

УДК 61.002(075.8)

# ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ПЕРСОНИФИЦИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА УСЛОВИЙ ТРУДА

**А.В. Богомолов**

*ГНЦ РФ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна*  
Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, д. 23  
E-mail: [a.v.bogomolov@gmail.com](mailto:a.v.bogomolov@gmail.com)

**М.Д. Алёхин**

*НПО «Электронное приборостроение»*  
Россия, 107014, Москва, 2-я Боевская ул., д. 2/10  
E-mail: [max.d.alekhin@gmail.com](mailto:max.d.alekhin@gmail.com)

**В.П. Дашевский**

*Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН*  
Россия, 199178, Санкт-Петербург, 14-я линия Васильевского острова, д. 39  
E-mail: [spiiran@iias.spb.su](mailto:spiiran@iias.spb.su)

**Ключевые слова:** мониторинг условий труда; факторы условий деятельности; беспроводная сенсорная сеть; комбинированное действие факторов; медицинская информатика; персонализированный гигиенический мониторинг.

**Аннотация:** Представлена архитектура и методическое обеспечение информационно-измерительной управляющей системы персонализированного мониторинга условий труда на основе санитарно-гигиенической паспортизации объектов – источников потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности и радиочастотной идентификации траектории работника в процессе деятельности, реализуемой с помощью беспроводной сенсорной сети.

## 1. Введение

Одной из приоритетных задач отечественного здравоохранения является сохранение здоровья и продления профессионального долголетия работников промышленных производств [1]. С этой целью необходимо обеспечить мониторинг физических факторов условий профессиональной деятельности, направленный на идентификацию неблагоприятных физических факторов условий деятельности в интересах установления причинно-следственных связей между воздействием факторов и здоровьем персонала [1, 2]. Реализация такого мониторинга сопряжена с необходимостью регулярного сбора и обработки большого объема информации. Поэтому большинство современных технологий гигиенического мониторинга ориентированы на использование ежегодных показателей, несмотря на то, что выраженные изменения индивидуального и популяционного здоровья, обусловленные влиянием физических факторов условий профессиональной деятельности, могут происходить за гораздо более короткие временные промежут-

ки [3]. Очевидно, что для обеспечения объективности мониторинга необходима автоматизация обработки его результатов, а для адресного формирования программ сохранения профессионального здоровья работников - персонификация.

Перспективным для реализации в системе персонифицированного мониторинга является подход, основанный на санитарно-гигиенической паспортизации объектов – источников потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности и радиочастотной идентификации траектории работника при выполнении задач профессиональной деятельности [4-6].

Реализация персонифицированного мониторинга условий труда на основе санитарно-гигиенической паспортизации объектов требует информации об интенсивностях потенциально опасных физических факторов, воздействующих на работника в каждый момент выполнения задач профессиональной деятельности. На основе полученной информации необходимо обеспечить расчет эффектов комбинированного воздействия нескольких потенциально опасных физических факторов, ведение гигиенического регистра доз физических факторов, полученных работником за любой интересующий период, а также решение задач мониторинга, оценивания и прогнозирования здоровья, работоспособности и надежности деятельности персонала с определением причинно-следственных связей между состоянием здоровья и воздействием факторов условий профессиональной деятельности.

Таким образом, задача персонифицированного мониторинга физических факторов условий профессиональной деятельности сводится к задаче обеспечения измерений уровней физических факторов в точках нахождения статических и динамических объектов мониторинга с последующей передачей результатов измерений в центр сбора, хранения и обработки данных [7]. Технологии решения поставленной задачи постоянно совершенствуются. Рубежным моментом, соответствующим современному уровню научно-технического прогресса, следует считать переход на использование цифровых технологий, в первую очередь – технологий беспроводных сенсорных сетей [8-10]. Поэтому актуальной является задача разработки и реализации системы персонифицированного мониторинга условий труда на основе беспроводной сенсорной сети.

## 2. Теоретическая часть

Основной особенностью беспроводной сенсорной сети является организация измерений уровней физических факторов в точках нахождения статических и динамических объектов мониторинга передачи результатов измерений в центр сбора, хранения и обработки данных по беспроводному протоколу (с использованием радиоканала) [8-10].

Объектами мониторинга являются:

а) статические объекты – источники потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности (например, промышленное оборудование);

б) динамические объекты – источники потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности (например, промышленное оборудование);

в) персонал – объекты, на которые воздействуют источники потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности (считаем, что профессиональная деятельность персонала связана со свободными, обусловленными необходимостью решения задач профессиональной деятельности перемещениями по территории).

