

УДК 681.3

## ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНИТОРИНГА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ТОНОМЕТРИИ

Шилько С.В.<sup>1</sup>, Шевцов В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь

*Показана актуальность развития метода и средств тонометрии для неинвазивного определения биомеханических показателей сердечно-сосудистой системы. Представлены структурные схемы стационарного и мобильного вариантов программно-аппаратного комплекса для мониторинга гемодинамики применительно к спорту высших достижений. Дается сравнение способов передачи данных тонометрии на персональный компьютер. (E-mail: shilko\_mpri@mail.ru)*

**Ключевые слова:** тонометрия, гемодинамика, сердечно-сосудистая система.

### Введение

Все большее распространение в спорте высших достижений получают программно-аппаратные средства, позволяющие проводить биомеханические исследования непосредственно в ходе тренировок и соревнований с минимальными ограничениями подвижности спортсменов. Так, анализ видеосъемки движений с выявлением отклонений от оптимальной

последовательности способствует совершенствованию техники выполнения двигательных упражнений.

Не менее важен биомеханический анализ состояния сердечно-сосудистой системы, обеспечивающей пиковые и длительные затраты энергии организма. О сложности этой задачи свидетельствует блок-схема взаимосвязей лишь основных параметров гемодинамики (рисунок 1), формализованных в таблице 1.

