

УДК 616.62-003.7-07

**РАЗРАБОТКА КОМПАКТНОГО ЛАЗЕРНОГО МУТНОМЕРА
ДЛЯ ДОМАШНЕГО МОНИТОРИНГА РИСКА МОЧЕКАМЕННОЙ БОЛЕЗНИ**

Тимофей Сергеевич Кондрашов⁽¹⁾, Альфия Рустамовна Юсупова⁽²⁾

*Специалист 6 курса⁽¹⁾, магистр 1 года⁽²⁾,
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»⁽¹⁾
кафедра «Биомедицинская безопасность»⁽²⁾
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.Е. Шупенев,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в
машиностроении», «Биомедицинская безопасность»*

Мочекаменная болезнь (МКБ) относится к числу наиболее распространённых урологических заболеваний и характеризуется высоким уровнем рецидивов и существенной экономической нагрузкой на систему здравоохранения. В настоящее время для оценки риска камнеобразования преимущественно используются 24-часовой анализ мочи, расчётные индексы пересыщения и инструментальные методы визуализации (компьютерная томография (КТ), ультразвуковые исследования (УЗИ) и др.), что требует посещения лаборатории, занимает значительное время и не подходит для регулярного домашнего мониторинга.

Цель работы – разработка компактного лазерного нефелометрического прибора, предназначенного для оценки антикристаллизационной активности мочи и предикции риска образования камней в домашних условиях и в малых лабораториях. В основе методики лежит регистрация кинетики кристаллизации оксалата кальция в условиях лабораторного анализа по изменению интенсивности рассеянного лазерного излучения во времени.

В рамках проекта проведён анализ оптических свойств кристаллов оксалата кальция и среды, численное моделирование рассеяния света по теории Ми и выбор оптимального спектрального диапазона 750–800 нм для работы прибора. Показано, что данный диапазон обеспечивает высокое соотношение сигнал/шум, снижает чувствительность к спектральным и геометрическим флуктуациям и сохраняет достаточную интенсивность рассеяния как для микронных кристаллов, так и для наноразмерных частиц.

Разработана архитектура прибора, включающая лазерный диод в диапазоне 750–800 нм, оптический тракт с интегрирующей сферой, фотодетектор BPW34 для регистрации рассеянного света и инфракрасный датчик MLX90614 для контроля температуры образца. Управление узлами и сбор данных осуществляет микроконтроллер ESP32-WROOM-32, обеспечивающий передачу результатов по WI-FI в мобильное приложение или на персональный компьютер. Сборка устройства из серийно доступных компонентов позволяет обеспечить себестоимость порядка 7,5 тыс. рублей при розничной цене около 20 тыс. рублей за прибор.

Для оценки чувствительности прибора проведено экспериментальное моделирование процесса кристаллизации кальций оксалата при различных концентрациях и температурных режимах. Показано, что измеряемая нефелометрическая кривая «интенсивность рассеяния – время» позволяет надёжно различать уровни кристаллизационной активности, соответствующие низкому, среднему и высокому риску камнеобразования. На основе полученных данных предлагается новый диагностический подход, основанный на лазерном оптическом

методе и совместимый с существующими лабораторными (например, BONN Risk Index).

Практическая значимость работы заключается в создании предпосылок для доступного домашнего мониторинга риска МКБ у пациентов с рецидивирующим течением заболевания и у лиц из группы риска. Использование компактного нефелометра в сочетании с мобильным приложением позволяет организовать регулярный скрининг, отслеживать динамику кристаллизационной активности и своевременно направлять пациента к врачу для коррекции терапии и образа жизни.

В дальнейшем планируется проведение расширенных клинических испытаний прибора на базе урологических отделений и пациентской ассоциации, оптимизация алгоритмов обработки сигналов и разработка программного обеспечения для интеграции с электронными медицинскими системами.

Литература

1. *Laube N. et al.* Determination of the calcium oxalate crystallization risk from urine samples: the BONN Risk Index in comparison to other risk formulas //The Journal of urology. – 2004. – Т. 172. – №. 1. – С. 355-359.
2. *Small C.* Development Of A Nephelometer For Characterization Of Calcium Oxalate Crystal Concentrations Within Solution. – 2024.
3. *Аполихин О. И. и др.* Нормативно-правовые возможности проведения метафилактики мочекаменной болезни в Российской Федерации //Экспериментальная и клиническая урология. – 2023. – №. 3. – С. 15-25.