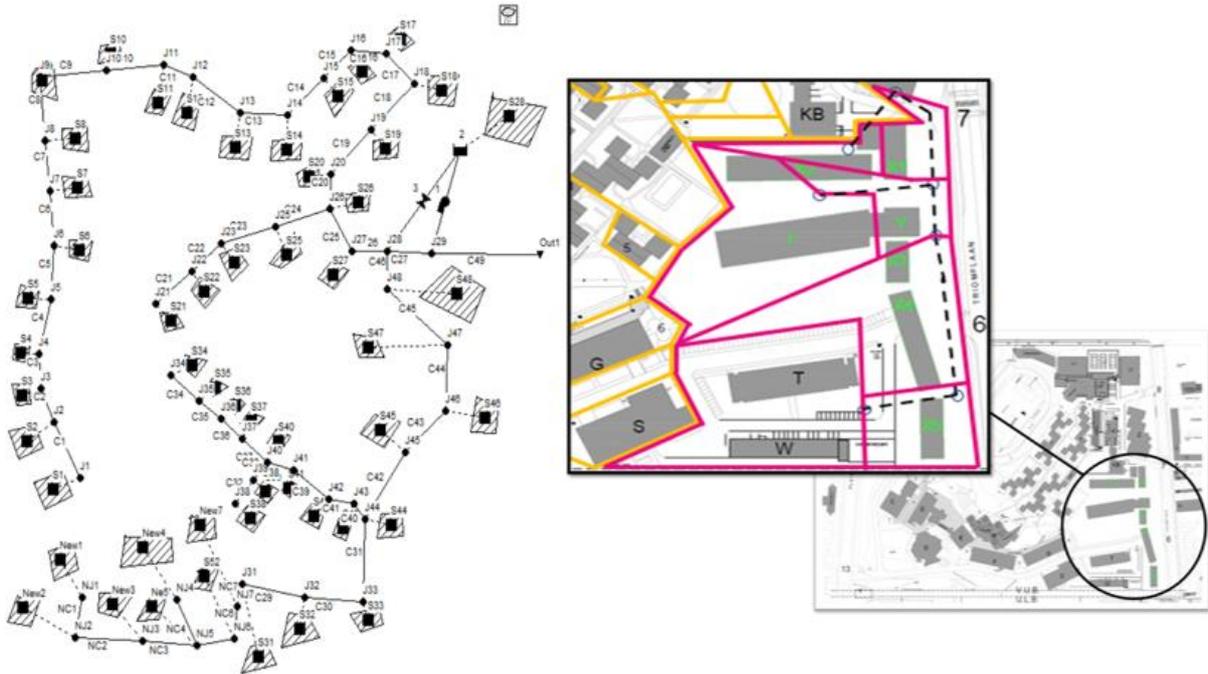


Рис. 3. SWMM-модель системы ливневой канализации в университете с учетом постройки новых зданий

Общая площадь территории с новыми сооружениями составляет 3,06 га и разделена на 7 водосборных площадок, представленных на рис. 3. Для того чтобы включить эти новые здания в модель SWMM необходимо рассчитать геометрические свойства новых водосборных площадок, трубопроводов и узлов (соединений). Расчеты были выполнены с использованием программного обеспечения AutoCAD. Схема новой сети ливневой канализации представлена на рис. 3.

При расчетах использовалась составная модель интенсивности дождя.

Для расчета осадков использовалась следующая формула:

$$i = 0,1(1 + b(\ln T))\exp^a, \quad (1)$$

где i – интенсивность, мм/ч; T – период времени в годах; a , b – параметры регрессии.

На рис. 4 представлена гистограмма интенсивности дождя для периода в два года.

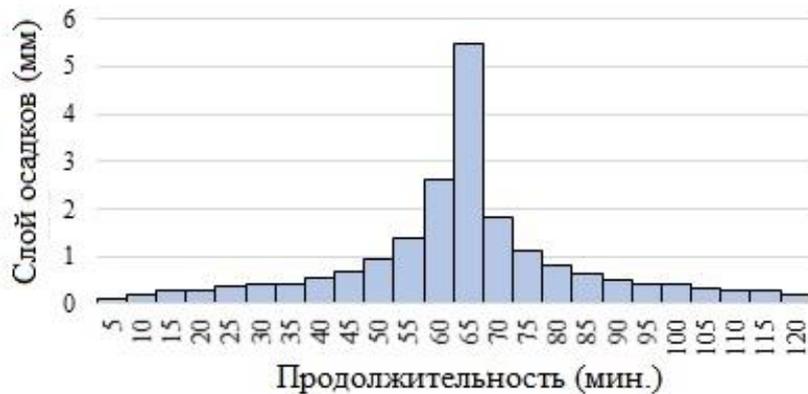


Рис. 4. Составная модель интенсивности дождя для периода в два года

Расчеты показали, что при включении новых участков в канализационную сеть, сток на выходе из системы увеличивается и составляет $0,133 \text{ м}^3/\text{с}$, что превышает установленное ограничение $0,115 \text{ м}^3/\text{с}$. Увеличение стока приводит к увеличению объема воды, который собирается в накопительном резервуаре. Расчеты показали, что объем стоков в накопительном резервуаре увеличивается с 1616 м^3 до 1870 м^3 .

В целях соблюдения лимита предлагается использование LID (Low Impact Development) методов, так как они более устойчивы. Суть этих методов заключается в том,

чтобы представить дренажную систему как естественную. К ним относятся: зеленые крыши, водопроницаемая мостовая, bioswales, дождевые сады и т.д. LID-методы способствуют сохранению земель и минимизации воздействия на гидрологию [4]. Основная цель LID – воссоздать природный ландшафт и тем самым минимизировать непроницаемость [4]. Введение методов LID в данном случае предназначено для уменьшения ливневых стоков путем увеличения инфильтрации на территории. После анализа существующих методов были выбраны зеленые крыши и водопроницаемые мостовые. Предполагается, что они будут главным образом установлены на территории новых построек.

Выводы. В работе были построены следующие модели: модель существующей системы ливневой канализации, модель системы с учетом постройки новых зданий, а также модель интенсивности осадков.

В результате проведенных расчетов было выяснено, что при включении новых сооружений в существующую канализационную сеть, общий объем ливневых стоков превысит разрешенный лимит ($0,133 \text{ м}^3/\text{с} > 0,115 \text{ м}^3/\text{с}$).

Предложено использование LID-методов, а именно, зеленые крыши и водопроницаемые мостовые.

Указанные мероприятия позволят не превышать ограничение на максимальный сток $0,115 \text{ м}^3/\text{с}$.

Объем сточных вод не превысит объем, на который рассчитан уже существующий в кампусе накопительный резервуар (2880 м^3).

Литература

1. FACTS & FIGURES VUB 2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://educationdocbox.com/Graduate_School/69327375-Facts-figures-vub-2017.html, своб.
2. Gironás J., Roesner L.A., Rossman L.A. and Davis J. A new applications manual for the Storm Water Management Model // Environ. Model. Softw. – 2010. – V. 25. – № 6. – P. 813–814.
3. Williams E.S. and Wise W.R. Hydrologic Impacts of Alternative Approaches to Storm Water Management and Land development // J. Am. Water Resour. Assoc. – 2006. – V. 42. – № 2. – P. 443–455.
4. Incorporating Low Impact Development into Municipal Stormwater Programs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www3.epa.gov/region1/npdes/stormwater/assets/pdfs/IncorporatingLID.pdf>, своб.

**Ступников Александр Вадимович**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности, аспирантНаправление подготовки: 05.06.01 – Науки о земле

e-mail: avstupnikov@corp.ifmo.ru

УДК 574.42

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ
ЭКОСИСТЕМ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ГАЗОНОСНОЙ ТЕРРИТОРИИ****Ступников А.В.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.**

В работе проанализированы имеющиеся данные об антропогенном воздействии на экосистемы Северного региона. Также выявлены общие закономерности техногенного воздействия нефтегазового комплекса на примере конкретной территории в районе месторождения «Медвежье».

Ключевые слова: экосистема, Западно-Сибирская газonosная территория, антропогенное изменение экосистем, техногенные риски.

В настоящее время происходит дальнейшее усиление воздействия человека на северные районы России, в связи с возрастанием интереса к разработке новых месторождений нефти и газа и развитию инфраструктуры нефтегазового комплекса. Серьезная уязвимость природных объектов Севера и долгое время восстановления нарушенных экосистем требует большего внимания к охране природы на данных территориях. Экологические проблемы, возникающие при освоении северных территорий, явились причиной разработки комплексных схем охраны природы многими научно-исследовательскими и проектными организациями [1–3].

Изучение динамики антропогенных изменений экосистем должно предшествовать разработке и осуществлению системы мероприятий по охране природы. Антропогенная динамика и оценка потенциальных рисков в экосистемах в настоящее время является одной из первоочередных проблем экологии.

Цель данной работы – выявление закономерностей антропогенных изменений экосистем Северного региона газonosных территорий Российской Федерации, так или иначе связанных с деятельностью нефтегазового комплекса, и определение основных потенциальных рисков в данной области.

Задачи:

- обобщение имеющихся данных об антропогенном воздействии на экосистемы Северного региона;
- выявление общих закономерностей антропогенного воздействия нефтегазового комплекса на примере конкретных территорий.

В нынешних условиях освоения территорий Севера Российской Федерации происходят заметные изменения климатических условий, и также в равной мере возрастает антропогенная нагрузка на экосистемы осваиваемых территорий. В связи с этим мониторинг состояния экосистем, а также их составных частей приобретает высокую значимость и актуальность. Природные условия Севера, такие как – низкие температуры, наличие вечной мерзлоты, малая продуктивность ценозов и их большая уязвимость к факторам внешнего воздействия, определяют общую специфику антропогенного воздействия на компоненты экосистем. В связи с этим влияние человека на Крайнем Севере вызывает довольно глубокие

последствия, для уменьшения последствий которых требуется целый ряд биологических и инженерных решений.

Антропогенные воздействия на экосистемы Севера могут быть условно подразделены на 7 групп:

1. загрязнение почвы;
2. вырубки;
3. подтопление;
4. расчистка трасс и подготовка техногенных площадок;
5. проезд транспорта;
6. пожары;
7. выпас оленьих стад.

По снимкам со спутника были определены конкретные площади антропогенных нарушений в нефтегазоносных районах Западной Сибири. Эти данные показали, что наибольшие площади приходятся на долю гарей, трасс линейных сооружений и нарушенные зоны экосистем у скважин и пунктов переработки газа. В результате перечисленных нарушений прямому воздействию подвергаются следующие компоненты экосистем – растительность, почва, рельеф и верхние горизонты горных пород. В качестве примера в таблице приведены соотношения площадей техногенных нарушений в районе газового месторождения «Медвежье».

Таблица. Соотношение площадей техногенных нарушений в районе месторождения «Медвежье»

| Причины нарушений | Площади нарушений (кв. км/%) |
|--|------------------------------|
| Создание и эксплуатирование скважин и пунктов переработки газа | 21/1 |
| Строительство линейных сооружений | 90/3 |
| Пожары | 709/25 |

Таким образом, в зависимости от степени воздействия и различия в природных условиях, антропогенное воздействие вызывает разную степень деградации экосистем. Интенсивное воздействие в неблагоприятных природных условиях приводит к необратимым последствиям.

Литература

1. Бех И.А. Антропогенная трансформация таежных лесов. – Новосибирск: Наука, 1992. – 198 с.
2. Васильев С.В. Воздействие нефтегазодобывающей промышленности на лесные и болотные экосистемы. – Новосибирск: Наука, Сибирское предприятие РАН, 1998. – 136 с.
3. Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Филлипс Г.В. Проблемы загрязнения высокоширотной окружающей среды. – Изд-во: СПбГУ, 2002. – 280 с.

**Туркина Ксения Андреевна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности,
студент группы № W4150Направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность

e-mail: turkina_ksusha@mail.ru

**Волжанкина Ольга Васильевна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности,
студент группы № W4150Направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность

e-mail: olga.volzhankina@niuitmo.ru

УДК 62-05.614.629.039.58**РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ УСЛОВИЙ ТРУДА
НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ****Туркина К.А., Волжанкина О.В.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.**

В работе рассмотрена проблема вредных условий труда на рабочих местах в организации газовой отрасли. Проведен анализ рабочих мест организации и выявлены места с превышающими показателями предельно допустимых значений. Рассмотрены выделенные рабочие места и для каждого предложены мероприятия по снижению вредного воздействия на работников и уменьшению класса условий труда.

Ключевые слова: охрана труда, безопасность жизнедеятельности, условия труда, специальная оценка условий труда, вредное воздействие.

На всех производственных предприятиях имеются такие рабочие места, которые приносят определенный вред здоровью работающего. При выполнении работы они попадают под воздействие вредных и опасных производственных факторов. Для того чтобы обезопасить работающих во время выполнения работы, уменьшить причиняемый вред здоровью работающего и его дальнейшего поколения, необходимо улучшать его условия труда.

Целью данной работы являлось улучшение условий труда на рабочих местах организации газовой отрасли на основании анализа результатов специальной оценки условий труда (СОУТ).

Основной задачей предприятия является транспортирование газа с заданными параметрами по магистральным газопроводам и отводам в целях бесперебойной поставки газа потребителям в соответствии с утвержденным планом.

Помимо основных видов деятельности предприятие выполняет также следующие задачи:

- выполнение функций заказчика по капитальному ремонту объектов производственного и непромышленного назначения, технический надзор за качеством строительства и ремонта;
- эксплуатация газового хозяйства;
- заправка автомобилей сжиженным и сжатым природным газом и горюче-смазочными материалами;

- перевозка грузов и пассажиров;
- эксплуатация жилфонда, гостиничного хозяйства;
- платные услуги населению, предприятиям и организациям;
- другие.

В соответствии с Федеральным законом РФ от 28.12.2013 г. № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» в организациях на рабочих местах должна осуществляться СОУТ. В рассматриваемой организации последняя процедура СОУТ проводилась в 2014 году. По результатам СОУТ были выделены следующие классы условий труда: 2, 3.1, 3.2, 3.3. Рассматривая рабочие места рабочих профессий также можно выделить классы 2, 3.1, 3.2, 3.3. Соотношение классов условий труда рабочих профессий представлено на рисунке.

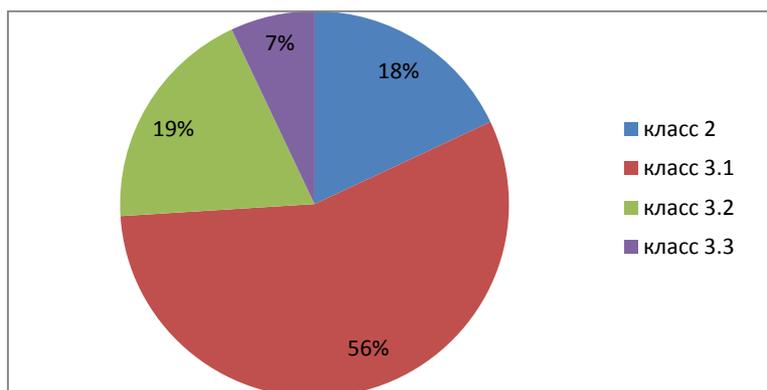


Рисунок. Диаграмма классы условий труда на рабочих местах в процентном соотношении

На диаграмме видно, что рабочих мест рабочих профессий с вредными условиями труда преобладающее количество. Для снижения вредных классов условий труда до допустимых проведены и разработаны мероприятия, рассмотренные в данной работе.

На предприятии множество вредных рабочих мест. В данной работе рассмотрены три рабочих места: электрогазосварщика, машиниста компрессорной установки и слесаря. К основным вредным факторам, негативно влияющим на условия труда, относятся шум, химический фактор, аэрозоли преимущественно фиброгенного действия (АПФД), микроклимат, световая среда и тяжесть труда. Анализ класса условий труда на рабочих местах по вредным факторам, указанных выше, представлены в таблице [1–3].

Таблица. Вредные производственные факторы на рабочих местах

| Рабочее место | Класс условий труда | | | | | | итоговый класс |
|--------------------|---------------------|-----|-------------|------|----------------|---------------|----------------|
| | микроклимат | шум | хим. фактор | АПФД | световая среда | тяжесть труда | |
| электрогазосварщик | – | 2 | 3.2 | 3.1 | 2 | 2 | 3.2 |
| машинист | 2 | 3.3 | – | – | 2 | 2 | 3.3 |
| слесарь | 2 | 3.1 | – | – | 3.1 | 2 | 3.1 |

Для улучшения условий труда на рабочем месте необходимо реализовать и внедрить мероприятия, снижающие негативное воздействие вредных факторов рабочей среды на организм работника и, следовательно, класса условий труда. Необходимо снизить класс условий труда таких производственных факторов как: шум, химический фактор, АПФД, световая среда и тяжесть труда [4].

Рассмотрим первый вредный фактор – шум. Для снижения высокого уровня шума существуют следующие методы:

- снижение шума в источнике;
- изменение направленности излучения;
- рациональная планировка предприятий и цехов;

- уменьшение шума на пути его распространения;
- акустическая обработка помещений [5].

Учитывая специфику рассматриваемых рабочих мест (непостоянного рабочего места слесаря), в данном случае проблему по снижению шума можно решить с помощью применения современных средств индивидуальной защиты (СИЗ) – наушников или защитных шлемов. В качестве наушников могут быть использованы АН-301. Для рабочего места машиниста также применимо снижение класса (подкласса) условий труда путем установки звукоизолирующего ограждения.

Для снижения класса условий труда по химическому фактору, с учетом непостоянного рабочего места электрогазосварщика, применяются СИЗ или же возможна защита временем [6].

В качестве СИЗ для электрогазосварщика можно выделить респираторы класса защиты FFP2 (например, 3М 9922Р и АЛИНА-П) и респираторы с принудительной подачей воздуха (например, сварочная маска Testem ADF-715S с поддувом «Муссон 2000» и сварочная маска Optrel e650 с принудительной подачей воздуха e3000).

В качестве защиты времени для работников, которые постоянно находятся в зоне выделения ядовитых веществ, установлены меры защиты ограничением времени пребывания в опасной или вредной среде (сокращенный рабочий день, перерывы в работе, дополнительный отпуск, сокращенный стаж для ухода на пенсию), согласно статье 94 ТК РФ «Продолжительность ежедневной работы (смены) и Постановлению Госкомтруда СССР и Президиума ВЦСПС от 25 октября 1974 г. № 298/П-22 «Об утверждении списка производств, цехов, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право на дополнительный отпуск и сокращенный рабочий день».

Защитой от АПФД также послужат СИЗ – респираторы и сварочные маски с принудительной подачей воздуха.

Для снижения класса условий труда по фактору световой среды проводится ряд мероприятий для увеличения нормируемого значения освещенности до нормативного значения. Производятся расчеты по количеству дополнительных ламп в помещении, где находится рабочее место слесаря и внедряется рассчитанное количество ламп.

Таким образом, анализ результатов рабочих мест согласно картам СОУТ в исследуемой организации показал наличие в организации преобладающего количества рабочих мест с вредным классом условий труда – 82% от общего числа рабочих мест рабочих профессий.

Предложенные мероприятия, направленные на улучшение условий труда на рабочих местах электрогазосварщика, машиниста компрессорной установки и слесаря, а именно, на снижение негативного влияния вредных производственных факторов, выявленных при анализе результатов рассматриваемых рабочих мест по картам СОУТ, обеспечивают нормируемые значения и могут быть реализованы в трудовом процессе организации.

Литература

1. Рабочая (производственная) инструкция электрогазосварщика. – 2011. – 5 с.
2. Рабочая (производственная) инструкция машиниста компрессорной установки. – 2011. – 7 с.
3. Рабочая (производственная) инструкция слесаря. – 2010. – 5 с.
4. Прусенко Б.Е., Сажин Е.Б., Сажина Н.Н., Глебова Е.В., Губина Н.Б., Цхадая Н.Д. Вредные производственные факторы и аттестация рабочих мест: практическое руководство / Под общ. ред. Прусенко Б.Е., Цхадая Н.Д. – М.: ООО «Анализ опасностей», 2004. – 453 с.
5. Глебова Е.В. Производственная санитария и гигиена труда: учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 2007. – 382 с.
6. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс: информационно-правовой портал. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/popular/tkrf/> (дата обращения: 24.01.2018).



Тюрикова Екатерина Павловна

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение,
оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: kt.net@yandex.ru



Кустикова Марина Александровна

Год рождения: 1958

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности (базовая),

к.т.н., доцент

e-mail: makustikova@corp.ifmo.ru

УДК 535.548

**МЕТОДЫ ФЛЮОРЕСЦЕНТНОЙ КОНФОКАЛЬНОЙ МИКРОСКОПИИ
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ**

Тюрикова Е.П.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617028 «Ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии углеводородной энергетики и низкотемпературных систем».

Работа посвящена исследованиям методов флюоресцентной конфокальной микроскопии при лабораторных работах с биологическими образцами. Проведен обзор современных источников по вопросу лазерной сканирующей и флюоресцентной микроскопии. Сделан вывод об актуальности исследования. Описаны возможности применения данных методов.

Ключевые слова: конфокальная микроскопия, биомаркеры, лазерная сканирующая микроскопия, мониторинг окружающей среды.

Введение. Проблема нахождения лучших методов исследования образцов органического и неорганического происхождения всегда была актуальна. Хотя методы исследования таких биологически образцов, как ткань, кровь и др. улучшаются изо дня в день, главная проблема вытекает из специфики самих образцов – в большинстве случаев они обладают довольно низким контрастом внутренних структур, которые в основном прозрачны. Вследствие этого резко ограничивается количество методов, которые можно использовать при контакте с подобными образцами. Одно из решений, позволяющее упростить процесс познания – применение флюоресцентной микроскопии вкупе с лазерной сканирующей микроскопией.

Цели и задачи. Целью настоящей работы являлся аналитический обзор современного состояния конфокальной лазерной сканирующей микроскопии (КЛСМ) и флюоресцентной микроскопии в вопросах исследования биологических образцов.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. описать принципы КЛСМ и флюоресцентной микроскопии;
2. выполнить обзор современных отечественных и зарубежных источников по применению флюоресцентных биомаркеров в КЛСМ;

3. отметить наиболее подходящие методики исследования;
4. сделать выводы по выполненным работам.

По завершению исследовательских работ сделан вывод о дальнейших направлениях.

Основная часть. В вопросе исследования биологических образцов одним из вариантов является использование КЛСМ. Под КЛСМ понимают разновидность световой оптической микроскопии, однако, обладающей значительным пространственным разрешением и контрастом по сравнению с классической микроскопией. Данное преимущество обусловлено наличием точечной диафрагмы, известной как пинхол, и размещенной в плоскости изображения. Пинхол ограничивает поток фонового рассеянного света, излучаемого не из фокальной плоскости объектива. Однако главным преимуществом КЛСМ является получаемое в результате работы трехмерное изображение исследуемого образца.

Наибольшей эффективности КЛСМ достигла при ее симбиозе с флуоресцентной конфокальной микроскопией (рисунок). Флуоресцентная микроскопия отличается от классической микроскопии использованием явления «флуоресценции».

Данное явление связано с возможностью перехода электронов при облучении на более высокие энергетические уровни, что хорошо описывается через уравнение Бора:

$$\Delta E = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}, \quad (1)$$

где ΔE – разность энергий между уровнями; ν – частота; λ – длина волны; h – постоянная Планка; c – скорость света [1].

После поглощения света часть полученной системой энергии расходуется в виде тепла, а часть может быть излучена в виде фотона. Согласно правилу Стокса, длина волны испускаемого света больше, чем длина волны поглощаемого, или, другими словами, максимум спектра излучения сдвинут по отношению к максимуму спектра поглощения в сторону более длинных волн.

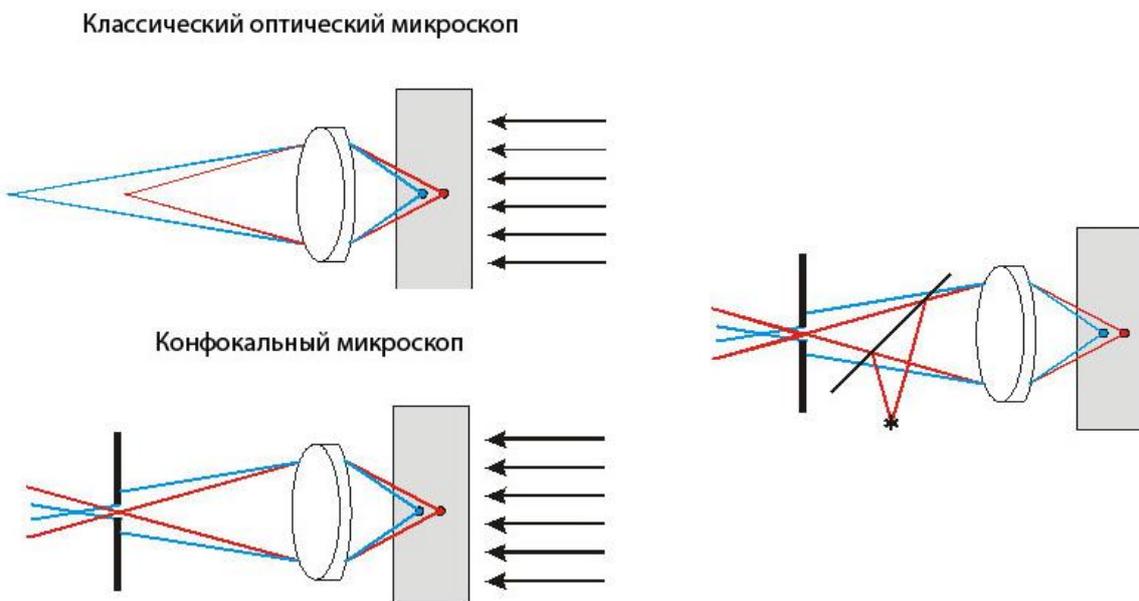


Рисунок. Схема классического оптического микроскопа и конфокального микроскопа

Был проведен анализ современных источников по вопросам развития и применения методов КЛСМ и флуоресцентной микроскопии. Было обнаружено, что в данный момент широко применяются упомянутые выше методы в таких областях медицины и биологии, как исследование человеческих останков, кожных заболеваний, исследования в области протезирования и зубных болезней [2, 3] и т.п. Следует отметить, что возможно использование данных методов и в экологическом мониторинге при исследовании биомаркеров, так как конфокальный лазерный сканирующий микроскоп, имеющий высокий

контраст, дает две неопределимые возможности: он позволяет исследовать ткани на клеточном уровне в состоянии физиологической жизнедеятельности, а также оценивать результаты (динамику) клеточной активности в четырех измерениях – высота, ширина, глубина и время.

Большинство технических разработок в области неинвазивного детектирования изменений в биологически образцах основаны на визуализации отраженного света от поверхности кожи или более глубоких тканях и анализе изображения специалистом-клиницистом. Эти изображения интерпретируются на основе структурных или функциональных изменений, проявляющихся в оптических свойствах ткани кожи вследствие неопластических изменений. Изменения в оптических свойствах (коэффициенты рассеивания и поглощения) неопластических тканей зависят от морфологических, молекулярных и ультраструктурных изменений [4].

Выводы. Была проведена работа по исследованию современного состояния КЛСМ и флуоресцентной микроскопии в вопросах исследования биологических образцов. В результате исследования было выявлено следующее:

1. были описаны методы КЛСМ и флуоресцентной конфокальной микроскопии;
2. проведен обзор современных отечественных и зарубежных источников;
3. наиболее подходящим являлось использование сразу двух методик – и КЛСМ, и флуоресцентную микроскопию;
4. были выявлены отличительные преимущества данных методик и возможность применения во многих отраслях медицины и биологии, а также экологическом мониторинге.

В дальнейшем планируется изучить вопрос анализа флуорохромов и рассмотреть методику внедрения в экологическом мониторинге.

Литература

1. Коржевский Д.Э., Кирик О.В., Сухорукова Е.Г. и др. Молекулярная морфология. Методы флуоресцентной и конфокальной лазерной микроскопии / Под ред. Д.Э. Коржевского. – СПб.: СпецЛит, 2014. – 111 с.
2. Wayman E. Baker, Robert Atlas, Carla Cardinali. Lidar-measured wind profiles. The Missing Link in the Global Observing System [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://journals.ametsoc.org/doi/suppl/10.1175/BAMS-D-12-00164.1>, своб.
3. Austin R.S., Giusca C.L., Macaulay G., Moazzez R., Bartlett D.W. Confocal laser scanning microscopy and area-scale analysis used to quantify enamel surface textural changes from citric acid demineralization and salivary remineralization in vitro [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.demajournal.com/article/S0109-5641\(15\)00474-1/abstract](http://www.demajournal.com/article/S0109-5641(15)00474-1/abstract), своб.
4. Capasso L., D'Anastasio R., Guarnieri S., Viciano J., Mariggio M. Bone natural autofluorescence and confocal laser scanning microscopy: Preliminary results of a novel useful tool to distinguish between forensic and ancient human skeletal remains [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379073817300221>, своб.

**Шередека Алина Юрьевна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
кафедра экологии и техносферной безопасности,
студент группы № W4150Направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность

e-mail: alina.sheredeka@yandex.ru

УДК 614.893

СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ГЛАЗ**Шередека А.Ю.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.**

В работе представлена общая информация о средствах индивидуальной защиты глаз, рассмотрена классификация защитных очков, кратко изложены требования к средствам индивидуальной защиты глаз, рассмотрены новые модели защитных очков.

Ключевые слова: средства индивидуальной защиты глаз, открытые защитные очки, корректирующие очки, стекло, светофильтр, линзы.

В настоящее время большое значение имеют средства индивидуальной защиты (СИЗ). Они помогают человеку в различных ситуациях и отраслях производства. Средства индивидуальной защиты применяются для предотвращения или уменьшения воздействия на человека опасных и вредных производственных и естественных факторов.

СИЗ глаз и лица используются во многих профессиях для защиты от летящих частиц, дымов, раздражающих твердых веществ, жидкостей и газов при выполнении разных работ (полировка, измельчение, резка, взрывные работы, дробление) на гальванических и химических предприятиях; защита от разных видов излучения (лазерного, ультрафиолетового (УФ) и инфракрасного (ИК)) при выполнении сварки или при работе вблизи источников высокой температуры [1].

Наиболее популярными СИЗ глаз и лица являются очки открытого и закрытого типов, защитные лицевые щитки с наголовным креплением или креплением на каску.

Согласно ГОСТ 12.4.253-2013 СИЗ глаз должны обеспечивать защиту от следующих видов опасности:

- механических воздействий;
- воздействия агрессивных химических средств;
- оптического излучения;
- капель и брызг жидкостей;
- грубодисперсных аэрозолей (пыли);
- теплового излучения;
- и других.

В зависимости от типа производства, характера работ и видов опасности, оказывающих воздействие на глаза, повреждения подразделяют на легкие и тяжелые. К легким формам повреждения относятся те травмы, которые не требуют госпитализации (например, ссадины и порезы кожи век, легкие ожоги, попадание инородных предметов на роговицу и др.). К тяжелым формам относятся те, при которых необходима госпитализация (тяжелые контузии глаза, разрывы и отрывы век, смещение хрусталика и др.). Также к повреждениям глаз могут привести такие операции как: электросварка, газосварка, плавление металлов, а также процессы, протекающие при высоких температурах с выделением лучистой энергии.

Для предотвращения повреждений глаз при различных видах работ нужно использовать очки разных типов.

По типу применения и видам стекол выделяют несколько типов защитных очков, приведенных в таблице [2].

Таблица. Типы средств защиты глаз и лица

| Тип очков | | Вид стекла | Применяемость |
|-------------|---|-------------------------------|--|
| Обозначение | Наименование | | |
| О | Открытые защитные очки | Бесцветное | Защита глаз спереди и с боков от воздействия твердых частиц |
| | | Светофильтр | Защита глаз спереди и с боков от слепящей яркости света, УФ-излучения, ИК-излучения и от сочетания излучений указанных видов с воздействием твердых частиц |
| ОО | Открытые откидные защитные очки | Бесцветное | Защита глаз спереди и с боков от воздействия твердых частиц |
| | | Светофильтр | Защита глаз спереди и с боков от слепящей яркости света, УФ-излучения, ИК-излучения и от сочетания излучений указанных видов с воздействием твердых частиц |
| ЗП | Закрытые защитные очки с прямой вентиляцией | Бесцветное | Защита глаз спереди, с боков, сверху и снизу от воздействия твердых частиц |
| | | Светофильтр | Защита глаз спереди, с боков, сверху и снизу от слепящей яркости света, ИК-излучения и от сочетания излучения указанного вида с воздействием твердых частиц |
| ЗН | Закрытые защитные очки с непрямой вентиляцией | Бесцветное | Защита глаз спереди, с боков, сверху и снизу от брызг разъедающих жидкостей и от сочетания их с воздействием твердых частиц |
| | | Светофильтр | Защита глаз спереди, с боков, сверху и снизу от слепящей яркости света, УФ-излучения, ИК-излучения и от сочетания излучений указанных видов с воздействием твердых частиц |
| Г | Закрытые герметичные защитные очки | Бесцветное химически стойкое | Защита глаз спереди, с боков, сверху и снизу от разъедающих газов, паров, аэрозолей, жидкостей и от сочетания их с пылью и воздействием твердых частиц |
| | | Светофильтр химически стойкий | Защита глаз спереди, с боков, сверху и снизу от слепящей яркости света, УФ-излучения, ИК-излучения и от сочетания излучений указанных видов с воздействием разъедающих жидкостей и газов |
| Н | Насадные защитные очки | Бесцветное | Защита глаз спереди от воздействия твердых частиц при условии работы в корригирующих очках |
| | | Светофильтр | Защита глаз спереди от слепящей яркости света и от сочетания ее с воздействием твердых частиц при условии работы в корригирующих очках |
| К | Козырьковые защитные очки | Светофильтр | Защита глаз спереди от слепящей яркости света и ИК-излучения при условии работы в защитном головном уборе |
| Л | Защитный лорнет | Светофильтр | Защита глаз спереди от слепящей яркости света и ИК-излучения при условии кратковременной работы |

Требования к СИЗ глаз подразделяются на базовые, гигиенические, защитные и эксплуатационные.

Для достижения необходимой эффективности и безопасности все типы очков должны соответствовать требованиям, представленным в ГОСТе 12.4.253-2013, таким, как: размер, поле зрения, светопропускание, межцентровые расстояния, безвредный для здоровья человека материал, масса, герметичность, пылегазонепроницаемость, огнестойкость материалов, и другие требования в зависимости от назначения изделия.

Каждое СИЗ должно иметь маркировку, которая наносится на изделие и на его упаковку. В эксплуатационной документации к средствам индивидуальной защиты глаз изготовитель должен указать оптический класс, условия применения и защитные свойства.

СИЗ глаз не должны вызывать дискомфорт или наносить вред при эксплуатации. Также у очков не должно быть острых краев или выступающих частей. Открытые очки должны иметь дужки для регулировки по длине и углу наклона; также они должны быть прочными и выдерживать удары кинетической энергии [3].

Все средства индивидуальной защиты подлежат сертификации.

В настоящее время одной из важных задач является защита людей на производствах, поэтому сейчас разрабатываются инновационные технологии, выпускаются новые продукты. Результатом этих усилий являются новые модели защитных очков для облегчения работы в различных областях деятельности человека.

Как признанный лидер в области разработки и производства защитных очков компания UVEX разработала новинку – открытые защитные очки UVEX Астроспек 2.0. Они являются новой, улучшенной версией самых популярных в мире защитных очков. Передовые технологии изготовления обеспечивают максимальный комфорт и надежную защиту в любой ситуации. Широкие панорамные линзы, гибкие компоненты дужек, а также система вентиляции гарантируют комфорт ношения в течение длительного времени, а различные покрытия и цвет линз обеспечивают универсальность применения. Очки прекрасно сочетаются с другими видами СИЗ.

Еще одна новинка среди открытых защитных очков – UVEX Феос гард. Инновационная система Феос гард включает в себя очки Феос, обтюратор, ленту и является дальнейшим эволюционным развитием успешного ассортимента очков UVEX Феос. Обтюратор плотно прилегает к лицу и защищает от пыли, брызг и твердых частиц. Эти очки являются отличным выбором при использовании в условиях сильной запыленности, благодаря наличию обтюратора и покрытия против запотевания. Ленту можно использовать при работе на высоте или в замкнутом пространстве [4].

Сегодня направление защиты глаз от вредных и опасных производственных факторов для работников, нуждающихся в коррекции зрения, актуально как никогда. Статистические данные показывают, что на промышленных предприятиях каждый третий работник носит очки, а это значит, что рабочий не может применять обычные средства защиты глаз.

Защитные корректирующие очки – лучший способ защиты глаз на рабочем месте для людей с плохим зрением. Защитные корректирующие очки – это индивидуальный и уникальный продукт. Данный тип очков особо важен при точечных работах (сварочные, шлифовальные, фрезеровочные, монтажные, литейные, отделочные, лабораторные работы с кислотами и многие другие). Важно подобрать средства защиты глаз таким образом, чтобы защищать орган зрения от потенциально опасных воздействий. На производстве часто возникает потребность объединить в одних очках корректирующие и защитные свойства. Это необходимо как руководителям, периодически посещающим цеха, так и рядовым служащим. Наиболее очевидным решением многих работодателей является применение специальных защитных очков, которые работники могут носить поверх своих собственных корректирующих. Такое сочетание очков имеет вредное воздействие на орган зрения. При механическом воздействии усилие может передаться на очки с диоптриями, а это, с большой

долей вероятности, может привести к серьезной травме. Также при длительном использовании сочетания двух очков происходит ухудшение зрения на одну диоптрию в год.