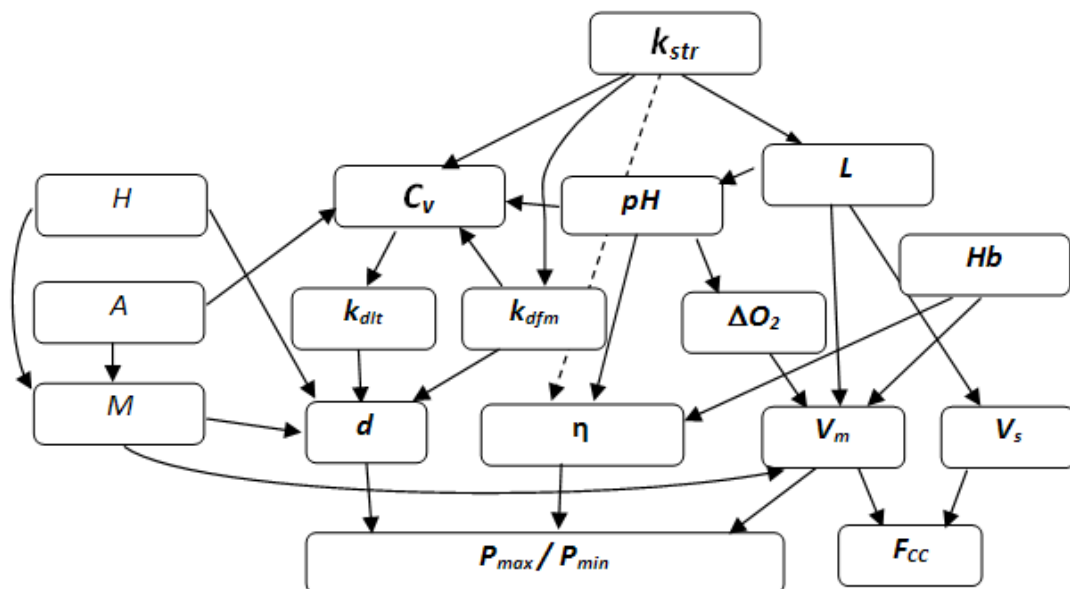


Рисунок 1 – Взаимосвязь показателей параметров гемодинамики

Таблица 1 – Параметры модели гемодинамики

Обозначение	Описание и единицы измерения	Интервальные и средние значения
<i>A</i>	Возраст (годы)	$A \in [20-40-70]$
<i>H</i>	Рост (см)	$H \in [120-170-220]$
<i>M</i>	Масса (кг)	$M \in [30-70-140]$
<i>L</i>	Нагрузка (кДж)	$L \in [4-6-120]$
<i>F<sub>cc</sub></i>	Частота сердечных сокращений (мин <sup>-1</sup> )	$F_{cc} \in [30-60-250]$
<i>P<sub>max</sub></i>	Систолическое давление (мм рт. ст.)	$P_{max} \in [40-120-250]$
<i>P<sub>min</sub></i>	Диастолическое давление (мм рт. ст.)	$P_{min} \in [30-80-130]$
<i>k<sub>str</sub></i>	Относительный уровень стрессовой нагрузки (б/р)	$k_{str} \in [0,8-1-1,3]$
<i>Adr</i>	Содержание адреналина в плазме (мкг/л)	$Adr \in [10-55-95]$
<i>Nadr</i>	Содержание норадреналина в плазме (мкг/л)	$Nadr \in [95-300-450]$
<i>Dof</i>	Содержание дофамина в плазме (мкг/л)	$Dof \in [10-55-95]$
<i>pH</i>	Кислотное равновесие (б/р)	$pH \in [6,9-7,37-7,47]$
<i>Hb</i>	Содержание гемоглобина (г/л)	$Hb \in [80-150-200]$
<i>k<sub>dfm</sub></i>	Коэффициент тонусной дилатации сосудов (б/р)	$k_{dfm} \in [0,8-1-1,3]$
<i>k<sub>dt</sub></i>	Коэффициент упругой дилатации сосудов (б/р)	$k_{dt} \in [1,0-1,16-1,3]$
<i>C<sub>v</sub></i>	Скорость пульсовой волны (см/с)	$C_v \in [300-500-900]$
<i>d</i>	Диаметр сосудов (мм)	$d \in [0,1-20]$
<i>η</i>	Кинематическая вязкость крови (сСт)	$η \in [1,9-5-12]$
<i>V<sub>m</sub></i>	Минутный объем крови (л/м)	$V_m \in [3-5-15]$
<i>V<sub>s</sub></i>	Систолический объем (л)	$V_s \in [0,03-0,08-0,25]$
$\Delta O_2$	Артеровенозный дифференциал кислорода (%)	$\Delta O_2 \in [9-14-100]$

Вполне понятно, что созданные и используемые за рубежом передовые методики и технические средства для оптимизации тренировок и посттравматической реабилитации являются ноу-хау разработчиков, национальных клубов, тренерского состава, команд и отдельных спортсменов. Нужны отечественные автоматизированные технические средства в виде датчиков, эргометров, тренажеров и др., поскольку приобретение импортных аналогов является весьма затратным.

В этой связи необходимо применять системный подход к интегральной оценке состояния подобных биосистем [1].

При наличии целой гаммы обычных тонометров для измерения артериального давления и частоты сердечных сокращений необходимы аппаратные средства для углубленного анализа, диагностики и мониторинга гемодинамики деятельности спортсменов. Устройства, описываемые в данной статье, в сущности, представляют собой тонометры с расширенными функциями и могут стать важным компонентом адаптивных тренажеров и средств индивидуальной ре-

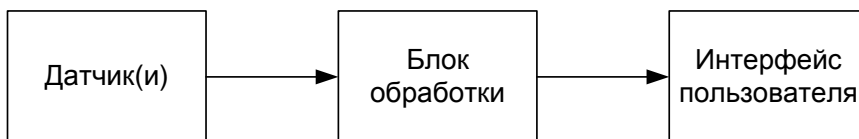
абилитации для спортивных клубов и национальных команд в различных видах спорта.

