



А.А. Порунов, М.М. Тюрина, Д.Р. Абдрахимова

## СТРУКТУРНОЕ ПОСТРОЕНИЕ КАНАЛА ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПАСНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ МАТЬ-ПЛОД

(Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева)

Среди перспективных направлений совершенствования систем идентификации опасных ситуаций (ИОС) в процессе родовспоможения следует выделить возможность введения в их структуру элементов искусственного интеллекта, которые позволяют более успешно решать задачу адаптации структуры и параметров систем ИОС к случайным изменениям структуры потоков информации о параметрах состояния роженицы, поступающих от объекта наблюдения – системы мать-плод (СМП). Переход к многоканальному принципу построения систем ИОС, реализованных в рамках акушерского монитора с расширенными функциональными возможностями [1-3] требует разработки новых методов и алгоритмов обработки массива первичных информативных сигналов.

Особое значение при разработке программно-алгоритмического обеспечения работы системы ИОС является реализация концепции идентификации момента приближения дистосии на основе метода «эталонной модели» [4-5], суть которого состоит в текущем контроле отклонения параметров состояния СМП от математической модели этой системы (по результатам оценки сократительной деятельности матки), полученной на основе предварительных диагностических исследований, проведенных во время последнего триместра. Структурная схема взаимодействия системы СМП с информационными каналами цифровой обработки в рамках предложенной концепции построения акушерского монитора представлена на рис.1.

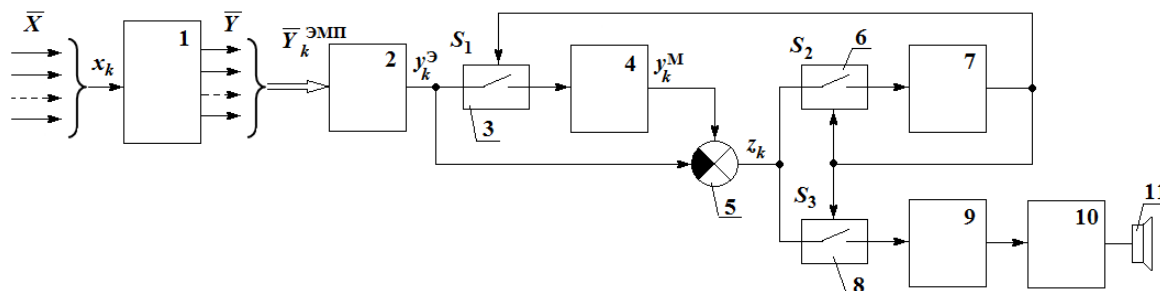


Рис. 1. Структурная схема канала идентификации опасных ситуаций (момента возникновения слабости родовой деятельности) на основе метода эталонной модели:  $X$  – массив входных сигналов (параметры окружающей среды),  $Y$  – массив параметров состояния СМП (сигналы от ЭКГ-м, ЭКГ-п, ЭхКГ-п, ЭЭГ-м, ЭГГ-м, СД-м) [3]; 1 – СМП; 2 – блок датчиков и цифровой обработки сигналов о параметрах состояния СМП; 3, 6, 8 – ключи  $S_1, S_2, S_3$ ; 4 – эталонная модель; 5 – элемент сравнения, формирующий оценку отклонения  $z_k$  параметров эталон-



ной модели  $y_k^M$  от текущих параметров состояния СМП –  $y_k^Э$ ; 7 – анализатор оценки порогового уровня отклонения  $z_k$  (компаратор, управляющий состоянием ключей  $S_1, S_2, S_3$ ; 9 – вычислитель критерия ошибки  $I(a, b)$ ; 10 – монитор; 11 – звуковой сигнализатор превышения порогового значения  $I(a, b)$ .

Идентификацию параметров СМП, которую можно отнести к динамическим объектам [4,5], принято осуществлять по результатам наблюдений за параметрами состояния физиологических систем роженицы, являющихся входными и выходными сигналами. Связь между этими сигналами может быть представлена в виде некоторой эталонной модели, оптимальной по выбранному критерию. Выбор такой модели является одним из наиболее ответственных этапов, в значительной степени определяющий эффективность решаемой задачи, например, идентификации момента приближения слабости родовой деятельности. Сравнительный анализ известных моделей [6], позволил выбрать тип модели: параметрические модели, к которым принято относить математическое описание на основе внутренней структуры или состояния СМП. Возможность синтеза внутренней структуры канала идентификации опасных ситуаций СМП обуславливает широкие возможности применения параметрических моделей для описания динамики процессов протекающих при родовой деятельности.