Для обеспечения комфортной работы немецкая компания UVEX предлагает различные решения, которые в зависимости от степени сложности обеспечивают оптимальные условия, при которых человек может работать длительное время, не чувствуя при этом усталости и дискомфорта. В зависимости от силы зрения изготавливаются монофокальные, биофокальные или прогрессивные линзы.

Многолетнее сотрудничество UVEX с разными компаниями показывает, что спрос на высококачественные средства защиты зрения постоянно возрастает, этот вопрос актуален как для физических лиц, так и для крупных компаний, которые заинтересованы в обеспечении защиты здоровья своего персонала.

В заключении хотелось бы отметить, что СИЗ являются неотъемлемой частью производственного процесса. СИЗ глаз должны быть прочные, легкие, правильно подобраны, в зависимости от особенностей конкретного производственного процесса соответствовать требованиям и иметь сертификат соответствия.

Литература

1. ГОСТ 12.4.253-2013 (EN 166:2002). Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты глаз. Общие технические требования. – Введен 01.06.2014. – М.: Стандартинформ, 2014. – 38 с.
2. Крутиков В.Н., Фалеев М.И. Коллективные и индивидуальные средства защиты. Контроль защитных свойств: энциклопедия «Экометрия» из серии справочных изданий по экологическим и медицинским измерениям. – М.: ФИД «Деловой экспресс», 2002. – 408 с.
3. Технический регламент Таможенного Союза ТР ТС 019/2011. О безопасности средств индивидуальной защиты / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902320567>, своб.
4. Журнал «Вестник разработчиков, изготовителей и поставщиков средств индивидуальной защиты». – 2014. – № 4. – 40 с.

**Дырдина Вероника Юрьевна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики,
студент группы № V4220Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: d.nika_9494@mail.ru

**Семёнов Андрей Владимирович**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики,
студент группы № V4220Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: drunia147@yandex.ru

Табачков Алексей ГеннадьевичУниверситет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра компьютерной
фотоники и видеоинформатики, к.т.н., доцент

e-mail: aletab@yandex.ru

УДК 681.7.07**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СЛОЖНЫХ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ****Дырдина В.Ю., Семёнов А.В., Табачков А.Г.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Табачков А.Г.**

При разработке новых микрообъективов весьма актуально не только улучшать их технические и оптические характеристики, но и унифицировать оптические схемы и механические конструкции. Работа в этих направлениях позволяет сделать объективы более универсальными. Рассмотрены методы изготовления микрообъективов, оптимизация и унификация конструкций микрообъективов. Предложен принципиально новый подход при проектировании линзы, конфигурацию которой воссоздать по классической технологии невозможно.

Ключевые слова: фронтальная линза, микрообъектив, унификация оптических схем, оптимизация конструкций, изготовление микрообъективов.

Наличие различных методик микроскопических исследований требует разработки широкой гаммы микрообъективов. Они имеют различные характеристики и предназначены для проведения разнообразных микроскопических исследований. Существует возможность выбрать микрообъектив практически для всех поставленных задач и целей. Несмотря на достаточно широкое разнообразие моделей, представленных на рынке, потребность в новых микрообъективах постоянно возрастает. Это связано с тем, что область применения микрообъективов постоянно расширяется, появляются новые объекты и методы исследования.

При существующей необходимости в новых микрообъективах весьма актуально не только улучшать их технические и оптические характеристики, но и унифицировать оптические схемы и механические конструкции. Работа в этих направлениях позволяет сделать объективы более универсальными и доступными для широкого круга потребителей.

Можно отметить несколько направлений в развитии объективостроения:

1. усовершенствование и унификация существующих конструкций;

2. разработка новых технологий для сложнейших микрообъективов;
3. разработка иных подходов в проектировании и технологии при создании новой модели микрообъективов, которая позволит создавать сверхсложные объективы.

Конструкции микрообъективов состоят из набора оптико-механических компонентов (узлов и корпусных деталей). Узел представляет собой линзу (одиночную или склеенную), закрепленную в оправе. Точностные параметры изготовленного компонента должны соответствовать требованиям, указанным в конструкторской и технической документации. Существует мнение, подтвержденное практикой, что от качества изготовления оптико-механических компонентов, входящих в общую конструкцию объектива, в очень большой степени зависит трудоемкость его сборки и юстировки.

Согласно существующей ранее технологии все узлы выполнялись при помощи закатки (завальцовки). Контроль при изготовлении осуществлялся по блику (зайчику). Выполнялась закатка на станках Т5. Точность шпинделя такого станка 5–10 мкм плюс опыт рабочего. Таким образом, минимальное значение центровки узла, которое можно было достичь – 10 мкм [1].

В дальнейшем была внедрена технология изготовления по автоколлимации. Новый метод позволил производить количественную оценку остаточной децентрировки и в меньшей степени зависел от опыта рабочего (сборщика). Выполнялась данная операция изготовления узлов на токарных станках типа «Кергер». Станки оснащены плавающим патроном и автоколлимационной трубкой. Точность шпинделя станков составляет 2–5 мкм, поэтому узлы можно изготовить с точностью в 2–3 мкм. При модернизации таких станков можно производить измерения не через окуляр, а на экране.

Ведущие производители оптотехники (такие как Carl Zeiss и другие) разработали специальные станции по изготовлению высокоточных узлов. Принцип их работы основан на автоколлимационном методе изготовления узлов. Но за счет того, что в данных установках использованы высокоточные компоненты и весь процесс автоматизирован, возможно достичь минимальное значение децентрировки узла (порядка 0,1 мкм) [1].

Отсутствие унификации в изготавливаемом изделии неблагоприятно сказывается на качестве конечного продукта. Увеличивается время на проектирование прибора, возрастают затраты на изготовление, расширяется номенклатура деталей и технологической оснастки, затрудняется процесс сборки и изготовления микрообъектива. Ведущие производители микрообъективов постоянно стремятся унифицировать оптические системы, что позволяет оптимизировать схемное решение. В качестве примера рассмотрим одну из моделей (рис. 1).

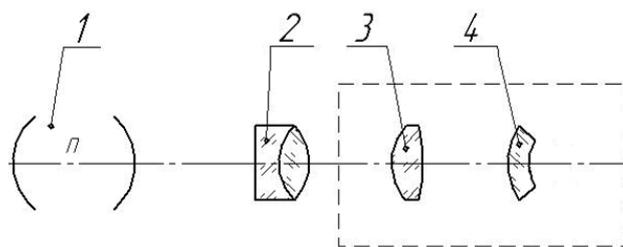


Рис. 1. Унифицированная схема микрообъектива

Данное схемное решение используется как базовое в ряде оптических схем, изготавливаемых в настоящее время микрообъективов, имеющих различные линейные увеличения и числовые апертуры [2].

Оптическая схема состоит из фронтальной и последующих частей. Фронтальная линза (или система линз) 1 обращена к препарату и является основной при построении изображения соответствующего качества. Она определяет рабочее расстояние и числовую апертуру объектива. Последующая часть 2 обеспечивает требуемое увеличение и размер поля зрения, а в сочетании с фронтальной – фокусное расстояние и качество изображения. Последняя часть микрообъектива, состоящая из 3, 4, в основном ориентирована на

устранение оставшихся aberrаций, а также определяет высоту объектива и длину тубуса. При этом роль последней линзы 4 в форме мениска – это исправление кривизны поля зрения.

Благодаря унификации оптической схемы удается оптимизировать конструкции самих микрообъективов. В качестве первого примера можно привести конструкции фронтальных узлов. Если модель микрообъектива предполагает работу с различными покровными стеклами, то разница заключается только в толщине фронтального компонента. При этом суммарное расстояние D остается неизменным. Это значительно упрощает создание фронтальных узлов (рис. 2) [3].

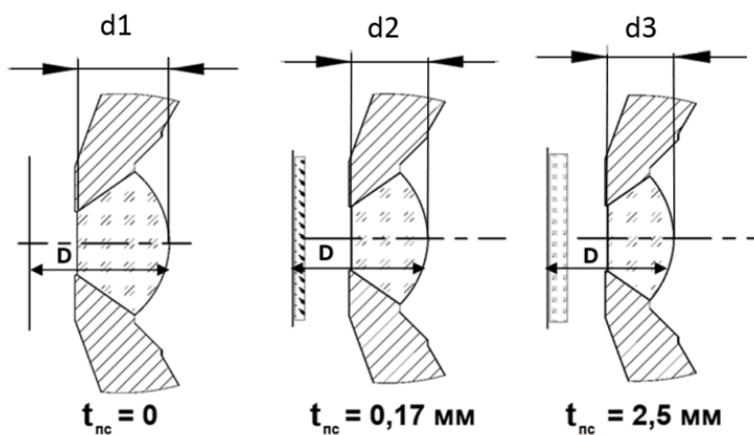


Рис. 2. Различия фронтального узла при вогнуто-выпуклой фронтальной линзе

Вторым примером может служить оптимизация узлов и корпусных деталей. Это позволяет разработать для всей линейки микрообъективов унифицированные корпусные комплекты деталей и в дальнейшем производить сборку целого ряда моделей микрообъективов в нескольких корпусах [4].

Порой в погоне за повышенными характеристиками микрообъективов оптики-расчетчики применяют в расчетах настолько сложные конфигурации линз, что практически воссоздать их не удается.

Ярким примером может служить линза, представленная на рис. 3.

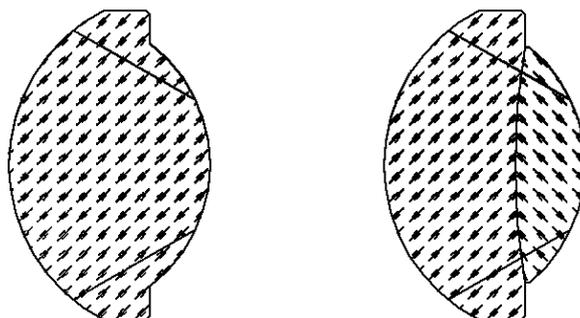


Рис. 3. Составная линза

Конфигурацию данной линзы изготовить по классической технологии невозможно. В связи с этим при проектировании было предложено разделить линзу на две составляющие и разработать новую технологию изготовления [5].

Выводы. В качестве заключения можно отметить, что степень трудоемкости изготовления в большой степени определяет технологичность оптической системы объектива в целом.

Без разработки новых моделей микрообъективов и технологий невозможно воспроизводить более современные и сложные объективы.

Литература

1. Латыев С.М. Конструирование точных (оптических) приборов. – СПб.: Лань, 2015. – 560 с.
2. Фролов Д.Н. Синтез оптических систем линзовых микрообъективов // Оптический журнал. – 2002. – Т. 69. – № 9. – С. 16–20.
3. Frolov D.N., Vinogradova O.A. Ease of Manufacturing and Definition of the Tolerances for Fabrication and Assemblies of Microobjectives // 50 Internationales Wissenschaftliches Kolloquium; Technische Universität Ilmenau. – 2005. – P. 93–94.
4. Табачков А.Г. Конструкторско-технологическая унификация микрообъективов с учетом автоматизации их сборки: диссерт. канд. техн. наук. – СПб., 2011. – 142 с.
5. Иванова Т.А., Кирилловский В.К. Проектирование и контроль оптики микроскопов. – Л.: Машиностроение, 1984. – 231 с.

**Закиров Анвар Камилович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики,
студент группы № V4220Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: dnc_lr@mail.ru

**Иванов Александр Николаевич**

Год рождения: 1980

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики,
к.т.н., доцент

e-mail: i_off@mail.ru

УДК 531.71; 681.786.23

**МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ
ОСВЕЩЕННОГО СФЕРИЧЕСКИМ ВОЛНОВЫМ ФРОНТОМ РАСТРА****Закиров А.К., Иванов А.Н.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Иванов А.Н.**

Предложен метод измерения линейных перемещений, в основе которого лежит освещение оптического растра эталонным сферическим волновым фронтом и регистрация полученной дифракционной картины в ближней зоне. Показано, что перемещение растра приводит к перемещению дифракционной картины, в несколько раз превышающее смещение растра. Расчетные и экспериментальные данные показывают, что возможно проводить измерения с погрешностью до 0,0001%.

Ключевые слова: дифракция, растр, измерение линейных перемещений, волновой фронт.

Современное машиностроение, приборостроение, робототехника и ряд других областей науки и техники тесно связаны с необходимостью точного измерения перемещений объектов и их линейных размеров. Примерами таких задач являются контроль геометрической формы деталей, точное позиционирование обрабатывающего инструмента, контроль смещений элементов конструкции от номинального положения и др. Современные технологии требуют достижения субмикронных погрешностей при проведении линейных измерений, что ведет к необходимости разработки новых высокоточных методов измерения линейных перемещений, которые могут быть легко реализованы на практике.

В работах [1, 2] была показана перспективность использования освещения сферическим волновым фронтом для проведения линейных измерений. В работе [3] был предложен метод измерения, основанный на освещении щели сферической волной, сформированной на точечном отверстии. Было показано, что при поперечном перемещении щели Δ относительно центра волнового фронта дифракционная картина Френеля сдвигалась на расстояние

$$\Delta' = \Delta(1 + z/R) = \Delta\Gamma, \quad (1)$$

где z – расстояние от щели до приемника; R – радиус кривизны падающего на щель волнового фронта. Проведенные расчеты и эксперименты показали, что погрешность измерения перемещения щели определялась погрешностью измерения сдвига дифракционной картины и могла быть уменьшена до 0,005–0,003%. Недостатком данного

метода был малый диапазон измерения, ограниченный размером светового пятна в плоскости щели и небольшое значение коэффициента Γ .

Для устранения этих недостатков было предложено заменить щель растром с шагом штрихов t (рис. 1). Расчет дифракционной картины Френеля за растром показал, что она может приближенно описываться функцией вида

$$U(x, \Delta) = U_0 \sum_{n=0}^{n=N-1} \left(e^{-iknt \left(\frac{x}{z} + n \left(\frac{t}{2R} + \frac{t}{2z} \right) \right)} e^{-ikn\Delta \left(\frac{\Delta}{2R} + \frac{\Delta}{2z} \right)} \times \text{sinc} \left(k a \left(x/z + n \left(d/R + d/z \right) \right) \right) \right), \quad (2)$$

где U_0 – амплитуда светового поля; N – количество освещенных штрихов раstra; k – волновое число; a – ширина прозрачного штриха раstra; Δ – вертикальное перемещение дифракционной решетки. В этом случае измеряемое перемещение Δ определяется только длиной раstra.

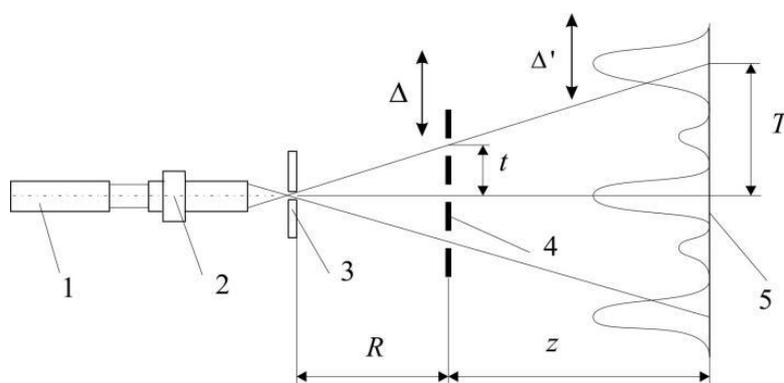


Рис. 1. Схема измерения линейных перемещений с помощью раstra, освещенного сферической волной: 1 – лазер; 2 – объектив; 3 – точечное отверстие; 4 – растр; 5 – плоскость регистрации сигнала

Погрешность измерения перемещения раstra $\delta\Delta$ зависит от погрешности измерения смещения дифракционной картины и погрешности калибровки $\delta\Delta = \sqrt{(\delta\Delta' / \Gamma)^2 + (\Delta\delta\Gamma / \Gamma)^2}$, где $\delta\Delta'$ – погрешность измерения смещения дифракционной картины; $\delta\Gamma$ – погрешность оценки коэффициента преобразования в ходе калибровки, которая при использовании концевых мер высокого класса точности может достигать 10^{-4} – 10^{-5} . При использовании методов регистрации, позволяющих оценить смещение дифракционной картины с погрешностью 0,1 пиксела возможно измерение перемещений с погрешностью порядка 0,0001%.

Для подтверждения полученных теоретических результатов был собран макет устройства, и проведено измерение перемещения раstra с помощью устанавливаемых концевых мер. Была получена погрешность порядка 0,02%. Дифракционные картины от раstra приведены на рис. 2.

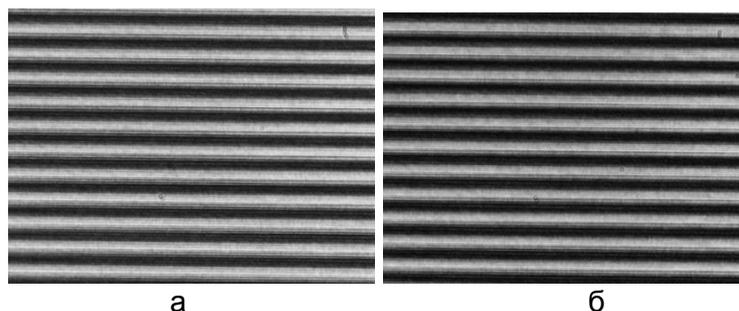


Рис. 2. Полученный в ходе эксперимента сигнал для исходного положения раstra (а) и при его смещении на 20 мкм (б)

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования показывают возможность создания измерителя линейных перемещений на базе предложенного метода измерений. Метод отличается простой схемой реализации и высокой точностью измерения. Он не предъявляет жестких требований к погрешностям изготовления и установки раstra, отклонению его периода. Недостатком схемы является необходимость жесткой фиксации осветительной части устройства относительно узла крепления раstra. Из-за малых значений R и z измерительная схема очень компактна, причем ее размеры могут быть уменьшены заменой объектива с точечной диафрагмой одномодовым волокном, на торце которого происходит дифракция лазерного излучения. Дополнительного исследования требует вопрос использования некогерентных источников излучения, применение которых позволит увеличить параметр z и, соответственно, коэффициент преобразования Γ .

Литература

1. Fisher J., Radil T. Simple methods of edge position measurement using shadow projected on SSD sensor // Measurement Science Review. – 2003. – № 3. – P. 37–40.
2. Fisher J., Radil T. Two-dimensional position measurement of objects with circular cross-section using single linear SSD sensor // Proceedings of the XVIII Imeko world congress. – 2006. – P. 18–25.
3. Киреенков В.Е., Иванов А.Н., Нижегородова К.В. Дифракционный метод измерения пространственного положения объекта, использующий освещение сферической волной // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 1-1. – С. 21–24.



Закиров Анвар Камилович

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра компьютерной фотоники и видеoinформатики,
студент группы № V4220

Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: dnc_lr@mail.ru



Иванов Александр Николаевич

Год рождения: 1980

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра компьютерной фотоники и видеoinформатики,
к.т.н., доцент

e-mail: i_off@mail.ru

УДК 531.74; 681.786.23

**ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВЫХ И ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ
ТЕНЕВЫХ ПРОЕКЦИЙ**

Закиров А.К., Иванов А.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Иванов А.Н.

Рассмотрены теневые методы измерения угловых и линейных перемещений объекта. Показана перспективность использования в теневых измерениях освещения объекта сферической волной. Предложен метод угловых измерений, основанный на освещении раstra сферической волной, погрешность которого не превышает 0,1%.

Ключевые слова: угловые измерения, теневые методы измерений, дифракция.

В настоящее время для решения ряда измерительных задач в промышленности применяют теневые методы контроля размеров. Существует ряд серийно выпускаемых установок для контроля размеров теньевым способом (отечественные «Калибр», «Цикада») [1, 2], их применяют для измерения диаметров нитей и их положения при крутке и намотке на шпулю в текстильной промышленности, для аналогичных задач при вытягивании проволок и оптических волокон, контроля размеров прутков, контроля диаметров графитовых прутков для АЭС.

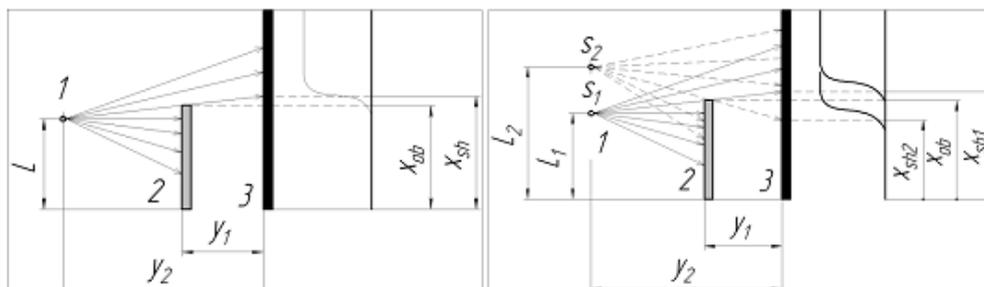


Рис. 1. Теневые схемы контроля, позволяющие контролировать геометрическую форму и пространственное положение объекта

Наиболее совершенными являются теневые схемы, использующие освещение расходящимся пучком от точечного источника – например, мощного лазерного светодиода [3]. На рис. 1 показаны две такие схемы – с одним и двумя источниками. Использование двух источников излучения позволяет убрать из закона функционирования расстояния между

приемником и объектом, источником и приемником, что делает схему менее требовательной к погрешности позиционирования ее элементов. Погрешность в диапазоне ± 20 мм не превышает 10 мкм.

К недостаткам следует отнести ограничение диапазона измерений размером фотоприемника и зависимость погрешности определения положения объекта от стабильности сигнала на приемнике, но, несмотря на это, можно сделать вывод, что схема с освещением расходящимся пучком более перспективна.

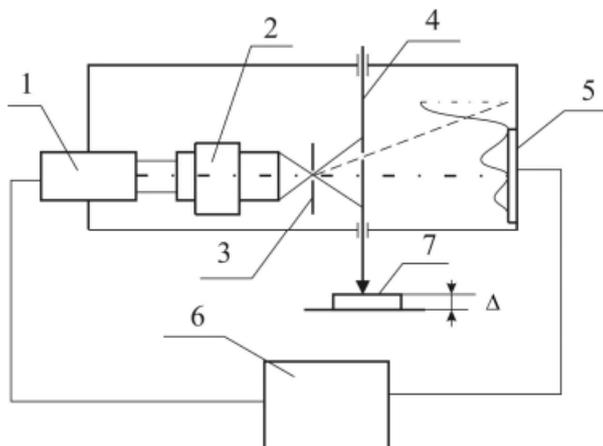


Рис. 2. Схема измерения положения щели по положению ее дифракционной картины на приемнике: 1 – лазерный модуль; 2 – микрообъектив; 3 – точечная диафрагма; 4 – щель, жестко сопряженная с измерительным штоком; 5 – фотоприемник; 6 – блок обработки сигнала; 7 – измеряемый объект

Ранее авторами была исследована дифракционная схема измерения линейных перемещений [4], в которой освещение перемещающейся марки в виде щели выполнялось сферическим волновым фронтом (рис. 2). Было установлено, что зависимость между смещением щели и дифракционной картиной, возникающей при проецировании щели на приемник, носит линейный характер, где y – перемещение дифракционной картины; z – расстояние между приемником и щелью; R – расстояние от точечной диафрагмы до щели. Экспериментально полученная погрешность составила порядка 2 мкм на 1 мм. Проведенные расчеты показали, что возможно получить погрешность до 0,05 мкм на 1 мм. Недостатком такой схемы является малый диапазон измерения – до 5 мм, ограниченный размером светового пятна в плоскости щели. Размер светового пятна связан с дифракционной расходимостью освещающего щель волнового фронта. Для увеличения размера пятна надо уменьшать размер точечной диафрагмы до 2–3 мкм, а это ведет к падению освещенности на объекте, увеличению требований к фокусировке объектива на точечную диафрагму и форме диафрагмы.

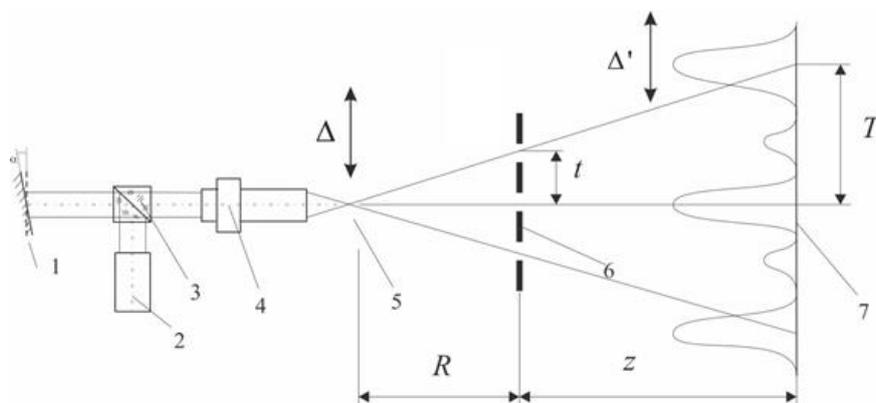


Рис. 3. Проекционный измеритель угловых перемещений с растром: 1 – контролируемое зеркало; 2 – лазерный модуль; 3 – светоделитель; 4 – микрообъектив; 5 – фокальная плоскость микрообъектива; 6 – растр; 7 – плоскость фотоприемника

Для устранения этого недостатка было предложено заменить щель растром, и приспособить данную схему для измерения угловых перемещений (рис. 3). Полученную схему можно рассматривать как стандартный автоколлиматор, у которого за фокальной плоскостью объектива установлен растр, на который падает расходящаяся волна. Распределение амплитуды сигнала на приемнике описывается выражением

$$U(x, \Delta) = U_0 \sum_{n=0}^{n=N-1} \left(e^{-iknt \left(\frac{x}{z} + n \left(\frac{t}{2R} + \frac{t}{2z} \right) \right)} e^{-ikn\Delta \left(\frac{\Delta}{2R} + \frac{\Delta}{2z} \right)} \times \right. \\ \left. \times \text{sinc} \left(ka \left(x/z + n \left(d/R + d/z \right) \right) \right) \right), \quad (1)$$

а угловое положение отражателя связано с положением проекций штрихов растра на приемнике выражением

$$\alpha = \arctg \left(\frac{R\Delta'}{2fz} \right), \quad (2)$$

где U_0 – амплитуда светового поля; N – количество освещенных штрихов растра; k – волновое число; a – ширина прозрачного штриха растра; Δ – вертикальное перемещение дифракционной решетки.

Точностной анализ показал, что такая измерительная схема может обеспечить измерение углов в пределах $\pm 4^\circ$ с погрешностью не более 0,1%. Был собран макет установки, с помощью которого было выполнено измерение углов наклона зеркального отражателя в пределах $\pm 8'$ с погрешностью 0,5%. Недостатком такой схемы является отсутствие точечной диафрагмы, что не позволяет сформировать эталонную сферическую волну. Использование в качестве осветителя лазерного полупроводникового модуля, работающего в многомодовом режиме, сильно ухудшает картинку. Выходом является применение одномодового лазера, но он имеет значительные габариты. В дальнейшем планируется вывести зависимость между смещением дифракционной картины в дальней зоне и смещением растра, а также попробовать заменить когерентный источник излучения некогерентным.

Литература

1. Фёдоров Е.М., Гольдштейн А.Е., Редько В.В. Методы и приборы оптического контроля диаметра и овальности электрических кабелей в процессе их производства // Ползуновский вестник. – 2010. – № 2. – С. 141–148.
2. Чугуй Ю.В., Яковенко Н.А., Ялуплин М.Д. Метод измерения размеров объектов в когерентном свете на основе преобразования Френеля // Автометрия. – 2004. – Т. 40. – № 5. – С. 38–55.
3. Fisher J., Radil T. Two-dimensional position measurement of objects with circular cross-section using single linear SSD sensor // Proceedings of the XVIII Imeko world congress. – 2006. – P. 18–25.
4. Киреев В.Е., Иванов А.Н., Нижегородова К.В. Дифракционный метод измерения пространственного положения объекта, использующий освещение сферической волной // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 1-1. – С. 21–24.

**Липецких Анастасия Алексеевна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра компьютерной фотоники и оптоинформатики,
студент группы № V4116Направление подготовки: 09.04.03 – Прикладная информатика

e-mail: NastyaLAA28@gmail.com

**Малашин Роман Олегович**

Год рождения: 1987

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра компьютерной фотоники и оптоинформатики, к.т.н.

e-mail: malashinroman@mail.ru

УДК 004.932.2

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ЖЕСТОВ
ПО МУЛЬТИМОДАЛЬНЫМ ДАННЫМ****Липецких А.А., Малашин Р.О.****Научный руководитель – к.т.н. Малашин Р.О.**

Рассмотрены наиболее успешные в настоящее время методы и существующие программные решения распознавания жестов по мультимодальным данным. Сделаны выводы о наиболее перспективных методах для дальнейшей доработки.

Ключевые слова: распознавание жестов, мультимодальные данные, нейронные сети, двухуровневая схема слияния, иницируемый подход, скелетный подход.

Одной из сложных и важных задач является взаимодействие человека с компьютером. Системы, объединяющие разработки по таким способам ввода информации, как распознавание речи, жестов, лиц в единый интерфейс, получили название мультимодальных интерфейсов (МИ). Одной из первых подобных систем принято считать американскую «PutThatThere» [1], в которой жестовое указание на предмет посредством сенсорной панели объединялось с речью.

Основным отличием одномодальных интерфейсов от многомодальных заключается в том, что последние предоставляют более гибкое использование входных потоков данных, что позволяет выбирать наиболее удобные и информативные источники, а также объединять информацию разных модальностей для повышения точности и качества взаимодействия.

При разработке МИ, однако, возникает и множество проблем, связанных с объединением, синхронизацией и совместной обработкой разнородной информации. Практически во всех рассмотренных далее системах в качестве основного источника информации используют видеопоток, в качестве дополнительных: звук и (или) глубина наблюдаемой сцены.

Нейронные сети глубокого обучения являются эффективными моделями машинного обучения и используются во многих прикладных программах компьютерного зрения и распознавания речи. Хотя в последние годы предлагаются различные архитектуры, сверточные нейронные сети (СНС) доминируют во всех задачах анализа изображений: распознавание, обнаружение, сегментация, колоризация, суперразрешения, удаление шумов и размытия. В недавних исследованиях коэффициент ошибки новейших моделей

превосходит выполнение некоторых аналогичных задач человеком. Часто сверточные архитектуры дополняют надстройками рекуррентных нейронных сетей (РНС).

Для распознавания последовательных сигналов также успешно применяют СНС и РНС. Это характерно как для акустических сигналов, так и сигналов другого происхождения (например, электроэнцефалограмм).

С другой стороны, в распознавании жестов подобные доминирующие модели еще не появились. Одна из основных причин этого заключается в сложности для нейронных сетей одновременно обучаться эффективному представлению изображений и последовательным моделям [2].

Традиционные системы распознавания жестов состоят из нескольких последовательных стадий. Первая стадия включает в себя детектирование и сегментацию областей объектов, на которых система сфокусирована (например, руки, кисти и т.д.). Во второй стадии из сегментированных областей выделяются характеристики. Наконец, последняя стадия классифицирует входные жесты, используя последовательные модели данных, такие как скрытые модели Маркова. Одна из самых больших сложностей подобного последовательного подхода заключается в том, что, в общем, представление сильно зависит от качества и обобщенных возможностей каждой стадии. Более того, эвристики детектирования руки (такие как фильтрация цвета кожи), которые часто используются на первой стадии, делают всю систему не устойчивой к особенностям наблюдаемых сцен и слишком ограничивают целевыми жестами.

Также в настоящее время существуют разработки, основанные на нейронных сетях с обратной связью [2]. Несмотря на свою эффективность, они достаточно сложны в организации и требуют большой объем памяти.

Одной из последних разработок также является фреймворк для распознавания мультимодальных жестов, основанный на двухуровневой схеме синтеза [3]. Разработчики использовали разнообразные модальности, например, визуальные знаки, такие как цвет, глубину изображения и звук, а также специально полученные характеристики дескрипторов движения рук и спектральные свойства звука. На основе данных характеристик были специально обучены отдельные одномодальные модели, называемые скрытыми моделями Маркова, детально подобранные для динамик каждой модальности. Мультимодальное распознавание неизвестных жестов было достигнуто посредством дальнейшего объединения этих моделей в двухуровневую схему синтеза, которая использует наборы одномодально сгенерированных n -лучших гипотез распознавания. Данная модель достигла точности распознавания в 88,2% на наборах данных.

Иницилируемый подход является реализацией «point-based» модели взаимодействия с виртуальным миром [4]. При этом подразумевается отсутствие дополнительной контекстной информации о строении тела человека и слежение за одной или несколькими определенными точками интереса. Это может быть хорошо применимо для слежения за объектами разной геометрии. В задаче распознавания жестов рук это позволяет следить не только за рукой оператора, но и за предметом в ней (например, за указкой).

Основная идея подхода заключается в инициализации пользователем слежения за объектом с помощью определенного жеста, т.е. необходимо выделить движение внутри кадра, определить движущийся объект и следить за ним. Таким образом, основную задачу иницилируемого подхода можно разделить на несколько более мелких подзадач:

1. обнаружение движения в кадре;
2. определение объекта, предоставляющего наибольшее движение в кадре, и сопоставление его точке интереса;
3. слежение за выбранной на предыдущем шаге точкой интереса.

При этом стоит отметить, что наборы параметров для точки интереса и реального объекта могут как совпадать, так и отличаться. Это зависит от конкретной задачи.

Скелетный подход реализован на основе такой модели взаимодействия с виртуальным миром, как «full-body» [4]. В отличие от иницилируемого подхода, в данном случае используется априори известная информация о строении тела человека, позволяя следить не только за руками оператора, но и за остальными частями тела. Таким образом, возможность определять позу человека не позволяет перепутать местами точки интереса, соответствующие правой и левой руке. Очевидными недостатками, в сравнении с предыдущим подходом, в данном случае являются более сложные алгоритмы и более ресурсоемкие алгоритмы.

Данный подход подразумевает распознавание текущей позы тела оператора в пространстве по изображению. Для успешной реализации необходимо решить следующие подзадачи:

1. сегментация силуэта оператора в видимой сцене;
2. скелетизация множества точек, описывающих силуэт, выделенный на предыдущем этапе;
3. слежение, заключающееся в создании гибкой модели с теми же параметрами, что и пользователь, и установке его в положение, близкое к наблюдаемому.

Для сегментации использовался метод разрастания областей с применением алгоритма кристаллизации [4]. Данный алгоритм заключается в выборе одного или нескольких центров кристаллизации, из которых в дальнейшем происходит расширение области на элементы, «близкие» по некоторой метрике. Для определения центров кристаллизации разработчики используют анализ движения в сцене. Для расширения областей используется пороговое преобразование по глубине множества точек с автоматическим выбором порога.

Так, например, несмотря на надежность распознавания и быстроедействие, нейронные сети чувствительны к пространственным поворотам [5]. Однако именно нейронные сети в настоящее время дают наилучшую точность распознавания жестов по мультимодальным данным.

Явным достоинством двухуровневой схемы синтеза является выбор лучших гипотез в каждой модальности, которые затем объединяются. Тем не менее, на стадии объединения может оказаться, что гипотезы противоречат друг другу. Также вполне ожидаемыми оказываются проблемы синхронизации модальностей за счет времени, затрачиваемого на распознавания каждой из них.

Иницилируемый подход позволяет работать с руками или указками и не требует дополнительной информации о строении тела человека. Однако следствием этого являются следующие недостатки метода: легко перепутать правую и левую руку; слежение происходит только за руками и указками.

Скелетный подход избавлен от недостатков иницилируемого подхода, позволяя следить за всем телом оператора, что, в свою очередь, делает возможным управление не только руками, но и, например, головой и ногами, а также не дает перепутать левые и правые части тела. Очевидно, что для данного метода используются более сложные алгоритмы, чем в иницилируемом подходе, и требуются большие ресурсы.

Можно сделать вывод, что на настоящий момент наиболее эффективным и универсальным является подход с использованием нейронных сетей, однако, в более специфических условиях могут быть полезны также и другие методы.

Литература

1. Bolt R.A. Put-that-there. Voice and gesture at the graphics interface // ACM Computer Graphics. – 1980. – V. 14. – № 3. – P. 262–270.
2. Nishida N., Nakayama H. Multimodal gesture recognition using multi-stream recurrent neural network // Practic-Rim Symposium Image and Video Technology. – 2015. – P. 682–694.
3. Pavlakos G., Theodorakis S., Pitsikalis V., Katasamanis A., Maragos P. Kinect-based multimodal gesture recognition using s two-pass fusion scheme // Proc. International Conference on Image Processing. – 2014. – P. 1495–1499.

4. Стародубцев И.С. Модели, алгоритмы и программный комплекс для построения естественного человеко-компьютерного взаимодействия на основе жестов: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18. – Екатеринбург, 2015.
5. Малашин Р.О., Кадыков А.Б. Исследование обобщающих способностей сверточных нейронных сетей при формировании признаков, инвариантных к вращению // Оптический журнал. – 2015. – Т. 82. – № 8. – С. 24–32.

