

**В.А. АКУЛОВ, И.В. МАКАРОВ**

Самарский государственный технический университет  
Самарский государственный медицинский университет

## **ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ ГЕМОДИНАМИКИ В СИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК – КОРОТКОРАДИУСНАЯ ЦЕНТРИФУГА»**

**Разработана концепция и аппаратная реализация информационно-аналитического мониторинга состояния периферической гемодинамики в системе «человек – короткорядиусная центрифуга». Система управляется дистанционно по радиоканалу и не требует программирования, что повышает технологичность экспериментов. Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 17-48-630834.**

**Ключевые слова:** *гравитационная терапия, информационно-аналитический мониторинг*

*Акулов Владислав Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры информационных технологий. E-mail: vladislav.a.akulov@gmail.com*

*Макаров Игорь Валерьевич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой хирургических болезней №1. E-mail: makarov-samgmu@yandex.ru*

**V.A. AKULOV, I.V. MAKAROV**

Samara State Technical University  
Samara State Medical University

## **INFORMATION AND ANALYTICAL MONITORING OF PERIPHERAL HEMODYNAMICS STATE IN “MAN - SHORT-ARM CENTRIFUGE” SYSTEM**

**A concept and hardware for monitoring of the peripheral hemodynamics in the “man-SAHС” system was developed. The system has a remote control by radio channel and does not require programming.**

**Key words:** *gravitational therapy, information analitical monitoring*

*Akulov Vladislav Alekseevich – Doctor of Technical Science, Professor, Information Technology Department. E-mail: vladislav.a.akulov@gmail.com*

*Makarov Igor Valerievich – Doctor of Medicine, Professor, Head of Surgical Doseases Department №1. E-mail: makarov-samgmu@yandex.ru*

Гравитационные перегрузки оказывают на организм сложное многофакторное влияние. Их воздействие затрагивает практически все функциональные системы организма, начиная от стимуляции центральной и регионарной гемодинамики и заканчивая влиянием на систему гемостаза. Существенное значение имеет то обстоятельство, что гравитационная терапия является эффективным средством профилактики гиподинамического синдрома, что в условиях невесомости при длительных пилотируемых полетах, при использовании данного фактора с целью профилактики нежелательных ее последствий, может играть далеко не последнюю роль.

Как известно, гравитация оказывает активное влияние на физиологические показатели человека. Прежде всего, она

выполняет функции бустерного насоса, создающего гидростатическое давление в нижних конечностях, соизмеримое по уровню с системным артериальным давлением [1, 2, 4, 7, 8]. Важность гравитации доказывает многолетний опыт пилотируемой космонавтики, согласно которому отсутствие гравитации (невесомость) оказывает крайне негативное воздействие на организм человека и требует компенсации [7, 8].

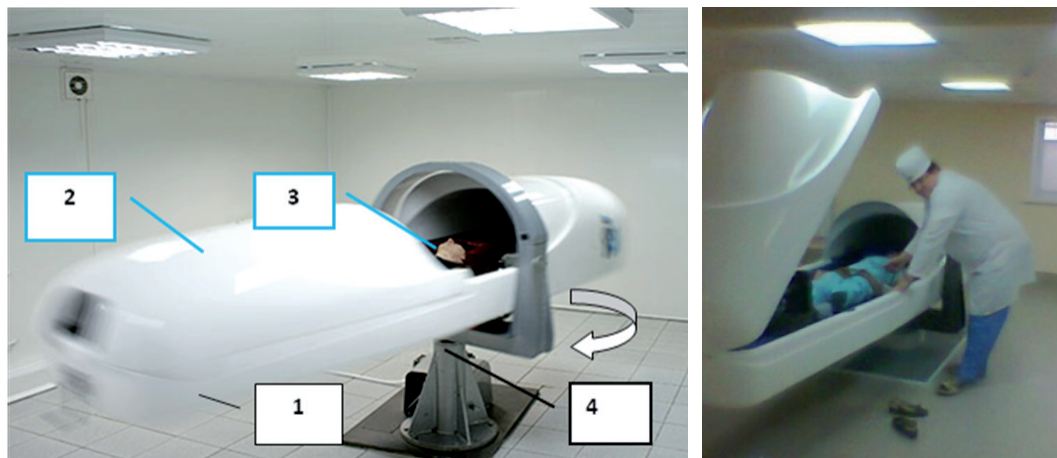
**Цель исследования:** разработка концепции информационно-аналитического мониторинга состояния периферической гемодинамики в системе «человек – короткорядиусная центрифуга».