Рассмотрим задачу идентификации СМП в виде динамического объекта. Эта система в рамках класса параметрических моделей может быть описана в виде линейного разностного уравнения:

$$y_k = \sum_{j=0}^M b_j x_{k-j} - \sum_{i=0}^N a_i y_{k-i}, \quad (1)$$

где  $x_k = x(t_k)$ ,  $y_k = y(t_k)$  – дискретные отсчеты входного и выходного сигнала СМП соответственно, взятые в моменты времени  $t_k = k\Delta t$ , (например, параметры сократительной деятельности матки);  $a_i, b_j$  – параметры уравнения состояния СМП. Вариант структурного построения математической модели идентификации процессов, протекающих в СМП при родовспоможении, приведен на рис.2.

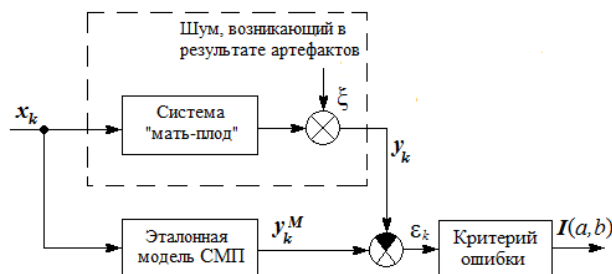


Рис. 2. Структурная схема математической модели идентификации:

$y_k^M$  – выходной сигнал модели, отражающий, например, процессы, протекающие при сократительной деятельности матки;  $x_k, y_k$  – входные и выходные сигналы объекта идентификации отклонений в сократительной родовой деятель-



ности, проходящей в СМП;  $\varepsilon_k$  – ошибка идентификации;  $I(a, b)$  – выбранный критерий.

Идентификация сводится к решению уравнения минимизации выбранного критерия качества (например, вероятности пропуска момента приближения слабости родовой деятельности), т. е. определению оценок  $\hat{a}_i, \hat{b}_i$  параметров  $a_i, b_j$  модели, которые соответствуют наименьшему значению выбранного критерия качества  $I(a, b)$  в допустимой области параметров  $A, B$ :

$$\hat{a}, \hat{b} : I(\hat{a}, \hat{b}) = \min_{\substack{a \in A \\ b \in B}} I(a, b). \quad (2)$$

В указанном смысле задача идентификации ставится как задача минимизации функционала:

$$I(a, b) = \sum_{k=1}^K e_k^2 = \sum_{k=1}^K (y_k - y_k^M)^2, \quad (3)$$

где  $y_k = y(t_k)$  – дискретные отсчеты выходного сигнала объекта идентификации в момент времени  $t_k = k\Delta t$ .

Используя евклидову норму вектора, функционал (2) можно записать в виде [6]:

$$I(a, b) = \|y - y_M\|_E^2, \quad (4)$$

где  $y^T = [y_1, y_2, \dots, y_k]$  –  $K$ -мерный вектор дискретных отсчетов  $y_k$  выходного сигнала объекта;  $y_M$  –  $K$ -мерный вектор дискретных отсчетов модели;  $T$  – символ транспортирования.

Общее решение для поставленной задачи минимизации функционала (4) требует записи, вектора отсчетов  $y_M$  массива выходных сигналов модели (1) в матричной форме [7]:

$$y_M = X \cdot b - Y \cdot a, \quad (5)$$

где  $X$  – матрица размером  $N \times M + 1$ ;  $Y$  – матрица размером  $N \times M$ ;  $a^T = [a_1, a_2, \dots, a_N]$  –  $N$ -мерный вектор параметров  $a_i$ ;  $b^T = [b_1, b_2, \dots, b_M]$  –  $M+1$ -мерный вектор параметров  $b_j$ . Очевидно, что если для  $k \leq 0$  отсчеты  $y_k = 0$  и  $x_k = 0$ , то случай  $K \leq N$  соответствует переходному процессу для заданных начальных условий, а случай  $K > N$  соответствует установившемуся процессу.

С учетом уравнения (5) функционал (4) можно записать как

$$I(a, b) = [y - X \cdot b + Y \cdot a]^T I [y - X \cdot b + Y \cdot a], \quad (6)$$

где  $I$  – единичная матрица размером  $N \times N$ .

Процедуру минимизации (2) функционала (6) принято выполнять на основе решения экстремальной задачи [6]:



$$\begin{cases} \frac{\partial I(a,b)}{\partial a_i} = 0 \\ \frac{\partial I(a,b)}{\partial b_i} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Решив систему (7) и представив ее в терминах корреляционных характеристик входного и выходного сигналов СМП систему уравнений для определения критерия  $I(a,b)$  оценки степени отклонений текущих параметров СМП от параметров ее эталонной модели можно представить следующим образом

$$\begin{cases} R_y[k] = \sum_{j=k}^M b_j R_{xy}[k-j] - \sum_{i=k}^N a_i R_y[k-i], \quad k = 1, 2, \dots, N; \\ R_{xy}[-k] = \sum_{j=k}^M b_j R_x[k-j] - \sum_{i=k}^k a_i R_{xy}[-k-i], \quad k = 0, 1, \dots, M, \end{cases} \quad (8)$$

где  $R_x[k]$  – автокорреляционная функция дискретных отсчетов  $x_i$  входного сигнала;  $R_y[k]$  – автокорреляционная функция дискретных отсчетов  $y_i$  выходного сигнала;  $R_{xy}[k]$  – взаимокорреляционная функция отсчетов входного и выходного сигнала.