**Николаева Юлия Сергеевна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра компьютерной фотоники и видеoinформатики,
студент группы № V4220Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: nikasolnyshko@mail.ru

УДК 535.317.1

**ВОПРОСЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ГЛАВНОГО ПАРАБОЛИЧЕСКОГО
ЗЕРКАЛА ТЕЛЕСКОПА С ВЫСОКОАПЕРТУРНОЙ АФОКАЛЬНОЙ НАСАДКОЙ****Николаева Ю.С.****Научный руководитель – к.т.н. Тимощук И.Н.**

Выполнен анализ схемы устройства для обработки поверхности параболоида линейным инструментом. Рассмотрены варианты схемы контроля параболической поверхности.

Ключевые слова: параболическая поверхность, гиперболоидная поверхность, обработка оптических поверхностей.

Введение. Решение многих фундаментальных задач наблюдательной астрономии невозможно без существенного увеличения апертуры телескопов, определяемой, как правило, диаметром главного зеркала.

Дополнив афокальную систему Мерсенна двухзеркальной апланатической системой, например, системой Ричи–Кретьена, получим зеркальный объектив суперкомпактного телескопа, схема которого представлена на рис. 1.

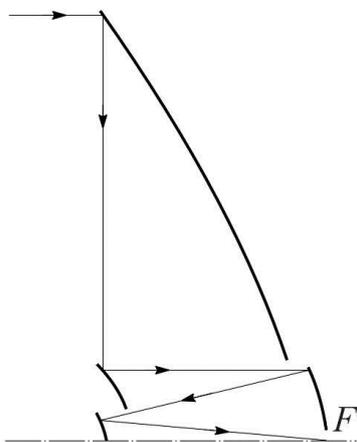


Рис. 1. Схема зеркального объектива суперкомпактного телескопа

Длина такого телескопа равна 0,25 диаметра входного зрачка (диаметра главного зеркала). При такой схеме построения пропадает само понятие трубы телескопа и возникает новая проблема крепления главного зеркала и телескопа в целом на опорно-поворотном устройстве. При этом, учитывая опыт конструирования традиционных телескопов, следует использовать и опыт построения зеркальных антенн радиотелескопов [1].

Принципиально важной является проблема обработки глубокой поверхности главного зеркала. Следует учесть также, что поверхность зеркала может представлять собой набор отдельных элементов. Современное оборудование позволяет изготавливать высокоапертурные оптические элементы сферической, плоской и асферической (осевой и внеосевой) форм, в том числе адаптивные с различной конфигурацией наружного периметра

[2]. К примеру, в научно-производственном объединении «Оптика» разработан технологический автоматизированный комплекс для формообразования высокоточных оптических поверхностей [3].

Непрерывной операцией при обработке поверхности является операция контроля ее формы. Для приведенной системы компактного объектива телескопа решение задачи сопряжения контролируемой поверхности зеркала с оптической схемой контролирующей системы является достаточно непростым. В рассматриваемом случае независимо от диаметра отражающей поверхности изображение осевой бесконечно удаленной точки образует световой пучок лучей в пределах телесного угла, равного 4π , т.е. угол осевого сечения которого равен π .

Задачу сопряжения контролируемой поверхности с последующими элементами контрольной схемы принципиально можно решить с помощью отрицательного мениска с первой по ходу лучей апланатической поверхностью второго вида (концентричной осевой точке предмета) при второй апланатической поверхности первого вида. Выполненный расчет позволил определить конструкцию такого мениска. Сечение мениска осевой плоскостью представлено на рис. 2.

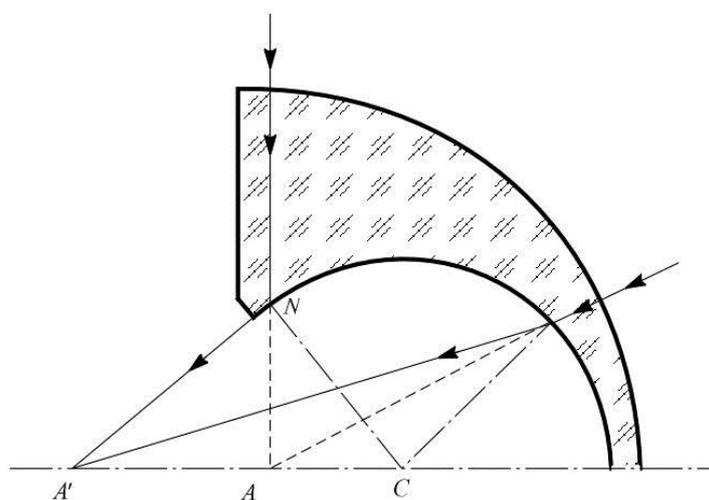


Рис. 2. Конструкция отрицательного апланатического мениска

Однако такую конструкцию мениска вряд ли можно назвать технологичной и в изготовлении, и в применении.

Изображение осевой точки можно вывести из падающего пучка лучей, если дополнить контролируемую поверхность зеркала отражающей поверхностью гиперboloида, образовав, таким образом, систему, подобную системе Кассегрена.

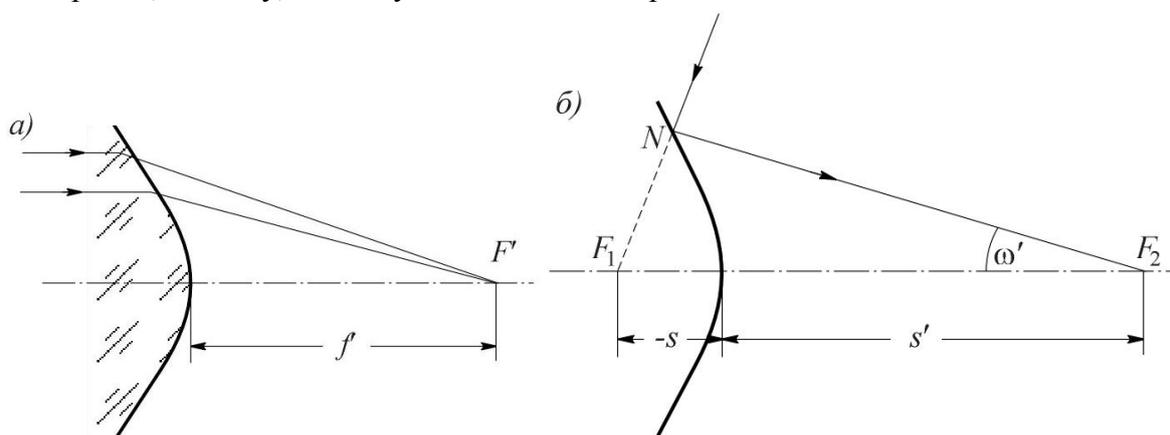


Рис. 3. Гиперболическая преломляющая поверхность (а); гиперболическая отражающая поверхность (б)

Анализ отражающей и преломляющей поверхностей гиперboloида (рис. 3) показал, что:

- для преломляющей гиперболической поверхности $f' = \frac{1}{1-n} r$;
- для отражающей гиперболической поверхности: $s' = \frac{r}{1-e}$, где e – эксцентриситет гиперболы.

$$\text{При } e=n: s' = \frac{r}{1-n} = f'.$$

При падении крайнего луча в осевую точку (в точку F_1) под углом $\omega = -90^\circ$ луч пересекает поверхность гиперboloида в точке N . Для этого луча имеем $\text{tg}\omega' = \frac{e^2 - 1}{2e}$. Тогда

$$\sin\omega' = \frac{e^2 - 1}{e^2 + 1}.$$

Тогда при $e=n=1,5$ получаем $\sin\omega'=0,385$. В этом случае в качестве последующего компонента контрольной схемы можно применить, например, планохроматический объектив микроскопа для отраженного света ОПА-9, имеющий числовую апертуру $A=0,5$ при $f'=10$ мм [4].

Если дополнить гиперboloид плоской поверхностью, образуется плосковыпуклая линза, как показано на рис. 4. Такая линза, как известно, образует безаберрационное изображение бесконечно удаленной осевой точки. При высококачественной обработке плоской поверхности линзу можно применить в качестве элемента автоколлимационной схемы контроля качества обработки гиперboloидной поверхности вращения [5].

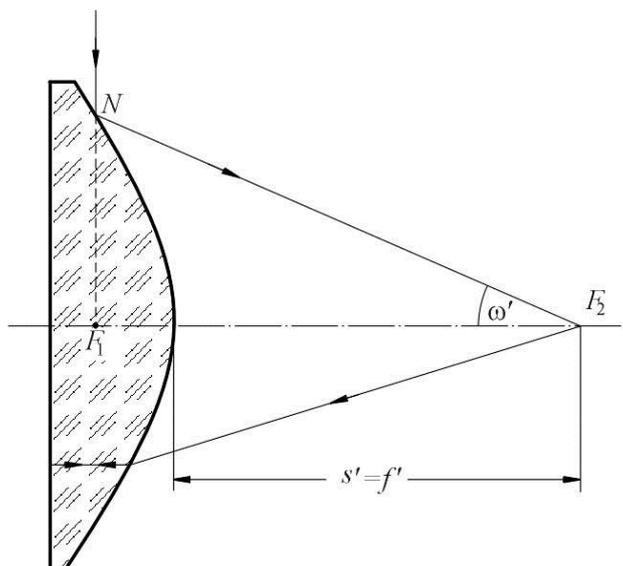


Рис. 4. Плоско-гиперболическая линза

Как было показано ранее, отрезок s' поверхности гиперboloида и фокусное расстояние f' линзы определяются формулой одного вида, т.е. точка A' и фокус F' линзы расположены в одной точке. Это свойство линзы можно использовать при юстировке схемы контроля параболоида.

Задачу контроля формы параболоида можно решить с помощью эллипсоида в схеме, подобной схеме объектива Грегори. Однако обработка вогнутой поверхности эллипсоида и ее установка в схеме контроля поверхности параболоида представляются существенно более трудоемкими, чем в случае применения отражающей поверхности гиперboloида.

Заключение. Определяющими успех процесса обработки поверхности крупногабаритной оптической детали являются метод и средства контроля формы поверхности.

Литература

1. Бахрах Л.Д., Галимов Г.К. Сканирующие зеркальные антенны. Теория и методы расчета. – М.: Наука, 1981. – 302 с.
2. Окатов М.А., Антонов Э.А., Байгожин А. и др. Справочник технолога-оптика. – СПб.: Политехника, 2004. – 679 с.
3. Горшков В.А., Подобранный А.В. Технологический автоматизированный комплекс для формообразования высокоточных оптических поверхностей // Оптический журнал. – 2011. – Т. 78. – № 4. – С. 3–11.
4. Панов В.А., Андреев Л.Н. Оптика микроскопов. Расчет и проектирование. – Л.: Машиностроение, 1976. – 432 с.
5. Зверев В.А. Основы геометрической оптики. – СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 2002. – 218 с.



Николаева Юлия Сергеевна

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра компьютерной фотоники и видеoinформатики,
студент группы № V4220

Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: nikasolnyshko@mail.ru

УДК 681.7.05

АНАЛИЗ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ ШЛИФОВКИ (ПОЛИРОВКИ) ПОВЕРХНОСТЕЙ, ОБРАЗОВАННЫХ ВРАЩЕНИЕМ ПАРАБОЛЫ

Николаева Ю.С.

Научный руководитель – к.т.н. Тимощук И.Н.

Выполнен анализ сил, определяющих удельное давление инструмента на обрабатываемую поверхность при обработке сферических поверхностей методом притира и поверхностей параболоида вращения с помощью плоского инструмента.

Ключевые слова: обработка оптических поверхностей, параболоид, шлифовальник, полировальник, метод линейного соприкосновения, метод притира.

Введение. Преимущества, которыми обладают оптические системы с асферическими поверхностями достаточно давно и широко известны. В настоящее время в нашей стране и за рубежом рассчитано большое количество оптических систем для приборов различного назначения. В связи с этим задача совершенствования методов изготовления, обработки и контроля деталей с асферическими поверхностями является достаточно актуальной. Методы формообразования асферических поверхностей основаны на их геометрических свойствах.

Кривая сечения параболоида плоскостью, отстоящей от его осевой плоскости на некоторое расстояние h , представляет собой параболу того же параметра, но со смещенной вершиной на расстояние $h^2/2r$. Следовательно, если взять вращающуюся вокруг оси заготовку зеркала, имеющую сферическую форму поверхности, наиболее близкую к требуемой, и обрабатывать ее свободным абразивом с помощью тонкой металлической пластинки – «ножа», имеющей возвратно-поступательное движение, при котором нож «скользит» по поверхности заготовки, оставаясь все время параллельным оси ее вращения, то через некоторое время пластинка должна приобрести параболический профиль, а заготовка, благодаря износу, принять соответственно форму параболоида [1, 2]. Таким образом, режущая кромка ножа (пластинки) должна иметь форму образующей кривой обрабатываемого параболоида того же параметра, но обратного знака, как показано на рис. 1. В результате обработки поверхность заготовки должна приобрести требуемую форму параболоида.

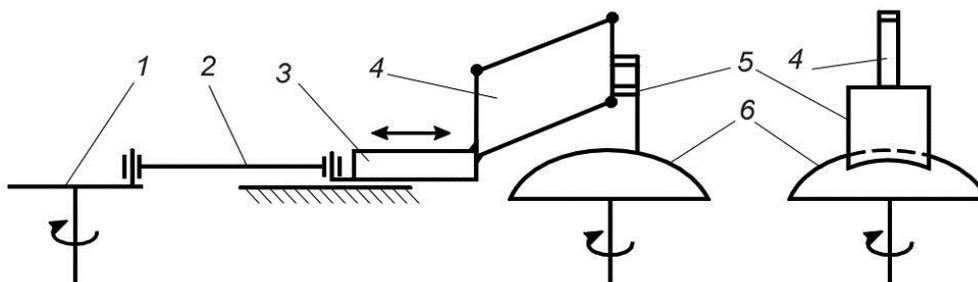


Рис. 1. Схема обработки линейным инструментом поверхности параболоида: 1 – кривошип; 2 – шатун; 3 – ползушка; 4 – параллелограммный механизм; 5 – инструмент-нож; 6 – обрабатываемая поверхность

Все исследования и расчеты, связанные с абразивным диспергированием в процессе шлифовки и полировки, основываются на известной гипотезе Престона [3], из которой следует, что

$$I_m = c_m p V,$$

где I_m – количество материала, диспергированного в единицу времени; c_m – постоянная для выбранного режима диспергирования; p – давление по нормали к трущимся поверхностям; V – скорость относительного движения поверхностей.

Предположим, что при обработке сферической поверхности классическим методом притира шлифовальник обладает абсолютной жесткостью. Будем считать, что при равнотолщинном шлифовальнике (полировальнике) вертикальная составляющая давления на обрабатываемую поверхность одна и та же в каждой ее точке, как показано на рис. 2, а, и равна $f_p = P/S$, где P – вес шлифовальника; S – проекция рабочей поверхности шлифовальника на горизонтальную плоскость. Предположим также, что в начальный момент ось шлифовальника совмещена с осью вращения детали (шпинделя станка). Тогда в некоторой точке обрабатываемой поверхности, смещенной относительно оси на расстояние h , давление на поверхность по нормали к ней определится выражением $p = f_p \cos \psi = f_p (1 - \sin^2 \psi)^{1/2}$, где $\sin \psi = h/r$; r – радиус обрабатываемой поверхности.

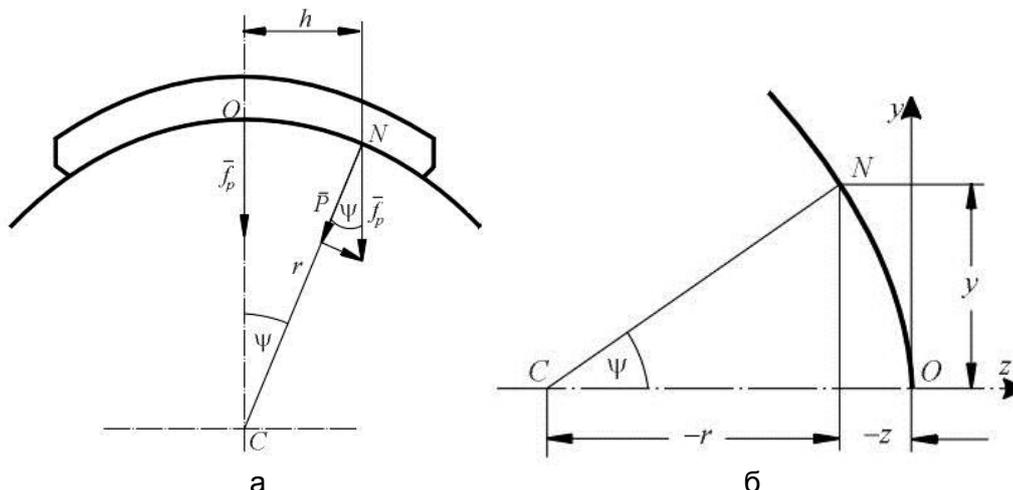


Рис. 2. Обработка сферы методом притира (а); параметры параболы (б)

Следовательно, удельное давление на обрабатываемую поверхность даже в пределах шлифовальника величина не постоянная: $p \neq \text{const}$. Вполне очевидно, что при смещении оси шлифовальника относительно оси обрабатываемой поверхности нарушается и симметрия распределения удельного давления, а также, что скорость относительного движения поверхностей в каждой точке различна. Однако следует заметить, что реальная толщина сошлифованного слоя материала возможна лишь за конечный промежуток времени. Потому гипотезу Престона удобно выразить формулой вида [4]:

$$\Delta = Aps,$$

где Δ – толщина сошлифованного слоя; A – некоторый технологический постоянный коэффициент, учитывающий влияние постоянных технологических факторов: твердость абразива, величину зерна, твердость материала и т.п.; p – удельное давление в зоне обработки; s – траектория точки обрабатываемой поверхности на поверхности шлифовальника (полировальника) за конечный промежуток времени τ :

$$s = \int_0^{\tau} V dt.$$

Заметим, что зона контакта плоского инструмента с обрабатываемой поверхностью параболоида значительно меньше, чем вся обрабатываемая поверхность. Динамику

обеспечения процесса обработки рассмотрим на примере сечения инструмента и обрабатываемой поверхности меридиональной плоскостью. При этом следует обратить внимание на то, что при перемещении плоского инструмента, параллельного оси параболоида, в направлении нормали к плоскости инструмента угол ψ между нормалью к сечению поверхности и осью параболы (плоскостью инструмента), как показано на рис. 2, б, определяется выражением $\operatorname{tg}\psi = dz/dy = y/r$.

При этом величина $p=p(y)$ в формуле Престона в рассматриваемом случае определяется выражением

$$p(y) = p(0)\cos\psi = \frac{|r|}{\sqrt{r^2 + y^2}} p(0).$$

Как известно [5], сила трения всегда направлена вдоль поверхности соприкосновения в сторону, противоположную движению, и определяется выражением:

$$F_{\text{тр}} = \mu F_N,$$

где $F_{\text{тр}}$ – сила трения; μ – коэффициент трения; F_N – сила нормального давления, которая прижимает тело к опоре.

На рис. 3, а, показан след инструмента T на меридиональной плоскости в точках O и N сечения параболоида (параболы). Сила F_T , с которой инструмент давит на поверхность в точке O , равна давлению $F_T=p(0)$. При этом сила трения $F_{\text{тр}}=\mu\cdot F_T=\mu\cdot p(0)$. Следовательно, сила F , движущая инструмент по обрабатываемой поверхности, должна удовлетворять условию $F>F_{\text{тр}}$.

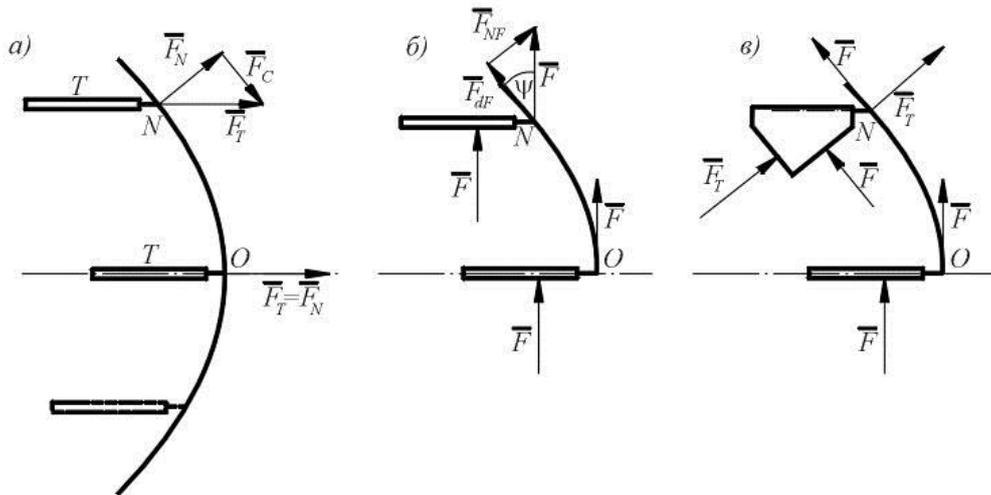


Рис. 3. Динамика шлифовки (полировки) поверхности параболоида методом «ножа»: при давлении инструмента (а); при силе, движущей инструмент (б); требуемое распределение сил (в)

Пусть при перемещении инструмента его след упирается в параболу в точке N . В этом случае наглядное представление о влиянии силы F_T дает разложение ее на две составляющие, как показано на рис. 3, а: на силу давления $F_N=p(y)$ и составляющую F_C , направленную по касательной линии к параболе в точке N , которую условно можно назвать скатывающей составляющей. При этом $\bar{F}_T = \bar{F}_N + \bar{F}_C$.

В этом случае и силу F удобно заменить суммой двух векторных составляющих, как показано на рис. 3, б: $\bar{F} = \bar{F}_{dF} + \bar{F}_{NF}$, где \bar{F}_{dF} – составляющая движущей силы, \bar{F}_{NF} – составляющая давления на поверхность. При этом должно выполняться очевидное условие: $F_{dF} > \mu(F_N + F_{NF}) + F_C$. Заметим, что появление переменной составляющей F_{NF} может привести к остаточным напряжениям в поверхностном слое стекла. Для уменьшения влияния этого явления движущую силу F можно направить вдоль касательной в точке N , как показано на рис. 3, в.

Заключение. Выполненный анализ показал, что в процессе обработки поверхности параболоида с целью повышения качества обработки, движущая сила должна быть направлена параллельно касательной в данной точке поверхности.

Литература

1. Качкин С.С., Чунин Б.А., Винокур С.И. Способы формообразования асферических поверхностей // Формообразование оптических поверхностей. Сборник статей / Под ред. К.Г. Куманина. – М.: Оборонгиз, 1962. – 432 с.
2. Зверев В.А., Николаева Ю.С., Тимошук И.Н. Анализ схемы формообразования несферических поверхностей второго порядка методом линейного соприкосновения // Оптический журнал. – 2017. – Т. 94. – № 10. – С. 25–29.
3. Цеснек Л.С. Физические закономерности абразивного диспергирования // Формообразование оптических поверхностей. Сборник статей / Под ред. К.Г. Куманина. – М.: Оборонгиз, 1962. – 432 с.
4. Русинов М.М. Несферические поверхности в оптике. – М.: Недра, 1973. – 296 с.
5. Кухлинг Х. Справочник по физике / Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 520 с.

**Поваров Кирилл Сергеевич**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики, аспирант
Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение,
оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: kirillpovarov@yandex.ru

**Митрофанов Сергей Сергеевич**

Год рождения: 1954

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики,
к.т.н., ст.н.с., доцент

e-mail: m1990s@mail.ru

УДК 681.7; 535.8

**АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ УГЛОВОГО ЭНКОДЕРА НА БАЗЕ ФОТОПРИЕМНИКА
«МУЛЬТИСКАН»****Поваров К.С., Митрофанов С.С.****Научный руководитель – к.т.н., ст.н.с., доцент Митрофанов С.С.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617033 «Разработка методов и устройств оптической и квантовой информатики».

В результате работы был проведен анализ конструкции энкодера, разработанной на базе компоновочной схемы, предложенной авторами. Основой энкодера является позиционно-чувствительного фотоприемник «Мультискан».

Ключевые слова: энкодер, «Мультискан», преобразователь угловых перемещений, абсолютный энкодер.

В различных отраслях приборостроения, роботостроения и машиностроения, а также других отраслях промышленности существует необходимость в контроле положения объектов в пространстве. Один из векторов развития – это уменьшение габаритов при сохранении высоких точностных характеристик.

Контроль положения важен для современных станков с числовым программным обеспечением для измерительного оборудования и приборов контроля.

Для выполнения задачи контроля положения можно использовать визуальные приборы, в которых оператор по шкалам и индексам снимает показания. В некоторых случаях этого достаточно. Но для автоматизации процессов, а также обеспечения обратной связи в различных устройствах, необходимы электронные устройства, преобразующие перемещения в электрический сигнал. Для этого используются энкодеры – устройства, преобразующие угловые повороты или линейные перемещения объекта (вала) в электрические сигналы, позволяющие определить величины углов поворота или линейные координаты [1–3]. Энкодеры применяют для решения множества задач.

По способу выдачи информации энкодеры подразделяются на две группы: накапливающие (инкрементные) и абсолютные (позиционные).

К достоинствам инкрементальных можно отнести простоту структур дисков и конструкции, что позволяет получить минимальные габариты.

Энкодеры могут быть построены на различных физических принципах, но минимальной погрешностью и высокой разрешающей способностью обладают фотоэлектрические энкодеры, построенные на оптических кодовых дисках. Энкодеры такого типа состоят из стеклянных дисков с кодовой структурой, излучающего диода и фотоприемника.

Абсолютный энкодер на выходе выдает цифровой код, который соответствует угловому или линейному положению объекта. Подобные энкодеры применяются в высокоточных системах контроля и управления, робототехнике, станках с числовым программным управлением и др.

В ряде случаев необходимо применение именно абсолютных энкодеров повышенной точности функционирования, но их применение не всегда возможно из-за больших габаритов таких энкодеров. Увеличение габаритов происходит из-за увеличения количества кодовых дорожек диска, с которых снимается информация о положении, что приводит к увеличению его диаметра, а, следовательно, и общих габаритов энкодера.

Одним из вариантов устранения этого недостатка является применение позиционно-чувствительных фотоприемников вместо кодовых дисков. Например, кругового фотоприемника «Мультискан», разработанного в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе [4, 5].

Фотоприемник «Мультискан» предназначен для измерений пространственных характеристик оптического излучения и представляет собой соборную кремниевую структуру, сформированную на КСДИ (кремний с диэлектрической изоляцией), которая содержит набор встречно включенных диодов, одни концы которых подключены к распределенному делителю напряжения, а другие – к низкоомной сигнальной шине. На противоположных краях этого слоя нанесены омические контакты (сигнальные электроды), служащие для снятия сигналов. Это, соответственно, сигнальные электроды $U_{\text{вых1}}$, $U_{\text{вых2}}$, и нижний – общий U_0 . Длина же резистивного слоя равна линейному размеру дуги окружности (диаметр фоточувствительного слоя 16 мм) и составляет величину 44 мм [4–7].

На рисунке представлен фрагмент компоновки абсолютного энкодера на основе кольцевого фотоприемника «Мультискан».

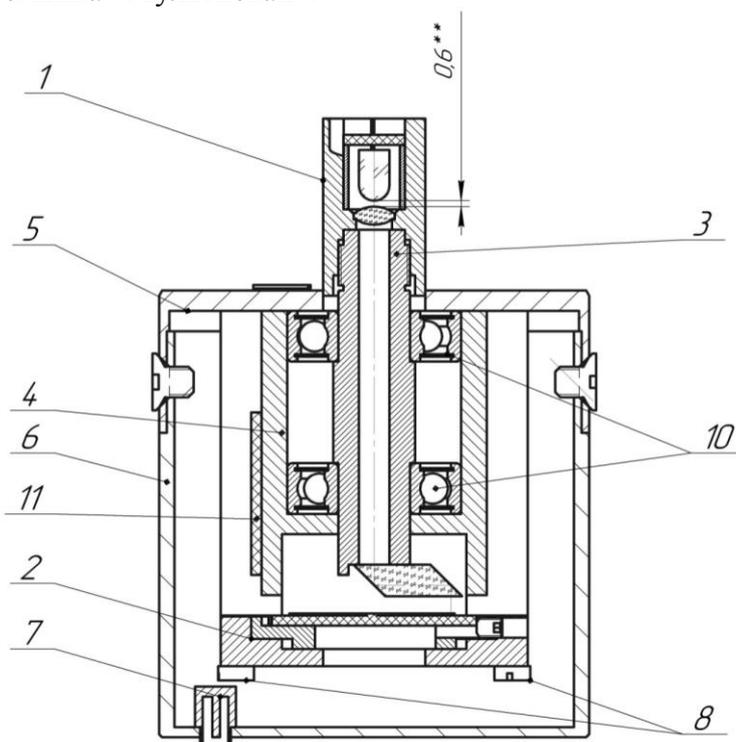


Рисунок. Компоновка энкодера

Осветительная система, установленная во втулке 1 вала, содержит источник излучения – светодиод, линзу-коллиматор, которая обеспечивает засветку марки, которая нанесена на ромбическую призму. Марка проецируется на фоточувствительную поверхность приемника «Мультискан», установленного в рамке 2 и удерживается винтами 8. Вал 3 вращается в подшипниках 10, которые крепятся в обойме 4 и жестко связаны с корпусом 5 и кожухом 6. При перемещении вала 3 положение марки на фотоприемнике меняется пропорционально его повороту, что приводит в пропорциональному изменению сигнала фотоприемника, снимаемого после предварительной обработки в контроллере 11 посредством разъема 7.

В предлагаемой компоновке энкодера погрешности изготовления подшипников (биение внутреннего кольца), приводящее к смещению марки вдоль радиуса, вносит дополнительную погрешность измерения угла. Оценим ее. При использовании, например, подшипника 4 класса точности, радиальное биение подобного подшипника не превышает 2,5 мкм, что дает максимальное смещение марки в пределах 5 мкм, а эта величина соответствует линейной чувствительности фотоприемника.

Данная погрешность может также привести к искажениям геометрической формы пятна осветителя, но это не изменит угловую координату марки, так как фотоприемник «Мультискан» вырабатывает электрический сигнал, пропорциональный световому центру пятна.

Ранее было выявлено, что на точность энкодера влияет эксцентриситет установки фотоприемника относительно оси вращения марки. Для его устранения в конструкции энкодера предусмотрена установка фотоприемника в рамке 2 с возможностью смещения в двух взаимноперпендикулярных направлениях. Смещения независимы, что облегчает процесс юстировки.

Анализ разработанной конструкции показывает, что подобная компоновка минимизирует влияние отдельных элементов конструкции и им можно пренебречь.

Литература

1. ЭНКОДЕРЫ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ksistems.ru/stati/enkodery.html> (дата обращения: 02.03.2018).
2. Что такое абсолютный и инкрементальный энкодер, как работают энкодеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.devicesearch.ru/article/enkodery> (дата обращения: 02.03.2018).
3. Энкодеры » Технологии » ООО СИМТЕХ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gemcomplekt.ru/articles/?p=55> (дата обращения: 05.03.2018).
4. Подласкин Б., Гук Е. Позиционно-чувствительный фотодетектор – мультискан // Измерительная техника. – 2005. – № 8. – С. 31–34.
5. Берковская К.Ф., Кириллова Н.В., Подласкин Б.Г., Столовицкий В.М., Суханов В.Л., Тучкевич В.В. Многофункциональный приемник – Мультискан // Журнал технической физики. – 1983. – Т. 10. – С. 2015–2024.
6. Гук Е., Подласкин Б. Координатно-чувствительный датчик мультискан. – 2010. № RU 2399117 С1.
7. Подласкин Б. и др. Многофункциональный приемник – мультискан // Научно-технические достижения. – 1992. – № 2.



Семёнов Андрей Владимирович

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики,
студент группы № V4220

Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: drunia147@yandex.ru

Табачков Алексей Геннадьевич

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики, к.т.н., доцент

e-mail: aletab@yandex.ru



Гнездилова Мария Сергеевна

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики,
студент группы № V4220

Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: mariy-94@mail.ru



Дырдина Вероника Юрьевна

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики,
студент группы № V4220

Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: d.nika_9494@mail.ru

УДК 681.7.07

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИБОРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОПТИЧЕСКИХ
КОМПОНЕНТОВ И ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СБОРОК**

Семёнов А.В., Табачков А.Г., Гнездилова М.С., Дырдина В.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Табачков А.Г.

В современном производстве линз и оптических узлов требуется контролировать несколько различных характеристик, что заставляет использовать сразу несколько различных приспособлений для каждой из них. Также, несмотря на постоянную модернизацию объективов, приборы, предназначенные для сборочных процессов, остаются такими же, как и несколько десятков лет назад. Все это наталкивает на мысль, что требуется создать новый прибор, который будет максимально универсален к современной реальности.

Ключевые слова: объектив, микроскоп, aberrации, центрировка, юстировка.

При изготовлении оптических деталей и сборок необходимо осуществлять контроль целого ряда параметров, которые влияют на качество изделия [1]. Для этих целей на производстве используют такие приспособления и приборы как:

- пробные стекла;
- сферометры;
- интерферометры;

- автоколлиматоры;
- коллиматоры.

На сегодняшний день в отечественном и некоторых зарубежных производствах используется ряд специализированных приборов, предназначенных в первую очередь для контроля центрировки оптических элементов.

Первый из них – это СТ-41. За основу этого устройства взята автоколлимационная трубка Забелина, которая установлена на штативе. В нижней части прибора предусмотрен специальный столик. При помощи данного прибора можно оценивать центрировку линз и узлов. Зарубежный и более современный аналог данного прибора – OptiCentric Visuell. Он предназначен для измерения погрешности центрирования линз автоколлимационным методом в оптических системах различного назначения.

Второй прибор – СТ-41М. Назначение данного прибора аналогично СТ-41, но конструктивно он собран на основе коллиматора. Его зарубежный аналог – OptiSpheric, который позволяет измерять эффективное фокусное расстояние, рабочий отрезок, заднее фокусное расстояние, погрешность центрирования линз в проходящем свете.

Также стоит упомянуть, что фирма Trioptics выпускает комбинированный прибор OptiCentric Dual AB100, который содержит автоколлимационный и коллимационный каналы одновременно.

При сборке микрообъективов контролируются и другие параметры, например, рабочая высота и «центровка». Контроль данных характеристик выполняется на приборах, которые собраны на базе обычных микроскопов. За основу берется идеально собранный микроскоп и оснащается дополнительными узлами. Контроль при сборке и последующей аттестации объективов осуществляется по качеству изображения дифракционной точки [2]. По изображению или его искажению можно оценить качество сборки объективов и выявить наличие тех или иных аберраций.

Некоторые зарубежные производители предпочитают производить контроль и оценку по специальным мирам. Наряду с этим некоторые зарубежные фирмы, например, Mitutoyo, производят контроль и оценку по дифракционной точке и дополнительно контролируют на интерферометре типа ZYGO волновой фронт. Это обстоятельство связано с тем, что линейка микрообъективов данной фирмы предназначена для работы в невидимом спектральном диапазоне. Также освещение в данных приборах производится лазером. Объективы имеют большое поле зрения, порядка 20–25 мм и предназначены для работы на контрольно-измерительных микроскопах с плоским полем [3].

Занимаясь анализом приборов, предназначенных для сборочных операций объективов для микроскопов, было выявлено, что, несмотря на прогрессивное развитие контрольного оборудования и даже дальнейшую его автоматизацию и компьютеризацию, приборов специально для сборки микрообъективов не выпускают. В основном производят только модернизацию существующих приборов путем установления ПЗС-приемников и выводом изображения на экран.

Операции сборки и последующего контроля осуществляются на обычных микроскопах. При этом в 80% случаев на старых приборах с прямым тубусом [4]. Данный микроскоп был разработан в начале 40-х годов прошлого века фирмой Carl Zeiss. В дальнейшем для сборочных операций он был оснащен «вертушкой», а позднее и сменной тубусной линзой. В конце 40-х годов прошлого века в СССР выпустили свою модель микроскопа, взяв за основу немецкий прототип. Таким образом, можно сделать вывод, что новых приборов для сборки микрообъективов нет.

Так как объективостроение постоянно развивается, и появляются все новые и более сложные микрообъективы, использование существующих приборов для сборки не представляется возможным, поэтому необходимость в создании нового прибора вполне актуальна и обоснована.

Новый прибор должен соблюдать следующие требования:

- прибор должен позволять выполнять максимальное количество контрольно-сборочных операций;
- прибор необходимо использовать для максимального количества микрообъективов, которые различаются своими техническими характеристиками.

На начальном этапе проектирования прибора необходимо разработать техническое задание (ТЗ), которое поможет создать наиболее правильную структуру прибора и учесть все необходимые компоненты. При разработке ТЗ на новый универсальный прибор для сборочно-контрольных операций в первую очередь руководствуются градацией микрообъективов. За основу прибора было решено взять обычный штатив микроскопа с фокусирующей подвижкой предметного стола.

