

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

*В Інституті кібернетики розроблено автоматичне уст-
ройство візуалізації процесів в
сердечно-сосудистій системі че-
ловека, дозволяюче в реальному
часі відображати циклограм-
ми роботи серцевої м'язи і
швидкості потоку крові в судинах.*

© А.Д. Бех, В.В. Чернецкий,
В.В. Елшанский, 2005

УДК 681.335

А.Д. БЕХ, В.В. ЧЕРНЕЦКИЙ, В.В. ЕЛШАНСКИЙ

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ В СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЕ

Путь к объективному знанию всех существенных для жизни человека свойств объектов и явлений природы проходит через субъективное знание, которое является условным, приближенным, неточным [1–3]. Например, на смену субъективному знанию устройства планетарной системы Птолемея пришло объективное знание Коперника. Существенным для человека знанием является понимание физических процессов, которые происходят в его сердечно-сосудистой системе. Поэтому следует потребовать, чтобы оно было объективным, поскольку качество диагностики и лечения заболеваний невозможны без достоверного знания устройства и функционирования органов и систем человека. Субъективным является существующее представление о процессах движения крови по цепи, которая начинается от желудочка сердца и заканчивается предсердием. В соответствии со сложившимися субъективными предположениями утверждается, что, несмотря на порционное выбрасывание крови из желудочка в этой цепи, частицы крови все же движутся постоянно и непрерывно на интервале времени между двумя ударами сердца. Если ставится задача адекватно отобразить характер движения крови посредством физических моделей, то следует выбирать между планетарным движением с почти постоянной скоростью и прерывистым движением, на пример трамвая, скорость которого уменьшается до нуля перед каждой остановкой, – последующим ударом сердца.

Сердечно-сосудистая система предназначена для выполнения транспортной функции

доставки частиц крови к каждой клетке организма и обеспечивает пространственно-временную реализацию главных физических и физиологических процессов в теле человека: поддержание стабильной температуры, взаимодействие атомов крови с атомами клеток, питание двигательной системы человека энергией. Эти процессы определяют жизнедеятельность человека. Поэтому необходимо располагать точно измеренными главными динамическими параметрами его сердечно-сосудистой системы.

Оптимальным является неинвазивное измерение мгновенных значений давления частиц крови на стенки сосудов в выбранной точке, расположенной близко к поверхности тела. В связи с тем, что кровь является несжимаемой жидкостью, существует возможность по измеренному давлению точно вычислять скорость движения частиц крови в артериальных и венозных сосудах.

Достоверное представление или истинный характер движения может дать только эксперимент, состоящий в прямом приборном измерении физических параметров потока крови с их последующим отображением. Возникает вопрос: является ли знание физических законов механического движения достаточным для того, чтобы считать существующее представление об истинном движении крови объективным, а усилия по прямому измерению ее движения оправданными?

Движение крови в сосудах происходит в соответствии с законами механики. Известен второй закон Ньютона:

$$F = ma, \quad (1)$$

где F – сила, созданная желудочком и действующая на поток крови массой m ; a – ускорение.

$$a = \frac{dv_k}{dt}. \quad (2)$$

Здесь v_k – мгновенная скорость движения частиц крови.

Подставив (2) в (1), получим

$$Fdt = mdv_k. \quad (3)$$

Перейдем от дифференциала скорости к интегралу.

На основании (3) скорость потока крови как функция времени

$$v_k(t) = \frac{1}{m} \int_0^t F(t)dt. \quad (4)$$

Пределы интегрирования силы $F(t)$ взяты на интервале времени, который начинается в момент сокращения мышцы желудочка $t=0$ и продолжается на периоде работе сердца T . Если $v_k(T)=0$, т.е. когда интеграл сходится к нулю, то кровь в сосуде движется не непрерывно, а прерывисто – толчками. Следовательно, движение крови прерывисто.

