

констант адсорбции равны; тогда для описания адсорбции из многокомпонентной смеси воспользуемся системой уравнений

$$C^i = \frac{-k_1 A_m + k_1 C_0^i V}{\frac{-k_1 V C_0^i - k_1 A_m + k_1 C_0^i V}{C_0^i} e^{(k_1 A_m - k_1 C_0^i V)t} + k_1 V}, \quad (6)$$

где  $C^i$  – концентрация  $i$ -го метаболита в растворе;  $C_0^i$  – начальная концентрация  $i$ -го метаболита.

На рис. 4 представлена экспериментальная зависимость концентрации креатинина и мочевой кислоты при их адсорбции из отработанного диализата углем «Каусорб-212».

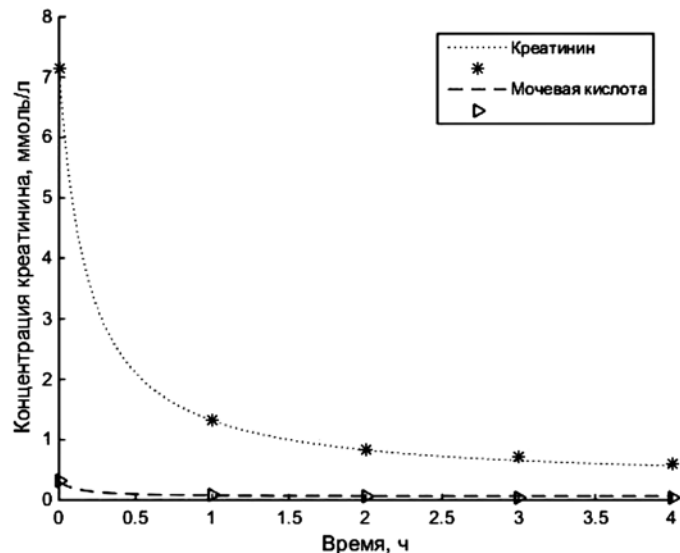


Рис. 4. Зависимость концентрации креатинина и мочевой кислоты от времени при адсорбции на угле «Каусорб-212»

Среднеквадратические критерии составили 34,8 мкмоль/л для креатинина и 11,5 мкмоль/л для мочевой кислоты.

Как видно из приведенных экспериментальных данных, убывание метаболитов при их адсорбции носит экспоненциальный характер. Экспериментальные данные находятся в соответствии с теоретически полученными результатами.

Таким образом, применение кинетики адсорбционных процессов позволяет прогнозировать концентрации метаболитов в регенерируемом диализирующем растворе при искусствен-

ном очищении организма пациента носимым аппаратом «искусственная почка». Предлагаемые для этого зависимости были апробированы и подтвердили свою применимость на четырех активированных углях (Каусорб-212, WTD 816, ФАС и 607С). Кроме того, данный подход позволяет прогнозировать динамику метаболитов в многокомпонентных растворах. Этот подход может использоваться и для оценки времени замены сорбционных колонок в носимом аппарате «искусственная почка».

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение № 14.578.21.0011 от 5 июня 2014 г., уникальный идентификатор проекта – RFMEFI57814X0011).*

#### Список литературы:

1. Armignacco P., Garzotto F., Neri M., Lorenzin A., Ronco C. Wak Engineering Evolution // Blood Purification. 2015. № 39. PP. 110-114.
2. Ronco C., Fecondini L. The Vicenza Wearable Artificial Kidney for Peritoneal Dialysis (ViWAK PD) // Blood Purification. 2007. № 25. PP. 383-388.
3. Davenport A. Wearable Dialysis Devices / In: Core Concepts in Dialysis and Continuous Therapies. – US: Springer, 2016. PP. 181-188.
4. Wester M., Simonis F., Lachkar N., Wodzig W.K., Meuwissen F.J., Kooman J.P., Boer W.H., Joles J.A., Gerritsen K.G. Removal of Urea in a Wearable Dialysis Device: A Reappraisal of Electro-Oxidation // Artificial Organs. 2014. Vol. 38. № 12. PP. 998-1006.
5. Дейнека В.И., Чулков А.Н., Дейнека Л.А. Моделирование сорбционных процессов на гетерогенных поверхностях // Научные ведомости. 2010. № 3. С. 97-106.