### **Материал и методы**

В качестве радикальной меры, решающей «гравитационные» проблемы, российские и иностранные специалисты

предлагают использование искусственной силы тяжести, создаваемой короткорadiusными центрифугами (ЦКР). Немаловажным доводом в пользу ЦКР является возможность их установки на перспективных космических аппаратах (КА)

[3, 5, 6,8]. В этом случае ЦКР становится и динамическим тренажёром, и аппаратным средством для научных исследований, причём как наземного, так и, что особенно важно, космического применения (рис. 1).



**Рис.1. ЦКР для создания управляемой ИСТ в направлении «голова – ноги». 1. Ротор – горизонтальный стол. 2. Кабина пациента. 3. Пациент в позе «лёжа». 4. Ось вращения.**

Если рассматривать ЦКР как перспективное бортовое устройство, то наряду с «земными» возникают сугубо «бортовые» задачи, обусловленные междисциплинарностью предметной области и спецификой КА (массовые характеристики, габариты, энергопотребление, пространственная ориентация). К числу таких задач относится определение нижней границы частоты вращения ротора ЦКР, исходя из достижения медицинских эффектов. Очевидно, что чем выше граница и продолжительность сеанса вращения, тем в большей степени закручивается КА, что требует дополни-

тельных энергозатрат на восстановление ориентации. Кроме того, с ростом частоты вращения растёт мощность привода, а вместе с ней – его масса и энергопотребление.

Обобщая изложенное, заключаем, что для осуществления перспективных программ пилотируемой космонавтики необходимы широкомасштабные исследования сложной динамической системы класса «человек – ЦКР» (рис. 1).

В таблице 1 представлен перечень из десяти процедур, составляющих основу разработанной авторами методологии имитационных экспериментов.

Таблица 1

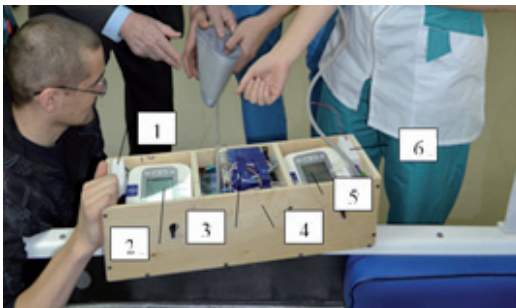
**Методологические основы имитационных экспериментов**

1. Разработка технологической схемы экспериментов	6. Получение экспериментальной зависимости среднего артериального давления от частоты вращения ротора ЦКР
2. Формулировка требований к системе мониторинга	7. Эксперименты выполняются на ЦКР с привлечением здоровых добровольцев. Диапазон частот вращения 0 – 30 об/мин.
3. Выбор компонентов системы мониторинга	8. Оценка состояния периферической системы кровообращения осуществляется по трехточечной схеме доступа с установкой тонометров на руке и лодыжке
4. Аппаратная реализация	9. В качестве основного гемодинамического показателя выбрано среднее артериальное давление (АДср)
5. Апробация системы на реальной информации в условиях крупного медицинского учреждения	10. Оценка отклика системы кровообращения на вариацию гравитационной нагрузки представляется в виде зависимостей АДср от частоты вращения ротора ЦКР (n), построенных для обеих точек доступа

Система мониторинга выполняется в виде двух функциональных устройств: быстроръёмного приборного контейнера, размещаемого на ЦКР, и портативного радиопередатчика, который находится у врача, осуществляющего дистанционное управление измерителями. Приборный контейнер состоит из трёх секций, в каждой из которых закрепляется соответствующая управляющая и регистрирующая аппаратура (рис. 2). Такая компоновка препятствует смещению оборудования в условиях перегрузок.

В качестве измерителей давления выбраны тонометры OMRON, которые обладают расширенной памятью (до 60 измерений) и встроенным таймером, необходимым для синхронизации показаний при выполнении серии экспериментов со сменой участников и режимов вращения.

Управление процессом мониторинга осуществляется с помощью радиоканала. Моменты включения тонометров (Измерители АД1, АД2) определяются врачом и осуществляются простым нажатием кнопки «Пуск». Таким образом, программирование регистраторов не требуется, что существенно повышает технологичность испытаний.



**Обозначения:** 1 – приёмник сигналов с встроенным коммутатором и антенной; 2 – тонометр АД 2 (нижняя конечность); 3 – источник питания повышенной ёмкости; 4 – корпус контейнера; 5 – тонометр АД 1 (верхняя конечность); 6 – согласующее устройство.