Вывод о прерывистом движении крови следует также из процесса измерения статического давления по Короткову, когда звук в фонендоскопе отождествляется со скоростью движения крови в сосудах. Окончательное решение задачи

о характере движения крови может быть получено при условии, что будет измерен процесс

$$F(t) = SP_k(t),$$

где S – сечение сосуда; $P_k(t)$ – давление, создаваемое сердцем и воздействующее на поток крови.

До последнего времени прямая регистрация процесса $P_k(t)$ была невозможна, потому, что не были созданы средства измерения давления требуемой чувствительности и быстродействия. Аппаратное измерение процесса $P_k(t)$ может быть выполнено цифровым микрофоном давления, имеющим цифровую чувствительность, существенно более высокую, чем стандартный порог слышимости $P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$, и частоту измерений 1 кГц. В свою очередь, проблема создания цифрового микрофона влечет за собой разработку способа измерения интенсивности выходных гармонических сигналов измерительного преобразователя давления, амплитуда которых существенно меньше уровня теплового шума на входе микрофонного усилителя.

Электромагнитная теория вещества и поля дала качественно более совершенную технику для физических исследований биологических процессов. Успех этой работы был обеспечен изобретением электромагнитных усилителей [4], имеющих чувствительность ко входному сигналу в $10^3 \div 10^4$ раза большую, чем в обычных полупроводниковых усилителях, а также получением полевых функциональных преобразователей аналоговых гармонических сигналов в цифровую форму способом преобразования их амплитуды в интервал времени. Усилители и преобразователи работают на едином принципе управления магнитным полем формой электрического тока в проводниках.

Основой для построения устройства измерения динамических параметров сердечно-сосудистой системы является цифровой микрофон с мембраной из магнитомягкого материала, расположенной между двумя чашеподобными ферритовыми магнитопроводами, и отличающийся очень высокой чувствительностью измерения давления.

Устройство визуализации работы сердечно-сосудистой системы (рис. 1) состоит из точечного фонендоскопа (Ф), цифрового микрофона (ЦМ), интерфейсного блока (ИБ) и персонального компьютера (ПК).