Микрообъективы, помимо работы в проходящем свете, работают и в отраженном, поэтому необходимо установить, кроме нижнего осветителя, еще и верхний.

Поскольку объективы могут выпускаться поляризационного варианта, то прибор необходимо оснастить набором поляризаторов и анализаторов.

Существование ЭПИ-объективов вынуждает усовершенствовать верхний осветитель, путем установки в него узла с дополнительными зеркалами и диафрагмами. Это позволит не только производить сборку самого объектива, но и выставлять его осветительную часть.

Объективы для микроскопов выпускаются как в обычном исполнении, так и люминесцентными, поэтому необходимо предусмотреть возможность легкой замены источника излучения и установки дополнительных светофильтров. В качестве решения планируется установить револьверный узел с различными лампами.

Для проверки работы объективов при косом освещении необходимо предусмотреть смещение конденсора с последующим его выставлением в исходное положение.

Так как микрообъективы имеют различную присоединительную резьбу, необходимо установить в прибор специальный револьвер, который будет иметь набор всех возможных гнезд с разной резьбой.

В процессе сборки объектив необходимо вращать вокруг своей оси, для данной операции каждое гнездо будет оснащаться «вертушкой». Помимо этого, каждое гнездо должно иметь юстировочную подвижку, перпендикулярную оси прибора.

В дальнейшем планируется предусмотреть установку сменных фазовых колец в верхнюю часть и в конденсор, но поскольку вопрос фазового контраста заслуживает особого внимания, то данный пункт не рассматривался.

Рабочая высота у микрообъективов составляет от 10 до 90 мм, а фокусирующая подвижка стола всего 15–30 мм в зависимости от модели. Из-за такой проблемы необходимо ввести дополнительную грубую подвижку. Под эти цели планируется заимствование фокусирующего механизма, который позволяет осуществлять грубое перемещение на расстояние 120 мм. Это обеспечит при помощи «самой грубой» подвижки выставлять высоту, а затем при помощи «грубой и точной» подвижки фокусироваться на предмет.

Для создания более современной модели прибора необходимо предусмотреть установку тринокуляра. Это позволит производить наблюдение не глазом, а на экране монитора.

Было решено разрабатывать прибор не по классической схеме, а по принципу инвертоскопа, т.е. весь прибор перевернуть. По такому принципу выпускаются такие микроскопы, как БИМАМ-М, МЕТАМ, предназначенные для биологических исследований и для изучения непрозрачных громоздких предметов. Создание прибора по схеме инвертоскопа позволит значительно облегчить операции юстировки объективов, которые связаны с неоднократной сборкой и разборкой.

Таким образом, создание подобного прибора позволит осуществлять контроль микрообъективов при сборке и последующей аттестации. При этом новый прибор позволит контролировать различные объективы и разные характеристики, что значительно расширяет область применения прибора.

Литература

1. Латыев С.М. Конструирование точных (оптических) приборов. – СПб.: Лань, 2015. – 560 с.
2. Табачков А.Г. Конструкторско-технологическая унификация микрообъективов с учетом автоматизации их сборки: дисс. канд. техн. наук. – СПб., 2011. – 142 с.
3. Фролов Д.Н. Синтез оптических систем линзовых микрообъективов // Оптический журнал. – 2002. – Т. 69. – № 9. – С. 16–20.
4. Labor-Microscopes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.labor-microscopes.ru> (дата обращения: 17.01.2018).



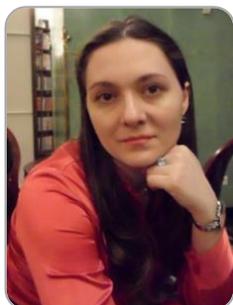
Масюков Максим Сергеевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра фотоники и оптоинформатики,
студент группы № V3400

Направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика

e-mail: maxim.masyukov@gmail.com



Возианова Анна Викторовна

Год рождения: 1981

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра фотоники и оптоинформатики, к.ф.-м.н.

e-mail: vozianova@gmail.com



Громов Александр Викторович

Год рождения: 1961

Университет ИТМО, кафедра военная, доцент

e-mail: gromow.2014@yandex.ru



Красильников Николай Иванович

Год рождения: 1955

Университет ИТМО, кафедра военная, доцент

e-mail: krasilnikovnickolai@yandex.ru

УДК 555.32

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ, МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ МАСКИРОВКИ

Масюков М.С., Возианова А.В., Громов А.В., Красильников Н.И.

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Возианова А.В.

В работе проведено исследование эволюции использования средств оптической маскировки с древних времен до нашего времени. Проведен обзор наиболее перспективных средств маскировки с использованием поглотителей на основе мета- и наноматериалов.

Ключевые слова: маскировка, метаматериалы, наноматериалы.

Маскировка – комплекс мероприятий, обеспечивающих скрытие от противника войск и объектов, а также способствующий получению противником искаженных сведений о наличии, дислокации, составе и намерениях войск. В связи с развитием средств проведения разведки (БПЛА, космическая разведка и т.п.) влияние маскировки на ведение современных боевых действий с каждым годом растет [1, 2].

Маскировка является неотъемлемой частью боевых действий с древних времен. Обман противника, сокрытие настоящих намерений войск и укреплений описывалось еще в работе Сунь Цзы «Искусство войны». Известный полководец древности Ганнибал также был знаменит своими неожиданными нападениями «из неоткуда», засадами, набегами из предварительно замаскированных укреплений. Во время Пелопонесской войны греками были впервые применены дымовые шашки для сокрытия передвижений войск, а позднее ими же был произведен, пожалуй, самый известный обман древности, когда спрятанные внутри коня солдаты позволили захватить неприступную Трою. Модернизированные дымовые шашки стали использовать монгольские кочевники в средние века. Ими же использовалась тактика нападения на противника из замаскированных степных укрытий.

Гораздо позднее американский революционер, президент Джордж Вашингтон успешно использовал секретность и обман при отступлении после битвы при Лонг-Айленде. Колеса повозок и пушечных тягачей были обернуты лохмотьями, что сделало их бесшумными. Утренний туман помог Вашингтону завершить свое отступление, и все его войска перебрались через реку [3].

До начала XX века в армиях стран мира в военной форме ценилась, прежде всего, красота и парадность, а не ее тактические преимущества. Такая ситуация наблюдалась вплоть до 1900-х годов. Во время Русско-японской войны российские солдаты были вынуждены применять многие ухищрения, чтобы в белой форме быть менее заметными среди лугов или полей, вываливая форму в грязь или окрашивая ее при помощи травы. Приняв во внимание данные факты, военную форму к началу Первой Мировой войны сделали защитного цвета, а самолеты и бронемашин выкрасили таким образом, чтобы контраст с окружающей средой был минимален. В 1939 году во Франции был зарегистрирован патент на военную форму пятнистой раскраски, которую назвали хамелеоном [4]. В конце 30-х годов XX века камуфляж (от фр. «маскировка») был внедрен в большинство армий мира.

Для обеспечения скрытности техники во время военных действий при оформлении боевых судов применялись особенные виды камуфляжа, например, ослепляющий камуфляж, для обеспечения невозможности точного наведения оружия подлодками противника. А пилотами финских ВВС применялась «обманная раскраска», когда на нижнюю часть самолета наносилось изображение кабины с пилотом, что приводило в заблуждение пилотов противника траектории будущего маневра.

С развитием радиолокации многие виды маскировок военной техники, созданных по аналогии с маскировочными средствами военнослужащих, пришли в негодность. Радиолокация – обнаружение и определение координат расположения объектов при помощи радиоустройств. Принцип действия систем радиолокации состоит в обнаружении и регистрации радиоволн, рассеянных наблюдаемыми объектами. После появления радиолокации стали активно развиваться стелс-технологии. Разработка современных стелс-технологий началась в США в 1958 году. Конструкторы теоретически и экспериментально пытались реализовать такую форму самолетов, которая бы затруднила обнаружение самолета при помощи радара благодаря рассеянию им волн в стороны, отличные от направления радара. В то же время исследования шли и в направлении поглощающих материалов. Так, в 1943 году был создан поглотитель Яумана, использующий интерференцию в противофазе для подавления отраженной волны.

С начала 2000-х годов особый интерес ученых вызывают метаматериалы. Метаматериал – многослойный композит, состоящий из массива элементарных ячеек. Данные материалы могут обладать как положительным, так и отрицательным показателем преломления. Впервые предположения о существовании таких сред были сделаны советским физиком В. Веселаго, однако, они не были серьезно восприняты физическим сообществом. Исследования таких сред были продолжены лишь в 2000-е годы. В 2006 году Джон Пендри предложил реализовать маскирующее покрытие на основе метода волнового обтекания

(рис. 1). Маскирующее покрытие должно преобразовывать волновой фронт электромагнитного излучения, заставляя лучи огибать объект, а на выходе из покрытия занимать прежнее положение [5]. Исходя из уравнений Максвелла, необходимо подобрать такие значения тензоров диэлектрической и магнитной проницаемостей, зависящих от координат, чтобы предмет для излучения превратился в точку.

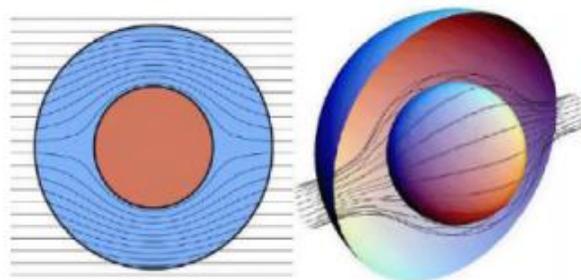


Рис. 1. Траектория лучей в маскирующей оболочке [6]

Для того чтобы следы маскирующего покрытия не были заметны, необходимо, чтобы оптическая длина пути лучей в маскировке была эквивалентной оптической длине тех же лучей при отсутствии оболочки и предмета. Преодолевая границу раздела маскировка-окружающая среда лучи принимают прежнее направление. Данная теория была подтверждена экспериментально, при этом ввиду простоты изготовления маскировка была выполнена в цилиндрической форме. Метаматериал состоял из дискретного количества слоев, каждый из которых состоял из резонаторов, рассчитанных особым образом. Каждый слой по-своему преломлял лучи, заставляя излучение огибать маскируемый проводниковый цилиндр [6]. Подобные метаматериалы в дальнейшем стали очень популярными, и исследовались различные модификации резонаторов, позволяющих достичь эффект обтекания [7] (рис. 2).

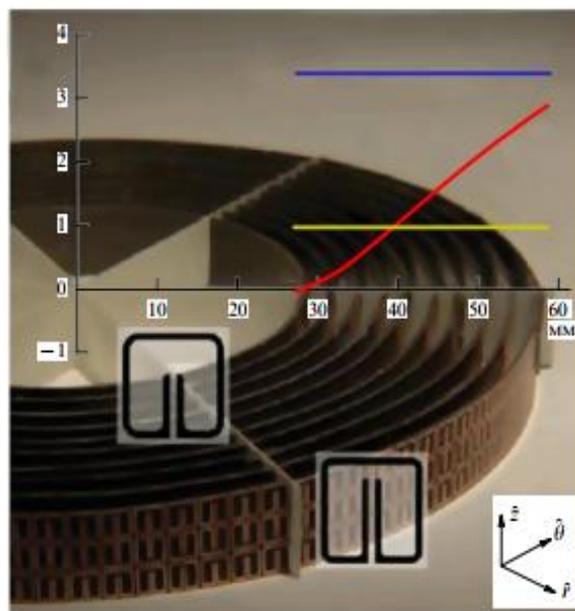


Рис. 2. Экспериментальная реализация маскировки на основе метаматериала [7]

Маскировки можно добиться не только при помощи метода волнового обтекания, но и при помощи создания поглотителя на основе метаматериалов. Данным поглотителем можно обшить корпус самолета, что сделает его невидимым в определенном диапазоне частот. Диапазон длин волн, на которых метаматериал работает как поглотитель, определяется размерами элементарной ячейки и резонатора метаматериала. В России известны научные работы академика А. Лагарькова по использованию метаматериалов в качестве радиопоглотителей, применению их в военной сфере [8].

Как мы видим, маскировка методом волнового обтекания и поглощения основана на довольно простых физических принципах. Похожие принципы применялись и ранее в радиосвязи. Здесь имеется в виду близкое к маскировке явление, называемое критической рефракцией. Явление заключается в компенсации кривизны поверхности, огибаемой лучами, градиентным показателем преломления. На выходе из материала лучи принимают прежнюю форму, что позволяет сделать вывод о том, что они не встречались с препятствием.

В настоящее время известны примеры успешного использования поглощающих и экранирующих материалов для защиты корпусов кораблей. В 2016 году сообщалось об испытаниях защитных «плащей-невидимок» на основе радиопоглощающих материалов. Данные материалы представляют собой напыленный на термостойкие подложки углерод с ферромагнитными частицами [9]. Сообщается также о создании динамического камуфляжа на основе белка рефлектин, вырабатываемого специальным видом моллюсков. Его принцип действия основан на быстрой смене пигментации клеток. Камуфляж на основе данной технологии приобретает окраску окружающей среды в течение нескольких секунд [10].

Таким образом, технологии маскировки не стоят на месте. С развитием вооружения и техники совершенствуются и внедряются новые технологии маскировки, основанные на самых различных физических эффектах.

Литература

1. Королёв А.Ю., Королёва А.А., Яковлев А.Д. Маскировка вооружения, техники и объектов. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 155 с.
2. Latimer J. Deception in War. – Изд-во: Thistle Publishing, 2015. – 530 p.
3. Ketchum R.M. The Winter Soldiers: The Battles for Trenton and Princeton. – New York: Henry Holt, 1999.
4. Тиханычев О.В. Методы снижения оптической заметности объектов на поле боя: историческая ретроспектива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://technology.snauka.ru/2016/07/9658>, своб.
5. Pendry J.B., Schurig D. and Smith D.R. Controlling electromagnetic fields // Science. – 2006. – V. 312. – P. 1780–1782.
6. Schurig D. et al. Metamaterial electromagnetic cloak at microwave frequencies // Science. – 2006. – V. 314. – P. 977–980.
7. Возианова А.В., Ходзицкий М.К. Маскирующее покрытие на основе спиральных резонаторов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – № 4(80). – С. 28–33.
8. Лагарьков А.Н., Кисель В.Н., Сарычев А.К., Семенов В.Н. Электрофизика и электродинамика метаматериалов // ТВТ. – 2010. – Т. 48. – № 6. – С. 1031–1048.
9. Сверхлегкие радиопоглощающие материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.domen.ru/sverkhlegkie-radiopogloshchayushchie-materialy> (дата обращения: 17.03.2018).
10. Троянский конь в невидимом пальто [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gazeta.ru/army/2016/03/21/8134559.shtml> (дата обращения: 17.03.2018).



Kalikina Polina Andreevna

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Т4140

Направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения

e-mail: kalikina@scamt-itmo.ru



Solovev Yaroslav Vladimirovich

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Т4143

Направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология

e-mail: solovev@scamt-itmo.ru



Kassirov Ilya Sergeevich

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Т4140

Направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения

e-mail: kassirov@scamt-itmo.ru

UDK 57.03

INVESTIGATION OF PHAGES ACTIVITY BY CROSSLINKING WITH POSITIVELY CHARGED NANOPARTICLES

Kalikina P.A., Solovev Y.V., Kassirov I.S.

Supervisor – Associate Professor Koshel E.I.

Phage therapy is widely used in medical practice. The use of drugs based on bacteriophages stimulates the factors of special and non-specific immunity. Aluminum nanoparticles can be used as antibacterial agents in medicine. In this study, the effect of aluminum nanoparticles on the effectiveness of phages infection was tested for *Staphylococcus aureus*.

Keywords: bacteriophages, aluminum nanoparticles, *staphylococcus aureus*.

Bacteriophages are the viruses of bacteria (prokaryotes). They are a nucleic acid (DNA or RNA), packed in a protein shell. The life cycle of virus multiplication in the host cell includes the steps of phage adsorption on the cell surface, penetration into the cell, replication of phage DNA (RNA), the synthesis of viral proteins and the formation of mature viral particles, the lysis of infected cells and the outlet of viruses.

Bacteriophages of the bacterial genome are the main vehicles for horizontal gene transfer. They contribute to virulence by coding numerous virulence factors and their movements in genomes. These mobile elements are responsible for the destruction of genes, provide an anchor region for genomic rearrangements, protect the bacteria from anticyclonic infection, and provoke cell lysis by induction of the prophage. Thus, phages play significant roles in the evolution and adaptation of bacteria.

The ability of phages to introduce into a cell a certain amount of genetic material is widely used in medicine and various experimental developments, biotechnology, etc. Thus, in bacterial

engineering, bacteriophages are widely used as vectors for the production of recombinant DNA. Phages are widely used to combat diseases in agricultural production [1].

In medicine phages are prescribed with a preventive and curative purpose for a specific effect on the bacterial pathogen. Use of drugs based on bacteriophages stimulates the factors of specific and nonspecific immunity, therefore phagotherapy is especially effective in the treatment of chronic inflammatory diseases against the background of immunosuppressive states. Also, to enhance the induction of pathogen-specific humoral and cellular immune responses in modern vaccines, adjuvants are used. Most often it is aluminum oxyhydroxide (AlO (OH)). Aluminum nanoparticles can be used for antibacterial therapy. According to our preliminary data, the infection of cells with a bacteriophage is increased in the presence of aluminum nanoparticles. The purpose of our research was to study the activity of phages by crosslinking with positively charged nanoparticles [2].

To solve the task at the first stage, the opportunistic microbe *Staphylococcus aureus* was chosen. *S. aureus* is a major human pathogen that causes a wide range of clinical infections. It is a leading cause of purulent-inflammatory and enteral diseases [3]. *S. aureus* ability to cause such a wide range of infections is the result of his vast virulence factors. Increasing the resistance of this virulent pathogen to antibacterial agents, in combination with its growing prevalence as a nosocomial pathogen, raises serious concerns. Antibiotic therapy often remains poorly effective in the treatment of chronic and acute inflammation caused by infection with *S. aureus*, as the microbe quickly passes into the body in biofilm, in which the bacteria are resistant to the action of antibiotics and other aggressive factors. Therefore, currently phage treatment remains in demand [4]. For the experiment strain 209 P and a specific phage of staphylococcus "Microgen" were used.

There were applied classical methods for determining the phage sensitivity of bacteria. Night cultures of *S. aureus* cells were prepared for the study. The study was carried out on a solid nutrient medium: a bacteriophage was added to the cultivated lawn in a dilution of 1, 10, 100 and 1000 times and incubated for 24 hours at 37°C. At the end of the incubation, the inhibition zone of bacterial growth was fixed.

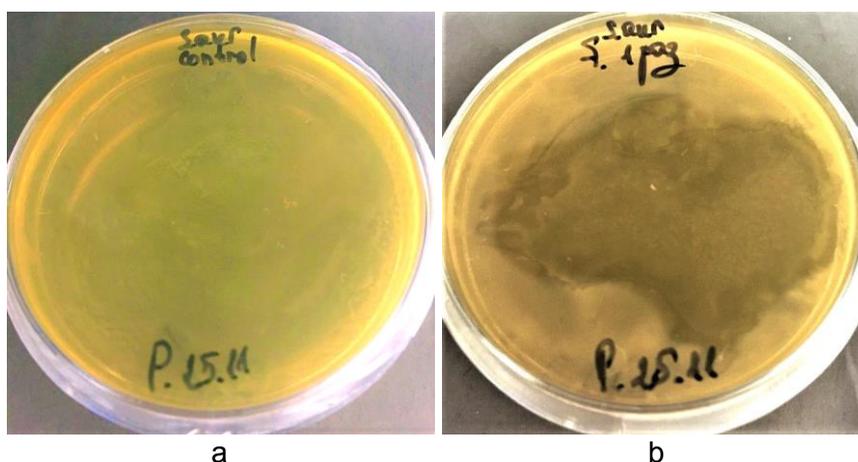


Fig. 1. Cultivated lawn without the addition of the bacteriophage (a); cultivated lawn with the addition of bacteriophage in the dilution 1 time (b)

Figure 1 view the gradient of phage efficiency depending on its concentration. When diluting phage 1:10,000 there is almost no effect.

The method was worked out and it was proved that the selected phage efficiently works on 0.001 titer on a 1-day cell lawn obtained by sowing the density slurry 10^8 .

The addition of aluminum nanoparticles (NPs) and bacteriophage to *S. aureus* had the opposite effect.

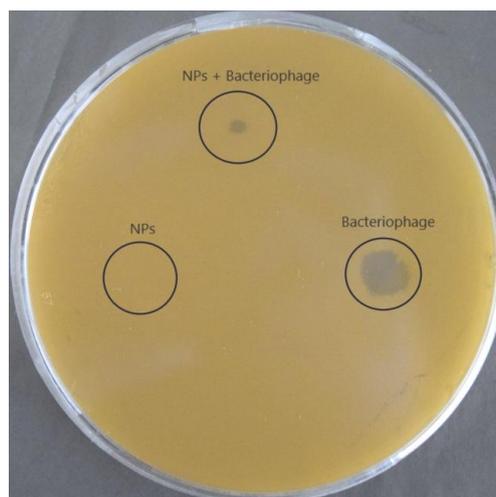


Fig. 2. Cultivated lawn with bacteriophage addition, aluminum NPs + bacteriophage, aluminum NPs

Figure 2 shows the effectiveness of the phage. When adding aluminum NPs + bacteriophage, the inhibition zone was significantly reduced, with the addition of aluminum NPs, the inhibition zone is absent. This may be due to the characteristics of the bacteriophage capsid. The whole experiment will be repeated on other types of opportunistic bacteria and a possible mechanism for increasing the phage efficiency at the ultrastructural level.

References

1. Fokine A., Rossmann M.G. Molecular architecture of tailed double-stranded DNA phages // *Bacteriophage*. – 2014. – V. 4. – № 2. – P. e28281.
2. Deghorain M., Van Melder L. The Staphylococci phages family: an overview // *Viruses*. – 2012. – V. 4. – № 12. – P. 3316–3335.
3. Baird-Parker A.C. A classification of micrococci and staphylococci based on physiological and biochemical tests // *Microbiology*. – 1963. – V. 30. – № 3. – P. 409–427.
4. Yılmaz E.Ş., Aslantaş Ö. Antimicrobial resistance and underlying mechanisms in *Staphylococcus aureus* isolates // *Asian Pacific journal of tropical medicine*. – 2017. – V. 10. – № 11. – P. 1059–1064.



Kassirov Ilya Sergeevich

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Т4140

Направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения

e-mail: kassirov@scamt-itmo.ru

UDK 579.69

MODEL SET-UPS FOR BIOFILM UNDERSTANDING AND PROGRAMMING: FLOW-DEVICES, MONITORS

Kassirov I.S.

Supervisor – Associate Professor Koshel E.I.

Biofilms are the main form of bacteria existence. It becomes urgent to develop a convenient model for understanding biofilms. Understanding the mechanisms of biofilm life can help manage this life form of bacteria, which can become an alternative method of treating diseases or a convenient method of producing any compounds. The optimum system for assessing the state of biofilm is the staining with special-binding dyes, which allows to evaluate the structure of the biofilm.

Key words: programming biofilm, amyloids, dye.

There are a lot of field, where biofilms are a big problem. Structure biofilms are make its so resistance for many types of stress including antibiotics and disinfectants [1].

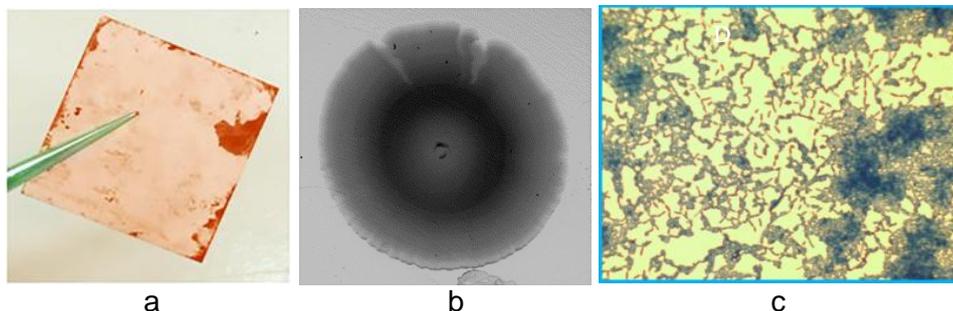


Fig. 1. *E. coli* 292-116 biofilm form by non-dynamic liquid culture stained Kongo Red (a); Macrocolony *E. coli* 292-116 biofilm (b); *E. coli* 292-116 biofilm form by non-dynamic liquid culture stained methylene blue (c)

For examples: medicine (because biofilms are reason for chronic bacteria diseases) [2], food industry (equipment used for the production of products overgrown with biofilms, and as a consequence, produce spoiled food) [3]. Besides creating problems, biofilms have a huge positive impact on our health, forming communities of beneficial microorganisms on mucous surfaces (eg, in the intestine), skin, etc. And also biofilms study help to understand better amyloidogenesis and neuron functioning [4].

Nowadays there are three methods for growing biofilms: flow device, non-dynamic liquid cultures (Fig. 1, a) and macrocolony (Fig. 2, b). The least method is more convenient but proteomic analysis shows that different life form has a different protein specter.

At this stage of the study, we worked out all these three methods of obtaining biofilms and were first characterized using different dyes for cellular structures and matrix. Two strains of *E. coli* 292-116 and a strain XL-1 bearing a plasmid with LUX-operon were used in the assay, which was initiated by the addition of L-arabinose to the medium.

For visualization biofilm can be use a different dye that can bind to a matrix or bacteria cells.

Methylene blue always use for colored bacterial cell, if we use it we can see being a bacteria (Fig. 1, c).

Because biofilms of the majority of *E. coli* strain, like bacteria in general, contain amyloid forms of proteins in the extracellular matrix, then we used specific dyes such as: Thioflavine and Congo red.

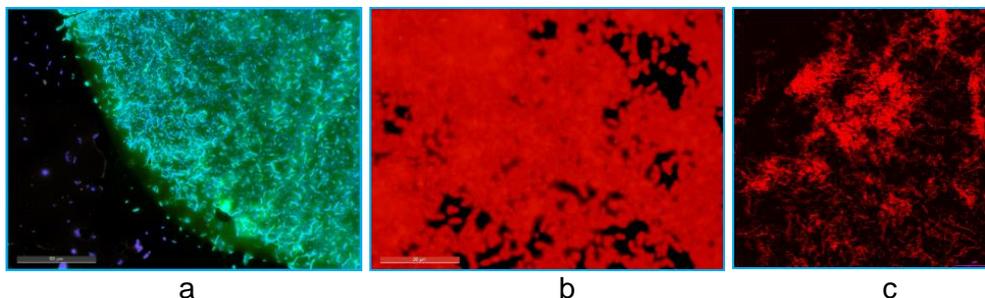


Fig. 2. *E. coli* XL-1 biofilm with LUX-operon (Ex: 395 nm; Em: 509 nm); stained thioflavin S (Ex: 430 nm; Em: 550 nm) (a); *E. coli* 292-161 biofilm stained Kongo Red (Ex: 497 nm; Em: 614 nm) (b); *E. coli* 292-116 biofilm stained propidium iodide (Ex: 536 nm; Em: 617 nm) (c)

Thioflavine S is also specific dye for amyloids (Fig. 2, a). Like Congo Red, it also slightly stains the Gram-negative bacterial cell out membrane (Fig. 2, b).

Propidium iodide colored DNA and RNA (Fig. 2, c).

The above dyes, except for methylene blue, are fluorescent. With their help, it is possible to obtain images on a fluorescence microscope. And if necessary, using a laser scanning microscope, see the 3D structure of the biofilm under study.

Conclusion. Biofilms are a particularly problem at present, and for successful work with them it is necessary to develop methods for their visualization for a qualitative assessment of their parameters. In this study, an optimal algorithm for visualization and qualitative analysis of biofilms was selected.

Reference

1. Walden C. and Zhang W. Biofilms Versus Activated Sludge: Considerations in Metal and Metal Oxide Nanoparticle Removal from Wastewater // *Environ. Sci. Technol.* – 2016. – V. 50. – № 16. – P. 8417–8431.
2. Han C., Romero N., Fischer S., Dookran J., Berger A. and Doiron A.L. Recent developments in the use of nanoparticles for treatment of biofilms // *Nanotechnol. Rev.* – 2017. – V. 6. – № 5. – P. 383–404.
3. Abidi S.H., Sherwani S.K., Siddiqui T.R., Bashir A. and Kazmi S.U. Drug resistance profile and biofilm forming potential of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from contact lenses in Karachi-Pakistan // *BMC Ophthalmol.* – 2013. – V. 13. – № 1. – P. 57.
4. Prindle A., Liu J., Asally M., Ly S., Garcia-Ojalvo J. and Süel G.M. Ion channels enable electrical communication in bacterial communities // *Nature.* – 2015. – V. 527. – № 7576. – P. 59–63.

**Kiselev Grigoriy Olegovich**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Т4141

Направление подготовки: 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

e-mail: kiselev@scamt-itmo.ru

**Krivoshapkin Pavel Vasilevitch**

Год рождения: 1981

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, к.хим.н., доцент

e-mail: krivoshapkin@scamt-itmo.ru

UDK 661.883.2**SYNTHESIS OF HAFNIUM DIOXIDE NANOPARTICLES DOPED WITH RARE-EARTH METALS FOR APPLICATION IN THE THERANOSTICS****Kiselev G.O., Krivoshapkin P.V.****Supervisor – PhD, Professor Krivoshapkin P.V.**

The principle of radiotherapy is associated with the delivery of ionization, which releases electrons and subsequent free radicals and generates energy deposition. The effectiveness of radiation therapy is related to the ability to absorb/interact with X-rays, which depends on the density of electrons and the energy used. The introduction of nanoparticles of hafnium oxide with high electron density into the x-ray path can increase the absorption. With the help of an upward transformation, one can visualize the tumors and identify them.

Key words: nanoparticles, synthesis, theranostics, cancer, hafnium, doping.

The main oncology aims appear to be: identification the causes of neoplasms appearance, development of prevention methods, establishing ways of early recognition and successful treatment. Currently, cancer treatment seem to have been on the research agenda for widely research and more and more often it involves a combination of all these treatment methods.

The ongoing progress in nanotechnology field allowed establishing methods combining diagnosis and therapy. The method was called “theranostics”. For this purpose, nanoparticles may not only deliver therapy, but also possess imaging functions. This allows imaging to be performed during every treatment stage.

Ionizing radiation is a universal instrument for generation of double strand breaks in the DNA. It is well known that, firstly, each biological structure possess its specific energy dose deposition level which radiation-induced damage correlates with. Secondly, radiation always affects healthy tissues surrounding the target tumor and often the effective radiation dose cannot be delivered directly to the tumor cells.

Up to date, some new approaches in local cancer therapy began to emerge on advantage of nanotechnologies. High electron density nanoparticles activated by ionizing radiation, enable deposition of high amounts of energy within the cancer cells.

Radiotherapy is the use of ionizing radiation in oncology. The principle of radiation therapy is associated with the delivery of electromagnetic or corpuscular radiation, which will interact with the biological substance. Particles or waves create ionization, which releases electrons and subsequent

free radicals moving in a certain volume and creates energy-generating deposition in this volume [1].

The effectiveness of radiotherapy in the eradication of a tumor mainly depends on the total radiation dose. However, the tolerance of normal tissues surrounding the tumor, finally limits the dose.

Therefore, in order to achieve the intended therapeutic effect, local side effects associated with radiation therapy are controlled by accurately determining guidance, as well as by fractionating the doses of delivered radiation. An index for estimating the dose of radiation that can effectively treat a tumor while in the safety zone is known as a therapeutic window. The ultimate goal of radiation therapy is to increase the radiation dose in tumors without increasing the doses in surrounding healthy tissues [2].

Recently, nanotechnologies have paved the way for new approaches in localized cancer therapy. Nanoparticles with high electron density make it possible to precipitate a large amount of energy in cancer cells when activated by ionizing radiation, providing appropriate bioavailability and stability.

Hafnium oxide nanoparticles (HfO_2) are designed to effectively absorb them by cancer cells and interact with various types of ionizing radiation. Such high-electron density nanoparticles under the influence of ionizing radiation make it possible for the physical treatment of radiotherapy directly from within the cancer cells, thereby increasing its effectiveness [3].

The residual dose of radiation in tissues is related to their ability to absorb / interact with X-rays. This absorption depends on the density of electrons (mainly water in the case of tissues) and the energy used. The introduction of a material with a higher electron density during irradiation can increase its absorption in comparison with water.

The use of nanoparticles has a particular advantage because they are able to achieve a large dispersion in the tumor tissue and closely interact with specific subcellular structures. By incorporating rare earth metals into the lattice of nanocrystals, it becomes possible to visualize and thus detect tumor formations.

Our research deals with Hafnium dioxide nanoparticles as they seem to be proper theranostic agents. Their activation with radiation demonstrated their ability for local energy deposit in biological structures containing the nanoparticles.

Our goal is to investigate the action of hafnium dioxide nanoparticles as cancer treatment agents and estimate the nanoparticle uptake with increased nanoparticle concentration.

Nanodimensional hafnium oxide particles doped with rare earth elements with an ap-conversion properties were obtained. There were performed solvothermal and sol-gel synthesis for obtaining hafnia nanoparticles.

The particle sizes of obtained particles varies from 50 to 80 nm, detection was performed with Photocor. The morphology of xerosols and powders was examined with TEM and is shown in the figure. The phase composition was also studied. The cytotoxicity of nanoparticles on cells was evaluated as not-toxic.

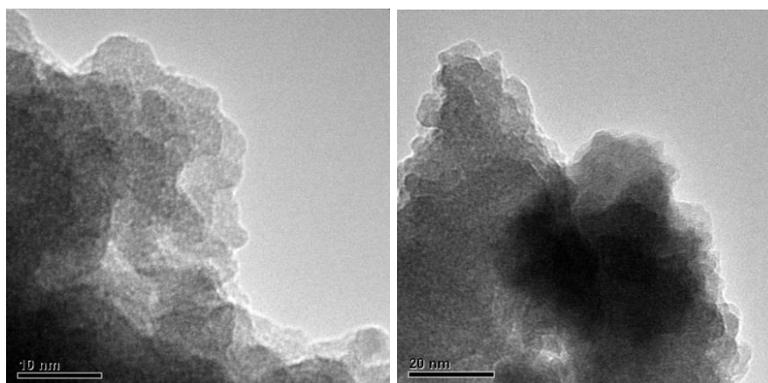


Figure. Structure of Hafnia nanoparticles

Although multiple new approaches in local cancer therapy began to appear, high electron density nanoparticles are yet to be studied for these purposes.

We designed hafnium dioxide nanoparticles, activated with radiation, capable of enlarging energy dose deposition level in biological structures containing nanoparticles.

Hafnium dioxide nanoparticles were shown to be successful cancer treatment agents. The data supports the use of HfO₂ doped with rare earth elements in radiotherapy for theranostics purposes. It was shown that the nanoparticle uptake increased with higher nanoparticle concentration.

Our experiment offers some new ways of theranostic approach and methods, which are possible to be used in clinic practice.

References

1. Bernier J., Hall E.J., Giaccia A. Radiation oncology: a century of achievements // *Nature of the Roar of Cancer*. – 2006. – № 4. – P. 737–747.
2. Palma D.A., Verbakel W.F., Otto K., Senan S. New developments in arc radiation therapy: a review // *Cancer Treatment Review*. – 2010. – № 36. – P. 393–399.
3. Maggiorella L., Barouch G., Devaux C., Pottier A., Deutsch E., Bourhis J., Borghi E., Levy L. Nanoscale radiotherapy with hafnium oxide nanoparticles // *Future Oncology*. – 2012. – V. 8. – № 9. – P. 1167–1181.



Klestova Anastasiia Olegovna

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Т4141

Направление подготовки: 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

e-mail: klestova_a@mail.ru

UDK 655.3.022.42

INKJET PRINTING IN LIQUID MEDIA

Klestova A.O.

Supervisor – Assistant Professor Vinogradov A.V.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 360964 «Разработка струйной печати оптических наноструктур».

Inkjet printing in liquid media was shown. Titanium dioxide based inks were printed in polymer phase with various time of polymerization. Lines of 2 pixels were printed on cover glass, on PDMS polymerized during 3 and 6 minutes at 80°C. The experiment showed that the coalescence of drops is observed in case of 3 minutes of polymerization. The most proper polymerization time of PDMS is 6 minutes. It is possible to obtain uniform printed lines and AFM images showed that so-called “coffee-ring” is observed in this case. Due to high viscosity of substrate only part of printed lines is situated in polymer phase.

Key words: inkjet printing, optical waveguides, polymerization.

Printed matter is everywhere in human world, from newspapers to foodpackaging, that is why inkjet printing seems to be a widespread technology. This conventional process can not only be used in printing some everyday articles, but also in printing materials with certain properties. Different types of inks, substrates and patterns creates a large field of study and allows to make a variety of materials. One of the most important directions in this field is printing optical waveguides. They are materials which can conduct optical signal. These materials are highly in demand in the modern world. Conventional electric circuits have some disadvantages like signal distortion and electro-magnetic interaction, which make them difficult for using in some area of applications. Furthermore, modern computers and communication systems demand more efficient data transfer rate, which can be provided by photonic circuits. So the optical waveguide devices are expected to play a crucial role in high-speed communications.