**Рис. 2. Общий вид быстроръёмного приборного контейнера**

Предлагаемая система прошла успешную апробацию на реальной информа-

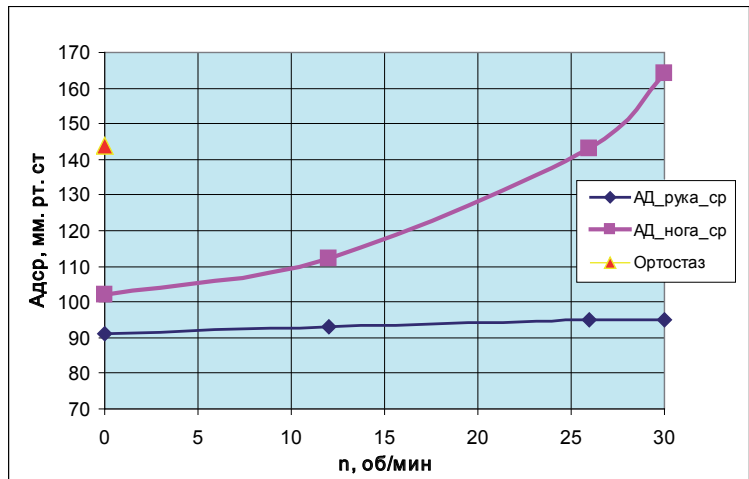
ции в условиях крупного медицинского учреждения г. Самары. Эффективность предлагаемой системы подтверждена многократно. В частности, получены новые знания относительно отклика кровотока на интенсивность гравитационного воздействия, представляющие значительный интерес для пилотируемой космонавтики и ГТ.

**Результаты исследования.** На рисунке 3 представлен пример зависимостей среднего артериального давления АД<sub>ср</sub> от частоты вращения ротора ЦКР. Вычисления выполнены по формуле:

$$АД_{ср} = АД_d + (АД_s - АД_d) / 3 \quad (1)$$

где АД<sub>s</sub>, АД<sub>d</sub> – систолическое и диастолическое давление, соответственно.

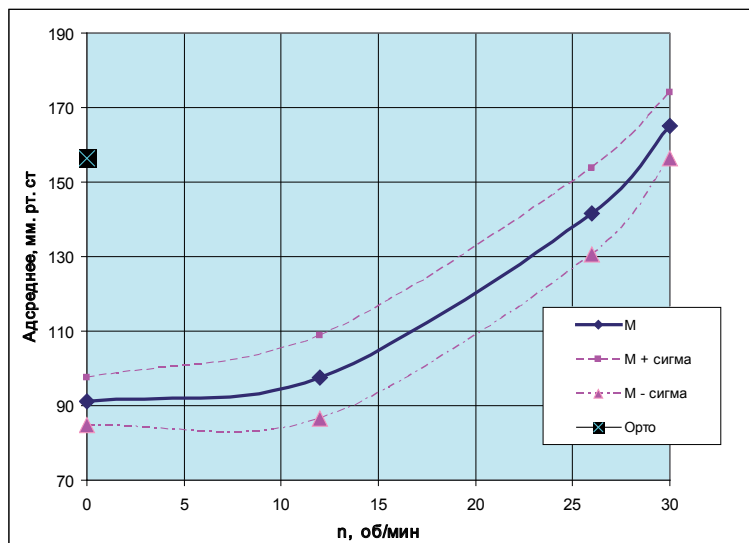
Доказано, что, во-первых, в исследуе-



**Рис. 3. Пример зависимостей АД<sub>ср</sub> от частоты вращения ротора ЦКР при двухточечном мониторинге периферического кровотока**

мом диапазоне частот вращения среднее АД на уровне сердца (АД<sub>рука\_ср</sub>) остаётся практически постоянным. Такая закономерность согласуется с теоретическими основами гидромеханики и гемодинамики. Прежде всего, расстояние от оси вращения до сердца (~0,3м), а вместе с ним значение центробежного ускорения относительно невелико. Кроме того, барорецепторы, расположенные на уровне сердца, стабилизируют системное АД. Во-вторых, что особенно важно, выявлена закономерность, согласно которой возрастание частоты вращения (увеличение гравитационной нагрузки) сопровождается нелинейным ростом среднего артериального давления в лодыжечном сечении (АД<sub>ноги\_ср</sub>). В связи с этим были обработаны статистические данные, результаты которых представлены на рисунке 4 в виде трёх графиков: М, М ± σ, где М – среднее арифметическое значение показателя, σ – среднее квадратиче-

ское отклонение. Для удобства сопоставления полученных данных с нормой, на рисунке 4 показана точка, соответствующая позе «ортостаз» и обозначенная как «орто» ( $n = 0$  об/мин).