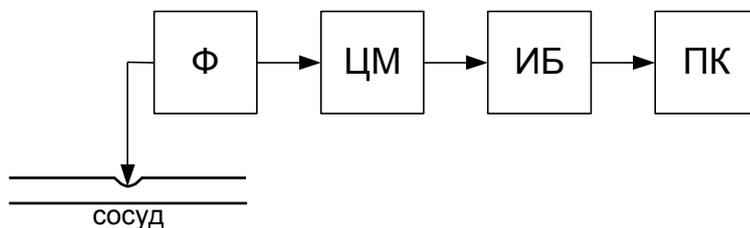


РИС. 1. Блок-схема устройства визуализации работы сердечно-сосудистой системы

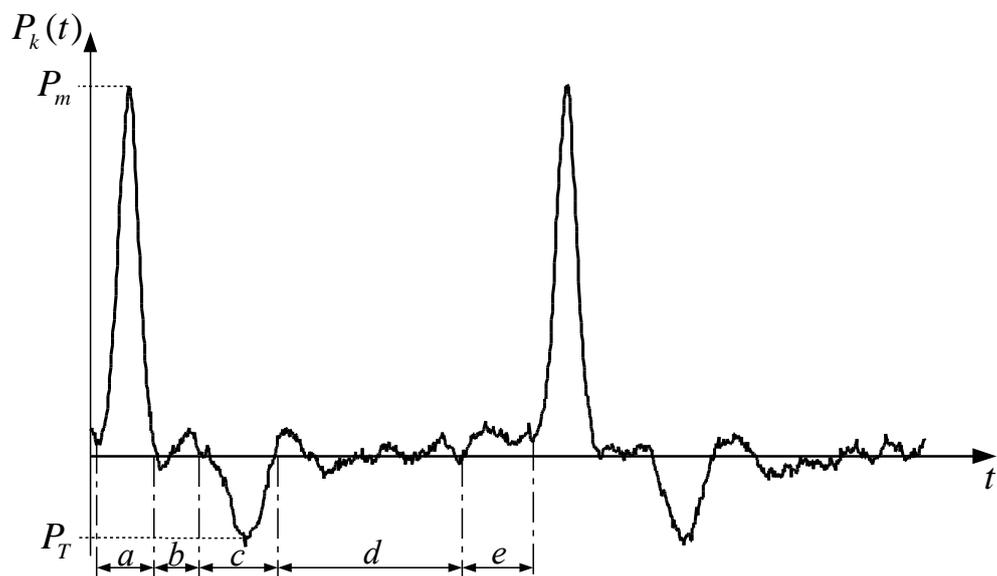
При измерении фонендоскоп располагается над сосудом, цифровую циклограмму давления которого необходимо получить. Поток крови деформирует стенку сосуда, которая вместе с прилегающими к ней тканями является мембраной фонендоскопа. Акустический сигнал фонендоскопа передается на вход цифрового микрофона, который выдает в интерфейсный блок информационные сигналы значения давления с частотой возбуждения микрофона. Акустическое давление на мембрану цифрового микрофона пропорционально давлению частичек крови на стенки сосуда. В интерфейсном блоке на базе электромагнитного полевого сигнального процессора происходит преобразование информационных сигналов в коэффициенты Фурье, в течение одного периода гармонического сигнала возбуждения цифрового микрофона. Дальнейшая математическая обработка результатов измерений возложена на персональный компьютер и его проблемно-ориентированное программное обеспечение.

Цифровые отсчеты процесса давления крови на стенки сосудов отображаются в виде циклограммы $P_k(t)$ (рис. 2, а). Также в реальном масштабе времени выполняется цифровое интегрирование $P_k(t)$ по формуле (4) и результат вычислений отображается в виде циклограммы скорости потока крови $v_k(t)$ (рис. 2, б) относительно стенки кровеносного сосуда.

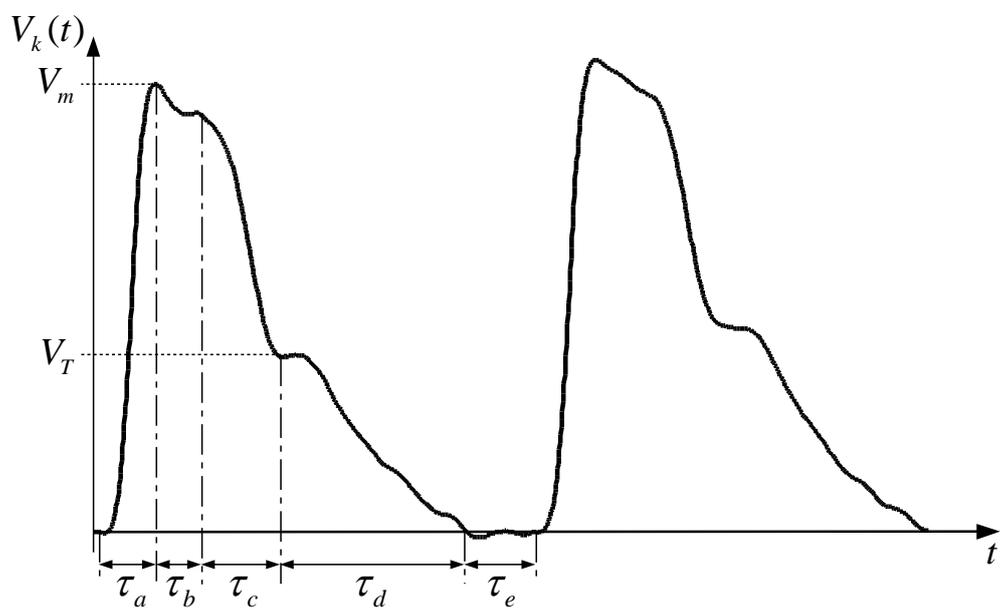
На рис. 2 показаны цифровые циклограммы давления $P_k(t)$ и скорости потока крови $v_k(t)$ в лучевой артерии в точке на запястье руки. Наблюдается прерывистое движение крови.