### Программно-аппаратная реализация диагностики и мониторинга гемодинамики

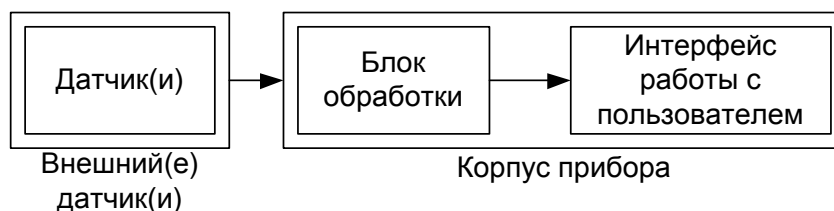
К настоящему времени в Институте механики металлополимерных систем НАН Беларуси разработан метод неинвазивной диагностики и мониторинга сердечно-сосудистой системы [3, 4], основанный на прикладной гидродинамической теории кровообращения (0-D модели течения крови в сосудах) с учетом кислородного баланса, реализованный в программном обеспечении БИОДИС V2.2 [5]. Метод показал возможность быстрого и неинвазивного получения важных показателей состояния сердца и сосудов, включая оценку адаптационных возможностей при различных психоэмоциональных и физических нагрузках. Источником данных для гемодинамического анализа является процедура тонометрии. Ниже рассматривается преимущественно аппаратная часть диагностического комплекса, адаптированная к про-

граммному обеспечению БИОДИС V2.2. Исходя из специфики применения, средство тонометрии при достаточной точности и чувствительности должно быть мобильным и устойчивым к термосиловым воздействиям. В базовый состав средства измерений входят один или

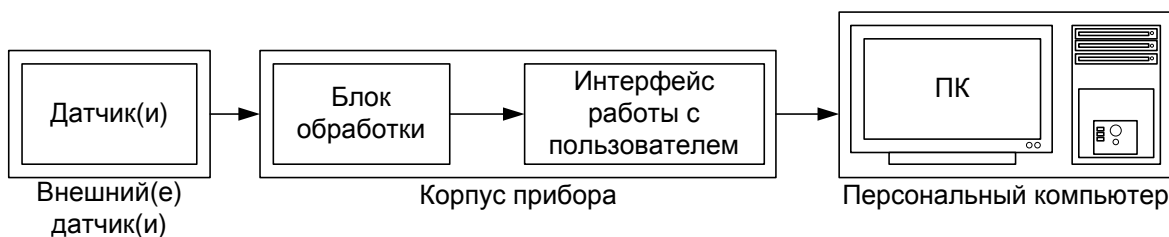
несколько датчиков давления, блок обработки полученной информации и интерфейс (рисунок 2а). В зависимости от назначения и степени автономности реализуются различные конфигурации микропроцессорного измерительного комплекса (МИК) (рисунок 2).



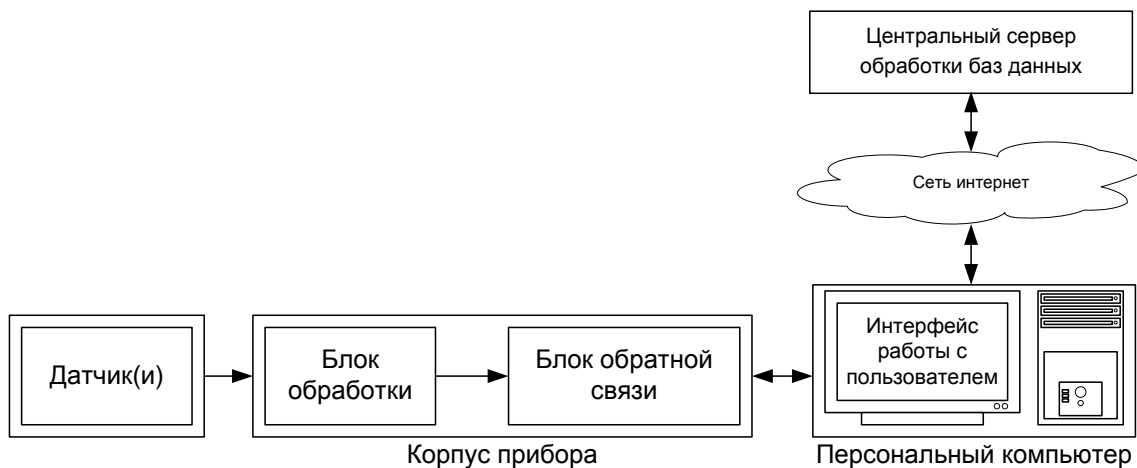
а



б



в



г

Рисунок 2 – Конфигурации микропроцессорного измерительного комплекса: а – базовая; б – автономная с внутренней базой данных; в – автономная с возможностью подключения к персональному компьютеру и внешней базе данных; г – для непосредственной работы с персональным компьютером