Архитектура беспроводной сенсорной сети построена по топологии «активная звезда», в центре которой находится центр сбора, хранения и обработки данных, а сама

беспроводная сенсорная сеть представляет собой множество связанных радиоканалами и работающих по единому алгоритму узлов сети, устанавливаемых в заданных точках измерений. В рамках обеспечения персонализированного мониторинга физических факторов условий профессиональной деятельности беспроводная сенсорная сеть должна объединять три типа узлов сети: узел, закрепляемый на статических и динамических объектах – источниках потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности; узел, закрепляемый на персонале и узел-монитор.

Узел первого типа является активным узлом, объединяет параметрический регистратор, обеспечивающий распознавание режима функционирования источника физических факторов условий профессиональной деятельности, микропроцессор, приемник-передатчик и обеспечивающий их энергией автономный источник питания. Узел обеспечивает расчет в реальном времени интенсивности физического фактора, образующегося при функционировании источника (в зависимости от режима функционирования) в точке нахождения источника и передачу комбинации «идентификатор объекта – режим функционирования объекта» по радиоканалу в центр сбора, хранения и обработки данных.

Узел второго типа является пассивным узлом, представляющим собой транспондер (RFID- или Bluetooth-метка), закрепляемый на обмундировании (снаряжении) каждого работника перед началом выполнения профессиональной деятельности. Тип применяемых транспондеров (по рабочей частоте, по источнику питания, по типу памяти, по исполнению) выбирают в зависимости от специфики организаций (структурных подразделений) и от специфики профессиональной деятельности работника. В частности, за работником может быть закреплен уникальный идентификатор (для использования работником изготавливается один или несколько транспондеров с уникальным идентификатором) или же транспондер может выдаваться работнику перед началом деятельности (в этом случае идентификатор транспондера каждый раз связывается с конкретным работником).

Узел третьего типа является активным узлом, объединяет считыватель транспондеров, микропроцессор, приемник-передатчик и обеспечивающий их энергией автономный источник питания. Узел обеспечивает фиксацию в реальном времени перемещения транспондеров (в плоскости рабочих помещений) и передачу комбинации «идентификатор объекта – точка нахождения объекта» по радиоканалу в центр сбора, хранения и обработки данных.

В рабочем режиме с заданной дискретностью или в реальном времени в центр сбора, хранения и обработки данных поступает информация с узлов первого и третьего типов. В центре сбора, хранения и обработки данных выполняется:

1. Расчет полей физических факторов в каждой точке производственного помещения в каждый момент времени по информации с узлов первого типа (вид и режим функционирования источника физических факторов), на основе: априорной информации о полях физических факторов, соответствующих режиму функционирования каждого источника физических факторов; известных препятствий в распространении полей физических факторов (места расположений и характеристики экранирующих конструкций, архитектурные и конструктивные особенности производственных помещений и т.п.); погодных-климатических условий и т.п. Таким образом, становятся известными уровни физических факторов в каждой точке производственных помещений.

2. Определение уровней физических факторов, воздействующих на работника в каждый момент времени с учетом: траекторий перемещения работника в течение смены (согласно п. 1 известны уровни физических факторов в каждой точке производственных помещений); характеристик средств индивидуальной защиты, применяемых работником.

3. Расчет эффектов комбинированного воздействия нескольких потенциально опасных физических факторов [11], ведение гигиенического регистра с определением доз физических факторов, накопленных за любой интересующий период, а также решение задач социально-гигиенического мониторинга: наблюдение, анализ, оценивание и прогнозирование изменений здоровья, работоспособности и надежности деятельности персонала с определением причинно-следственных связей между состоянием здоровья и воздействием факторов условий профессиональной деятельности для своевременного принятия мер по устранению (минимизации) потенциально опасного воздействия.

Беспроводной характер связи узлов беспроводной сенсорной сети и миниатюрность узлов второго типа обеспечивает новые возможности мониторинга физических факторов условий профессиональной деятельности человека. Однако использование беспроводной сенсорной сети, наряду с преимуществами, порождает, как минимум, две актуальные проблемы.

Первая из них связана с возможностью потери части результатов измерений при их передаче в центр сбора, хранения и обработки данных из-за разрывов беспроводных связей между узлами и центром сбора, хранения и обработки данных вследствие помех, обусловленных работой промышленного оборудования, и возможностей попадания работника в «мертвую зону». Эта проблема должна решаться с помощью методов аппроксимации и интерполяции, а также с применением технологий накопления и резервирования информации.

Вторая проблема связана с необходимостью экономного расхода энергии автономных источников питания узлов первого и третьего типа для повышения времени их функционирования. Эта проблема решается за счет перевода работы узлов на дискретный режим, в котором активные фазы чередуются с пассивными (когда узлы работают с пониженным энергопотреблением), при обеспечении синхронизации шкал времени внутренних часов узлов сети [11-14].

Успешное решение названных проблем обеспечит реализацию потенциальных возможностей беспроводной сенсорной сети при построении систем мониторинга объектов обслуживания с изменяемой конфигурацией.