Установление факта прерывистости движения крови дает возможность найти взаимосвязь качества функционирования элементов сердечно-сосудистой системы с параметрами процесса движения. На рис. 2 отмечены характерные точки и интервалы времени, которые параметрически характеризуют как процесс взаимодействия мышцы желудочка с частицами крови, так и процесс движения потока крови по сосудам. На циклограмме давления отмечено максимальное давление P_m , которое соответствует максимальному усилию в желудочке, и максимальное действие клапана сердца P_T . На циклограмме скорости отмечены максимальная скорость частичек крови V_m и скорость их торможения V_T . Также выделены временные параметры процесса движения, которые составляют пять фаз работы сердца: (a, τ_a) , (b, τ_b) , (c, τ_c) , (d, τ_d) , (e, τ_e) .

В свою очередь, параметры процесса движения связаны с физиологическими процессами, ради которых сердце осуществляет транспортировку крови по сосудам. В первой фазе (a, τ_a) происходит сжатие и расслабление мышцы желудочка сердца. Идет процесс освобождения от крови желудочка и ее перекачивание в сосуды. В начале второй фазы (b, τ_b) в сосудах устанавливается максимальная скорость потока крови. Третья фаза (c, τ_c) начинается со срабатывания выходного клапана желудочка. Начинается активное торможение потока крови в сосудах, в результате скорость потока уменьшается вдвое.