**Рис. 4. Обобщённые зависимости АДср в области лодыжки от частоты вращения ротора ЦКР**

Таким образом, во-первых, в диапазоне частот 10-15 об/мин (диапазон имитации гипогравитации Луны) среднее АД приближается к показателям, соответствующим невесомости ( $n=0$  об/мин), т.е. к патологии. Столь значительные отклонения от нормы требуют дальнейших исследований и, прежде всего, оценки работоспособности человека в условиях ослабленного кровотока в нижних конечностях. Ситуация осложняется ещё и тем, что экипаж будет вынужден прилагать значительные усилия на преодоление сопротивления скафандра, жёсткость которого в условиях Космоса возрастает. Во-вторых, в диапазоне частот 0-27 об/мин среднее АД ниже нормы. Это обстоятельство следует учитывать при планировании и осуществлении экспериментов, ориентированных на задачи пилотируемой космонавтики и гравитационной терапии.

**Заключение**

Таким образом, разработана концепция и аппаратная реализация системы информационно-аналитического обеспечения сложных динамических систем класса «человек – короткорadiusная центрифуга». Система управляется дистанционно по радиоканалу и не требует программирования, что повышает технологичность экспериментов.

Выполнена апробация системы с использованием реальной информации. В

результате апробации установлено, что система обладает высокой эффективностью по обеспечению дискретного мониторинга состояния периферической гемодинамики человека, находящегося во вращающейся среде.

Построена эмпирическая зависимость артериального давления от частоты вращения ротора ЦКР, на основании которой определена нижняя граница эффективности сеансов вращения, и получены количественные оценки, характеризующие кровоток в условиях гипогравитации.

Необходимо продолжить исследования реакции периферического кровообращения на величину гравитационной нагрузки с расширением контингента испытуемых (статистика),

выполнением ультразвуковой доплерографии сосудов конечностей в сеансах вращения, привлечением наклонного стенда в качестве дополнительного технического средства, имитирующего гипогравитацию, и построением математической модели процессов.

*Конфликт интересов отсутствует.*

**Список литературы**

1. Акулов В.А. Теоретико-множественный анализ сценариев управления перспективными центрифугами космического назначения // Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий. – Сочи. – 2007. – с. 63-68.
2. Акулов В.А. Анализ и синтез систем медицинского назначения с управляемой искусственной силой тяжести: дис. ... д-ра техн. наук: 05.11.17. – Самара, 2013. – 252 с.
3. Газенко О.Г., Григорьев А.И., Егоров А.Д. От 108 минут до 438 суток и далее...(к 40-летию полета Ю.А. Гагарина) // Авиакосмическая и экологическая медицина: сб. науч. статей. – М.: Изд-во ИМБП РАН, 2001. – Т. 35. – № 2. – С. 10-11.
4. Галкин Р.А., Макаров И.В. Гравитационная терапия в лечении больных облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей. – Самара, 2006. – 198 с.
5. Долгов П.П., Киришанов В.Н., Чудинов А.П. Основные направления работ на центрифугах и их целевое применения // В сб. материалов XI международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», посвящ. 55- летию ФГБУ НИ-

ИЦПК имени Ю.А. Гагарина (10 - 12 ноября 2015 г.). – М.: ФГБУ НИИЦПК, Звездный городок, 2015. – С. 267-268.

6. Котовская А.Р., Виль-Вильямс И.Ф., Лукьянюк В.Ю. Проблема создания искусственной силы тяжести с помощью центрифуги короткого радиуса для медицинского обеспечения межпланетных пилотируемых полетов // Авиакосмическая и экологическая медицина: сб. науч. статей. – М.: Изд-во ИМБП РАН, 2003. – Т. 37. – № 5. – С. 36-39.

7. Падалка Г.И., Долгов П.П., Киршанов В.Н. Задачи подготовки космонавтов на центрифугах по перспективным космическим программам // В сб. материалов «Космического форума 2011, посвященного 50-летию полета в космос Ю.А. Гагарина». – ФГБУ НИИЦПК. – 2011.

8. Zander V. Short Radius Centrifuges – A New Approach for Life Science Experiments Under Hyper-g Conditions for Applications in Space and Beyond / V. Zander, R. Anken // Recent Patents on Space Technology. – 2013. – № 3. – P. 74-81.