It is necessary to print straight lines for using this structure such as waveguides. It is impossible to obtain in one step using just glass and changing parameters of printing [1, 2]. While inkjet printing is an attractive route, there are many challenges to be overcome before this can be implemented. Spreading of the core material must be controlled to produce narrow tracks and, if possible, to generate the high aspect ratio core structure. Furthermore, the stability of the printed lines needs to be considered to avoid agglomeration of the core material leading to waveguides with periodic waves, and the drying of the ink must be monitored to avoid an uneven distribution (so-called ‘coffee-drop’ effects) [3].

As inkjet printing of optical waveguides is still a challenge, papers about successful creation of these materials do not seem to be published so far. Inkjet printing has been applied to many manufacturing processes, including deposition of functional polymers for use in light emitting devices (LEDs) and is seen as an attractive low-cost route to the manufacture of printed circuit boards (PCBs). Optical waveguides for PCBs are expected to have core dimensions of typically 50–100 μm with a square cross section and will be surrounded by a cladding material of lower refractive index. The direct printing of high aspect ratio core structures is a challenging proposition.

For example, the choice and formulation of the material is crucial as material properties such as viscosity and surface tension will affect how well the material is ink-jetted. Furthermore, the interaction of the ink-jetted material with the substrate is fundamental in determining the wetting behavior and subsequently the aspect ratio of the structure and its stability [3].

Possible solution of this problem is printing in viscous media, which can be polymerized later. Owing to the viscosity of the substrate and the impact force imposed by the ink droplets, the inkjet printed nanoparticles would fully sink into polymer film. The interaction between ink droplet and the liquid viscous substrate could be well controlled by adjusting the rheological property of the substrate.

The main goal of this work was to observe the dependence of morphology of printed structures on viscosity of substrate. We varied time of polymerization and observed AFM and optical microscope images of printed structures.

PDMS was chosen as substrate because its viscosity strongly depends on time of polymerization. The longer polymerization, the larger viscosity. This polymer is highly transparent and flexible after solidification. PDMS starts polymerize at 80°C and has short time of full polymerization. Titanium dioxide was chosen as material for waveguide core due to its high refractive index. It is necessary for fulfillment of total internal reflection law, which is the base of waveguide work. The printing of the ink was performed by a Dimatix Fujifilm DMP-2800 printer. Only one nozzle was used during the printing process. The printing frequency was set as 5.0 kHz. Lines 2 pixels were printed on cover glass and in PDMS which was polymerized 3 and 6 minutes at 80°C.

The experiment showed that in case of printing on cover glass straight 2 pxl line can be obtained, but the edge of line is irregular (Fig. 1, a). In case of three minutes of polymerization coalescence of ink drops is observed and obtaining of line is impossible (Fig. 1, b). The AFM image of printed drop (Fig. 2, a) shows that the drop is situated on the surface substrate and does not penetrate in polymer phase. The best result was obtained on PDMS with 6 minutes of polymerization. Straight tracks with even edge are observed. AFM image of printed tracks (Fig. 2, b) shows that so-called “coffee-ring” effect is observed in this case. The height of this ‘coffee-ring’ is 1,5–2 μm which means that inks partly penetrate in polymer substrate. Also, the width of printed line is less in case of printing in polymer phase. However, the form of the cross-section of obtained line is not determined and it might be crucial for some applications.

Thus, here we demonstrated inkjet printing in liquid media. The data show that PDMS polymerized during 6 minutes is most relevant substrate for printing straight narrow tracks. These tracks can be used as optical waveguide due to the ratio between reflective indexes of PDMS and titanium dioxide core.

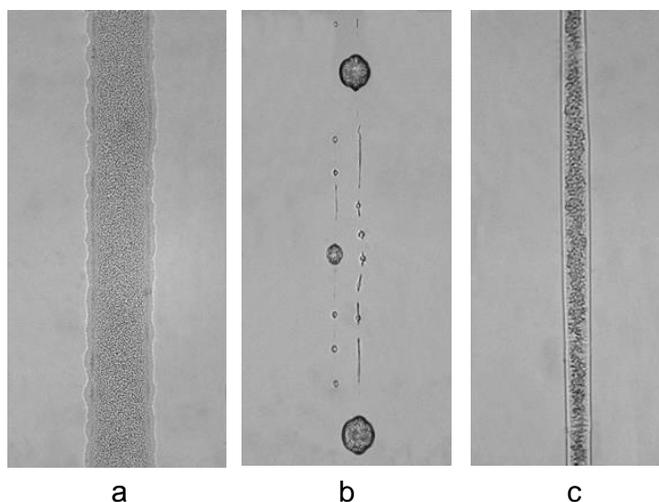


Fig. 1. Optical microscope images of printed lines of 2 pixels on cover glass (a), PDMS polymerized during 3 minutes at 80°C (b); PDMS polymerized during 6 minutes at 80°C (c)

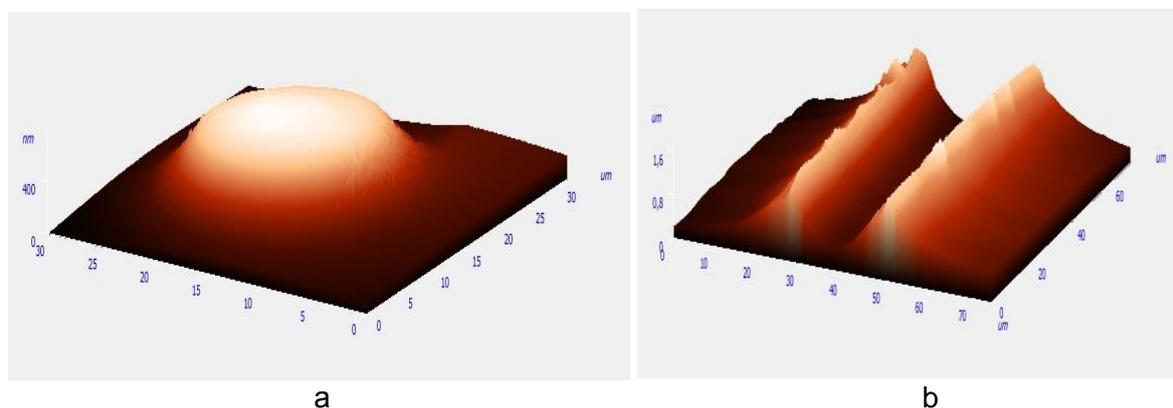


Fig. 2. AFM images of printed drop on PDMS polymerized during 3 minutes at 80°C (a); printed tracks on PDMS polymerized during 6 minutes at 80°C (b)

References

1. Ma H., Jen A.K.Y., Dalton L.R. Polymer-based optical waveguides: materials, processing, and devices // *Advanced materials*. – 2002. – V. 14. – № 19. – P. 1339–1365.
2. Wolfer T. et al. Flexographic and inkjet printing of polymer optical waveguides for fully integrated sensor systems // *Procedia Technology*. – 2014. – V. 15. – P. 521–529.
3. Chappell J., Hutt D.A., Conway P.P. Variation in the line stability of an inkjet printed optical waveguide-applicable material // *Electronics System-Integration Technology Conference*. – 2008. – 2nd. – P. 1267–1272.

**Loboda Inna Igorevna**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии
и молекулярной биологии, студент группы № Т4143Направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология

e-mail: loboda@scamt-itmo.ru

UDK 57**CHEAP AND PORTABLE MONITOR FOR MEASUREMENT OF OXYGEN
CONCENTRATIONS IN BACTERIAL BIOFILMS****Loboda I.I.****Supervisor – Associate Professor Koshel E.I.**

Work on universal model of bacterial breathing analysis.

Keywords: biofilms, antibiotic resistance, staphylococcus aureus.

Biofilm is a community of microbial cells and an extracellular matrix, which consists of cell appendages such as adhesive pili and flagella, amyloid fibres, secreted proteins, exopolysaccharides (EPSs) and extracellular DNA (eDNA) (Flemming and Wingender, 2010) and between the cells there are water channels, through them bacteria gets oxygen and nutrients [1–3].

Biofilms exist in sessile phase (fixed phase) in distinction from planktonic phase, while microorganisms move free, also biofilms are known to protect pathogens from phagocytosis and to increase tolerance to drug treatment.

One of the most important condition apart from existence of microorganisms is presence of solid and a little bit wet organic or inorganic surface.

There are several stages of biofilm life cycle:

1. adhesion of bacteria to the surface;
2. formation microcolonies (gene transcription);
3. beginning of production of extracellular polysaccharides;
4. maturation of biofilm;
5. selection plankton bacteria from the surface of a mature biofilm. (releasing of the cells).

Moreover, microorganisms has an interesting ability (Quorum Sensing) while they are able to communicate and coordinate their behavior through the production of signaling molecules. It helps to protect themselves from external and negative influences as antibiotics for example.

Biofilms can be formed on various organs and tissues in the body of humans and animals, as well as on roots and other parts of plants. Bacterias which live inside the biofilms show much higher resistance – up to 1000 times – to antibiotics and other medicines, which makes it extremely difficult to fight infections caused by various pathogenic bacteria.

Oxygen limitation significantly affects metabolic activities. For some bacteria, oxygen depletion has also been linked to active dispersal from the biofilm which often occurs from the centre of the colonies, agreeing with the understanding that oxygen becomes limiting in the interior of biofilms. Therefore, it is of interest to quantify the distribution of oxygen concentrations within colonies to better understand the physiological heterogeneity of the biofilm embedded cells.

To study processes in the biofilms could be really helpful for medicine, in antibiotic treatments and in the whole process of treatment people and animals. The research work gives

mankind understanding of relations between people as multicellular organism and microorganisms.

The aim of the work is creation a new monitor using agar with nanoparticles and try to analyze the dynamics of oxygen in biofilms. Research work begins from creation of biofilm model (macrocolonies). It was taken bacteria *S. Aureus* 209R as best-studied types of microorganisms.

Staphylococcus aureus is a gram-positive, round-shaped bacterium and it is a member of the normal flora of the body, frequently found in the nose, respiratory tract, and on the skin. They were chosen as best known and well-studied types of microorganisms.

For analyse of macrocolonies were used dyes (figure).

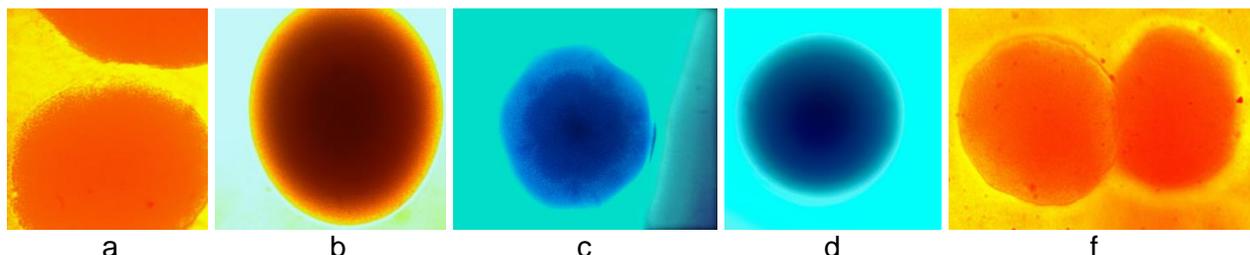


Figure. *S. Aureus*+ Congo Red. Zoom-400 (a, b); *S. Aureus*+ Kumasi. Zoom-400 (c, d); *S. Aureus*+ Xylenol orange. Zoom-400 (f)

1. on amyloids in the matrix and cell wall structures – “Congo red” (Fig. a, b);
2. on the boom in general – “Kumasi” (Fig. c, d);
3. pH indicator for visualization of respiration of bacteria – “Xylenol orange” (Fig. f).

The last dye was used in cultivation of bacteria under aerobic and anaerobic conditions (coating of bacterial suspensions on agar with a layer of semi-liquid agar). As a result, the photo shows that in aerobic conditions the zone around the colonies changes the color of the indicators due to a change in the acidity of the medium. This occurs when the acids are released into the medium by bacteria with incomplete cycles of respiration.

A method based on the properties of bacterial oxidases transfers electrons from donors to chemical acceptors using oxygen. The substances are introduced as a colorless substance that is oxidized to a colored product (visualization of the reaction).

There was worked a universal model of bacterial breathing analysis, which will be used in the future in development of new tools for analyzing respiration based on metal nanoparticles.

References

1. An S., Wu J., Zhang L.-H. Modulation of *Pseudomonas aeruginosa* Biofilm Dispersal by a Cyclic-Di-GMP Phosphodiesterase with a Putative Hypoxia-Sensing Domain. – 2010.
2. Flemming H.-C., Wingender J., Szewzyk U., Steinberg P., Rice S.A. & Kjelleberg S. Biofilms: an emergent form of bacterial life // *Nature Reviews Microbiology*. – 2016. – V. 14. – P. 563–575.
3. Bogino P.C., Oliva M.de las M., Sorroche F.G. and Giordano W. The Role of Bacterial Biofilms and Surface Components in Plant-Bacterial Associations // *Int J Mol Sci*. – 2013. – V. 14(8). – P. 15838–15859.

**Mosina Kseniya Stanislavovna**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Т4142

Направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания

из растительного сырья

e-mail: mosina@scamt-itmo.ru

**Krivoshapkin Pavel Vasilevitch**

Год рождения: 1981

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, к.хим.н., доцент

e-mail: krivoshapkin@scamt-itmo.ru

UDK 666.7**ALUMINA SYSTEMS FOR FIRE PREVENTION AND FIREFIGHTING****Mosina K.S., Krivoshapkin P.V.****Supervisor – PhD, Assistant Professor Krivoshapkin P.V.**

The possibility of application of fire-extinguishing compositions based on finely dispersed non-combustible inorganic materials. Their action is based on intensive cooling of the combustion zone due to the transition of nanoparticles to particles with a larger surface. There are experimental results of the preparation of a fire-extinguishing alumina composition for prevention and firefighting.

Key words: firefighting, alumina, sol-gel, ceramic foam.

Fire is one of the main types of natural and technogenic cataclysms. Fire extinguishing agents influence the combustion in many ways. Among the all-purpose means for fighting fires caused by combustible solids (Class A), flammable liquids (Class B) and gases (Class C) and the fires in live electrical installations (Class E) the applying of the fine-dispersed inorganic oxides is widely used. According to methods of fire extinguishing, the agents are classified as cooling, diluting, isolating, inhibiting. The substances that perform fire extinguishing in several ways simultaneously appear to be the most effective. The effectiveness of dry powders depends on their compound composition and particle size. Such substances include fire-extinguishing compounds based on finely dispersed non-combustible inorganic materials.

The fire-extinguishing ability of dispersed particles is describe as a function of the square root of their dispersion [1], therefore, the use of inorganic sols increases the effectiency of extinguishing agents. Aluminum oxides have a polygonal cellular packaging and form a film with a porous structure. Generally, alumina synthesis is a two-step process: the first step is the preparation of alumina hydrates, and the second one is the conversion of alumina hydrates into alumina. Boehmite (γ -AlOOH) is a widely used precursor for alumina preparation.

When solids contact the surface with a high temperature of the macromolecule, the sol begins to decompose and transform into solid particles with a larger surface. During this process an intensive cooling of the combustion zone occurs. When low-temperature modifications of alumina are formed (up to 700°C), the micropores close and hinder the combustion process. A strong refractory oxide structure provides refractory properties even at temperatures above 2000°C.

This paper presents some experimental results for the production of fire extinguishing alumina compound for prevention and fighting fire. The synthesis of nanoparticles of alumina has been carried out by sol-gel method from environmentally friendly and low-cost aluminum sulfate, ammonia and sodium bicarbonate. The synthesis of the sol was implemented at room temperature by constant mixing. The resulting sols were certified for particle size, acidity of the dispersion medium, mass concentration of alumina in the ash, recalculated for γ -Al₂O₃. The effectiveness of experimental extinguishing agents was verified by extinguishing a model fire site of class "A". To assess the effectiveness of the extinguishing agent, the time and volume of consumed firefighting agent were measured. Investigations by scanning electron microscopy allow to characterize the morphology of the ceramic layer formed on the surface treated. The fireproofing properties of the experimental samples can be investigated by differential scanning calorimetry method, which reveals the thermal effects occurring during the heat treatment of wood impregnated with an alumina compound.

It is known that mesoporous aluminum compounds are widely used as extinguishing agents, including due to the formation of high-melting substances resistant to high temperatures. Precursors for the creation of such extinguishing compositions based on aluminum are characterized by a high degree of biodegradation and low cost, which makes them attractive for a wide range of application. Thermal decomposition of the aluminum hydroxide phase promotes the formation of highly organized, porous and thermostable ceramic alumina structure.

In order to form fire extinguishing compositions based on aluminum oxide, two systems have been developed. The first is a mixture of two highly concentrated solutions of aluminum sulfate and sodium hydrocarbamate. The parameters of this system were estimated from the mass ratio of the components: Al₂(SO₄)₃·18H₂O/NaHCO₃=30-10:10-30. At Al₂(SO₄)₃·18H₂O/NaHCO₃=10:20-30, the formation of aluminum hydroxide gel were appeared. It was found that the ratio 20:10 satisfied the goal of creating a stable solution with a mass fraction of alumina not less than 3%. Controllable hydrolysis of aluminum sulfate by ammonia allows to formation of nanosized particles of aluminum hydroxide. The second system is an alumina sol. With constant stirring, the mixture heated to 50°C was hydrolysed with 25% ammonia in accordance with equation $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

In accordance with SEM (figure), that systems containing more hydrated aluminium hydroxide and its predecessor were obtained. The surface of the precursor consist of small platelets which penetrate together side by side forming of some large voids. Since the main causes of the fire are the combustion of oxygen and the high thermal effect of the burning reaction of wood, the creation of a barrier that prevents oxygen access and removes excess heat is proposed as an effective method of extinguishing.

A solution containing inorganic fine particles is applied to the burning surface of the wood by means of a uniformly spraying plant. Microparticles of aluminum hydroxide carry out a phase transition to gamma alumina in the temperature range up to 700°C, which is similar to the burning temperature of wood. Compaction of alumina and removal of water molecules creates a mesoporous coating of a ceramic film of γ -alumina as shown in figure. The investigations by SEM allow to evaluate the resulting coating to a pore size of 20 to 50 nm. Sintered on the surface, closed pores of aluminum oxide block the access of oxygen to the burning surface. Samples of alumina were studied at low temperature nitrogen adsorption method. According to the IUPAC classification, isotherms for all alumina samples are identified as type IV, which is characteristic of mesoporous materials. The investigations by SEM allow to evaluate the resulting coating to a pore size of 20 to 50 nm. Sintered on the surface, closed pores of aluminum oxide block the access of oxygen to the burning surface. Samples of alumina were studied at low temperature nitrogen adsorption method. According to the IUPAC classification, isotherms for all alumina samples are identified as type IV, which is characteristic of mesoporous materials. The structure of alumina is reflected in the shape of a hysteresis loop (figure).

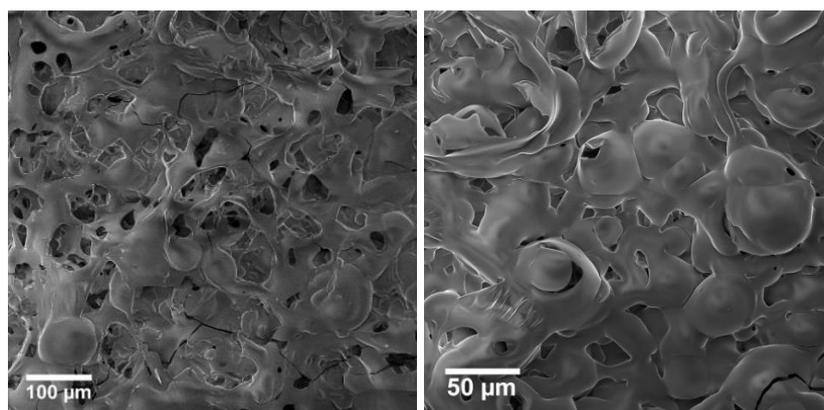


Figure. Microphotography of a ceramic surface

The experiment on the effectiveness of the composition was carried out on a craft installation with the provision of a fire extinguishing agent consumption of 4 ml/s in accordance with the requirements of the Russian standard for fire safety. A model foci of ignition was created from 42 wooden bars measuring 1×1×10 cm, stacked in stacks of 6 layers. Extinguishing was carried out in a specially designated room, equipped with a fire extinguisher. The extinguishing solution was evenly distributed from the nebulizer. The quenching began in accordance with the requirements of the Russian fire safety regulations after the fire of 40% of the model hearth. During the experiment, the consumption and time of quenching were recorded. The results of the experiment are presented in Table.

Table. Results of experiment through burning the model fire

| Experimental composition | Time of extinguishing, s | Flow rate, ml/s | Final rate, ml | Reignition, times |
|--|--------------------------|-----------------|----------------|-------------------|
| Water | 65 | 4 | 260 | 2 |
| Mixture of high concentrated solutions | 45 | | 180 | – |
| Sol | 38 | | 152 | – |

Experimental data can characterize the resulting solutions as effective in firefighting. Solutions showed themselves to be more than 2 times more effective than water, and no ignition is detected.

The preparation and applying of the fine-dispersed inorganic oxides is possible directly at the site of the fire by the firemen themselves, because it is easy to obtain these environmentally friendly and low-cost facilities.

References

1. Abduragimov I.M. The Mechanisms of the Fire-Extinguishing Action of Fire Fighting // Fire and explosion safety. – 2012. – V. 21. – № 4. – P. 60–82.



Paramonova Aleksandra Pavlovna

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Т4141

Направление подготовки: 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

e-mail: paramonova@scamt-itmo.ru



Krivoshapkin Pavel Vasilevitch

Год рождения: 1981

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, к.хим.н., доцент

e-mail: krivoshapkin@scamt-itmo.ru

UDK 661.88

**SYNTHESIS OF THE INORGANIC NANOPARTICLES
FOR NANOBIOARCHITECTONICS PURPOSES**

Paramonova A.P., Krivoshapkin P.V.

Supervisor – PhD, Professor, Krivoshapkin P.V.

Natural fibrous composites are very promising. Optimization of molecular interactions between structural proteins and inorganic nanoparticles can be achieved through innovative composite materials. In this paper inclusion of inorganic nanoparticles in the structure of the protein is highlighted. The physicochemical properties of the material, as well as antimicrobial and regenerative properties, are analyzed.

Key words: nanoparticles, synthesis, nanoarchitectonics, scleroproteins, biocomposites.

Scleroproteins based organic-inorganic composite materials exist in virtually any environment. They represent natural models of material efficiency and functionality in the form of light mechanically strong systems. These biocomposites are of great interest for researchers and industry, because they combine properties of both nanomaterials and matrix. Changing virtually infinite set of properties of composites provides a template for studying and using structural and functional links in further construction materials.

However, there remains lack of sufficient knowledge in the field of creating organic-inorganic composites with a predefined structure and properties.

The fundamental molecular building blocks interactions and their influence on the formation of the material hierarchical structure are an important phenomenon that yet seems not fully studied. An important challenge seems to be the developing colloid systems of biocompatible nanoparticles that provide the desired properties of the material.

In this study, we create nanocomposites with extended physical-chemical properties by means of chemical process.

Present study deals with the design of composites based on spider silk scleroproteins and inorganic nanoparticles. This will help the material science to develop specific finely tuned biomaterials for a wide range of applications.

Meeting the above challenges is of great importance, because the synergy of mastering advanced technologies and creating new gradient materials is key direction in the modern science. Studies of scleroproteins and organo-inorganic composites based on them are very promising, since these materials, being natural models of material efficiency and functionality in the form of light

mechanically strong systems, exist practically in any medium. Natural fibrous composites are an opportunity to reduce environmental pollution by integrating biodegradable fillers and providing environmental benefits in comparison with synthetic analogues.

Due to such qualities of these fibers as: biodegradability, renewability, nontoxicity, flexible use, high specific strength, good acoustic insulation properties and availability all over the world, materials based on such structures provide a template for the development of new devices with ecological and biological compatibility, and A model for future designs of synthetic polymers.

The introduction of the inorganic phase makes it possible to improve the mechanical parameters by changing the structure of the biofibers, changing the texture characteristics of the materials, which is especially important for transplantation, or to introduce new properties such as electrical conductivity or to change the optical characteristics, using the original proteins as a basis.

Optimizing molecular interactions between structural proteins and inorganic nanoparticles, innovative composite materials can be made in the form of films, gels, particles and fibers, and as a material for electrical and optical devices. Such systems provide analogies to more conventional synthetic polymers, but with enhanced utility due to material rearrangement, mechanical properties, degradability, biocompatibility and functionalization, such as drug delivery, biosensors and tissue regeneration.

The mechanism of interaction of carboxylic acids with primary amines shows that the process of interaction of protein with tissue leads to the creation of additional chemical bonds in the protein, which affects its structure and the bioinertness of the material falls [1]. For this reason, it is necessary to select inorganic nanoparticles with certain properties to control the interaction of tissues and the organo-inorganic matrix (for example, nanoparticles of titanium dioxide, silver, etc.). In the field of directed synthesis and self-assembly of inorganic materials, design rules have been developed for forming complexes with metallic ions [2]. Many of these peptides are capable of reducing metal ions and even tempering the growth of crystals of metallic nanoparticles [3].

Solving the problem of developing colloid systems of nanoparticles that are biocompatible and providing the specified properties of the material, will serve as a theoretical and practical basis for approaches in creating nanocomposites using chemical methods of action to create structures with extended physical and chemical characteristics.

In this work we obtained biocompatible hydrosols of metal oxides: TiO_2 , ZrO_2 , HfO_2 . The particle sizes of obtained particles of TiO_2 vary from 10 to 50 nm, ZrO_2 and HfO_2 particle sizes are 50–80 nm. The morphology of obtained nanoparticles was examined with SEM and is presented on the figure.

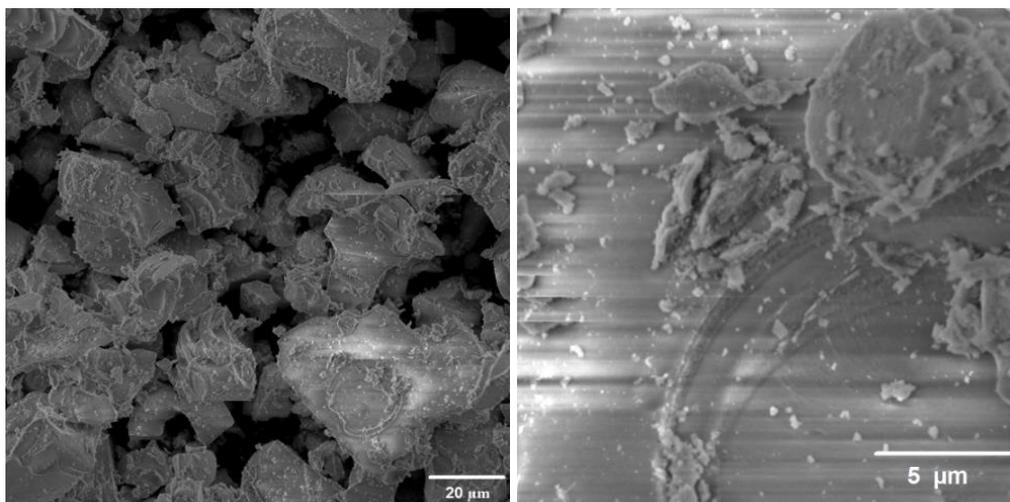


Figure. Structure of Zirconia nanoparticles

Various methods of the inclusion of nanoparticles in the protein structure in an environmentally friendly manner, namely, work directly with animal producers of scleroproteins, were considered.

As objects, spiders of the genus *Holothele incei* and spiders of the genus *Linothele fallax* were chosen.

Complexes of physical and chemical methods of analysis have been studied the composition and morphology of composite materials, as well as their antimicrobial and regenerative properties.

We designed nanocomposites based on spider silk scleroproteins and inorganic nanoparticles using either chemical processing of silk or natural integration of reinforcement in biological structure. These approaches will help material science to develop new types of biomaterials for a wide range of applications from biomedicine to defense industry.

Our experiment proves the idea of creating new promising silk materials rather than synthetic recombinant silks, by a relatively easy natural process.

In view of the above, understanding the supramolecular organization and the effect of morphology of certain structural scleroproteins elements on their biochemical composition and physical-chemical properties, will provide opportunities of producing highly effective artificial biomaterial analogs fibers.

References

1. Vepari C. et al. Surface modification of silk fibroin poly (ethylene glycol) for antiadhesive and antithrombotic applications // *Journal of Biomedical Materials Research*. – 2010. – V. 93A. – № 2. – P. 595–606.
2. Lee Y., Kim J., Yun D.S., Nam Y.S., Shao-Horn Y., Belcher A.M. Viral template Au and nanowires with a core of Au-Pt shell and their electrocatalytic activities for fuel elements of applications // *Energetika i ekologiya*. – 2012. – № 5. – P. 8328.
3. Tan Y.N., Lee J.Y., Wang D.I.C. Disclosure of the rules for the design of peptide synthesis of metallic nanoparticles // *Journal of the American Chemical Society*. – 2010. – № 132. – P. 5677–5686.

**Rumyantseva Valeriya Igorevna**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Т4140

Направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения

e-mail: valeriya_rumyantceva@scamt-itmo.ru

**Dolbich Vladimir Aleksandrovich**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Т4142

Направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания из растительного сырья

e-mail: dolbich@scamt-itmo.ru

**Rumyantseva Viktoriya Igorevna**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Т4140

Направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения

e-mail: viktoriya_rumyantceva@scamt-itmo.ru

UDK 579.69**ANTIBACTERIAL PROPERTIES OF DOPED SILICON FOAMS****Rumyantseva V.I., Dolbich V.A., Rumyantceva V.I.****Supervisor – Associate Professor Koshel E.I.**

Every year the popularity of creating universal materials with a number of properties grows. One of their significant indicators is presence is antibacterial properties that expands the material application in practice. Antimicrobial properties of doped silicone foam with different active additives were studied in this paper. The different research methods were tested on two morphological groups of bacteria – E. coli and S. aureus. The obtained data showed good results for several samples of foam.

Key words: silicon foam, antimicrobial compounds, antimicrobial activity, bacteria.

Nowadays to create new unique special materials is necessary. It is known that some chemical compounds can give antimicrobial properties to stuff, especially well-known Ag-ions and others. Solid foams is produced with a lot of different active additives but it would be great if they antibacterial properties were initiated by UV-radiation. It's will be positive experience to do it because it's well known about foams with additives or produced by curing with using different peroxide which in the general case have prolonged but temporary antimicrobial effect [1].

To achieve this goal the following stapes of research should be realized:

1. the definition of a primary microbiological contamination of silicon foam;
2. determining the relative duration of foam antimicrobial action;
3. comparative analysis of the influence of doped foams active components on the dynamics of bacterial growth;

4. the relative determination of the degree of speed and freedom of the substances diffusion into a nutrient medium;

5. a determination of the absorption degree on the doped silicon foams and bacteria survival.

For testing it should be chosen two alive objects of investigation such as gram-negative bacteria *Escherichia coli* (strain 292-116) and gram-positive bacteria *Staphylococcus aureus* (strain 209 R). They differ by the presence of cell wall and outer membrane structure which provide selective interaction with various environmental substances. The targets of substances activity in a general view are outer cellular components (cell wall), cytoplasmic membrane and separate cytoplasmic components [2].

Therefore the following research methods has been studied and/or used: shake flask test, method of diffusion into agar, spectrophotometric method of research, method of prints, method of determining of the foams initial sterility.

For researching it have been taken nine samples of doped silicon foams with special active additives presented in table. Additives as biocides have unequal activity on bacteria cell.

Table. The silicon foam samples with the studied biocides

| Sample number | Biocide | | |
|----------------|---|-----------------------------|--------------|
| | Chemical formula | Name | Quantity, %* |
| 1 | BaSO ₄ /H ₃ BO ₃ | Barium sulphate/ Boric acid | 5/10 |
| 2 | C ₇ H ₆ O ₆ S | Sulfosalicylic acid | 10 |
| 3 | H ₃ BO ₃ | Boric acid | 10 |
| 4 | SnCl ₂ | Stannous chloride | 10 |
| 5** | — | — | — |
| 6 | K ₃ PO ₄ | Potassium phosphate | 10 |
| 7 | NaN ₃ | Sodium azide | 5 |
| 8 | CuSO ₄ | Copper sulfate | 10 |
| 9 (control)*** | — | — | — |

* % from weight of the foam
 ** highly porous material, without additive
 *** without additives

To determine the initial sterility of solid foams it should add foams particles of certain shape to nutrient broth. Two such experiments have shown negative result for sample number seven. But in the first time it has been highlighted that foam sample containing copper sulphate is also aseptic. In the second time the same result has been received from sample number three. Because of this reason it's obvious that results depend on absolutely outer purity of foams.

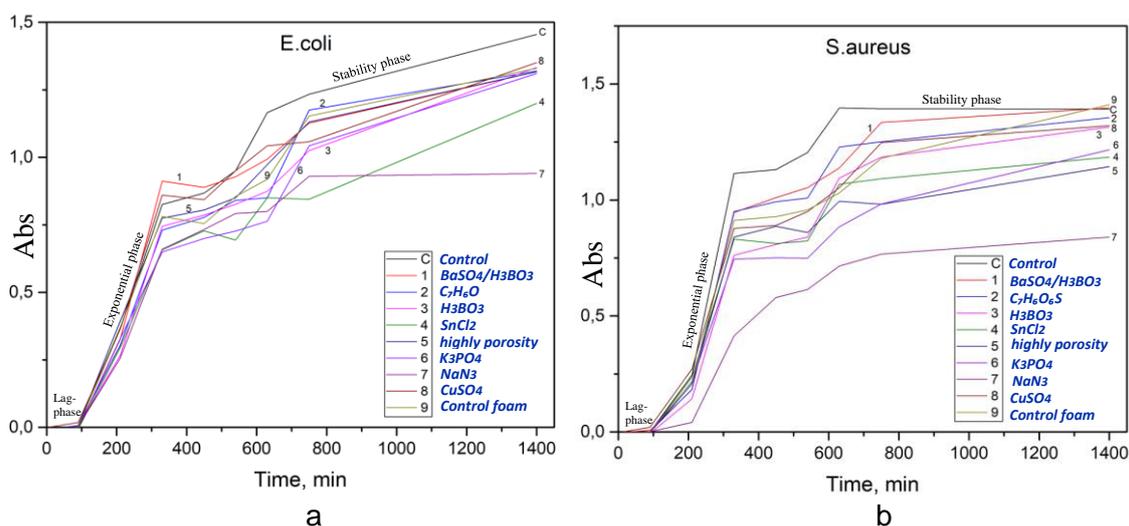


Fig. 1. Curves of *E. coli* (a) and *S. aureus* (b) growth

Spectrophotometric method of research which on Fig. 1 allows to show dynamic of bacteria growth. At the same time it has a lot of random errors. It should be repeated a lot of times. Although received dataset is more significant and visual.

The dependence of absorption on the concentration and time is the following: the more bacteria in the solution are (that is their growth) the more figure of absorption is.

The zone of sharp curvature of bacterial growth lines may indicate the active release of biocide from the foam. Further curvature indicates the adaptation of bacterial cells to new adverse conditions in connection with which further alignment of the growth curve of bacteria according to the established life cycle of biota in stationary, closed conditions (without removing bacterial waste products and the introduction of new nutrient components).

The most common and standard method of studying of the antibacterial properties of the different materials is the method of diffusion into agar. He has a lot of modifications. In this work we used the method variation which allows to determine the zone of inhibition of bacterial growth around the foam sample of cylindrical shape. High antimicrobial activity of foam containing sodium azide is shown on Fig. 2. It's more specific for *S. aureus*. It's well known this compound is used to isolate and identify Enterococcus. So selective nutrient medium for this aim is produced. Concentration of azide in there is 0.2 g/l. Subject to calculation of the concentration of undecomposed sodium azide (0.5% by weight of the foam) it gives lesser number – 0.083 g/l.



Fig. 2. Results of using method of diffusion into agar

The method of prints has confirmed the selective effect of the seventh sample for staphylococcus. It was also detected a smaller degree of adsorption of the bacterial cells on the surface of the silicon foam.

Shake flask test as method of investigation of solid silicon foams can be used for finding a minimum titer of bacteria and determining other qualitative characters of foams [1].

It should be noted that the greatest degree of foam destruction in nutrient broth have been observed in the seventh specimen. This could affect the error obtained by spectrophotometric method. However, the data obtained by different methods are correlated which indicates a weak fraction of light scattering.

The third sample with boric acid has a weak inhibitory effect and short time of this. It is observed by determining the overall sterility of the original foam. Boric acid affects bacteria by creating an acidic reaction medium. 100 mg/g of foam has a strong enough bacteriostatic action. However due to its reactivity it can form compounds with the components of the foam.

It was also noted a short antimicrobial effect of the sixth sample containing the potassium phosphate. The bactericidal effect is based on fast interaction between negatively charged bacterial surfaces possessing specific adsorption to phosphate-containing compounds with the components of the environment that violates the integrity of the outer membrane. So the excessive potassium ions

can enter the cell and disrupt the water-salt balance. However, in small amounts this compound promotes the growth of bacteria.