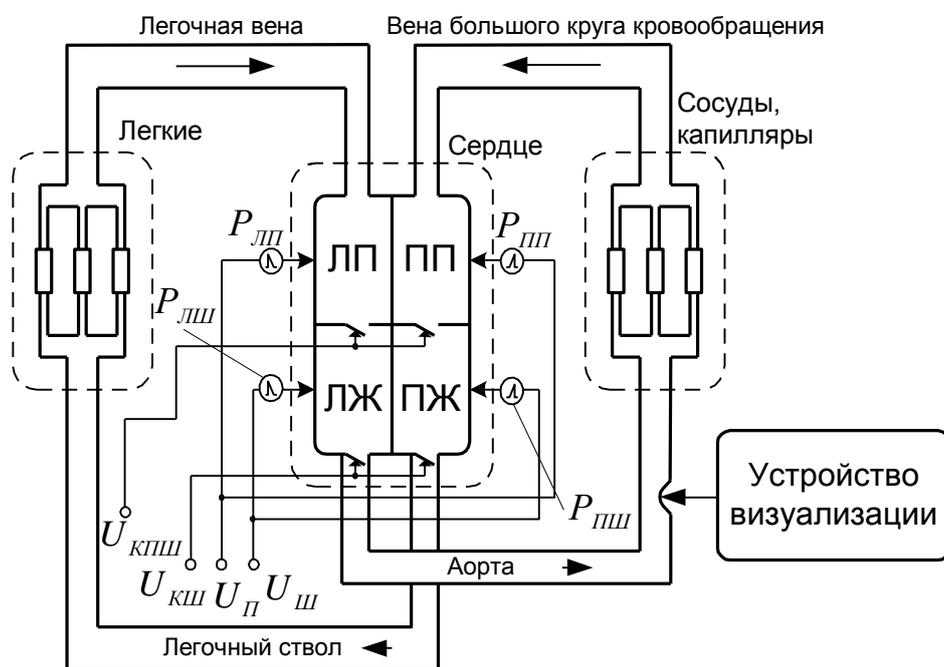


а

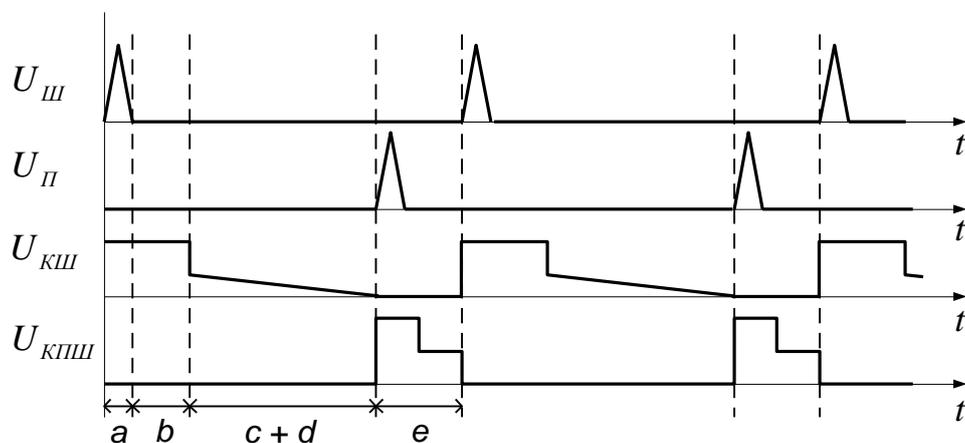


б

РИС. 2. Цифровые циклограммы давления и скорости потока крови



а



б

РИС. 3. Механо-электрическая схема и временная диаграмма работы сердечно-сосудистой системы

После фазы активного торможения наступает фаза пассивного торможения (d, τ_d). После установления нулевой скорости потока начинается фаза покоя (e, τ_e). Она равна длительности процесса метаболизма.

Данные измерений использованы для идентификации механо-электрической схемы и временной диаграммы работы сердечно-сосудистой системы (рис. 3), где использованы следующие обозначения: ЛП, ПП – левое и правое предсердия; ЛЖ, ПЖ – левый и правый желудочки; $P_{ЛП}$, $P_{ПП}$ – импульсы давления левого и правого предсердий; $P_{ЛЖ}$, $P_{ПЖ}$ – импульсы давления левого и правого желудочков; $U_{КЛПЖ}$, $U_{КПЖ}$ – биоэлектрические потенциалы управления клапанами сердца; $U_{П}$ – биоэлектрические потенциалы генерирования импульсов давления левого и правого предсердий $P_{ЛП}$ и $P_{ПП}$; $U_{Ж}$ – биоэлектрические потенциалы генерирования импульсов давления левого и правого желудочков $P_{ЛЖ}$ и $P_{ПЖ}$; a, b, c, d, e – интервалы времени взаимодействия мышцы желудочка с частицами крови, соответствующие таким же интервалам на рис. 2, а.

Посредством визуализации процесса движения крови становится возможен контроль физиологических процессов в живом веществе, что невозможно, если методы визуализации в медицине ограничены лишь наблюдением неоднородностей плотности вещества. Цифровые методы обработки подшумовых сигналов делают доступным прямое наблюдение процессов взаимодействия пространственно-временных силовых форм, которыми являются электроны взаимодействующих атомов в живом веществе. Визуализация силового действия сердца на поток крови в сосудах и скорости потока, создаваемого сердцем, является объективным основанием для диагностики заболеваний и наблюдения действия лекарств.

1. Бех А.Д., Чернецкий В.В. Концепция основ физической информатики // УСиМ. – 2001. – № 1. – С. 3 – 5.
2. Бех А.Д. Потребность и возможность метафизического знания // Там же. – 2002. – № 1. – С. 3 – 8.
3. Бех А.Д. Об управлении силами взаимодействия в веществе как основе создания новых технологий // Там же. – 2003. – № 4. – С. 73 – 80.
4. Патент № 49739А Украина. Спосіб вимірювання амплітуди антенного сигналу / О.Д. Бех, В.В. Чернецький, В.В. Єлшанський. – Опубл. 16.09.2002, Бюл. № 9.

Получено 14.02.2005