

РАДИОФОТОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПАЦИЕНТА НА КРОВАТИ. ФОТОННАЯ ЧАСТЬ

P.M. Муратов, A.A. Силантьева

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ
Российская Федерация, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Аннотация. Представлена радиофотонная система контроля положения пациента на кровати, предназначенная для предотвращения падений во время реабилитации. Система основана на использовании консольных датчиков с двухкомпонентными адресными волоконными брэгговскими структурами (АВБС), размещёнными вдоль матраса.

Ключевые слова: волоконно-оптические датчики; адресные волоконно-брэгговские структуры; волоконные брэгговские решетки; контроль положения пациента.

Введение

Падения пациентов с кровати во время реабилитации представляют серьёзную проблему в медицинских учреждениях. Существующие системы мониторинга положения пациента часто недостаточно точны или сложны в эксплуатации. В данной работе представлена радиофотонная система на основе волоконно-оптических датчиков, обеспечивающая непрерывный контроль положения пациента с высокой точностью и надёжностью.

Материалы и методы

Для предупреждения падения с кровати пациентов, проходящих реабилитацию, вдоль матраса расположен ряд датчиков консольного типа, сверху и снизу которых закреплены двухкомпонентные адресные волоконные брэгговские структуры (АВБС) [1,2]. На рисунке 1,а упрощенно приведен спектральный отклик двух параллельных АВБС в невозмущенном состоянии (без давления пациента, находящегося не на краю кровати), для верхней пары (сплошная линия) и нижней пары (штрих-пунктирная линия), соответственно с центральными $\omega_{B1,2} = \omega_{B3,4}$ и адресными $\Delta\omega_{B1,2} \neq \Delta\omega_{B3,4}$ частотами.

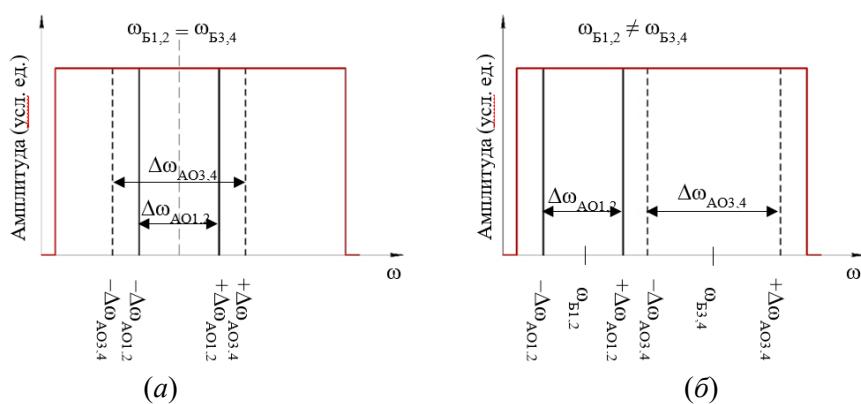


Рис. 1. Упрощенная спектральная характеристика отклика верхней и нижней АВБС:
в невозмущенном состоянии (а) и при воздействии пациента (б)

На рисунке 1,*б* приведен спектральный отклик этих же двух пар при возникновении силы \mathbf{F} – при расположении пациента в зоне датчика. Это объясняется тем, что нагрузка на датчик приводит к увеличению периода компонент АВС_{1,2} за счет растяжения и уменьшению периода компонент АВС_{3,4} за счет сжатия.

В случае такого расположения верхней и нижней АВС в области полосового фильтра ПФ световой поток на входе ФД представляет собой (рис.1,*б*) отклик составляющих, формирующих адресные частоты $\Delta\omega_{A01,2}$ и $\Delta\omega_{A03,4}$:

$$\begin{aligned} S(t) = & T_{R1,2} \sin[(\omega_{B1,2} - \omega_{A01,2}/2)t + \phi_{B1,2-A01,2}] \\ & + T_{R1,2} \sin[(\omega_{B1,2} + \omega_{A01,2}/2)t + \phi_{B1,2+A01,2}] + \\ & + T_{R3,4} \sin[(\omega_{B3,4} - \omega_{A03,4}/2)t + \phi_{B3,4-A03,4}] \\ & + T_{R3,4} \sin[(\omega_{B3,4} + \omega_{A03,4}/2)t + \phi_{B3,4+A03,4}], \end{aligned} \quad (1)$$

где $T_{R1,2} = T_{R3,4}$ – амплитуды составляющих, формирующих адресную основную частоту в режиме пропускания, при этом в общем случае $T_{R1,2}$ и $T_{R3,4}$ могут быть не равны; $\phi_{B1,2\pm A01,2}$ и $\phi_{B3,4\pm A03,4}$ – их фазы.