### **3. Практическая значимость и результаты экспериментальных исследований**

Практическая значимость теоретических положений оценена по результатам моделирования системы персонифицированного мониторинга условий труда на основе беспроводной сенсорной сети для работников предприятия авиационной промышленности. Основным потенциально опасным физическим фактором условий профессиональной деятельности представителей этой профессиональной группы является промышленный шум: из 45 основных профессий авиационной промышленности условия труда представителей 19 из них относят к вредным [1, 3, 7, 11]; профессиональные и профессионально обусловленные заболевания выявлены у 91% персонала авиационной промышленности, причем у большинства (свыше 75%) из них установлена сочетанная патология двух и более систем организма [15].

Результаты моделирования показали, что разработанная технология позволяет решить задачу персонифицированного мониторинга условий труда предприятия авиационной промышленности с качеством, удовлетворяющим потребностям практики. Реализация разработанной технологии впервые обеспечивает возможность реализации мониторинга акустической безопасности деятельности персонала в интересах оценивания

и прогнозирования изменений здоровья, работоспособности и функциональной надежности, обусловленных действием производственного шума, а также обоснования необходимости разработки и реализации мероприятий по устранению (минимизации) потенциально опасного воздействия производственного шума.

## 4. Заключение

Реализация системы персонифицированного мониторинга условий труда на основе беспроводной сенсорной сети, санитарно-гигиенической паспортизации объектов – источников потенциально опасных физических факторов и идентификации траектории работника при выполнении задач профессиональной деятельности позволяет обеспечить объективность и персонификацию мониторинга с минимальными затратами на сбор информации о дозах потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности, получаемых работниками, что имеет существенное значение для обеспечения надежной деятельности и сохранения здоровья работников промышленных производств и позволяет обеспечить решение задач персонифицированного гигиенического мониторинга на отраслевом, региональном и федеральном уровне.

## Список литературы

1. Ушаков И.Б., Богомолов А.В. Информатизация программ персонифицированной адаптационной медицины // Вестник Российской академии медицинских наук. 2014. Т. 69, № 5-6. С. 124-128.
2. Карпов О.Э., Назаренко Г.И., Осипов Г.С. Автоматизированное проектирование медицинских технологических процессов: некоторые основные принципы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 8-5. С. 699-702.
3. Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Драган С.П., Солдатов С.К. Методологические основы персонифицированного гигиенического мониторинга // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51, № 6. С. 53-56.
4. Крысов И.С., Сердюк В.С. Индикаторы условий труда как элемент мониторинга // Динамика систем, механизмов и машин. 2009. № 3. С. 345-350.
5. Ронжин А.Л., Басов О.О., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Концептуальная и формальная модели синтеза киберфизических систем и интеллектуальных пространств // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 11. С. 897-905.
6. Назаренко Г.И., Клейменова Е.Б., Ладохин И.А., Матросова Е.В., Фомин А.А., Туров М.А., Пающик С.А., Кашевская О.П., Яшина Л.П. Перспективы использования системы радиочастотной идентификации для нормирования труда и экономического управления медицинским персоналом многопрофильной больницы // Врач и информационные технологии. 2014. № 5. С. 69-77.
7. Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Автоматизация персонифицированного мониторинга условий труда // Автоматизация. Современные технологии. 2015. № 3. С. 6-8.
8. Терентьев М.Н. Обзор публикаций, посвящённых самоорганизации беспроводных сенсорных сетей // Труды МАИ. 2017. № 94. С. 28.
9. Санталов Г.Д., Артемьев Б.В. Беспроводные сенсорные сети с централизованной обработкой данных // Информационные технологии. 2018. Т. 24, № 5. С. 299-305.
10. Бузюков Л.Б., Окунева Д.В., Парамонов А.И. Проблемы построения беспроводных сенсорных сетей // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3, № 1. С. 5-12.
11. Ушаков И.Б. Комбинированное воздействие факторов среды на человека // Экология человека. 1996. № 1. С. 61.
12. Захарьин А.А. Математическое моделирование синхронизации времени в беспроводных сенсорных сетях // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2017. № 20. С. 141-145.
13. Верзун Н.А., Колбанев М.О., Советов Б.Я., Яшин А.И. Методы сбора данных с сенсорных узлов беспроводной сенсорной сети // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2018. Т. 5. С. 55-60.

14. Гладких А.А., Наместников С.М., Пчелин Н.А. Повышение достоверности данных в системе беспроводных сенсорных сетей // Автоматизация процессов управления. 2017. № 4 (50). С. 101-107.
15. Жданько И.М., Зинкин В.Н., Солдатов С.К., Богомолов А.В., Шешегов П.М. Фундаментальные и прикладные аспекты профилактики неблагоприятного действия авиационного шума // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48, № 4. С. 5-16.