*Николай Александрович Базаев,  
канд. техн. наук, ст. научный сотрудник,  
Игорь Олегович Бизюков,  
студент,  
кафедра биомедицинских систем,  
Евгений Вадимович Стрельцов,  
канд. техн. наук, инженер,  
кафедра вычислительной техники,  
Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,  
г. Москва, г. Зеленоград,  
e-mail: bazaev-na@yandex.ru*

С.Н. Корневская, Е.С. Шкатова, М.А. Магеровский, А.Н. Шуткин

## Аппаратно-программный комплекс для психофизиологических исследований на базе платформы Android с AFE-интерфейсом

### Аннотация

В статье рассматриваются структура и математическое обеспечение аппаратно-программного комплекса для психофизиологических исследований, предназначенного для проведения исследований в медицине и психологии для решения задач прогнозирования и диагностики ранних стадий социально значимых заболеваний, повышения надежности работы человеко-машинных систем, профессионального отбора, оценки уровня подготовки спортсменов и т. д.

При решении задач прогнозирования и ранней диагностики целого ряда социально значимых заболеваний, надежности работы человеко-машинных систем, профессионального отбора, оценки уровня подготовки спортсменов широко применяются количественные оценки функционального состояния (ФС) и функционального резерва (ФР) человека [1]-[6].

Классификация и оценка уровней ФС и ФР человека в различных научных школах и специальностях производится с помощью чисто психологических методик физиологических и психофизиологических методов [1], [3], [4], для реализации методов исследования функциональных состояний и резервов

организма и его составных частей используются специализированные приборы, приставки к ноутбукам и персональным компьютерам или универсальные средства вычислительной техники, в которых в качестве сенсоров используется штатная клавиатура [1], [3], [6].

Широкое распространение смартфонов, планшетных компьютеров и микросхем аналоговых интерфейсов AFE позволяет значительно сократить затраты на производство и стоимость аппаратуры для оценки ФС и ФР человека и проведения других психофизиологических исследований при реализации широкого спектра различных методик и методов.

В данной статье предлагается аппаратно-программный комплекс для психофизиологических исследований, аппаратно оптимизированный за счет использования промышленных аналоговых интерфейсов AFE.

Ядром комплекса является смартфон или планшет с развитым графическим интерфейсом, имеющий сенсорную панель и Bluetooth-интерфейс. Это ядро реализует все наиболее популярные психологические тесты, применяемые для количественной оценки ФС, ФР и других свойств психики человека, а также ряд расчетных формул для оценки используемых психологических показателей. Вычислительные возможности ядра используются также для определения количественных характеристик функциональных состояний и функционального резерва, адаптационного потенциала, уровня тренированности спортсменов и их готовности к соревнованиям, уверенности в прогнозе и раннем диагнозе заболеваний, на которые обучается комплекс, уровня психоэмоционального напряжения и утомления и др.

Для контроля физиологических параметров в базовом варианте комплекса используются микросхемы ADS1293, AD5933, STM32 и радиомодуль Bluetooth. Базовая структура комплекса представлена на рис. 1.

Регистрация ЭКГ от 2 до 6 каналов отведений осуществляется микросхемой ADS1293. Контроль сопротивлений биологически активных точек (БАТ), используемых в ряде методик, определяется уровнем психоэмоционального напряжения и утомления, оценкой ФС и ФР, а также в прогностических и диагностических моделях по ряду психосоматических заболеваний осуществляется микросхемой AD5933. Операционный усилитель ОУ используется как буфер связи между биообъектом и AD5933. Микроконтроллер STM32 осуществляет предварительную обработку электрофизиологической информации и радиосвязь с планшетом или смартфоном через радиомодуль Bluetooth.

На рис. 2 показан вариант всплывающего окна на экране планшета, с помощью которого измеряются показатели внимания *PV* (концентрированность, объем, селективность, переключаемость, распределяемость, устойчивость) и памяти *PP* (объем, точность, оперативность).