Для реализации радиофотонного опроса указанные составляющие должны пройти оптический фильтр с наклонной линейной характеристикой (ОФНЛХ):

$$L(\omega) = q\omega + b, \quad (2)$$

где параметры угла наклона q фильтра и смещения его центральной частоты b , выбираются, исходя из параметров измерительной системы, и считаются известными. Изменение спектральных характеристик откликов двух АВС, прошедших через ОФНЛХ, приведены на рисунке 2.

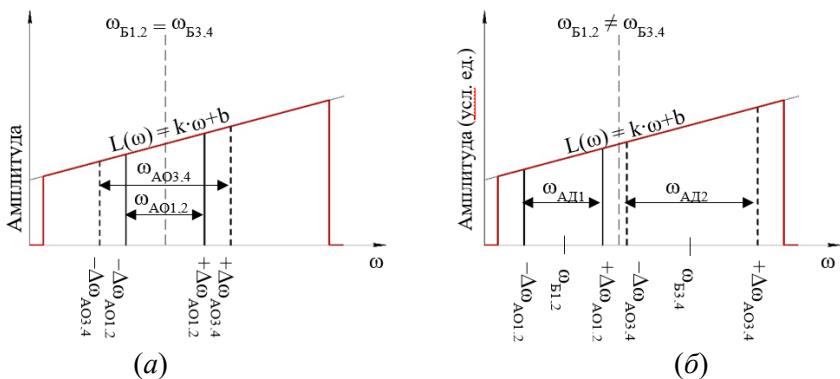


Рис. 1. Упрощенная спектральная характеристика отклика верхней и нижней АВС после ОФНЛХ: невозмущенное состояние (*а*); при воздействии пациента (*б*)

Таким образом, амплитуды $T_{R1,2}$ и $T_{R3,4}$ адресных составляющих изменятся в соответствии с их смещением по оси частот, при этом $T'_{R1,2} \neq T'_{R1,2+} \neq T'_{R3,4} \neq T'_{R3,4+}$. На выходе фотоприемника оцифруем огибающую биений полученных сигналов по показаниям двух программных фильтров на адресных частотах биений $\Delta\omega_{A01,2}$ и $\Delta\omega_{A03,4}$, и определим положение $\omega_{B1,2} \neq \omega_{B3,4}$.

Тогда получим разность центральных брэгговских частот как функцию давления пациента, выраженную через силу, приложенную к консольному датчику:

$$\omega_{B1,2} - \omega_{B3,4} = \Phi(\mathbf{F}) = \frac{M_{B1,2}}{M_{B3,4}}, \quad (3)$$

где $M_{B1,2}$ и $M_{B3,4}$ – коэффициенты модуляции для огибающих биений адресных составляющих первой и второй АВБС. Все датчики объединены в радиофотонную систему и мультиплексированы по адресным частотам.

Заключение

Разработана фотонная часть радиофотонной системы контроля положения пациента на кровати. Система на основе адресных волоконных брэгговских структур и оптического фильтра с наклонной линейной характеристикой позволяет точно определять положение пациента и предупреждать его падение. Предложенная методика обработки сигналов обеспечивает высокую чувствительность и надёжность системы, что делает её перспективной для применения в медицинских реабилитационных учреждениях.

Благодарность

Авторы выражают благодарность за научное руководство профессору кафедры радиофотоники и микроволновых технологий КНИТУ-КАИ Морозову О.Г.

Список литературы

1. Морозов, О.Г. Адресные волоконные брэгговские структуры в квазираспределённых радиофотонных сенсорных системах / О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43. – № 4. – С. 535-543.
2. Мисбахов, Р.Ш. Комбинированные двухкомпонентные многоадресные волоконные брэгговские структуры / Р.Ш. Мисбахов, Е.В. Куликов, В.И. Артемьев и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2024. – № 2 (62). – С. 57-73.
3. Мисбахов, Р.Ш. Радиофотонные квазираспределенные адресные сенсорные системы мониторинга и технического диагностирования состояния трубопроводов электростанций / Р.Ш. Мисбахов, Е.В. Куликов, В.И. Артемьев и др. // Электроника, фотоника и киберфизические системы. – 2025. – Т. 5. – № 2. – С. 52-68.

MICROWAVE PHOTONIC SYSTEM FOR MONITORING THE PATIENT'S POSITION ON THE BED. THE PHOTONIC PART

R.M. Muratov, A.A. Silantieva

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI
10, K. Marx St., Kazan, 420111, Russian Federation

Absrtact. A microwave photonic system for monitoring a patient's position on a bed is presented, designed to prevent falls during rehabilitation. The system is based on cantilever sensors with two-component addressable fiber Bragg structures (AFBS) placed along the mattress

Keywords: fiber-optic sensors; addressable fiber-Bragg structures; fiber-Bragg gratings; patient position monitoring.

Статья представлена в редакцию 22 декабря 2025 г.