Stannous chloride has a toxic effect on bacterial cells, especially on gram-positive ones, as in the case with the third and seventh samples. It is known that stannous chloride changes of plasmid conformational structure of DNA depending on the time: ions of stannous have a strong damaging effect due to the formation of oxygen radical and involves its direct binding with DNA [3].

There are samples of silicon foam which confirm the furthest investigation.

So the eighth sample highlights colored copper compounds in the nutrient broth. Therefore, it is required to determine the concentration of copper compounds in the test-solution and measure its absorption spectrum at a certain wavelength on the spectrophotometer. The foam sample number eight taken from deeper layers is sterile by itself, however the active substance is poorly diffuse in the environment as confirmed by various research methods.

There are weak samples of foams as well. Silicone foam containing $\text{BaSO}_4/\text{H}_3\text{BO}_3$ in the ratio 1:2 (the first sample), shows lack of active antimicrobial action. Probably, in connection with the reverse synergy effect of mutual impact of the bacterial cell. Sulfosalicylic acid (the second sample) was also not having the desired effect on the bacteria. The reason for this may be its deactivation in the conditions of formation of foam. Proteins of the outer membrane of the cell wall in the presence of sulfosalicylic acid coagulated in connection with the achievement of isoelectric point of proteins certain cells and give a turbidity that determines its antiseptic properties.

It should be noted one inexplicable thing at the first glance, the phenomenon of reduction of bacterial growth in the presence of foam with a developed inner surface (the fifth sample). However, this can be attributed to the adsorbing properties of the silicone foam, which impedes the free aeration of the part of adsorbed cells and their access to nutritional components of the environment.

Thus, it is possible to talk about the advantage of using boric acid and sodium azide for the manufacture of doped silicone foams having antimicrobial activity. Stannous chloride and potassium phosphate can also be used as active dopants, but the effects on gram-positive and gram-negative bacteria varies: stannous chloride the most specific for *E. coli* and a phosphate of potassium for *S. aureus*. But this specificity needs to be further validated.

These doped silicon foams can be used in the finishing of labs, medical institutions and food industrial companies.

References

1. Young C.S.Co, Gasan-Dong, Kumchun-Gu Mechanical Properties and Antibacterial Activity of Peroxide-Cured Silicone Rubber Foams // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2008. – P. 1723–1729.
2. Maillard J.-Y. Bacterial target sites for biocide action / J.-Y. Maillard // *Journal of Applied Microbiology*. – 2002. – V. 92. – № s1. – P. 16S–27S.
3. de Mattos Jose' et al. C.P. Damage induced by stannous chloride in plasmid DNA // *Toxicology Letters*. – 2000. – V. 116. – P. 159–163.

**Rummyantceva Viktoriya Igorevna**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Т4140

Направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения

e-mail: viktoriya_rummyantceva@scamt-itmo.ru

**Rummyantceva Valeriya Igorevna**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Т4140

Направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения

e-mail: valeriya_rummyantceva@scamt-itmo.ru

UDK 579.69**PHOTOACTIVATED ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF MAGNETITE****Rummyantceva V.I., Rummyantceva V.I.****Supervisor – Associate Professor Koshel E.I.**

A promising direction in antibiotic therapy is the use of nanoparticles due to their small size conducive to the penetration into microorganisms cells. Among other nanoparticles magnetite is emitted by biocompatibility, certain optical and good magnetic properties due to it's possible to help with antimicrobial activity, in particular by visible light or infrared spectrum irradiation of the material. Thus, in this work antimicrobial activity was investigated by diffusion in agar method and by the spectrophotometric analysis method of culture growth in a liquid medium. The effect of visible spectrum radiation on bacteria growth has also been studied. The studies were carried out on two types of bacteria: Escherichia coli and Staphylococcus aureus. Preliminary results showed a weak antimicrobial effect of magnetite relative to bacteria.

Key words: magnetite, antimicrobial activity, Escherichia coli, Staphylococcus aureus.

In the fight against infectious and fungal diseases, the application of nanoparticles with antimicrobial properties is currently a promising direction, as far as classical approaches, such as antibiotic therapy, are ineffective against microorganisms in the biofilm state. So, the necessary requirement for nanoparticles is the demonstration of their antimicrobial activity, including initiated activity. The advantage of such particles with regard to bactericidal activity is the demonstration of their good pharmacokinetic properties in comparison with antibiotics and the lack of resistance to them of microorganisms.

All technological and medical applications require nanoparticles to be superparamagnetic, their sizes to be less than 20 nm, and the overall particle size distribution to be limited, such as the particles have uniform physical and chemical properties. These conditions are satisfied by the sample of investigated in this work magnetite [1].

The important property of magnetite is its photoinduction when it is absorbed in the visible and near infrared regions that should not have a damaging effect on cells.

It's proved the presence of antibacterial properties of monodisperse magnetite nanoparticles, synthesized using thioglycerol (TSMN) [2]. Antimicrobial properties of this composite are due to the influence of organic molecules in its composition, exactly the interaction of the hydrosulfide group with sulfur-containing components of the microorganisms' cell wall with the formation of a disulfide bond.

The investigated nanoparticles exert a rather significant influence on all the tested pathogenic microorganisms. Escherichia coli is the most susceptible to all [2]. This was further confirmed by the determination of MIC for each of the bacteria.

In the project's boundaries I have investigated a sample having a stable structure at neutral pH without the addition of stabilizing components and surfactants. The hydrosol consists of only two components: magnetite and water. The advantage of this method of synthesizing a highly stable hydrosol is its easy modification for a wide range of applications, especially for solving bio-medical problems.

Thus, the aim of this project is to analyze the photoactivated antimicrobial activity of magnetite synthesized without the addition of stabilizers and surfactants.

Objectives of this research work are:

1. to estimate the demonstration degree of magnetite antimicrobial properties without additional external radiation exposure;
2. to determine the possibility of magnetite photoinduced antimicrobial properties.

The last one can be caused, in particular, by water decomposition with the investigated substance to the formation of active oxygen forms, which exert a destructive effect on the bacteria cell walls and membranes, initiating oxidation-reduction reactions.

In this study, the experiments were mainly carried out on *Escherichia coli* (strain 292-116) as a representative of the gram-negative species of bacteria and *Staphylococcus aureus* (strain 209 R) as a representative of the gram-positive species of bacteria.

The antimicrobial activity of magnetite was determined by the spectrophotometric analysis method of culture growth in a liquid medium and by the diffusion method in agar [3].

To analyze bactericidal properties, magnetite was studied in three concentrations: 0.2 mg/ml, 0.02 mg/ml and 0.005 mg/ml.

In spectrophotometric analysis we considered the magnetite influence on *Escherichia coli* cells in a liquid culture medium.

The incubation period was carried out in an incubator shaker to intensify the interaction of magnetite with bacterial cells, because it was found that in some nutrient media the magnetite particles are sedimentationally unstable.

Samples were measured on a spectrophotometer with respect to a cuvette with a pure nutrient medium. For this, the magnetite nanoparticles were pulled back by a magnet prior to taking the samples. The results are shown in the graph (Fig. 1).

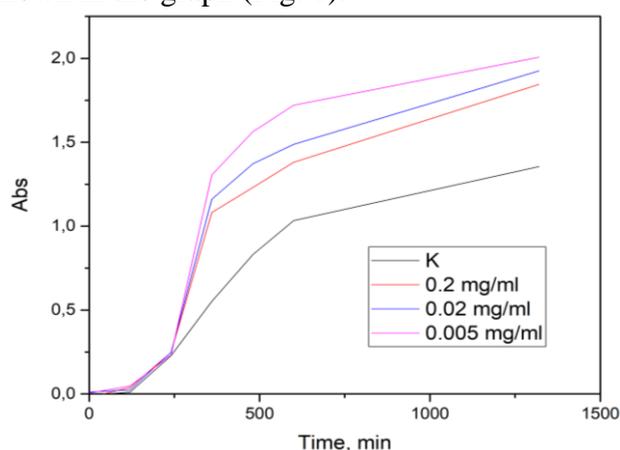


Fig. 1. Growth curves of bacteria

The growth curves of microorganisms constructed separately for each sample show that as the more concentration of magnetite as the more the inhibitory effect intense of magnetite on the bacterial suspension.

Also turbidities of samples at the end of the experiment were equal but after sample sowing we found extraneous microflora at magnetite samples (Fig. 2, a). After we sowed hydrosol magnetite on the nutrient medium it was showed the presence of extraneous microbial contamination – the spore forming bacillus, which, apparently, magnetite had no effect, since bacteria are much more resistant to external influences in a spores state (Fig. 2, b).

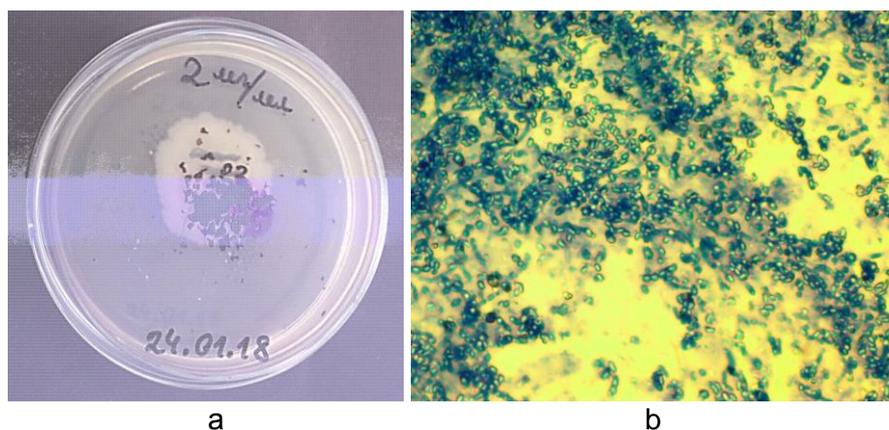


Fig. 2. Sowing of magnetite after five days of incubation (a); microscopy of magnetite extraneous microflora (x6000) (b)

The inhibitory effect of magnetite on the gram-negative species of *Escherichia coli* bacteria is less pronounced than on gram-positive *Staphylococcus aureus*. The method of the lowest inhibitory concentration also showed its greater inhibitory effect on gram-positive microorganisms.

The diffusion method in agar also gave mixed results. The day after the end of the incubation period the absence of a visible to the naked eye inhibitory zone around the drops was noted. Lack of zones can also be due to the growth of bacilli contained in a suspension of magnetite.

Experiments with photoinduction of magnetite with visible light also gave controversial results due to contamination of its suspension with an extraneous microflora (Fig. 3).

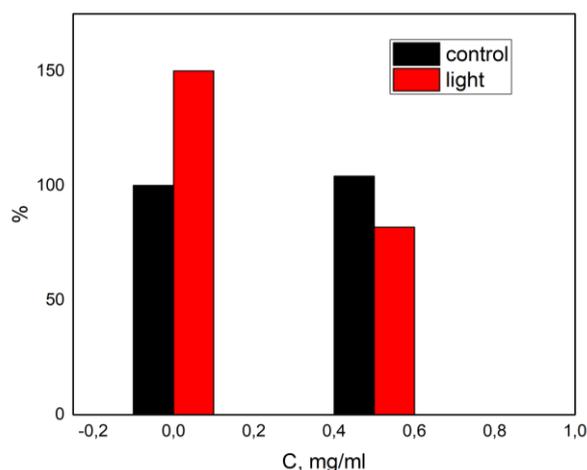
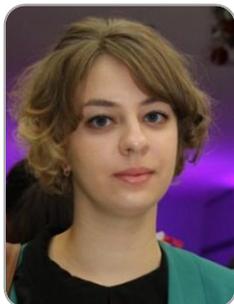


Fig. 3. Results of the magnetite antimicrobial properties demonstration under the visible light influence

Thus, the mechanism of magnetite action on microorganisms cells is not fully studied, but beforehand it can be noted its bactericidal effect, especially with respect to the gram-positive bacteria. The results of the study are so far difficult to interpret uniquely until we can get rid of the accompanying microflora. Nevertheless, the basic methods of research have been successfully worked out. Further studies will be aimed at disposal of the magnetite working solution from contamination by spores, confirmation of its bactericidal properties and their enhancement by the photoinduction method.

References

1. Drozdov A.S. et al. Biocomposites for wound-healing based on sol-gel magnetite // *RSC Advances*. – 2015. – V. 5. – № 101. – P. 82992–82997.
2. Ramteke C. et al. Synthesis and broad spectrum antibacterial activity of magnetite ferrofluid // *Current Nanoscience*. – 2010. – V. 6. – № 6. – P. 587–591.
3. Balouiri M., Sadiki M., Ibsouda S.K. Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review // *Journal of Pharmaceutical Analysis*. – 2016. – V. 6. – № 2. – P. 71–79.



Бучилина Алина Сергеевна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
кафедра химии и молекулярной биологии,
студент группы № Т4240

Направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения

e-mail: alina.buchilina@yandex.ru



Волокитина Екатерина Николаевна

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
кафедра химии и молекулярной биологии,
студент группы № Т4240

Направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения

e-mail: eka9375486@yandex.ru



Гулькина Полина Исаевна

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
научно-образовательный центр химического инжиниринга
и биотехнологий, к.т.н., доцент

e-mail: polinagunkova@mail.ru

УДК 637.12

**ВЛИЯНИЕ БИОЗАЩИТНОЙ КУЛЬТУРЫ НА СРОК ХРАНЕНИЯ
КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА**

Бучилина А.С., Волокитина Е.Н., Гулькина П.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Гулькина П.И.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

В работе приведены результаты исследования влияния биозащитной культуры на срок хранения кисломолочного продукта – йогурта. Показано, что внесение биозащитной культуры не оказывает заметного влияния на процесс сквашивания молока и изменение рН йогурта при его хранении. При хранении йогурта в течение 30 суток в нем значительно замедлялся рост дрожжей и плесеней. Биозащитные культуры оказывали положительное влияние на органолептические показатели йогурта в конце срока хранения.

Ключевые слова: биозащитные культуры, кисломолочный продукт, срок хранения йогурта, процесс сквашивания, посторонняя микрофлора.

В настоящее время остро стоит вопрос о продлении срока хранения кисломолочных продуктов без добавления в их состав химических консервантов и ингредиентов. Одним из способов достижения поставленной цели является использование в технологиях биозащитных культур [1–3].

Цель работы заключалась в исследовании влияния биозащитных культур на сохранение свежести и продолжительность хранения йогурта из молока хозяйств Ленинградской области.

Объектами исследования служили две стартовые культуры для биозащиты молочных продуктов: FreshQ производства CHRHANSEN и HOLDBACYM-B–DANISCO; йогурт, выработанный из молока хозяйств Ленинградской области с использованием культур YC-X 11 и YO-MIX 300 термостатным способом. Защитная культура FreshQ состоит из штаммов *Lactobacillus rhamnosus* и *Lactobacillus paracasei*, культура HOLDBAC – из штаммов *Lactobacillus rhamnosus* и *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii*.

Активность биозащитных культур определяли методом предельных разведений; pH контролировали потенциометрическим способом; количество дрожжей и плесеней определяли путем посева разведений исследуемого йогурта на питательную среду СА с дальнейшим их культивированием при температуре $(24\pm 1)^\circ\text{C}$ в течение 5 суток и микроскопированием выросших колоний; органолептические показатели йогурта оценивали по 9-балльной шкале [4–7].

Результаты определения числа клеток молочнокислых бактерий в биозащитных культурах приведены в таблице.

Таблица. Определение числа клеток молочнокислых бактерий

| Культура | Засеянные разведения | | | | | | Количество жизнеспособных клеток в 1 см^3 |
|-------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| | 10^{-1} | 10^{-2} | 10^{-3} | 10^{-4} | 10^{-5} | 10^{-6} | |
| FreshQ | + | + | + | + | + | + | $7\cdot 10^5$ |
| HOLDBACYM-B | + | + | + | + | + | – | $2,5\cdot 10^5$ |

Полученные результаты, представленные в таблице, говорят о том, что обе культуры имеют высокую активность в молоке и могут быть использованы в выработке йогурта.

Результаты исследования изменения времени сквашивания смеси различными йогуртовыми культурами без биозащитных культур и совместно с ними показали, что биозащитные культуры не оказывают существенного влияния на процесс сквашивания. При использовании обеих биозащитных культур время сквашивания возрастало на 15 мин. Оно составило в случае применения только йогуртовой культуры YC-X11 240 мин, совместно йогуртовой и биозащитной культур YC-X11+FreshQ 255 мин. При употреблении культуры YO-MIX 300 время сквашивания было 210 мин, а при одновременной работе ее с защитной культурой HOLDBACYM-B – 225 мин.

pH йогурта, выработанного с биозащитными культурами и без них, в течение всего срока хранения был практически одинаковым.

Для определения угнетающего действия культур для защиты молочных продуктов на микроорганизмы порчи, готовый продукт осеменяли клетками дрожжей и спорами плесеней. Зараженный продукт хранили при температуре 5°C в течение 30-ти суток. Контролем служили образцы йогурта, выработанные без защитных культур. Анализ посевов йогурта показал уменьшение числа дрожжей в образцах, полученных с одновременным участием йогуртовой и защитной культур по сравнению с контролем. Наибольшее угнетение роста дрожжей наблюдалось с 5 по 20 день хранения. Видимый рост плесневых грибов наблюдали в контрольных образцах на 5-й день хранения, а в опытных – на 20-й день их хранения.

Органолептическая оценка всех образцов выработанного йогурта после его хранения показала положительное влияние биозащитных культур на вкус и запах продукта. В образцах, выработанных с биозащитными культурами, к концу срока хранения не были обнаружены привкусы «старения», характерные для контрольных образцов.

Таким образом, проведенные исследования показали, что биозащитные культуры FreshQ и HOLDBACYM-B, развиваясь в молоке одновременно со стартовой культурой, во-первых, эффективно подавляют развитие дрожжей и плесеней, вызывающих порчу продукта, во-вторых, улучшают вкус продукта в конце срока хранения. По сравнению с контролем вкус опытных образцов остается выраженным кисломолочным, а затхлый запах, посторонний и

липкий вкус отсутствуют. Использование биозащитных культур FreshQ и HOLDBACУМ-В в производстве йогурта способствует сохранению в нем микробиологической чистоты и свежего, приятного вкуса и аромата в течение всего срока хранения.

Литература

1. Гунькова П.И., Красникова Л.В. Основы санитарно-гигиенического контроля в пищевой промышленности: учеб.-метод. пособие. – СПб.: Университет ИТМО; ИХиБТ, 2016. – 97 с.
2. Дмитриева Н.С., Скопичев В.Г., Гунькова П.И., Дудина А.А. Качество кисломолочных напитков из молока с различным содержанием соматических клеток // Пищевая промышленность. – 2017. – № 5. – С. 52–54.
3. Келяшова Ю. Опыт применения защитных культур в производстве полутвердых сыров // Сыроделие и маслоделие. – 2017. – № 4. – С. 38–39.
4. Красникова Л.В., Гунькова П.И., Маркелова В.В. Микробиология молока и молочных продуктов: лабораторный практикум. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 85 с.
5. Красникова Л.В., Гунькова П.И., Савкина О.А. Общая и пищевая микробиология: Учеб. пособие. Часть II. – СПб.: Университет ИТМО; ИХиБТ, 2016. – 127 с.
6. Куликова Т. Биозащитные культуры для продуктов питания – решение, созданное природой // Молочная промышленность. – 2017. – № 10. – С. 58–59.
7. Тамим А.Й., Робинсон Р.К. Йогурт и аналогичные кисломолочные продукты: научные основы и технологии / Пер. с англ. под науч. ред. Л.А. Забодаловой. – СПб.: Профессия, 2003. – 664 с.

**Исаченкова Александра Сергеевна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Х4240

Направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания из растительного сырья

e-mail: aleksa946@rambler.ru

**Данилов Николай Петрович**

Год рождения: 1984

Санкт-Петербургский медико-социальный институт, к.т.н., ст. преподаватель

e-mail: danilovn2005@ya.ru

**Шлейкин Александр Герасимович**

Год рождения: 1944

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии, НОЦ химического инжиниринга и биотехнологий, д.мед.н., профессор

e-mail: shleikin@yandex.ru

УДК 577+637

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ
МИКРОБНОЙ ТРАНСГЛУТАМИНАЗЫ****Исаченкова А.С.** (Университет ИТМО), **Данилов Н.П.** (Санкт-Петербургский медико-социальный институт), **Шлейкин А.Г.** (Университет ИТМО)**Научный руководитель – д.мед.н., профессор Шлейкин А.Г.** (Университет ИТМО)

Работа выполнена в рамках темы НИР № 35824 «Производство ферментированных продуктов».

В работе рассмотрено применение препаратов микробной трансглутаминазы в качестве связывающего ингредиента с целью получения пищевых продуктов с повышенным содержанием белка и обладающих более высокими потребительскими качествами, а также сниженной аллергенностью. Обсуждалась безопасность остаточных количеств ферментного препарата в продуктах, полученных с использованием ферментной технологии.

Ключевые слова: трансглутаминаза, кисломолочный продукт, белки сыворотки молока, целиакия, иммунная активность, аллергенность.

Трансглутаминаза (ТГ) представляет собой семейство ферментов (ЕС2.3.2.13), широко распространенных в различных органах и тканях организма, которые катализируют образование ковалентной связи между свободной аминогруппой и γ -карбоксиамидной группой белка или пептидсвязанным глутамином [1]. Белки, проявляющие трансглутаминазную активность, найдены в биологических объектах, относящихся к разным эволюционным и таксономическим группам, в частности, в микроорганизмах, растениях, беспозвоночных, земноводных, рыбах, птицах и млекопитающих.

Преимущества применения ТГ в молочной промышленности следующие: снижаются затраты за счет уменьшения количества белка и (или) стабилизаторов; повышается вязкость/сила геля; понижается синерезис, достигается гладкость поверхности; улучшается кремообразность консистенции йогуртов с низким содержанием жира; глиадин, поступающий с растительной пищей в составе глютена, становится менее иммуногенным. У предрасположенных людей употребление глютена и образование измененной формы глиадина сопровождается реакцией воспаления с последующей атрофией слизистой оболочки кишки. Клинически этот аутоиммунный процесс проявляется глютеновой энтеропатией (целиакией).

Молочные продукты, в которых белок был модифицирован ТГ, обладают значительно меньшей аллергенностью. Следует подчеркнуть, что данный эффект наиболее выражен в случае с β -лактоглобулином, который является наиболее распространенным и сильным молочным аллергеном [2].

ТГ является вспомогательным веществом, не исполняет технологической функции в конечном продукте, поэтому нет необходимости указывать его на этикетке в перечне компонентов [3].

Очень часто возникает вопрос, а весь ли ферментный препарат был задействован в реакции, и какая его доля осталась в виде не прореагировавшего фермента. Расчеты показывают, что остаточные концентрации ферментного белка в продукте не превышают 0,001–0,0001% от общей сырьевой массы. Дальнейшая обработка практически любых продуктов, даже при условии отступления от температурных режимов, обеспечивающих полную термическую инактивацию фермента, гарантирует отсутствие значимых количеств свободного фермента в готовом изделии. Фермент полностью инактивируется при 72–75°C, в технологических условиях при 55°C инактивация достигает 95%. Инактивацию фермента вызывают также изменения кислотности среды [4].

Целью работы явилось определение остаточной активности трансклутаминазы в кисломолочном продукте.

Материалы. Для исследования использовали: молоко «Пискаревское питьевое пастеризованное», массовая доля жира 2,5% (ГОСТ 3145-2013, Изготовитель ООО «Пискаревский молзавод, С.-Петербург, Россия), закваска бактериальная термофильных (ЗБТ) молочнокислых стрептококков (невязких рас) (ТУ 9229-369-00419785-04, Изготовитель ГНУ ВНИМИ Россельхозакадемии, Москва, Россия), концентрат бактериальный лиофилизированный (КБЛ) для ферментированных молочных продуктов, термофильных молочнокислых палочек (ТУ 9229-102-04610209-2002, количество единиц активности: 1, ФГУП «Экспериментальная фабрика» Россельхозакадемии, Углич, Россия), препарат бактериальной ТГ с активностью 1800 Е (ООО «Веллер Групп», Москва, Россия), набор для определения активности ТГ (ZediraGmbH, Дармштадт, Германия).

Оборудование. Спектрофотометр ПЭ 3000 УФ СФ ПромЭкоЛаб («ShanghaiMapadaInstrumentsCoLtd», Шанхай, Китай), весы лабораторные Sartorius «Quintix 3102-10R» (ООО «Анаксар», Россия), магнитная мешалка US-6120 (ООО «Анаксар», Россия), термостат суховоздушный ТСО 1/80 СПУ (АО «ЛОИП», Россия), центрифуга лабораторная СМ-12 (ООО «Фабрика НВ-групп», Новосибирск, Россия), Дозаторы «Ленпипет» (Россия), кюветы пластиковые одноразовые с рабочим объемом 1 мл, рабочим расстоянием (длиной пробега луча) 1 см.

Методика. Молоко заквашивали из расчета: 1 порция ЗБТ и 1 единица КБЛ на 250 мл молока. Далее в опытные пробы молока вносили препарат ТГ с конечной активностью 0,9, 1,8 и 2,7 Е (табл. 1). После каждого внесения пробы размешивали в течение 15 мин до полного визуального распределения препаратов. В контрольные пробы препарат ТГ не вносили. Пробы инкубировали в термостате при температуре 40°C течение 12 ч. Для определения активности отбирали по 1 мл проб перед инкубированием и после него, затем пробы центрифугировали в течение 15 мин при 10000 об/мин. Затем отбирали аликвоты

надосадочной жидкости (50 мкл) и определяли активность ТГ спектрофотометрически гидроксиламиновым методом при 525 нм согласно инструкции к набору Zedira. Все определения проводились в трехкратной повторности.

Результаты. Проведено определение активности препарата очищенной микробной ТГ, содержащегося в наборе. Заявленная активность препарата не менее 0,8 Е, соответствующая оптической плотности пробы не менее 0,33. Экспериментальное определение дало среднюю величину оптической плотности 0,37, что в пересчете на активность соответствует 0,97 Е. Следовательно, используемый набор дает экспериментально определяемую активность ТГ, соответствующую заявленной поставщиком набора.

Таблица 1. Активность ТГ в пробах до инкубирования

| Номер | Образец | Расчетная активность, Е | Экспериментальная определенная активность, Е |
|-------|-------------|-------------------------|--|
| 1 | Контрольный | 0 | 0 |
| 2 | Опытный | 0,9 | 1,2 |
| 3 | Опытный | 1,8 | 2,6 |
| 4 | Опытный | 2,7 | 3,9 |

Полученные результаты показывают, что величины активности, полученные экспериментальным путем выше, в среднем в 1,4 раза, величин активности, рассчитанной из величины 1800 Е, заявленной поставщиком ферментного препарата (ООО «Веллер Групп»).

Возможные причины расхождений расчетной и экспериментально определенной активности:

1. неспецифическое дополнительное окрашивание анализируемых растворов за счет реагирования гидроксиламина с фрагментами микробных клеток ферментного препарата. В пользу этого аргумента свидетельствует прямая зависимость между количеством вносимого препарата и приростом определяемой активности. Применяемый метод откалиброван на бесцветном высокоочищенном препарате фермента и, вероятно, не подходит для точного определения активности окрашенных в бурый цвет ферментных препаратов низкой очистки, обычно применяемых в пищевых технологиях;
2. вероятно, активность ТГ определялась поставщиком препарата другим методом;
3. повышенная оптическая плотность анализируемых растворов за счет неспецифического реагирования компонентов реакционной смеси с веществами, содержащимися в молочной сыворотке мало вероятна, так как количество вносимой в пробу надосадочной жидкости (молочной сыворотки) в исследуемых пробах не различалось;
4. определение активности ТГ в кисломолочном продукте после 12-часового инкубирования (табл. 2).

Таблица 2. Активность ТГ в пробах после 12-часового сквашивания

| Номер | Расчетная активность, Е | Экспериментально определенная активность, Е | Остаточная активность, % | |
|-------|-------------------------|---|--------------------------|----------------------------------|
| | | | От расчетной | От экспериментально определенной |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0,9 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 1,8 | 0,45 | 25 | 17 |
| 4 | 2,7 | 0,87 | 32 | 22 |

Отсутствие активности в первой опытной пробе (0,9 Е) говорит о том, что остаточная активность оказалась ниже предела чувствительности метода, составляющего 0,24 Е.

Остаточная активность в % от расчетной активности внесенного препарата оказалась на 8–10% выше (25–32%). Однако, учитывая разницу в определении активности кристаллически чистого препарата Zedira и использованного технологического препарата,

более корректным является сравнение экспериментальных величин активности ТГ в продукте до и после сквашивания.

Вывод. Снижение активности препарата ТГ, внесенного в среду инкубирования снижается в условиях опыта на 5–7% в час. Поскольку в опыте исходная концентрация фермента в 20 раз превышала технологическую, то остаточная активность ТГ, применяемой в условиях производства, биохимическим методом не определяется.

Литература

1. Яковлев Д.С., Шлейкин А.Г. Трансглутаминаза – последние достижения и новые источники // Механика и технологии. – 2016. – № 4. – С. 51–54.
2. Wróblewska В., Kaliszewska А., Malinowska Е., Troszyńska А. Immunoreactivity of transglutaminase cross-linked milk proteins in fermented milk product obtained with *Lactobacillus acidophilus* // Post. Dermatol. Alergol. – 2011. – № 4. – P. 261–267.
3. Постановление Европейского Парламента и Совета ЕС. – № 1169. – 2011.
4. БПК: Пищевые ингредиенты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bpkspb.com/tehnologu/transgljutaminaza/>, своб.

**Кольцов Семён Игоревич**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Т4141

Направление подготовки: 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

e-mail: koltsov@scamt-itmo.ru

**Скорб Екатерина Владимировна**

Год рождения: 1983

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, к.хим.н.

e-mail: scorb@scamt-itmo.ru

УДК 544.47

КОЛЬЦА ЛИЗЕГАНГА ИЗ ЦИАНОРАТА МЕЛАМИНА**Кольцов С.И.****Научный руководитель – к.хим.н. Скорб Е.В.**

В работе впервые показано образование колец Лизеганга из самоорганизующегося меламина-цианурового комплекса. Данный комплекс является классическим органическим соединением, что принципиально отличает данную работу от прочих исследований колец Лизеганга: ранее известные системы периодического выпадения осадка (кольца Лизеганга) представляли собой смеси исключительно неорганических веществ. Для описания данного процесса использовалась теоретическая модель пересыщения раствора. Исследовано влияние уксусной и барбитуровой кислот, красителей и температуры на закономерность образования колец.

Ключевые слова: органические кольца Лизеганга, меламина цианурат, самоорганизация, диффузионно лимитированные реакции, нелинейная динамика.

Работа посвящена образованию пространственных повторяющихся структур, известных как кольца Лизеганга [1]. Такие структуры образуются в диффузионно лимитированных реакциях – направлении, доминирующем в исследовании нелинейной кинетики. Так, неорганические системы колец Лизеганга достаточно хорошо описаны и исследованы, предложены разной точности математические модели для их описания [2]. Однако известно относительно небольшое количество сочетаний реагентов и сред, подходящих для образования пространственно разделенных осадков. Тем больший научный интерес представляет поиск аналогичных систем с органическими реактивами.

Для исследования органических колец Лизеганга была выбрана система самоорганизующихся слоев цианурата меламина. Данное соединение интересно с двух позиций: во-первых, связи между молекулами вещества являются только водородными, что обуславливает высокую чувствительность системы к рН среды; во-вторых, данное вещество легко поддается химическому изменению, так что доступна высокая разнообразие получаемых осадков. Дополнительно исследовалось влияние на образование периодического осадка флуоресцирующих красителей и температуры.

Для заданной концентрации реагентов дистанции близлежащих колец подчиняются закону [2]: $\frac{r_{n+1}}{r_n} = p$, где p является так называемым пространственным коэффициентом. С

математической точки зрения данная величина является знаменателем геометрической прогрессии.

Также при увеличении концентрации реагирующих веществ значение p уменьшается по мере увеличения концентрации реагирующих веществ.

Исследование влияние температуры показало, что незначительные колебания температуры в пределах комнатной ($21 \pm 2^\circ\text{C}$) слабо влияют на образование колец. Однако при дальнейшем увеличении температуры наблюдается резкое увеличение пространственного коэффициента вместе с увеличением расстояния до первого кольца.

Стабилизирующий эффект (четкие, легко различимые края колец) наблюдался при добавлении флюоресцина и родамина RGб.

Математически в рамках модели пересыщения с пренебрежением осмотического тока жидкости образование колец качественно описывается системой дифференциальных уравнений, описывающих диффузионно лимитированную реакцию осаждения цианурата меламина:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= D_a \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - ku \cdot u_1, \\ \frac{\partial u_1}{\partial t} &= D_b \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} - ku \cdot u_1, \\ \frac{\partial u_2}{\partial t} &= D_c \frac{\partial^2 u_2}{\partial x^2} + ku \cdot u_1 - k_1 u_2 \theta(u_2 - u_2^*) - k_2 u_2 p, \\ \frac{\partial p}{\partial t} &= k_1 u_2 \theta(u_2 - u_2^*) + k_2 u_2 p, \end{aligned}$$

где u – концентрация внутреннего электролита; u_1 – концентрация внешнего электролита; u_2 – концентрация растворенного цианурата меламина; u_2^* – пороговая концентрация цианурата меламина, выше которой начинается выпадение осадка; p – концентрация осадка в геле; D – коэффициент диффузии соответствующего вещества; k – константы скорости реакции; θ – функция Хевисайда.

Начальные условия:

$$u|_{t=0} = u_0 \theta(-x), \quad u_1|_{t=0} = u_0 \theta(x), \quad u_2|_{t=0} = 0, \quad p|_{t=0} = 0.$$

Граничные условия:

$$u|_{x=-L} = u_0, \quad \left. \frac{\partial u_1}{\partial x} \right|_{x=-L} = 0, \quad \left. \frac{\partial u_2}{\partial x} \right|_{x=-L} = 0, \quad \left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{x=L} = 0, \quad \left. \frac{\partial u_1}{\partial x} \right|_{x=L} = 0, \quad \left. \frac{\partial u_2}{\partial x} \right|_{x=L} = 0.$$

Для решения используем пакет Wolfram Mathematica. Численные значения параметров задачи выбраны следующие:

$$L=0,05; u=0,01; u_1=0,001; D_a=10; D_b=10; D_c=10; k=1; k_1=1; k_2=1; u_2^*=0,005; t_{au}=0,1.$$

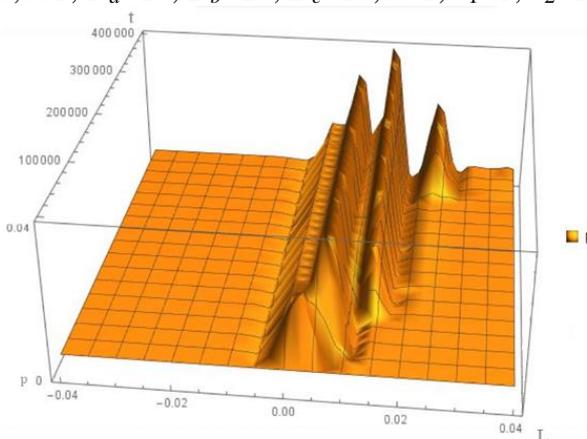


Рисунок. 3D-график, отображающий закономерность выпадения колец осадка во времени и пространстве

Визуализация произведена в виде 3D-поверхности (рисунок), ось x соответствует длине реакционного сосуда, ось y – времени в условных единицах, ось z – условным единицам концентрации.

Литература

1. Renato A., Connie C. An interesting student chemistry project: investigating Liesegang rings // Journal of Chemical education. – 1998. – № 65. – P. 364.
2. Ferenc I., István L. A new universal law for the Liesegang pattern formation // The Journal of Chemical Physics. – 2005. – № 1225. – P. 184707.



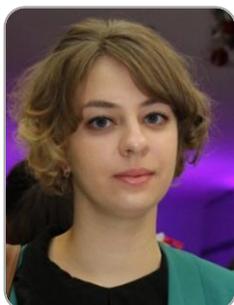
Кольцова Мария Викторовна

Год рождения: 1980

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
кафедра химии и молекулярной биологии,
студент группы № Т4240

Направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения

e-mail: marusiakoltsova@gmail.com



Бучилина Алина Сергеевна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
кафедра химии и молекулярной биологии,
студент группы № Т4240

Направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения

e-mail: alina.buchilina@yandex.ru



Гунькова Полина Исаевна

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
научно-образовательный центр химического инжиниринга
и биотехнологий, к.т.н., доцент

e-mail: polinagunkova@mail.ru

УДК 637.12

**ПОКАЗАТЕЛИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТВОРОЖНОГО
СЫРА ИЗ МОЛОКА С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ СОМАТИЧЕСКИХ КЛЕТОК**

Кольцова М.В., Бучилина А.С., Гунькова П.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Гунькова П.И.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

В работе показано, что при повышении в молоке-сырье содержания соматических клеток возрастает его микробная обсемененность и изменяется видовой состав микрофлоры. Для достижения требуемых стандартом показателей микробиологической безопасности необходимо для выработки творожного сыра использовать молоко с содержанием соматических клеток не выше 400 тыс./см³.

Ключевые слова: микробиологическая безопасность творожного сыра, соматические клетки молока, творожный сыр, мастит коров, молоко-сырье.