Описание методик определения *PV* и *PP* и соответствующие расчетные формулы приведены в работах [6], [7]. При реализации перечисленных показателей внимания и памяти одним из измеряемых параметров является время реакции испытуемого. Контроль качества реакции может осуществляться с использованием миограммы, датчик измерения которой подключается к одному из каналов ADS1293. Фиксацию начала реакции можно осуществлять также акселерометром ADXL362, подключаемым к интерфейсу SPI микроконтроллера STM32, причем второй интерфейс этого типа может быть сконструирован свободными разрядами GPIO. Методики съема (выбор точек БАТ на теле), режимы измерений и формулы первичной обработки снимаемой с БАТ информации подробно описаны в работах [8], [9]. В литературе по оценке ФС и ФР основная информация для принятия решений, получаемая из электрокардиосигнала, основана на анализе структуры ритма работы сердца (частота сердечных сокращений ЧСС, индекс

напряжения *IN* по Р.М. Баевскому, спектральный относительный индекс *SI* – соотношение низкочастотной и высокочастотной характеристик). Формулы для расчета показателей, связанных со структурой ритма сердца, приведены в работе [1]. Для расчета величин адаптационного потенциала и функционального резерва по Р.М. Баевскому кроме ЧСС используются показатели систолического и диастолического артериального давления. Эти показатели в базовом варианте вводятся со всплывающей панели планшета. В то же время микроконтроллер STM 32 позволяет управлять работой измерителя артериального давления (АД), который может быть выполнен как приставка к схеме, представленной на рис. 1 (рис. 3).

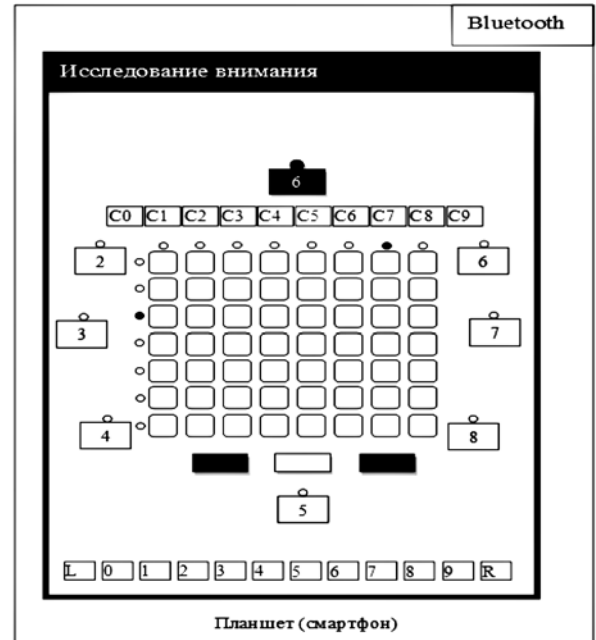


Рис. 2. Графический интерфейс реализации методик внимания и памяти

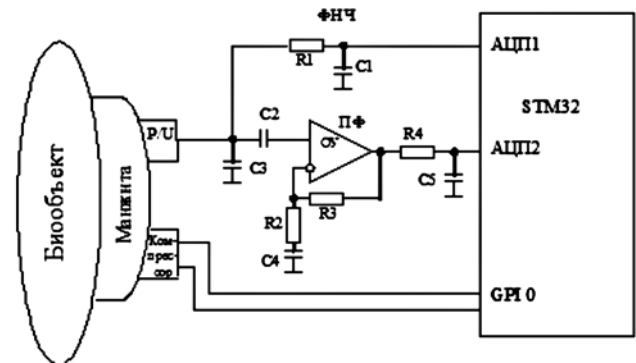


Рис. 3. Фрагмент измерителя артериального давления

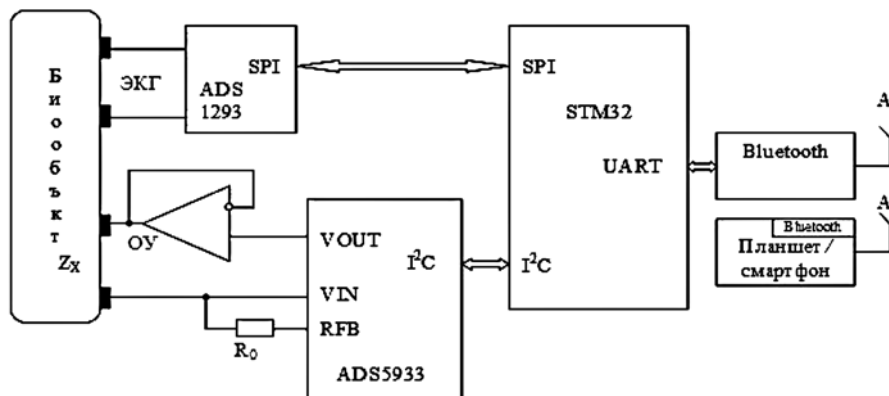


Рис. 1. Базовая структура аппаратно-программного комплекса для психофизиологических исследований

Современные датчики измерения давления P/U позволяют одновременно регистрировать и величину АД, и пульсацию тонов Короткова, которые разделяются фильтром низкой частоты (ФНЧ) и полосовым фильтром (ПФ). С управляющего порта GPIU производится управление включением компрессора и клапаном травления воздуха.