## Средства измерений

Каждая из конфигураций имеет свои преимущества и недостатки. Как видно из таблицы 2, при хранении базы данных на персональном компьютере (ПК) возникают определенные ограничения. Следовательно, предпочтительны автономная система и система с доступом к центральному блоку управления, которая позволяет пользователю более оперативно получить результат измерений. Размер базы данных неограничен, что дает возможность проводить

мониторинг состояния сердечно-сосудистой системы с возможностью онлайн-консультаций кардиологов.

Преимуществом стационарной установки (рисунок 3) является снижение погрешности измерения вследствие движения спортсмена и внешних помех. Для тонометрии используется манжета Рива-Роччи, возможен также автоматизированный вариант с аппаратным управлением.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика конфигураций комплекса

Показатель	Автономный МИК с внутренней базой данных	Автономный МИК с подключением к ПК и внешней базе данных	МИК для непосредственной работы с ПК и централизованным интернет-сервером
Удобство использования	Весьма высокая мобильность. В микропроцессорном ядре записан весь алгоритм обработки данных, поэтому прибор не требует подключения к ПК. Возможны измерения в любых условиях	Мобильность ограничена. Ядро прибора не содержит программы обработки данных. Для полной функциональности прибора требуется подключение к ПК	Мобильность ограничена. Ядро прибора содержит часть программы обработки данных. Программный модуль ядра может программно обновляться через Интернет или съемный носитель
Размещение базы данных измерений	Встроенная база данных. Размер базы определяется конфигурацией прибора	База данных размещена на ПК. Размер базы определяется конфигурацией ПК и может быть изменен пользователем	База данных на центральном сервере, для уменьшения времени обработки имеется буферная копия на ПК. Размер базы практически неограничен
Возможность автономной работы	Полная автономность	Ограниченный режим разовых измерений без анализа	Ограниченный режим разовых измерений с предварительным анализом

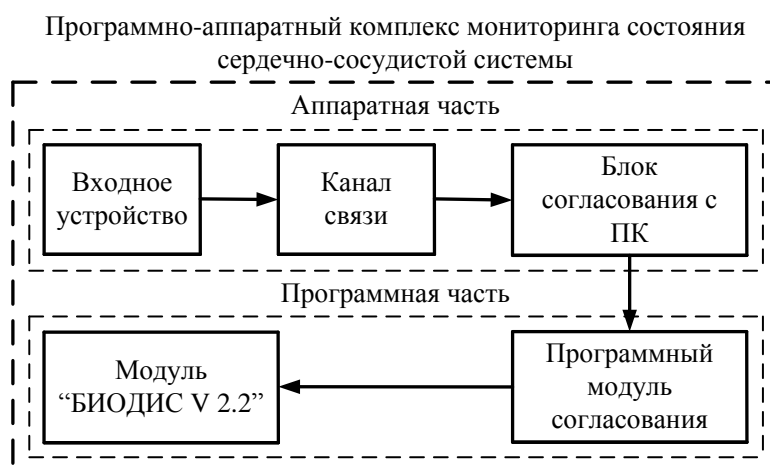


Рисунок 3 – Структурная схема стационарной установки

Мобильная установка подразумевает тонометрию в процессе движения, но сигнал не может быть получен непосредственно в полном объеме. Инвазивные способы измерения артериального давления (катетерный и канюляторный) неприемлемы. Серьезным ограничением является невозможность применения манжеты Рива-Роччи для измерения артериального давления спортсмена, поэтому необходима либо непрерывная система приема и обработки информации, либо система с малыми промежутками дискретизации. При измерении с помощью манжеты проведение непрерывных измерений не представляется

возможным – уже после небольшого числа окклюзий артерии данные будут иметь крайне большой разброс параметров, поэтому данный способ годится только для стационарного измерения параметров. Для получения данных в виде, доступном для обработки и их дальнейшего хранения с целью создания статистической базы, возникает необходимость разработки нового метода анализа информации для получения точных значений систолического и диастолического артериального давления при движении (рисунок 4, таблица 3).