Широкое распространение маститов коров, наблюдаемое в настоящее время, сопровождается ростом числа соматических клеток и бактериальной обсемененности выделяемого молока. В молоке с повышенным количеством соматических клеток увеличивается количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), бактерий группы кишечных палочек (БГКП), патогенных стафилококков и стрептококков, дрожжей. Это может привести к снижению микробиологической безопасности вырабатываемых молочных продуктов [1–4].

Цель работы заключалась в исследовании влияния числа соматических клеток на микробную обсемененность молока-сырья и показатели микробиологической безопасности выработанного из него творожного сыра.

Объектами исследования являлись: молоко коровье сырое цельное хозяйств Ленинградской области без ингибирующих веществ и антибиотиков, с содержанием жира 3,3–3,5%, белков – 2,8–3,2%, СОМО – 8,2–8,3%; кислотностью 16,0–18,0°Т; плотностью 1027–1029 кг/м³, количеством соматических клеток от 100 до 750 тыс./см³, КМАФАнМ от 1,0·10⁵ до 6,0·10¹⁰ и выработанный из него творожный сыр (зерненный творог). Исследования проводились в период с 2015 по 2017 годы.

При проведении исследований использовали стандартные методики [4, 5].

Творожный сыр вырабатывали из 1 л предварительно обезжиренного молока. Молоко пастеризовали при температуре (72±2)°С в течение 15–20 с, охлаждали до температуры заквашивания, равной (30±2)°С, и вносили в него в количестве 5% стартовую культуру, состоящую из мезофильных молочнокислых стрептококков. После внесения стартовой культуры в молоко добавляли 40%-ный раствор хлористого кальция и раствор сычужного фермента и тщательно его перемешивали. Смесь сквашивали до образования сгустка с показателем рН, равным 4,6. Полученный сгусток разрезали проволочными ножами на кубики размером 10,0×10,0×10,0 мм и оставляли в покое на 30 мин для выделения сыворотки. Далее проводили нагревание сгустка до температуры 55°С, вымешивание, промывание и обсушку зерна. Полученный зерненный творог охлаждали в холодильнике до температуры (5±1)°С и исследовали его микробиологические показатели.

Результаты исследования взаимосвязи между содержанием в молоке-сырье различных видов микроорганизмов и соматических клеток представлены в табл. 1.

Таблица 1. Содержание в молоке-сырье соматических клеток и различных видов микроорганизмов

| Микроорганизмов, КОЕ/см ³ | Количество Соматических клеток, тыс./см ³ | | | | |
|---|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | от 100 до 200 | от 201 до 300 | от 301 до 400 | от 401 до 500 | от 501 до 750 |
| КМАФАнМ | 1,1·10 ⁶ | 1,0·10 ⁶ | 1,9·10 ⁸ | 2,1·10 ⁹ | 2,4·10 ⁹ |
| БГКП (коли формы)* | 0,0001 | 0,0001 | 0,00001 | 0,00001 | Менее 0,000001 |
| Staph. aureus | нет | нет | 1–2 | 3–5 | 5–14 |
| Стрептококки | 3–7 | 8–10 | 10–15 | 16–40 | 40–60 |
| Дрожжи | нет | нет | 2 | 6 | 11 |

*для БГКП – титр, см³.

Результаты исследований свидетельствуют об увеличении общей микробной обсемененности молока при повышении в нем числа соматических клеток. У молока с содержанием соматических клеток от 100 до 300 тыс./см³ микробная обсемененность является примерно одинаковой, в составе микрофлоры преобладают мезофильные бактерии (МАФАнМ), а дрожжи отсутствуют. В молоке при повышении количества соматических клеток свыше 300 тыс./см³ значительно увеличивается содержание всех контролируемых групп микроорганизмов, наблюдается рост стафилококков и дрожжей. Наиболее резкое увеличение КМАФАнМ наблюдается в пробах молока с содержанием соматических клеток от 301 до 400 тыс./см³ (табл. 1). Таким образом, наши исследования подтверждают значительную корреляцию между содержанием в молоке соматических клеток и его микробной обсемененностью.

Определенные показатели микробиологической безопасности творожного сыра, выработанного из молока-сырья с различным содержанием соматических клеток представлены в табл. 2.

Таблица 2. Показатели микробиологической безопасности творожного сыра, выработанного из молока-сырья с различным содержанием соматических клеток

| Содержание соматических клеток в молоко-сырье, тыс./см ³ | КМАФАнМ, КОЕ/см ³ | Титр, г | | | Дрожжи, КОЕ/см ³ |
|---|--|--|-------------|---------------|---|
| | | БГКП | Сальмонеллы | Staph. aureus | |
| Регламентируемые ТР ТС 033 «О безопасности молока и молочной продукции» | | | | | |
| не более 7,5·10 ⁵ | Микрофлора закваски, отсутствие клеток посторонней микрофлоры | Масса продукта (г), в которой не допускаются | | | При сроке годности до 72 час не допускаются |
| | | 0,01 | 25 | 0,1 | |
| Полученные в ходе исследований | | | | | |
| от 100 до 200 | Микрофлора творожной закваски. Клетки посторонней микрофлоры отсутствуют | Более 0,01 | Более 25 | Более 0,1 | Отсутствуют |
| от 201 до 300 | То же | Более 0,01 | Более 25 | Более 0,1 | Отсутствуют |
| от 301 до 400 | То же | Более 0,01 | Более 25 | Более 0,1 | Отсутствуют |
| от 401 до 500 | Микрофлора творожной закваски. Единичные длинные цепочки кокков | 0,01 | Более 25 | Более 0,1 | 1 |
| от 501 до 750 | Микрофлора творожной закваски. Единичные длинные цепочки кокков и стафилококки | 0,001 | Более 25 | 0,1 | 5 |

Данные, представленные в табл. 2, показывают корреляцию между значением показателей микробиологической безопасности творожного сыра и числом соматических клеток в молоко-сырье. Показатели творожного сыра, выработанного из молока с содержанием соматических клеток от 100 до 400 тыс./см³ соответствуют требованиям ТР ТС 033 «О безопасности молока и молочной продукции». В продукте, выработанном из молока с количеством соматических клеток свыше 400 тыс./см³, превышено предельно допустимое количество БГКП и дрожжей, а в сыре, полученном из молока, содержащего соматических клеток более 500 тыс./см³, кроме этого, содержание золотистого стафилококка выше разрешенного (табл. 2).

Таким образом, проведенные исследования показали, что при повышении в молоко-сырье содержания соматических клеток, в нем возрастает микробная обсемененность и изменяется видовой состав микрофлоры, что приводит к значительному снижению показателей микробиологической безопасности творожного сыра. Микробиологические показатели творожного сыра, выработанного из молока с содержанием соматических клеток до 400 тыс./см³ соответствуют требованиям ТР ТС 033 «О безопасности молока и молочной продукции». В продукте, выработанном из молока с числом соматических клеток от 401 до 750 тыс./см³, превышено предельно допустимое количество БГКП и дрожжей, а в сыре, полученном из молока с количеством соматических клеток от 501 до 750 тыс./см³, превышено допустимое содержание золотистого стафилококка. Для достижения требуемых стандартом показателей микробиологической безопасности необходимо для выработки

творожного сыра использовать молоко с содержанием соматических клеток не выше 400 тыс./см³.

Литература

1. Дмитриева Н.С., Скопичев В.Г., Гунькова П.И., Дудина А.А. Качество кисломолочных напитков из молока с различным содержанием соматических клеток // Пищевая промышленность. – 2017. – № 5. – С. 52–54.
2. Гунькова П.И., Павлов М.С., Скопичев В.Г. Взаимосвязь между микробной обсемененностью, составом коровьего молока, выходом и качеством получаемых из него белковых продуктов // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2015. – № 3. – С. 128–132.
3. Гунькова П.И., Горбатова К.К. Биотехнологические свойства белков молока. – СПб.: ГИОРД, 2015. – 216 с.
4. Горбатова К.К., Гунькова П.И. Химия и физика молока и молочных продуктов. – СПб.: ГИОРД, 2014. – 336 с.
5. Красникова Л.В., Гунькова П.И., Савкина О.А. Общая и пищевая микробиология: учеб. пособие. Часть II. – СПб.: Университет ИТМО; ИХиБТ, 2016. – 127 с.



Ланчук Юлия Владиславовна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Т4141

Направление подготовки: 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

e-mail: lanchuk@scamt-itmo.ru



Скорб Екатерина Владимировна

Год рождения: 1983

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, к.хим.н.

e-mail: scorb@scamt-itmo.ru

УДК 544.47

**САМООРГАНИЗАЦИЯ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ, СОВМЕЩЕННАЯ
С ХИМИЧЕСКИМИ АВТОКАТАЛИТИЧЕСКИМИ РЕАКЦИЯМИ**

Ланчук Ю.В.

Научный руководитель – к.хим.н. Скорб Е.В.

Жизнь биологической клетки контролируется каскадом биохимических реакций (например, передача импульсов по нейронным сетям, расщепление употребляемой пищи до белков, жиров и углеводов и др.). Протекающие в клетке реакции не только контролируют ее деление и рост, но также и ее взаимодействие с окружающей средой, в том числе и другими клетками. Таким образом, влияя на каскад биохимических реакций, протекающих в клетке, мы можем контролировать и программировать ее поведение. В свою очередь, объединение нескольких химических подсистем в единую систему является привлекательным способом разработки новых функциональных материалов для этих целей. В работе авторы объединили две химические сети: фотокаталитическое окисление / восстановление на поверхности диоксида титана и автокаталитическое образование фермента трипсина из его предшественника трипсиногена. Более того, помещение разработанной системы в гидрогель, где все реакции связаны с диффузией, позволяет фотокаталитически регулировать автокаталитическую волну.

Ключевые слова: фотокаталитическая система, автокаталитическая волна, диоксид титана, ферментативная активность, трипсин.

В первую очередь на создание данной системы нас вдохновила природа и, в частности, живая клетка. Вопрос заключался в возможности регулировать с помощью света такую сложную систему реакций. Природа использует градиенты pH для регулирования химических каскадов реакций [1]. Буферирующая способность является хорошо известной функцией биомолекул (например, хитозан можно использовать в качестве pH буфера для защиты pH чувствительных супрамолекулярных ансамблей) [2]. В данном эксперименте представляло интерес использование pH градиентов на диоксиде титана для регулирования биомолекулярных реакционных сетей.

Вначале было исследовано влияние различной концентрации частиц диоксида титана и температуры на интенсивность флуоресценции трипсина. Выявлено, что с увеличением концентрации диоксида титана возрастает интенсивность тушения флуоресценции триптофанового остатка в трипсине. Используя зависимость интенсивности флуоресценции

триптофанового остатка в трипсине от температуры определен механизм тушения флуоресценции (рис. 1).

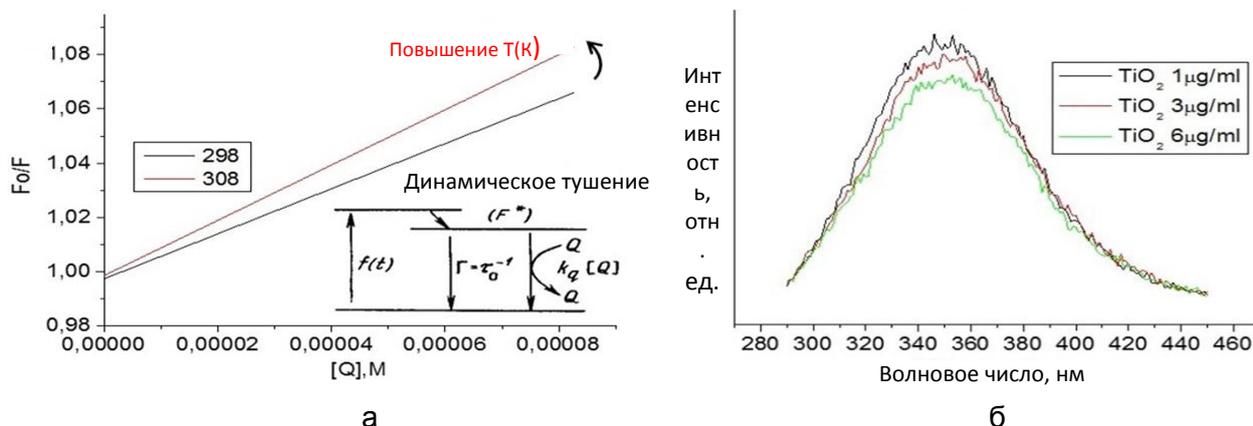


Рис. 1. Изучение тушения флуоресценции трипсина, возбуждение на 278 нм и эмиссия на 290–400 нм в присутствии частиц TiO_2 при разных: температурах 298 К и 308 К (вставка схематически показывает механизм динамического тушения) (а); спектры с различной концентрацией частиц TiO_2 при 298 К (б)

Далее было протестировано влияние непокрытых частиц диоксида титана и покрытых полиэлектролитами (как отрицательно заряженным полистиролсульфонатом (ПСС), так и положительно заряженным полиэтиленимином (ПЭИ)) на автокаталитическое образование трипсина из трипсиногена (рис. 2). Установили, что зависимость скорости превращения трипсина из трипсиногена под действием ультрафиолетового облучения в присутствии частиц диоксида титана и этих же частиц с полиэлектролитами различна, ввиду буферизирующей способности полиэлектролитов. Образование трипсина в системе с частицами диоксида титана происходит медленнее, чем в системе с гибридной системой. Это означает, что в случае гибридной системы, адсорбция трипсина на таких частицах выше, чем на исходных частицах диоксида титана.

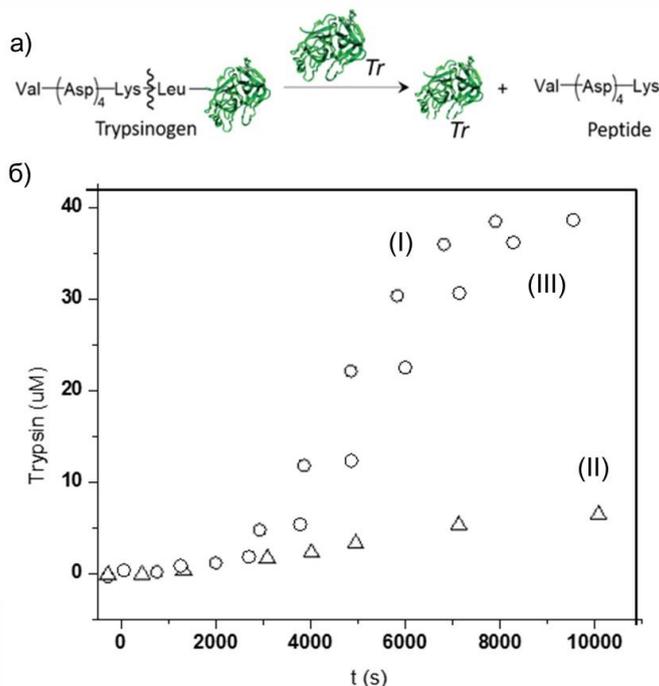


Рис. 2. Схема автокаталитического разложения трипсиногена трипсином (а); конверсия флуорогенного субстрата, контролируемого при возбуждении на 450 нм и эмиссии на 520 нм, (I) – реакция-контроль, (II, III) – в присутствии (II) TiO_2 или (III) – TiO_2 /ПСС/ПЭИ при облучении (б)

Важно отметить, что полиэлектролиты, адсорбированные на частицах диоксида титана (например, полиэтиленмин) могут контролировать фотоактивность частиц диоксида титана и степень изменения величины pH, действуя как буфер, поглощающий протоны (рис. 3). Создание градиента pH на поверхности диоксида титана очень важно для дальнейшего влияния биохимической реакции.

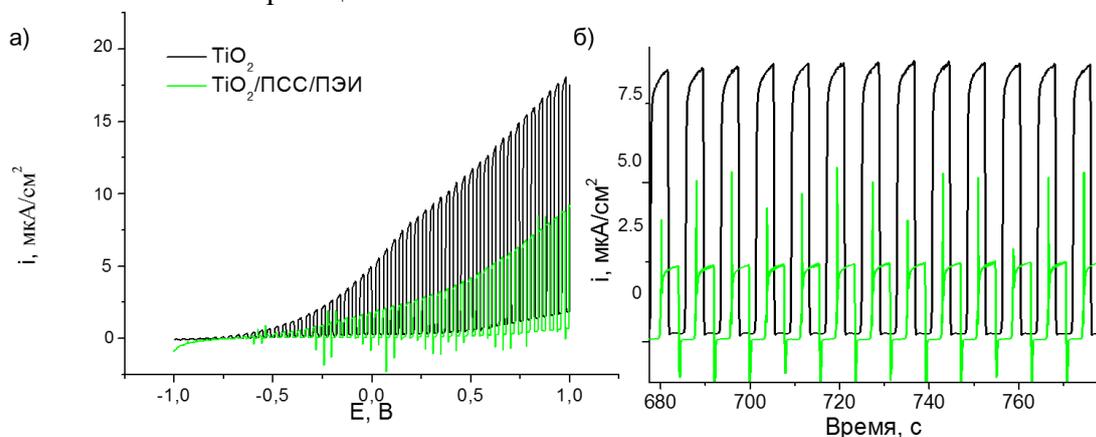


Рис. 3. Фототок на фотозлектроде TiO_2 , измеренный при облучении светодионом 365 нм, $I=5 \text{ мВт/см}^2$ при 0,25 В относительно хлорсеребряного электрода до и после осаждения полиэлектролитов PSS/PEI на подложке n-Si. Электролит-0,1М КОН с 0,2М глицином (а); зависимость фототока от времени (б)

В данной работе было показано, что частицы диоксида титана влияют на флуоресцентное тушение трипсина, но без облучения не влияют на автокаталитическое образование трипсина. Однако при облучении каскад фотокаталитических реакций приводит к подкислению среды, что подавляет автокаталитическое образование трипсиногена и распространение автокаталитической волны. Следует также учесть, что помимо локального изменения pH образуются активные формы кислорода на диоксиде титана при облучении, которые могут дезактивировать биомолекулы [3, 4].

Системы и материалы, рассмотренные в работе, представляют интерес для изучения влияния реакций, происходящих на поверхностях полупроводниковых наночастиц на ферментативную активность, для обеспечения мер токсического воздействия наночастиц на организм-мишень, для изучения молекулярных механизмов, лежащих в основе токсичности, и как модельные системы для изучения синергии между фотокаталитическими и автокаталитическими реакциями, а также как применение для оптических нелинейных материалов.

Литература

1. Skorb E.V., Andreeva D.V. Surface Nanoarchitecture for Bio-Applications: Self-Regulating Intelligent Interfaces // *Advanced Functional Materials*. – 2013. – V. 23. – P. 4483–4506.
2. Skorb E.V., Mohwald H., Andreeva D.V. How Can One Controllably Use of Natural ΔpH in Polyelectrolyte Multilayers? // *Advanced Materials Interfaces*. – 2017. – V. 4(1). – P. 1600282.
3. Maltanova H., Poznyak S.K., Andreeva D.V., Quevedo M.C., Bastos A.C., Tedim J., Ferreira M.G.S., Skorb E.V. Light-induced proton pumping with a semiconductor: vision for photoproton lateral separation and robust manipulation // *ACS Appl Mater Interf.* – 2017. – V. 9(28). – P. 24282–24289.
4. Ulasevich S.A., Brezesinski G., Mohwald H., Fratzl P., Schacher F., Poznyak S.K., Andreeva D.V., Skorb E.V. Light-Induced Water Splitting Causes High-Amplitude Oscillation of pH-Sensitive Layer-by-Layer Assemblies on TiO_2 // *Angew. Chem. Int. Ed.* – 2016. – V. 55. – P. 13001–13004.

**Шлейкин Никита Георгиевич**

Год рождения: 1995

Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной
медицины, студент

e-mail: nikeysh272@gmail.com

**Новожилова Елизавета Георгиевна**

Год рождения: 1990

Санкт-Петербургский медико-социальный институт, лаборант с в/о

e-mail: eliz.nova7@yandex.ru

Бландов Александр Николаевич

Год рождения: 1970

Санкт-Петербургский медико-социальный институт, к.т.н., доцент

e-mail: blandov.2015@yandex.ru

**Шлейкин Александр Герасимович**

Год рождения: 1944

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий
и инженерии, НОЦ химического инжиниринга и биотехнологий,
д.мед.н., профессор

e-mail: shleikin@yandex.ru

УДК 637.525.3**НУТРИТИВНЫЕ ФАКТОРЫ ПРОФИЛАКТИКИ ОСТЕОПОРОЗА****Шлейкин Н.Г.** (Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины),**Новожилова Е.Г.** (Санкт-Петербургский медико-социальный институт),**Бландов А.Н.** (Санкт-Петербургский медико-социальный институт),**Шлейкин А.Г.** (Университет ИТМО)**Научный руководитель – д.мед.н., профессор Шлейкин А.Г.** (Университет ИТМО)

Работа выполнена в рамках темы НИР № 35824 «Производство ферментированных продуктов».

Рассмотрена роль кальция/фосфорного баланса в питании человека и животных на развитие остеопороза и связанных с ним заболеваний. Обсуждены фосфат-содержащие пищевые добавки, применяемые в изготовлении пищевых продуктов и кормов для животных. Обоснован состав пищевых и кормовых рационов, сбалансированных по составу фосфатов и кальция. Приведены результаты работы по замещению фосфатов цитратами в переработке мясного сырья.

Ключевые слова: остеопороз, кариес, целиакия, фосфаты, кальций, цитраты, пищевые продукты, корма для животных.

В настоящее время остеопороз занимает одну из ведущих позиций в структуре неинфекционных заболеваний наряду с болезнями сердечно-сосудистой системы, злокачественными опухолями и травмами. Количество больных остеопорозом в мире превышает 200 млн человек, из них 2,5 млн имеют переломы костей; число женщин, умирающих от осложнений, связанных с остеопорозом, превышает женскую смертность от рака.

В качестве основных факторов риска развития остеопороза и переломов костей у жителей Северо-Западного федерального округа России рассматриваются следующие: прогрессирующее старение населения, низкая инсоляция и несбалансированное питание. Последний фактор способствует также развитию кариеса, а также остеопорозу у домашних животных, находящихся на принудительном пищевом рационе.

Масса, плотность и прочность костей скелета зависит от возраста. Минерализация костной ткани возрастает до 25–30 лет, а затем постепенно снижается. После 40 лет состояние костной ткани зависит от максимально массы, которой удалось достичь, и от скорости, с которой она снижается. У мужчин возрастная потеря костной массы связана в основном со снижающимся уровнем тестостерона и составляет 0,3–0,5% в год. У женщин при дефиците эстрогенов она может достигать 1% в доклимактерическом периоде и 2–3% в год в период менопаузы, что может привести к утрате до 50% исходной массы. Распространенность остеопороза у постменопаузальных женщин достигает 20%, что подчеркивает высокую социальную значимость снижения частоты этой патологии [1]. Метаболические нарушения при остеопорозе не исчерпываются падением плотности костной ткани. Установлена связь остеопороза с нарушением толерантности к глютену, наиболее выраженной клинической формой которой является целиакия. Лечение целиакии приводит к коррекции функции кишечника и к замедлению развития остеопороза [2].

Профилактика остеопороза складывается из достижения максимально возможной массы костной ткани в период развития и замедления процесса ее последующей потери. Наиболее важными пищевыми факторами, влияющими на достижение и сохранение генетически детерминированной костной массы являются уровни потребления кальция и белка, а также обеспеченность организма витаминами, в первую очередь D, C и B₆. Взрослому человеку требуется не менее 800 мг кальция в сутки; у подростков, беременных и кормящих женщин потребность в кальции в 1,5 раза выше. У людей старше 50 лет суточная потребность в кальции составляет 1,2–1,5 граммов [3]. Активная форма витамина D (кальцитриол), образующаяся путем гидроксирования в почках и печени, необходима для синтеза кальцийсвязывающих белков. Витамины C и B₆ участвуют в созревании главного белка соединительной ткани – коллагена. Обмен кальция тесно связан с обменом фосфора. Необходимым условием нормального кальциевого обмена является соблюдение баланса между потребляемыми количествами кальция и фосфатов. Оптимальное отношение кальция к фосфору в дневном рационе должно быть не ниже, чем 1:1, так как избыток фосфора приводит к повышенной резорбции костной ткани вследствие активации паратгормона. Однако в диете современного человека это соотношение достигает значения 1:2. Избыток фосфатов в пищевых продуктах тормозит образование кальцитриола и процессы минерализации костной ткани, а также способствует отложению кальциевых солей в почках и кровеносных сосудах. Проблема избыточного потребления фосфатов возникла сравнительно недавно и связана с развитием пищевой и кормовой индустрии. В производстве различных полуфабрикатов, колбасных изделий, напитков и кормов для животных широко используются соли фосфорной кислоты – фосфаты, обладающие широким спектром технологических свойств – регуляция кислотности, связывание воды, формирование структуры продукта.

В связи с распространением остеопороза, особенно у лиц пожилого возраста, одним из факторов которого служит избыточное потребление фосфатов, актуальной задачей является снижение фосфатсодержащих добавок в пищевых продуктах. К наиболее перспективным

добавкам, которые способны частично или полностью заменить фосфаты, относятся соли лимонной кислоты [4]. По сравнению с фосфатами цитраты обладают рядом диетологических и технологических преимуществ. Они не оказывают отрицательного воздействия на баланс кальция в организме, увеличивают сохранность и усвоение витаминов тканями организма. Лимонная кислота является природным метаболитом в тканях животных и растений, в организме человека и животных наиболее высоким ее содержанием отличается костная ткань. Соли лимонной кислоты, цитраты, применяемые в пищевых добавках, хорошо сочетаются с другими органическими кислотами и их солями, усиливая или дополняя их эффекты: повышение срока хранения продукта, а также сохранение цвета и аромата мясных изделий в процессе хранения.

В производстве пищевых продуктов наибольшее распространение получил цитрат натрия. Технологические свойства калиевых солей лимонной кислоты исследованы в меньшей степени. Изучение применения цитрата калия в пищевой индустрии обосновано не только потребностями технологии, но также в плане дополнительного источника калия в питании человека, что особенно актуально для лиц физического труда, спортсменов, пожилых людей и больных сердечно-сосудистыми заболеваниями [5]. Проведено исследование влияния лимонной кислоты и цитрата калия на технологические свойства мясного сырья: рН, влагоудерживающую способность, экстрагируемость белка и органолептические свойства продукта. В результате работы были подобраны условия и оптимальные концентрации цитратных добавок для достижения требуемых технологических свойств мясных изделий. Предлагается использовать данную технологию для производства продуктов питания для человека и кормов для животных с целью предотвращения кальций/фосфорного дисбаланса в пищевом рационе и профилактики остеопороза и кариеса у человека и животных.

Литература

1. Шлейкин А.Г., Александров К.А., Короткова Е.В. Влияние избыточного содержания фосфатов в пищевом рационе на развитие остеопороза // Изв. СПбГУНиПТ. – 2008. – № 4. – С. 10–19.
2. Stenson W.S., Newberry R., Lorenz R., Baldus C., Civitelly R. Increased prevalence of celiac disease and need for routine screening among patients with osteoporosis // Arch. Intern. Med. – 2005. – V. 165. – P. 393–399.
3. Май М. Остеопороз – не ваш вопрос // Энциклопедия здоровья. – 2017. – № 10(55). – С. 9.
4. Письменный В.В. Применение солей лимонной кислоты // Пищевая промышленность. – 1996. – № 2. – С. 12–13.
5. Александров К.А., Горбатовский А.А., Шлейкин А.Г. Применение цитратов в мясной промышленности // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2010. – № 6. – С. 36–38.



Saparova Valeriia Vyashimovna

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Т4143

Направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология

e-mail: saparova@scamt-itmo.ru



Shtil Alexandr Albertovich

Год рождения: 1958

Университет ИТМО, химико-биологический кластер, кафедра химии и молекулярной биологии, д.мед.н.

e-mail: shtil@scamt-itmo.ru

UDK 576.385.5

THE ROLE OF P53 ACTIVATORS FOR COMBINED CANCER TREATMENT

Saparova V.B., Shtil A.A.

Supervisor – Doctor of Medical Science, Professor Shtil A.A.

In this paper we present the results of combination of two types of antitumor agents: p53-activator nutline-3alpha and anthracycline antibiotic doxorubicin, on colon cancer cell line HCT116. The measurement of the overall drug activity demonstrate synergies, which opens up a great opportunities for novel strategies of cancer treatment.

Key words: cancer treatment, p53 protein, chemical inhibition, apoptosis, drug interactions.

In recent years, great attention is paid to targeted therapy of cancer. In contrast to most conventional treatment strategies, specific approaches allow us to create new drugs with lower frequency and severity of side effects, and even greater efficacy. One such approach is the therapy based on the genetic profile of a specific tumor. Important progress has been made in the understanding of molecular mechanisms of cell malignant transformation and in identifying the most important oncogenic and oncostatic proteins.

Tumor suppressor protein p53, referred to as “the guardian of the genome,” plays a central role in the regulation of cell cycle, apoptosis, DNA repair, and senescence [1]. The p53 pathway is disturbed in most cancers either by inactivating mutations, which occur in approximately 50% of all tumors, or by indirect mechanisms, suppressing p53 levels in the cancer cell. The second most frequent violation is duplication of MDM2, the primary negative regulator of p53 [2]. MDM2 is part of a negative feedback loop, in which p53 acts as a transcription factor for MDM2, which in turn acts as an E3 ubiquitin ligase targeting p53 for proteasomal degradation. Overexpression of MDM2 interrupts the well-controlled balance between p53 and MDM2, leading to malignant transformation of the cell. All these facts make the altered p53 pathway quite attractive target for novel cancer therapies.

Disruption of the p53-MDM2 interaction activates and stabilizes p53 within the cell, resulting in protein performing protective functions. The first successful implementation of this potential came in 2004, when Lubomir Vassilev discovered nutlin-3a [3].

To date, low-selective classical drugs widely used in the last stages of oncological diseases progression. One example of such drugs are anthracyclines or anthracycline antibiotics. These drugs are reliable, since the mechanism of their action is based on inhibition of the nucleic acids synthesis

and DNA-damage. But they have a lot of side effects from hair loss and mouth inflammation to tissue necrosis and heart damage, also there are some heavy neurotoxic and nephrotoxic effects [4]. This is the reason why these drugs are often used together with other chemotherapy agents.

Combination chemotherapy involves treating a patient with a number of different drugs simultaneously. The drugs differ in their mechanism of action and side-effects. The biggest advantage is minimising the chances of resistance developing to any one agent. Also, the drugs can often be used at lower doses, reducing the frequency and severity of toxic effects. Last but not the least combination of anthracycline antibiotics with p53 activators can cause an increase in antitumor activity.

Experiments on the cell viability were carried out on HCT116 (colon cancer) cell line with anthracycline doxorubicin in the presence or absence of the p53 activator nutlin. The results were evaluated by MTT assay after 72 hrs of incubation (figure).

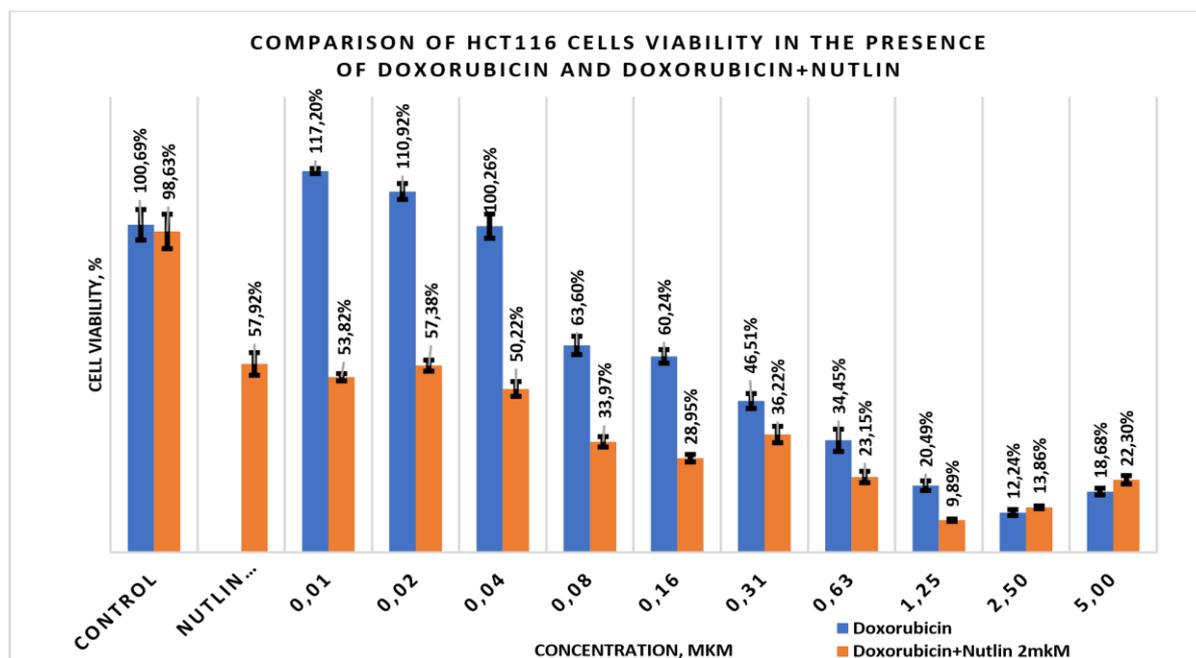


Figure. The results of MTT assay

It was found that combination of doxorubicin with nutlin cause apoptosis of tumor cells in a more effective way than doxorubicin itself. Furthermore, the maximum effect is achieved at a concentration of only 0.01 mM. This result indicates that the p53 activation can enhance the antitumor activity of DNA-damaging agents, which opens up a great opportunities for novel strategies of cancer treatment.

References

1. Gilbert S.F. *Developmental Biology*. – 10th ed. – Sunderland, MA USA: Sinauer Associates, Inc. Publishers, 2013. – 588 p.
2. Burgess A., Chia K.M., Haupt S., Thomas D., Haupt Y. and Lim E. *Clinical Overview of MDM2/X-Targeted Therapies* // *Front. Oncol.* – 2016. – V. 6. – P. 7.
3. Vassilev L.T., Vu B.T., Graves B., Carvajal D., Podlaski F., Filipovic Z., et al. *In vivo activation of the p53 pathway by small-molecule antagonists of MDM2* // *Science*. – 2004. – V. 303. – P. 844–848.
4. Chatterjee K., Jianqing Z., Norman H., Joel S. Karliner *Doxorubicin Cardiomyopathy* // *Cardiology*. – 2010. – V. 115(2). – P. 155–162.



Смирнов Сергей Владимирович

Год рождения: 1984

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Х4240

Направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания из растительного сырья

e-mail: sergeiismirnoff@gmail.com



Морозова Наталия Евгеньевна

Год рождения: 1990

НИК «Нанобиотехнологии» СПбПУ, аспирант

natusmorozovna@gmail.com



Шлейкин Александр Герасимович

Год рождения: 1944

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии, НОЦ химического инжиниринга и биотехнологий, д.мед.н., профессор

e-mail:shleikin@yandex.ru



Ходорковский Михаил Алексеевич

к.ф.-м.н., директор НИК «Нанобиотехнологии» СПбПУ



Северинов Константин Викторович

доктор биологических наук, профессор Сколковского института науки и технологии, профессор Университета Ратгерса в США

УДК 577.2

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ БЕЛКОВ СИСТЕМЫ РЕСТРИКЦИИ-МОДИФИКАЦИИ ESP1396I В КЛЕТКАХ ESCHERICHIA COLI НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАЩИТЫ ОТ БАКТЕРИОФАГА

Смирнов С.В. (Университет ИТМО), **Морозова Н.Е.** (НИК «НаноБио» СПбПУ),
Шлейкин А.Г. (Университет ИТМО), **Ходорковский М.А.** (НИК «НаноБио» СПбПУ),
Северинов К.В. (Сколтех)

Научный руководитель – д.мед.н., профессор Шлейкин А.Г. (Университет ИТМО)

Работа посвящена созданию искусственной системы, позволяющей контролируемо изменять концентрации белков системы Esp1396I. Для достижения этой цели была создана генетическая

конструкция на основе плазмиды, содержащей индуцируемый промотор и ген, кодирующий слияние рестриктазы с флуоресцентным белком.

Ключевые слова: система рестрикции-модификации, бактериофаг, защита, метилаза, рестриктаза.

Системы рестрикции-модификации (Р-М) – это один из классов систем защиты бактерий от чужеродной ДНК. Действие систем Р-М II типа основано на работе двух ферментов: эндонуклеазы рестрикции, которая разрезает чужеродную ДНК по определенным сайтам узнавания, и метилтрансферазы, которая защищает эти же сайты путем метилирования [1]. Если хотя бы одна из цепей ДНК метилирована в сайтах узнавания, то рестриктаза не может осуществить расщепление. ДНК клетки с системой Р-М метилирована, а ДНК бактериофагов – нет, поэтому она расщепляется рестриктазой. Однако если ДНК бактериофага подвергнется метилированию раньше, чем она будет расщеплена рестриктазой, то все потомство такого бактериофага будет иметь метилированную ДНК и будет устойчиво к действию данной системы Р-М.