В базовом варианте программного обеспечения реализуется расчет ряда показателей, предложенных в работах Р.М. Баевского (адаптационный потенциал  $AP$ , индекс напряжения  $IN$ , спектральный относительный индекс  $SI$ , функциональный резерв  $FR_B$ ). Методики расчета этих показателей описаны в работе [1]. Кроме этого, решается целый ряд прикладных задач различной направленности. По показателям концентрированности, переключаемости и устойчивости внимания осуществляется классификация ФС с разделением на следующие классы: психоэмоциональное напряжение (ПЭН), утомление (У), активация (А) и функциональный покой (ФП). Классификационная математическая модель описана в работах [5], [6].

Оценка уровня ПЭН, утомления и активации производится с использованием нечетких зависимостей вида

$$\begin{aligned} YP &= F_P(PV, B_P, T_P); \\ YU &= F_U(PV, B_U, T_U); \\ YA &= F_A(PV, B_A, T_A), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $F_P, F_U, F_A$  – нечеткие агрегаторы для классов ПЭН, У, А;  $PV$  – показатели внимания;  $B_P, B_U, B_A$  – относительные отклонения сопротивлений БАТ от своих номинальных значений, «связанных» с психоэмоциональной сферой, утомлением и активацией соответственно;  $T_P, T_U, T_A$  – значения показателей, рассчитываемых по субъективным опросникам для исследуемых классов ФС.

Методики расчета с соответствующими аналитическими выражениями по группе формул (1) приведены в работах [5], [6].

Величина функционального резерва по энергетическому разбалансу меридианных структур организма (система БАТ)  $\Phi R_M$  определяется выражением

$$\Phi R_M = F_{MR}(ER_0, ER_N, T_V), \quad (2)$$

где  $F_{MR}$  – нечеткий агрегатор для меридианных структур;  $ER_0$  – энергетический разбаланс меридианных структур организма до нагрузок;  $ER_N$  – энергетический разбаланс после дозированной нагрузки;  $T_V$  – время возврата энергетического разбаланса до заданного уровня.

Вариант расчетных формул типа (2) приведен в работе [2].

Уровень спортивной подготовки определяется выражением

$$US = F_{SP}(FS_S, FR_S), \quad (3)$$

где  $F_{SP}$  – агрегатор для вида спорта  $S$ ;  $FS_S$  – уровень показателя функционального состояния;  $FR_S$  – уровень функционального резерва.

Конкретные виды выражений (3) выбираются для каждого вида спорта в соответствии с общей методикой синтеза гибридных нечетких решающих правил, описанных в работах [10]-[14].

Уверенность в прогнозе возникновения и развития выбранного класса заболеваний  $\omega_l$  ( $l = 1, \dots, L$ ) определяется выражениями

$$\begin{aligned} UP_l &= FP_l(IF_l, E_l, YP, TU, BT_l, UZ_l, PR_l); \\ UR_l &= FR_l(IF_l, E_l, YP, TU, BT_l, UZ_l, PR_l), \end{aligned} \quad (4)$$

где  $UP_l$  – уверенность в риске появления или развития заболевания класса  $\omega_l$ ;  $UR_l$  – уверенность в наличии ранней (доклинической) стадии заболевания класса  $\omega_l$ ;  $FP_l, FR_l$  – соответствующие функции агрегации;  $IF_l$  – индивидуальные факторы риска;  $E_l$  – факторы риска, вызываемые экологической обстановкой;  $BT_l$  – признаки, характеризующие энергетический

разбаланс БАТ, «связанных» с заболеванием  $\omega_l$ ;  $UZ_l$  – уровень защиты организма относительно  $\omega_l$ ;  $PR_l$  – профессиональные факторы риска.

Количество и состав информативных признаков в выражениях (4) оптимизируются для каждой конкретной задачи с привлечением элементов теории измерения латентных переменных с моделью Г. Раша [15]. Общий порядок синтеза гибридных решающих правил типа (4) описан в работах [10]-[14]. Конкретные выражения типа (4) для некоторых классов заболеваний приводятся в работах [16]-[24].