Рисунок 4 – Структурная схема мобильной установки

Таблица 3 – Сравнительная характеристика стационарной и мобильной версий прибора

Показатель	Стационарная установка	Мобильная установка
Датчики	Емкостной датчик давления	Пьезоэлектрические датчики перемещения
Устройство съема данных	Манжета Рива–Роччи	Контактная манжета
Точность данных	Высокая	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Средняя</li> <li>• ниже средней</li> </ul>
Метод получения параметров	Осциллометрия	Качественная оценка параметров
Скорость получения параметров	Высокая	Средняя
Линия связи	Проводная	<ul style="list-style-type: none"> <li>• НID</li> <li>• радиоканал</li> </ul>
Способы реализации базиса системы счета	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Счетная система на базе стойки MIC-400 или аналогичной</li> <li>• отладочная плата типа DAP4200a</li> <li>• разработка собственного базиса</li> <li>• платформа CompactRIO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Разработка собственного базиса</li> <li>• платформа CompactRIO</li> </ul>

В этой связи в качестве источников входной информации необходимо использовать пьезоэлектрические датчики смещения, в которых пьезоэлемент генерирует электрический сигнал, пропорциональный действующей на него силе или давлению. Пьезоэлектрические датчики используются для измерения быстроменяющихся акустических и импульсных давлений, имеют широкий динамический и частотный диапазон, малую массу и габариты, высокую надежность и могут использоваться в жестких условиях эксплуатации.

Полученный сигнал требуется передать на персональный компьютер по каналу связи. В стационарной установке используется проводная линия связи, в мобильной – НID либо радиоканал. При использовании радиоканала или НID модуля в качестве канала связи информация, снимаемая с датчиков, может ис-

кажаться помехами, создаваемыми вышками телефонной связи, а также переносными радиостанциями. Для кодирования показателей сердечно-сосудистой системы необходим аппаратный модуль шифрования. Очевидно, что в блок входного устройства и блока приемника необходимо ввести модуль кодирования / декодирования. Тогда структура примет вид, приведенный на рисунке 5.

Важным фактором является способ передачи данных на персональный компьютер. Существует ряд способов передачи внешних данных на персональный компьютер [6, 7]: порты ввода-вывода (USB, COM, LPT); параллельные слоты расширения (PCI, PCI-E, IDE); посредством компьютерной сети. Приведенные выше способы передачи обладают рядом преимуществ и недостатков (таблица 4).

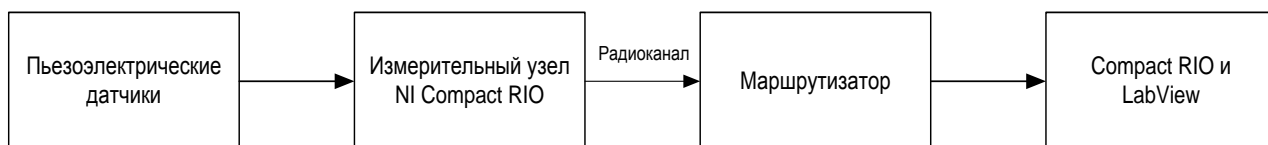


Рисунок 5 – Структурная схема мобильной установки в реализации топологии CompactRIO