Алгоритм работы канала системы идентификации момента возникновения слабости родовой деятельности, разработанный на базе критерия (8), позволяет проводить оперативный автоматизированный расчет оценок параметров  $a_i$  и  $b_j$  модели (1) для различных типов выходных сигналов СМП, используя лишь информацию об автокорреляционных функциях входных и выходных сигналов системы. Разработанная структурная схема эталонной модели СМП позволит решать задачу идентификации момента приближения слабости родовой деятельности по результатам оценки отклонений параметров сократительной деятельности матки от параметров эталонной модели, и тем самым снизить риск неблагоприятного исхода родов.

### Литература

1. Пушкова А.С., Пороунов А.А., Тюрина М.М. Разработка принципов и схем построения отечественного акушерского монитора нового поколения. // Труды Международной НПК «Научные аспекты современных исследований». – Уфа, 2015. – С.46-51.
2. Пушкова А.С., Пороунов А.А., Тюрина М.М. Аналитическое обоснование состава и структуры многоканальной системы автоматизированного мониторинга процессов родовспоможения. // Sciences of Europe (Прага), Vol 2. – №6, 2016. – С.42-44.
3. Патент на изобретение РФ № 2568254 20.11.2015 (по заявке 2014106016/14 от 18.02.2014). «Устройство контроля и прогнозирования состояния системы «мать-плод» в процессе родовспоможения»/Авт. Пороунов А.А., Тюрина М.М., Пушкова А.С. Оpubл. в бюл. № 32, 2015.



4. Штейнберг Ш.Е. Идентификация в системах управления. М.: Энергоатомиздат, 1987. – 80с.
5. Дейч А.М. Методы идентификации динамических объектов. М.: Энергия, 1979. – 240с.
6. В.П. Шкодырев корреляционный метод идентификации на основе параметрических моделей. // // Сб. науч. трудов "Датчики систем измерения, контроля и управления", Пенза, 1988. – С. 68-72.
7. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. 5-е изд. – М.: Физматлит, 2004. – 560 с.

О.В. Пищулина<sup>1</sup>, Л.С. Зеленко<sup>1</sup>, А.В. Кругомов<sup>2</sup>

## РАЗРАБОТКА КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЙ ВЕРСИИ МЕДИЦИНСКОГО КАЛЬКУЛЯТОРА ДЛЯ РАСЧЕТА ПЕРИОПЕРАЦИОННЫХ РИСКОВ

(<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королёва,  
<sup>2</sup>Самарский государственный медицинский университет)

С каждым годом в России увеличивается количество проводимых операций. Пациенты, которым при лечении выполняют хирургические вмешательства, подвергнуты значительным рискам сердечно-сосудистых заболеваний. В свою очередь, сердечно-сосудистые заболевания выходят на первое место среди причин смертности. Поэтому одной из наиболее важных проблем современной медицины являются периоперационные осложнения со стороны сердечно-сосудистой системы пациента.

Облитерирующий атеросклероз сосудов нижних конечностей (ОАСНК) – поражение крупных сосудов атеросклеротическим процессом, ведущим к их постепенному сужению и нарушению кровообращения. В структуре заболеваний сердечно-сосудистой системы ОАСНК составляет до 20% [1]. Выбор оперативного вмешательства у пациентов с ОАСНК обусловлен желанием получить наилучший отдалённый результат. Однако выполнение оптимального способа реваскуляризации сопряжено с рисками периоперационной заболеваемости и смертности. Прогнозирование этих рисков позволяет избежать необоснованных вмешательств.

На сегодняшний день авторами разработано несколько версий системы «Медицинские калькуляторы для расчета периоперационных рисков»: настольное приложение и мобильные приложения на платформе Android и Windows Phone, они позволяют рассчитать числовые показатели рисков возникновения различных осложнений, которые могут проявиться на этапе подготовки операции, во время ее проведения и после ее окончания, то есть в периоперационном периоде [1].

Комплекс программ позволяет пользователям рассчитать медицинские показатели по семнадцати шкалам и индексам, для этого необходимо предварительно заполнить анкету. Данные, которые заполняет пациент при анкетирова-