Программное обеспечение аппаратно-программного комплекса выполнено по модульному принципу, что позволяет его достаточно легко корректировать и дополнять.

Технические возможности комплекса значительно расширяются, если его дополнить микросхемой ADuMC 350, представляющей собой прецизионный чип, позволяющий подключить к плате или смартфону различные типы активных и пассивных медицинских сенсоров.

#### Список литературы:

1. Баевский Р.М., Барсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риска развития заболеваний. – М.: Медицина, 1997. 235 с.
2. Корневский Н.А., Коростелев А.Н. Применение гетерогенных нечетких моделей для комплексной оценки уровня функционального резерва человека // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 8. С. 142-147.
3. Корневский Н.А., Лукашов М.И., Чурсин Г.В. Нечеткая оценка роли физического утомления в рецидиве хронических заболеваний // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2009. Т. 8. № 3. С. 692-696.
4. Леонова А.Б. Психодиагностика функционального состояния человека. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. 2000 с.
5. Руненко С.Д., Таламбум Е.А., Ачкасов Е.Е. Исследование и оценка функционального состояния спортсменов / Уч. пособие для студентов лечебных и педиатрических факультетов медицинских вузов. – М.: ММА им. И.М. Сеченова, 2010. 72 с.
6. Титов В.С., Мишустин В.Н., Новиков А.В., Коровин Е.Н. Классификация функциональных состояний и оценка уровня психоэмоционального напряжения и утомления на основе гибридных нечетких моделей // Медицинская техника. 2013. № 4. С. 11-14.
7. Корневский Н.А., Скопин Д.Е., Аль-Касабех Р., Кузьмин А.А. Комплекс для исследования внимания и памяти // Медицинская техника. 2010. № 1. С. 36-41.
8. Корневский Н.А., Крупчатников Р.А., Аль-Касабех Р.Т. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. 528 с.
9. Корневский Н.А., Филлист С.А., Емельянов С.Г., Шевякин В.Н., Крупчатников Р.А. Полифункциональная компьютерная система рефлексодиагностики и рефлексотерапии // Медицинская техника. 2008. № 2. С. 20-24.
10. Корневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. № 1. С. 33-35.
11. Корневский Н.А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия «Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение». 2013. № 2. С. 99-103.
12. Корневский Н.А., Руцкой Р.В., Долженков С.Д. Метод прогнозирования и диагностики состояния здоровья на основе коллективов нечетких решающих правил // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2013. Т. 12. № 4. С. 905-909.