Таблица 4 – Сравнительная характеристика способов передачи данных на ПК

	USB/COM	LPT	PCI/PCI-E	IDE	Ethernet
Способ передачи данных	Последовательный	Параллельный	Параллельный	Параллельный	Параллельный
Расстояние передачи данных	Малое расстояние передачи	Малое расстояние передачи	Крайне малое расстояние передачи	Малое расстояние передачи	Очень большое расстояние передачи
Способ включения	Очень быстрый способ, не требует разборки системного блока и перезагрузки ПК	Быстрый способ, не требует разборки системного блока, но необходима перезагрузка ПК	Медленный способ, требует разборки системного блока, установки платы и ПО с перезагрузкой ПК	Медленный способ, требует разборки системного блока, установки платы и программного обеспечения с перезагрузкой ПК	Очень быстрый способ, не требует разборки системного блока, установки дополнительного ПО и перезагрузки ПК
Скорость передачи данных	До 4,8 Гбит/с	До 1,2 Мбит/с	До 8 ГТ/s	До 16,6 Мбайт/с	До 100 Гбит/с

Очевидно, что при передаче по Ethernet скорость и расстояние передачи данных максимальны без дополнительных драйверов. Применение канала Ethernet делает возможным использование централизованного сервера обработки и хранения данных. Применение готовой платформы позволит снизить затраты на разработку аппаратного модуля. В условиях малого количества требуемой аппаратной продукции данный модуль является оптимальным способом решения поставленной задачи. В этой связи для дальнейшего развития программно-аппаратного комплекса оптимальна платформа NI CompactRIO с программным обеспечением LabView компании National Instruments. Однако готовое аппаратное решение не позволяет полностью решить проблему получения необходимой информации. Для корректной работы аппаратного модуля в настоящее время модифицируется процедура обработки данных с оптимизацией программного обеспечения «БИО-ДИС» для массового применения.

### Заключение

Впервые рассмотрены аспекты приборной реализации расширенной тонометрии для оп-

ределения комплекса гемодинамических показателей сердечно-сосудистой системы. Представлены структурные схемы стационарного и мобильного вариантов программно-аппаратного комплекса для мониторинга гемодинамики применительно к спорту высших достижений, дана сравнительная характеристика способов передачи данных на персональный компьютер.

### Список использованных источников

1. Фокин, В.А. Системный подход к интегральной оценке состояния биосистем / В.А. Фокин // Современные методы представления и обработки биомедицинской информации / под ред. Ю.В. Кистенева, Я.С. Пеккера. – Томск : Изд-во ТПУ, 2004. – С. 51–123.
2. Бегун, П.И. Моделирование в биомеханике / П.И. Бегун, П.Н. Афонин. – М. : Высшая школа, 2004.
3. Shilko, S.V. Analysis of pulse wave parameters with account of blood vessel deformation / S.V. Shilko, Yu. Kuzminsky, S.P. Salivonchik // Russian Journal of Biomechanics. – 2001. – Vol. 5. – № 2. – P. 88–94.
4. Шилько, С.В. Возможности первичной диагностики сердечно-сосудистой системы на

- основе биомеханического анализа гемодинамики / С.В. Шилько [и др.] // Проблемы здоровья и экологии, ГоГМУ. – 2010. – № 3. – С. 148–155.
5. Свидетельство № 166 от 05.05.2010 о регистрации компьютерной программы БИОДИС V2.2 / Ю.Г. Кузьминский, С.В. Шилько // Заявка С20100043 от 23.04.2010 // Реестр зарег. комп. программ / Нац. центр інтелектуал. уласнасці. – 2010.
6. Блейхут, Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов / Р. Блейхурт. – М. : Мир, 1989.
7. Гольденберг, Л.М. Цифровая обработка сигналов / Л.М. Гольденберг. – 2-е изд. – М.: Радио и связь, 1990.
- 

Shilko S.V., Shevtsov V.V.

### **Program and apparatus unit for monitoring of cardiovascular system based on tonometry**

The actuality of tonometry method and apparatus for non-invasive determination of biomechanical characteristics of cardiovascular system has been shown. The structural schemes of stationary and mobile variants of program and apparatus unit for hemodynamics monitoring of sportsmen has been presented. The comparison of methods of transmitting data on computer is been given. (E-mail: shilko\_mpri@mail.ru)

**Key Words:** tonometry, hemodynamics, cardiovascular system.

*Поступила в редакцию 23.09.2011.*