Существует две теории относительно того, каким образом может происходить преодоление защитного действия Р-М систем. Одна из них связывает этот процесс с концентрациями белков системы Р-М в бактериальных клетках, другая считает данный процесс не зависящим от концентраций. В работе I. Kobayashi системы Р-М рассматриваются как эгоистичные элементы генома [2]. В рамках этой концепции основной функцией систем Р-М является распространение своих собственных генов. Эта идея подтверждается наличием такого явления, как гибель клеток, потерявших плазмиду, несущую гены системы Р-М. По-видимому, гибель клеток связана с тем, что эндонуклеаза рестрикции более стабильна, чем метилтрансфераза, и для гибели клетки достаточно расщепить ДНК только в одном месте, в то время как для защиты от рестрикции метилированной должна быть вся ДНК. В ДНК бактерий с системами Р-М меньшее число сайтов рестрикции, чем предсказывается статистически. Возможно, это связано с возможностью спонтанного гидролиза ДНК хозяина эндонуклеазой рестрикции. Кроме того, наблюдается снижение количества сайтов узнавания ферментами систем Р-М типа II в геномах бактериофагов [3], что указывает на активное влияние этих систем на эволюцию вирусов.

В изучаемой нами системе Esp1396I синтез как метилтрансферазы, так и эндонуклеазы рестрикции регулируется одним С-белком. Ген этого белка транскрибируется вместе с геном рестриктазы. С-белок может связываться с несколькими участками Esp1396I ДНК. При низкой концентрации С-белка происходит синтез метилтрансферазы, что дает возможность метилировать геном бактерии. Участок O_M имеет самое высокое сродство к С-белку (рис. 1); при связывании с этим участком блокируется синтез метилтрансферазы. Затем С-белок связывается с O_L -участком и повышает транскрипцию генов С-белка и эндонуклеазы рестрикции, это ведет к резкому повышению концентрации С-белка и связыванию его с O_R -участком, что приводит к вытеснению РНК-полимеразы [4].

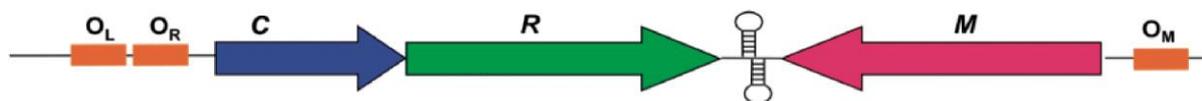


Рис. 1. Схематичное изображение Р-М системы Esp1396I [4]

Ранее в нашей лаборатории проводились эксперименты по изучению влияния концентраций метилтрансферазы и эндонуклеазы рестрикции на заражение бактериофагом одиночных бактериальных клетках с флуоресцентно-меченой системой Р-М. Однако из-за высокой степени защиты не удалось набрать достаточную статистику заражений. В связи с этим было решено создать искусственную систему, позволяющую контролируемо изменять концентрации белков Esp1396I системы.

Целью данной работы являлось изучение влияния концентрации эндонуклеазы рестрикции на защиту клетки от бактериофага. Для достижения этой цели была создана

генетическая конструкция на основе плазмиды, содержащей индуцируемый промотор и ген, кодирующий слияние рестриктазы с флуоресцентным белком.

Авторами была сконструирована плазида, которая может сосуществовать в клетке с плазмидой, несущей гены нативной системы Р-М, и экспрессирующая флуоресцентно-меченную эндонуклеазу рестрикции с индуцибельного промотора.

После индукции клеток с полученной плазмидой и дальнейшей визуализации их с помощью флуоресцентного микроскопа зарегистрировали флуоресценцию белка mCherry в наших образцах (рис. 2), что свидетельствует о функциональности системы.

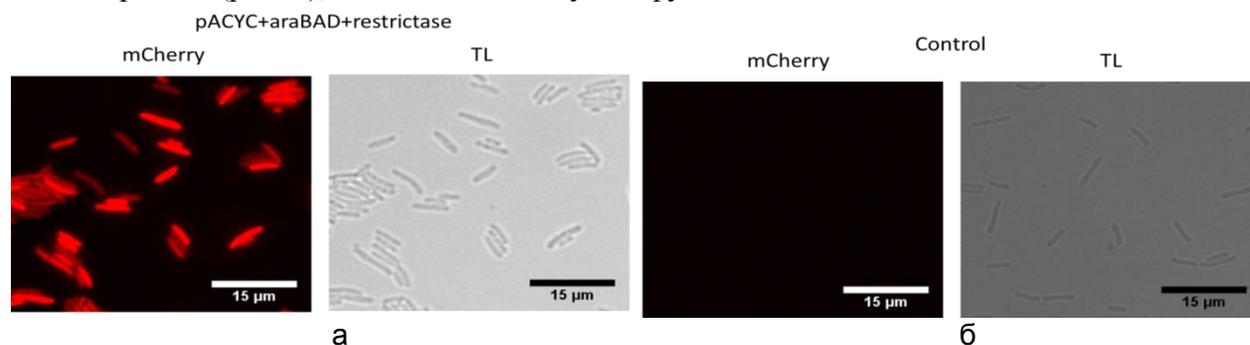


Рис. 2. Образцы клеток *E. Coli* с плазмидой pACYCBad_Rfluo (а) и контроль без плазмиды (б)

В дальнейшем планируется провести исследование влияния концентрации эндонуклеазы рестрикции на эффективность заражения клеток вирусом путем изменения концентрации арабинозы в образцах.

Литература

1. Morozova N., Sabantsev A., Bogdanova E., Fedorova Y., Maikova A., Vedyaykin A., Rodic A., Djordjevic M., Khodorkovskii M., and Severinov K. Temporal dynamics of methyltransferase and restriction endonuclease accumulation in individual cells after introducing a restriction-modification system // *Nucleic Acids Res.* – 2016. – V. 44(2). – P. 790–800.
2. Kobayashi I. Behavior of restriction – modification systems as selfish mobile elements and their impact on genome evolution // *Nucleic Acids Res.* – 2001. – V. 29. – № 18. – P. 3742–3756.
3. Sharp P.M. Molecular Evolution of Bacteriophages: Evidence of Selection against the Recognition Sites of Host Restriction Enzymes // *Mol. Biol. Evol.* – 1986. – V. 3. – № 1. – P. 75–83.
4. Ball J., McGeehan J., Streeter S., Thresh S. and Kneale G. The structural basis of differential DNA sequence recognition by restriction–modificationcontrollerproteins // *Nucleic Acids Research.* – 2012. – V. 40. – № 20. – P. 10532–10542.

**Тянутова Мария Ивановна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии, кафедра химии и молекулярной биологии, студент группы № Т4242

Направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания

из растительного сырья

e-mail: tyanutova95@gmail.com

**Морозкина Светлана Николаевна**

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии, кафедра химии и молекулярной биологии, к.хим.н., доцент

e-mail: morozkina@scamt-itmo.ru

УДК 615.256.51

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ГИДРИРОВАНИЯ
КЛЮЧЕВЫХ ИНТЕРМЕДИАТОВ В СИНТЕЗЕ ПРЕПАРАТОВ ПРОТИВ РАКА
МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ****Тянутова М.И., Морозкина С.Н.****Научный руководитель – к.хим.н., доцент Морозкина С.Н.**

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 16-54-76024 «Рациональный дизайн лекарственных препаратов направленный на Wnt передачу сигнала в трижды-негативном раке молочной железы».

Рак молочной железы является лидирующим заболеванием среди женщин во всем мире. Нами были найдены аналоги, которые ингибируют рост клеток рака молочной железы, включая самую агрессивную трижды негативную форму. В данной работе были найдены условия проведения реакции каталитического гидрирования торговых эстрапентаенов для получения ключевых соединений.

Ключевые слова: биотехнологии, ингибиторы рака молочной железы, онкология, каталитическое гидрирование.

В настоящее время рак – второй «убийца» человека после сердечно-сосудистых заболеваний, в 2008 г. зарегистрировано 7,6 млн смертей (13% от общего числа). Предполагается, что к 2030 г. смертность повысится до 13,1 млн [1]. Необходимо создавать новые лекарственные препараты, что является «вызовом» для медицинской химии.

Стероидные эстрогены – главные половые гормоны, ответственные за поддержание в нормальном состоянии центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы и костных тканей (как у мужчин, так и женщин) и за развитие вторичных половых признаков у женщин в частности.

Суперэкспрессия гормонов в организме стимулирует избыточную пролиферацию гормоночувствительных клеток, приводя к различным гормонозависимым раковым заболеваниям, таких как рак молочной железы, матки, яичников, простаты и эндометрия.

В обзоре за 2015 г. особо отмечается, что стероидные молекулы имеют крайне важную роль благодаря их природой созданному структурному скелету [2], а также их удивительному количеству фармакологических свойств. Они имеют уникальную способность проникать в клеточные мембраны и связываться с ядерными и мембранными рецепторами. Даже малейшие изменения в структуре молекулы приводят к значительному изменению биологического действия. Различные типы стероидов были модифицированы для придания им цитотоксичных и цитостатических (антипролиферативных) свойств. Скажем, что большинство противораковых препаратов на основе стероидного скелета разработаны как ингибиторы ферментов и цитотоксические препараты.

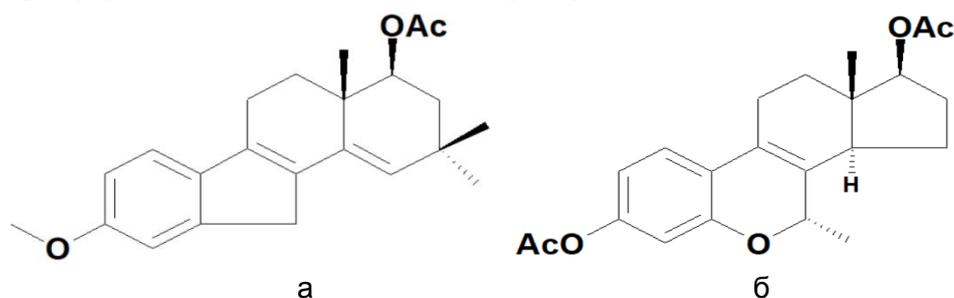


Рисунок. Соединения I (а) и II (б)

У продукта гидрирования соединения **I** (рисунок) полностью отсутствует гормональная активность на животных моделях, что также было подтверждено данными о связывании с рецепторами эстрогенов альфа и бета. А соответствующий 3-сульфамат обладает выраженной противоопухолевой активностью против клеток рака молочной железы и более того, против самой агрессивной формы – трижды-негативного рака молочной железы.

Соединение **II** активно против таких крайне агрессивных опухолей, как трижды-негативный рак молочной железы, рак легких, аденокарцинома печени, рак прямой кишки, для которых до сих пор нет лекарственных препаратов во всем мире. Стероид обладает крайне высокой противовоспалительной активностью, и очень высокой антиоксидантной активностью на модели животных, а также высокой остеопротекторной и гипохолестеринемической активностями при пониженном гормональном действии.

Одной из ключевых стадий при получении этих соединений по схеме Торгова–Ананченко [3] является реакция каталитического гидрирования, результат которой, в зависимости от условий, может привести к соединениям как природного строения, так и аналогов с неприродным сочленением колец, либо к получению эстратетраенов.

Известно, что соединения неприродного ряда лучше получать при гидрировании на никеле Ренея при высоком давлении и высокой температуре, либо при каталитическом гидрировании на палладиевых катализаторах [4]. Преимущество последнего метода – проведение реакции при комнатной температуре, простота выделения продуктов, возможность регенерирования катализаторов, и отсутствие необходимости проведения дополнительной стадии окисления, получающейся в результате гидрирования на никеле Ренея 17-гидроксигруппы [5].

Ранее соединение **I** было получено с выходом 27% при гидрировании на никеле Ренея при давлении 120 атм. и температуре 90С°. А соединение **II** было побочным продуктом при реакции гидрирования на Pd/Al₂O₃ в тетрагидрофуране (выход 10%).

Задачей настоящей работы явилось подбор условий реакции каталитического гидрирования на палладиевых катализаторах при комнатной температуре. Нами установлено, что оптимальное соотношение соединение:катализатор – 25:1. При исследовании влияния растворителя было найдено, что реакция проходит за один час при использовании диоксана. Таким образом, определены условия каталитического

гидрирования торговых эстрапентаенов, которые существенно упрощают схему синтеза потенциальных лекарственных препаратов для лечения рака молочной железы. Преимущества условий проведения реакции: реакции проходят при комнатной температуре, и не требуют высокого давления и нагревания; позволяет избежать стадии окисления 17-гидроксигруппы, которая образуется при гидрировании на никеле Ренея; скорость реакции значительно увеличивается, что является существенным достижением; легкость выделения реакционной смеси и целевого продукта реакции.

Литература

1. Mostafa Y.A., Taylor S.D. Steroid derivatives as inhibitors of steroid sulfatase // *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.* – 2013. – V. 137. – P. 183–198.
2. Gupta A., Kumar B.S., Negi A.S. Current status on development of steroids as anticancer agents // *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.* – 2013. – V. 137. – P. 242–270.
3. Торгов И.В., Назаров И.Н., Ананченко С.Н. // *Изв. АН СССР.* – 1959. – № 1. – С. 103–109.
4. Селиванов С.И., Морозкина С.Н., Шавва А.Г. Синтез и исследование молекулярной структуры в растворе 7 α -метил-3-метокси-6-окса-9 β ,14 β -эстра-1,3,5(10)-триен-17-она // *ХГС.* – 2012. – № 5. – С. 757–768.
5. Морозкина С.Н., Николаев С.В., Селиванов С.И., Ушаков Д.Б., Шавва А.Г. Каталитическое гидрирование эстра-1,3,5(10)8,14-пентаенов со стерически доступными двойными связями в присутствии Ni Ренея // *ЖОрХ.* – 2008. – Т. 44. – Вып. 5. – С. 685–690.



Шаталов Иван Сергеевич

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии, кафедра химии и молекулярной биологии, аспирант

Направление подготовки: 06.06.01 – Биологические науки

e-mail: shataloff.iv@gmail.com



Шаталова Александрина Сергеевна

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет пищевой биотехнологии и инженерии, кафедра технологии мясных, рыбных продуктов и консервирования холодом, аспирант

Направление подготовки: 19.06.01 – Промышленная экология и биотехнологии

e-mail: shatalovaaleks@mail.ru

УДК 577.112.7

**ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА БСА-СОДЕРЖАЩИХ БЕЛКОВЫХ КОМПЛЕКСОВ,
ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННОГО МОЛОКА**

Шаталов И.С., Шаталова А.С.

Научный руководитель – д.мед.н., профессор Шлейкин А.Г.

В работе исследованы БСА-содержащие белковые комплексы, выделенные из молока различной термообработки. Установлено, что в технологических условиях пастеризации, ультрапастеризации, стерилизации и топления БСА образует комплексы с казеинами и β -лактоглобулином. Содержание БСА в комплексах, полученных из стерилизованного и ультрапастеризованного молока варьирует, и составляет $0,30 \pm 0,10$ и $0,90 \pm 0,15$ мкг/мг комплекса соответственно.

Ключевые слова: БСА, белковые комплексы, термообработка молока, аффинная хроматография, электрофорез.

Среди способов, позволяющих сохранить свойства молока, особое место занимают процессы, включающие высокотемпературную обработку. Однако в таких условиях белки денатурируют и изменяют свои свойства. Хотя бычий сывороточный альбумин (БСА) является одним из минорных белков молочной сыворотки – концентрация 0,4 г/л – его количества достаточно для реактивности по отношению к другим белкам молока. Он имеет свободную тиоловую группу и гидрофобный домен, позволяющий нерастворимым в воде веществам, в том числе гидрофобным белковым пептидам, взаимодействовать с ним.

БСА является достаточно термолabileм белком: так, хорошо изучено изменение его структур при повышенных температурах в ходе модельных экспериментов, однако данных о поведении этого белка в реальных технологических процессах недостаточно, ввиду его относительно малого процентного содержания в молоке.

Целью данного исследования являлось изучение состава и свойств белковых комплексов, включающих БСА, выделенных из молока различной температурной обработки: пастеризованного, стерилизованного, ультрапастеризованного, топленого. Аффинно-выделенные комплексы изучались методом ДСН-электрофореза, MALDI-TOF и ИФА.

Одним из наиболее эффективных и нетравматичных препаративных методов выделения белков и их агрегатов является аффинная хроматография. Данный метод позволяет легко и с высоким выходом выделять белки и их комплексы из составных многокомпонентных белковых систем [1]. Данный метод основан на специфическом взаимодействии аналита-мишени с твердой фазой, в качестве которой в нашем случае

использовалась сефароза, активированная специфичными к БСА моноклональными антителами.

Выбранный метод элюции в нашем эксперименте был основан на применении градиента ионной силы, что влияет на стабильность комплекса антиген-антитело. В качестве элюента использовался 0,6М раствор хлорида магния в 0,1М Трис-буфере, pH 7,2. С целью дальнейшего исследования методом электрофореза (ЭФ) полученные элюаты для удаления ионов магния диализовали против 0,1М трис-буфера pH 7,2, содержащим 5 мМ Na-ЭДТА на концентраторах VivaspinTurbo 4 с отсечкой по молекулярной массе 50 кДа, после чего – на тех же концентраторах против 0,1М фосфатного буфера. Концентрация белка была измерена с помощью набора реагентов BCA-Pierce (ThermoScientific). Полученные препараты далее применяли для ДСН-ПААГ в 12% полиакриламидном геле. Проявка электрофореграмм осуществлялась Coomassie Brilliant Blue G250. Результаты исследования в нередуцирующих условиях представлены на рис. 1, а–в, в редуцирующих – рис. 1, г–е.

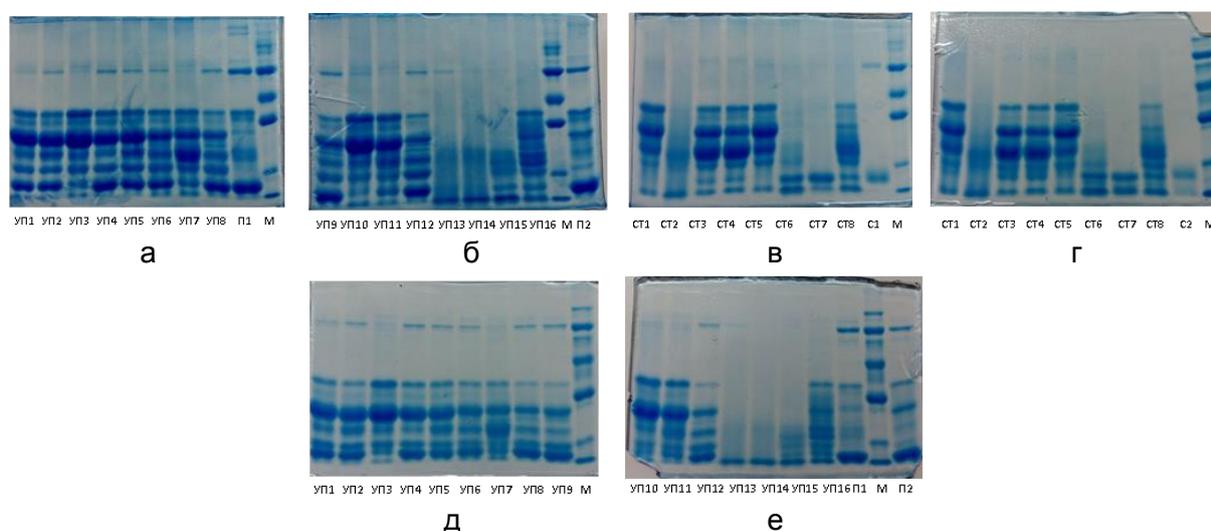


Рис. 1. Электрофореграммы полученных комплексов, содержащих БСА. Источник комплексов: УП – ультрапастеризованное; СТ – стерилизованное; П – пастеризованное молоко

В процессе исследования полученных электрофореграмм белковых комплексов, содержащих БСА, было показано наличие высокомолекулярных фракций, отчетливо проявляющихся в начале геля. При добавлении восстановителя – 2МЕ-вещества, восстанавливающего дисульфидные связи, полосы на данных участках исчезают, что говорит об участии в стабилизации таких комплексов тиол-дисульфидных взаимодействий. В результате нагревания молока до температур, соответствующих технологическим требованиям, между свободными тиоловыми группами белков происходят взаимодействия, приводящие к образованию белковых конъюгатов, что и было показано другими авторами [2].

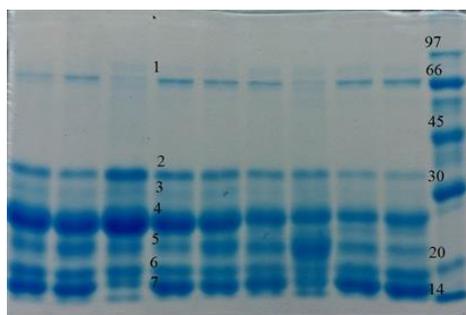


Рис. 2. Результаты исследования полос с помощью MALDI-TOF: 1 – БСА; 2 – α -S1-казеин (димер); 3 – β -лактоглобулин (димер); 4 – бета-казеин, прекурсор; 5 – бета-казеин; 6 – к-казеин; 7 – β -лактоглобулин (мономер); 97, 66, 45, 30, 20, 14 кДа – маркер молекулярных масс

Все комплексы содержали БСА, представленный на ЭФ-полосой с массой 66 кДа, однако, другие белковые полосы распределены неравномерно, особенно между различными выборками. Так, наиболее равномерно белки распределены в образцах комплексов, выделенных из ультрапастеризованного молока. Посредством MALDI-TOF анализа полос, проявившихся на ЭФ-комплексах, был выяснен качественный состав таких конъюгатов. Результаты представлены на рис. 2.

Комплексы, полученные из стерилизованного молока по своему качественному составу похожи на аналогичные из ультрапастеризованного, однако, в этой выборке встречаются образцы, сильно отличающиеся по составу от основной массы, например, СТ2, СТ6, СТ7, представленные, в основном 1-2 белковыми полосами, помимо БСА, включающими бЛг и казеин. С другой стороны, образцы УП13-УП15, являющиеся образцами топленого молока, показывают совершенно отличный ЭФ-профиль: комплексы, выделенные из такого молока, отличаются преобладанием высокомолекулярной фракции. 2МЕ не вызывает изменений ЭФ-профиля, что позволяет сделать вывод об отсутствии участия реакций тиол-дисульфидного взаимодействия в их стабилизации.

При сравнении содержания БСА в образцах по электрофореграмме, содержания такого белка в комплексах, полученных из ультрапастеризованного молока было намного выше, чем оно же в комплексах, выделенных из стерилизованного молока. Это также было подтверждено в иммуно-ферментном анализе с БСА в качестве аналита. Результаты количественного содержания БСА представлены в таблице.

Таблица. Результаты исследования содержания БСА методом ИФА

| Вид обработки | Количество образцов | Относительное содержание БСА мкг/мг комплексах |
|-----------------------|---------------------|--|
| Стерилизованное | 8 | 0,30±0,10 |
| Ультрапастеризованное | 8 | 0,90±0,15 |

В результате работы показано, что бычий сывороточный альбумин молока при термической обработке образует стабильные комплексы с бета-лактоглобулином и казеинами, однако не все из них стабилизированы тиол-дисульфидными взаимодействиями, что показано с помощью ЭФ. Процессы, включающие обработку температурами выше 100°C, приводят к формированию высокомолекулярных белковых комплексов с этим белком. С другой стороны, отмечено, что при стерилизации количество БСА в образуемых комплексах сильно снижается, по сравнению с ультрапастеризацией. Обе обработки используют температуры выше 100°C (115–120°C и 135–145°C соответственно), однако, стерилизация отличается намного большим временем выдержки, что может влиять на стабильность белковых агрегатов [3, 4].

Литература

1. Tomomori-Sato C. et al. Immunoaffinity Purification of Protein Complexes from Mammalian Cells // *Methods Mol Biol.* – 2013. – V. 977. – P. 273–287.
2. Wijayantiet H.B. et al. Stability of Whey Proteins during Thermal Processing: A Review // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.* – 2014. – V. 136. – P. 1235–1251.
3. Fang Qian et al Experimental and Modelling Study of the Denaturation of Milk Protein by Heat Treatment // *Korean J Food SciAnimResour.* – 2017. – V. 37(1). – P. 44–51.
4. Moriyama Y et al. Secondary structural change of bovine serum albumin in thermal denaturation up to 130°C and protective effect of sodium dodecyl sulfate on the change // *J. Chem B.* – 2008. – V. 112(51).

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----------|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| Байдакова М.В., Ситникова В.Е., Олехнович Р.О., Денисов Т.С. Методы получения и исследование свойств материалов на основе белкового гидролизата..... | 4 |
| Ворожцова Ю.С., Усманова Ф.Г. Разработка рецептуры жидкостей глушения С плотностью 1180–1350 кг/м | 8 |
| Геряинов Е.С., Карпов К.А. Изучение действия присадки МКФ-18НТ при жидкофазном окислении углеводородов..... | 12 |
| Иванов Р.О., Карпов К.А. Исследование действия многофункциональных присадок к бензинам..... | 15 |
| Маслова А.Ю., Сибирцев В.С., Видякина А.В. Оптико-электрохимическая микробиотестовая система анализа экологической безопасности различных территорий, промышленных и бытовых отходов, а также различной производственной продукции | 17 |
| Останин С.А. Прототропное поведение циклоалифатических полиуретанов и полимочевин, исследованное методом спектроскопии ЯМР | 22 |
| Прохорова В.А., Сибирцев В.С., Башарова К.С., Андреев А.А. Спектральное исследование изменений пространственной структуры белков в водных системах | 25 |
| Репинская Ж.А., Кузнецов Д.А. Тренерская деятельность в киберспорте: состояние и перспективы | 30 |
| Самуйлова Е.О., Волкова К.В., Успенская М.В. Исследование физико-механических свойств полимерных матриц, модифицированных бентонитом | 34 |
| Снетков П.П., Нигматуллина Р.И., Успенская М.В. Способы модификации гиалуроновой кислоты: обзор | 39 |
| Сухов А.И. Разработка схемы производства суперабсорбирующих полимеров на основе акриловых производных в водной среде | 44 |
| Антропова М.М. (Университет ИТМО), Семяшкина Ю.В. (Университет ИТМО), Сергеева Е.С. (Санкт-Петербургский государственный университет), Коржевский Д.Э. (Санкт-Петербургский государственный университет), Федотов Д.Ю. (Санкт-Петербургский государственный университет). Оптическое и гистологическое <i>in vivo</i> исследование лазерной микрораны при фракционном воздействии излучения 980 нм лазера на слизистую полости рта..... | 47 |
| Власова Е.А., Лутошина Д.С., Щедрина Н.Н. Адаптация технологии цветной лазерной маркировки для серебряных сплавов..... | 53 |
| Егорова Е.Е., Мамжиева М.А., Кривонос А.С. Исследование влияния параметров лазерного излучения на характеристики наночастиц Si/SiO ₂ | 56 |
| Льонг В.К., Романов В.В., До Т.Т., Антипенкова Д.А., Кутепова М.С. Разработка метода корректировки цвета металлов путем лазерного послойного наращивания оксидной пленки..... | 60 |
| Семяшкина Ю.В., Пихота Н.С. Исследование возможности создания светодиодного скальпеля. Моделирование эффективного узла ввода излучения в кварцевый световод | 64 |
| Яцук Р.М., Грачкова Е.Ю., Карлагина Ю.Ю., Авилова Е.А. Исследование влияния лазерного структурирования поверхности титана VT1-0 и стали AISI 304 на смачиваемость | 69 |
| Бененсон Е.А. Аналитический обзор систем и методов измерения угловых перемещений контролируемых объектов..... | 73 |
| Васильева А.В. Визуализация гамма-излучения с использованием твердотельного кремниевого фотоэлектронного умножителя и кодирующей апертуры | 77 |
| Васильева А.В., Медников С.В. Реализация системы визуализации гамма-излучения на основе твердотельного кремниевого фотоумножителя | 81 |

| | |
|---|-----|
| Климов А.А. Исследование влияния конструкции полупроводниковых лазеров с длиной волны излучения в диапазоне 0,8–1,6 мкм на их мощностные и пространственные характеристики..... | 84 |
| Комаров Д.Е., Рыжова В.А., Васильева А.В. Разработка стенда для измерения апертурных характеристик кремниевого фотоумножителя..... | 87 |
| Репин В.А. Реализация макета оптико-электронной системы с дискретным полем анализа на основе фотодиодов | 91 |
| Смирнов Л.В., Рыжова В.А., Гришканич А.С. Исследование состояния атмосферы в прибрежных районах методами лазерной локации | 95 |
| Файзуллин В.И., Сычева Е.В. Исследование погрешностей оптико-электронного прогибомера с единым матричным полем для многоточечного контроля профиля плавающего дока..... | 99 |
| Фам Н.Т., Тимофеев А.Н., Васильев А.С. Особенности контроля параметров быстро движущихся объектов | 103 |
| Евламьева Е.С. Практическая значимость комплексного подхода к разработке учебно-методической литературы по программам «эргономика зрительной деятельности» и «оптические офтальмологические приборы и системы»..... | 107 |
| Ежова В.В. Исследование и расчет квазиапланатической и квазиапланатической ахроматической линз | 112 |
| Кожина А.Д., Толстоба Н.Д., Романова Г.Э. Методика работы с параметрами асферических оптических поверхностей в различных САЕ-средах (программах для инженерных расчетов)..... | 116 |
| Конева Т.А., Романова Г.Э. Разработка компактной оптической схемы очков дополненной реальности | 120 |
| Лапкаев И.В., Ежова В.В., Жаров Д.Д., Злобин Д.А., Кожина А.Д. Результаты выполнения подготовительного этапа по разработке универсального стенда для базирования контрольных зеркал диаметром до двухсот миллиметров | 124 |
| Саминина В.С., Толстоба Н.Д. Разработка крепления оптической системы для шлема дополненной реальности | 128 |
| Белов В.С., Вимба И.А., Смирнов Ю.Ю. Исследование особенностей обеспечения безопасности апартаментов | 131 |
| Егорова А.М., Чеколовец А.С., Смирнов Ю.Ю. Исследование работы систем биометрической идентификации личности в местах массового скопления людей | 135 |
| Самохин Н.Ю., Булыкина А.Б., Ахмедзянова Р.Р. Данные по утилизации ресурсов виртуальной инфраструктуры. Запросы с помощью системы очередей сообщений..... | 139 |
| Соколовский А.С. Моделирование роста автокаталитических GaP нитевидных нанокристаллов | 142 |
| Касаткин А.Н. Исследование движения потоков воздуха при моделировании дыхания в твердотельной модели полости носа | 145 |
| Карпова М.В. (Университет ИТМО), Ростовский К.М. (ОАО «Авангард»). Разработка малогабаритных прецизионных цифровых преобразователей угла встраиваемого типа..... | 149 |
| Виирпалу Я.А., Иванова Е.С., Хусан П.Х. Методы производства биогаза..... | 151 |
| Воронцова Е.Н. Исследование влияния загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения города Ижевска | 154 |
| Долгих Н.Ю. Экологический мониторинг особо охраняемых природных территорий арктической зоны России | 156 |
| Желтышев М.А. Поверхностно-усиленное комбинационное рассеяние света (SERS) на наноразмерных структурах из полупроводниковых материалов | 160 |
| Казанцев А.О. Информационная безопасность в техносферной и экологической безопасности..... | 163 |

| | |
|---|-----|
| Костыгина А.А. Экономические аспекты перехода предприятий угольной промышленности на принципы наилучших доступных технологий..... | 165 |
| Медведь К.В., Шац К.О. Автоматизированные информационные системы контроля промышленных объектов..... | 168 |
| Медведь К.В., Шац К.О. Современные методы обеспечения промышленной безопасности в топливно-энергетическом комплексе: российский и зарубежный опыт (обзор)..... | 171 |
| Наталенко И.В. Разработка методики измерения температуры при калибровке мер ЭДС..... | 174 |
| Новикова К.А. Морфологическая структура филимоновского болотного комплекса большого соловецкого острова на основе лесоустроительных данных и материалов дистанционного зондирования..... | 178 |
| Орлова Е.К. Система совершенствования охраны труда на предприятии..... | 180 |
| Позднякова В.В. Проектирование системы ливневой канализации для кампуса брюссельского свободного университета..... | 182 |
| Ступников А.В. Современные представления об антропогенных изменениях экосистем западно-сибирской газоносной территории..... | 186 |
| Туркина К.А., Волжанкина О.В. Разработка мероприятий по улучшению условий труда на рабочем месте..... | 188 |
| Тюрикова Е.П. Методы флюоресцентной конфокальной микроскопии при исследовании биологических образцов..... | 191 |
| Шередека А.Ю. Средства индивидуальной защиты глаз..... | 194 |
| Дырдина В.Ю., Семёнов А.В., Табачков А.Г. Усовершенствование технологического процесса при изготовлении сложных оптико-механических компонентов..... | 198 |
| Закиров А.К., Иванов А.Н. Метод измерения линейных перемещений с помощью освещенного сферическим волновым фронтом раstra..... | 202 |
| Закиров А.К., Иванов А.Н. Измерение угловых и линейных перемещений объектов методом теневых проекций..... | 205 |
| Липецких А.А., Малашин Р.О. Современные методы распознавания жестов по мультимодальным данным..... | 208 |
| Николаева Ю.С. Вопросы изготовления и контроля главного параболического зеркала телескопа с высокоапертурной афокальной насадкой..... | 212 |
| Николаева Ю.С. Анализ принципиальных схем шлифовки (полировки) поверхностей, образованных вращением параболы..... | 216 |
| Поваров К.С., Митрофанов С.С. Анализ конструкции углового энкодера на базе фотоприемника «Мультискан»..... | 220 |
| Семёнов А.В., Табачков А.Г., Гнездилова М.С., Дырдина В.Ю. Исследование приборов для контроля качества оптических компонентов и оптико-механических сборок..... | 223 |
| Масюков М.С., Возианова А.В., Громов А.В., Красильников Н.И. Современные методы, материалы и технологии маскировки..... | 227 |
| Kalikina P.A., Solovov Y.V., Kassirov I.S. Investigation of phages activity by crosslinking with positively charged nanoparticles..... | 231 |
| Kassirov I.S. Model set-ups for biofilm understanding and programming: Flow-devices, monitors..... | 234 |
| Kiselev G.O., Krivoshapkin P.V. Synthesis of hafnium dioxide nanoparticles doped with rare-earth metals for application in the theranostics..... | 236 |
| Klestova A.O. Inkjet printing in liquid media..... | 239 |
| Loboda I.I. Cheap and portable monitor for measurement of oxygen concentrations in bacterial biofilms..... | 242 |
| Mosina K.S., Krivoshapkin P.V. Alumina systems for fire prevention and firefighting..... | 244 |

| | |
|--|-----|
| Paramonova A.P., Krivoshapkin P.V. Synthesis of the inorganic nanoparticles for nanobioarchitectonics purposes | 247 |
| Rumyantceva V.I., Dolbich V.A., Rumyantceva V.I. Antibacterial properties of doped silicon foams | 250 |
| Rumyantceva V.I., Rumyantceva V.I. Photoactivated antimicrobial activity of magnetite | 254 |
| Бучилина А.С., Волокитина Е.Н., Гунькова П.И. Влияние биозащитной культуры на срок хранения кисломолочного продукта | 257 |
| Исаченкова А.С. (Университет ИТМО), Данилов Н.П. (Санкт-Петербургский медико-социальный институт), Шлейкин А.Г. (Университет ИТМО). Технологические и медицинские аспекты применения микробной трансглутаминазы | 260 |
| Кольцов С.И. Кольца Лизеганга из цианурата меламина | 264 |
| Кольцова М.В., Бучилина А.С., Гунькова П.И. Показатели микробиологической безопасности творожного сыра из молока с различным содержанием соматических клеток..... | 267 |
| Ланчук Ю.В. Самоорганизация полиэлектролитов, совмещенная с химическими автокаталитическими реакциями | 271 |
| Шлейкин Н.Г. (Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины), Новожилова Е.Г. (Санкт-Петербургский медико-социальный институт), Бландов А.Н. (Санкт-Петербургский медико-социальный институт), Шлейкин А.Г. (Университет ИТМО). Нутритивные факторы профилактики остеопороза..... | 274 |
| Saparova V.B., Shtil A.A. The role of p53 activators for combined cancer treatment..... | 277 |
| Смирнов С.В. (Университет ИТМО), Морозова Н.Е. (НИК «НаноБио» СПбГПУ), Шлейкин А.Г. (Университет ИТМО), Ходорковский М.А. (НИК «НаноБио» СПбГПУ), Северинов К.В. (Сколтех). Влияние концентрации белков системы рестрикции-модификации Esp1396I в клетках <i>escherichia coli</i> на эффективность защиты от бактериофага | 279 |
| Тянутова М.И., Морозкина С.Н. Исследование реакции каталитического гидрирования ключевых интермедиатов в синтезе препаратов против рака молочной железы..... | 282 |
| Шаталов И.С., Шаталова А.С. Изучение состава БСА-содержащих белковых комплексов, выделенных из термически обработанного молока | 285 |

**АЛЬМАНАХ НАУЧНЫХ РАБОТ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО
Том 3**

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Дизайн обложки

Н.А. Потехина

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Редактор

Л.Н. Точилина

Подписано к печати 19.11.2018

Заказ № 4143

Тираж 100 экз.