13. Корневский Н.А., Разумова К.В. Синтез коллективов гибридных нечетких моделей оценки состояния сложных систем // Научное издание. 2014. Т. 15. № 12. С. 31-40.
14. Корневский Н.А., Крупчатников Р.А., Горбатенко С.А. Синтез нечетких сетевых моделей, обучаемых по структуре данных для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2008. № 2. С. 18-24.
15. Корневский Н.А., Бойцова Е.А., Шуткин А.Н. Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей Г. Раша // Медицинская техника. 2015. № 6. С. 37-40.
16. Корневский Н.А., Хадеев Д.В., Яцун С.М. Прогнозирование возникновения и развития заболеваний кожи, имеющих представительство на биологически активных точках с использованием нечетких решающих правил // Медицинская техника. 2008. № 2. С. 11-15.
17. Филатова О.И. Метод, модели и алгоритм анализа и управления функциональным состоянием человека на основе нечетких гетерогенных правил принятия решений / Дис. канд. техн. наук: 05.11.17 г., защищена 11.11.11 г. Курск, 2011 г.
18. Korenevskiy N.A., Al-Kasasbeh R.T., Ionescous F., Alshamasin M., Alkasasbeh E., Smith A.P. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional // IFMBE Proceedings. 2013. Vol. 40. PP. 213-216.
19. Korenevskiy N.A., Al-Kasasbeh R.T., Ionescous F., Alshamasin M., Alkasasbeh E., Smith A.P. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional / Proceedings of the 4<sup>th</sup>-international conference in the development of biomedical engineering «Mega-Conference on Biomedical Engineering». Ho Chi Minh City, Vietnam, January 8-12, 2012. PP. 354-357.
20. Korenevskiy N.A., Al-Kasasbeh R.T., Ionescous F., Alshamasin M., Alkasasbeh E., Smith A.P. Applicator of fuzzy analysis with the energy condition of bioactive points to the prediction and diagnosis of gastrointestinal tract diseases // International Journal of Biomedical Engineering and Technology (IJBT). 2013. Vol. 11. PP. 136-154.
21. Korenevskiy N.A., Al-Kasasbeh R.T., Ionescous F., Alshamasin M., Alkasasbeh E., Smith A.P. Prediction of gastric ulcers based on the change in electrical resistance of acupuncture points using fuzzy logic decision making // Computer Methods In Biomechanics and Biomedical Engineering. 2013. Vol. 16. PP. 302-313.
22. Korenevskiy N.A., Al-Kasasbeh R.T., Ionescous F., Alshamasin M., Alkasasbeh E., Smith A.P. Prediction and Prenosological Diagnostics of Heart Diseases Based on Energy Characteristics of Acupuncture Points and Fuzzy Logic // Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering. 2012. Vol. 15. PP. 1476-8259.
23. Korenevskiy N.A., Al-Kasasbeh R.T., Ionescous F., Alshamasin M., Smith A.P. Fuzzy Logic for Prediction of Occurrence, Aggravation and Pre-Nosologic Diagnostics of Osteochondrosis of a Backbone's Lumba-Region / Proc. CI 2009, IASTED International Conference on Computational Inteliigenc. Honolulu, Hawaii, USA.
24. Korenevskiy N.A., Al-Kasasbeh R.T., Ionescous F., Alshamasin M., Alkasasbeh E., Smith A.P. Prediction and prenosological diagnostics on gastrointestinal tract diseases based on energy characteristic of acupuncture points and fuzzy logic // In: Bioinformat and biomedical technology: Proceedings of the 3rd International Conference «Bioinformatics and Biomedical Technology» (ICBBT 2011). 2011. Sanya, China.

Софья Николаевна Корневская,  
магистрант,  
кафедра биомедицинской инженерии,  
Юго-Западный государственный университет,  
г. Курск,  
Елена Сергеевна Шкатова,  
аспирант,  
Воронежский институт ГПС МЧС России,  
г. Воронеж,  
Михаил Александрович Магеровский,  
тренер,  
Центральный спортивный клуб армии,  
г. Москва,  
Александр Николаевич Шуткин,  
канд. физ.-мат. наук, зам. начальника института  
по учебной работе,  
Воронежский институт государственной  
противопожарной службы МЧС России,  
г. Воронеж,  
e-mail: knsofia@mail.ru

**А.Г. Гудков, В.Ю. Леушин, С.В. Агасиева, А.Ф. Бобрихин,  
Е.Н. Горлачева, В.Н. Лемонджава, А.Н. Апарников**

## **Устройство для хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред**

### **Аннотация**

Сформулированы требования к функциональным характеристикам и возможностям устройств для безопасного хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред, определены состав и структура устройства.

Представлены структурная схема электромеханического модуля, обеспечивающего заданный режим перемешивания тромбоцитосодержащих трансфузионных сред, и структурная схема устройства, описан экспериментальный образец устройства.

Как было показано в работах [1]-[5], медицинскими требованиями установлены достаточно узкие рамки температуры хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред (от +20 до +24 °С), которые отличаются от нормальной комнатной температуры, что обуславливает использование специальных устройств поддержания с высокой точностью заданной температуры замкнутой среды ограниченного объема, в которой хранятся контейнеры с тромбоцитосодержащими трансфузионными средами.

Необходимость обеспечения высокой точности поддержания температуры в камере требует использования высокопрецизионных датчиков температуры и микропроцессорной системы управления для точного и плавного регулирования температуры внутри камеры. Для снижения вероятности порчи тромбоцитосодержащих трансфузионных сред из-за отказа

термостатирующего устройства или устройства помешивания следует использовать систему звукового и светового оповещения о возникновении неисправности с тем, чтобы обслуживающий персонал принял меры по обеспечению необходимых условий хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред иным способом и произвел срочный ремонт устройства.

Для повышения надежности работы устройства и снижения вероятности внезапного выхода его из строя следует использовать систему регистрации всех параметров его работы и таким образом вести регистрацию процесса хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред. Анализ протокола параметров работы устройства позволит выявить как повторяющиеся нестабильные неисправности, так и несоответствие показаний температуры системы управления действительным значениям. Для печати протокола процесса хранения необхо-