

УДК 612.014.426.1

DOI 10.18698/0536-1044-2016-11-14-25

Устройство для хранения тромбоцитов крови*

А.Г. Гудков¹, А.Ф. Бобрихин², В.Ю. Леушин², И.Н. Маржановский¹,
Е.Н. Горлачева¹, В.Н. Лемонджавва², В.Д. Шашурин¹

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

² ООО «НПИ ФИРМА ГИПЕРИОН», 121170, Москва, Кутузовский пр-т, д. 34

Storage Devices for Blood Platelets

A.G. Gudkov¹, A.F. Bobrikhin², V.Y. Leushin², I.N. Marzhanovskiy¹,
E.N. Goralcheva¹, V.N. Lemondzhava², V.D. Shashurin¹

¹ BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1

² Research and Manufacturing Innovation Firm «ООО НПИ ФИРМА ГИПЕРИОН», 121170, Kutuzovskiy Ave., Bldg. 34



e-mail: profgudkov@gmail.com, bobrikhin@yandex.ru, ooo.giperion@gmail.com,
gorlacheva@yandex.ru, schashurin@bmstu.ru



Приведены результаты разработки устройства для безопасного хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред. Разработана математическая модель физического процесса хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред в полимерных контейнерах, представленного в виде термогидродинамической системы. Предложена методика расчета переходных процессов стабилизации температуры тромбоцитного концентрата. Представлены результаты расчетов характерных режимов хранения, различающихся начальными условиями процесса.

Ключевые слова: медицинская помощь, хранение крови, тромбоцитный концентрат.



This article presents the results of the development of a device for safe storage of transfusion media containing platelets. A mathematical model of the physical process of storing transfusion media containing platelets is developed. The media are stored in plastic containers constituting a thermos-hydrodynamic system. This article presents a methodology of calculation of transient temperature stabilization of the platelet concentrate. The calculation results of characteristic modes of storage that differ in initial process conditions are presented.

Keywords: medical care, blood storage, platelet concentrate.

Одной из важнейших составляющих высокотехнологичной медицинской помощи является широкое применение в повседневной лечебной практике тромбоцитного концентрата (ТК), который используется также при проведении реанимационных мероприятий, лечении онкогематологических заболеваний, при проведении кардиологических операций и операций, связанных с большой потерей крови [1].

Тромбоцитный концентрат представляет собой суспензию жизнеспособных и гемостатически активных тромбоцитов в плазме, приготовленную либо методом серийного центрифугирования консервированной крови, либо методом тромбоцитафереза крови одного донора. Обеспечение пациентов ТК является одной из наиболее сложных проблем организации трансфузиологической помощи [2].

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного контракта (соглашения) № 14.577.21.0138, уникальный идентификатор прикладных научных исследований и экспериментальных разработок (проекта) RFMEFI57714XO138.

В соответствии с Руководством по приготовлению, использованию и обеспечению качества компонентов крови тромбоциты следует хранить в таких условиях, при которых будут сохранены жизнеспособность и гемостатическая активность клеток. Если тромбоциты предстоит хранить более 24 ч, то для приготовления используют замкнутую систему полимерных контейнеров. Для обеспечения притока кислорода к тромбоцитам полимерные контейнеры должны иметь хорошую газопроницаемость. Потребность в кислороде зависит от содержания в концентрате тромбоцитов и лейкоцитов. Оптимальная температура хранения составляет от 20 до 24 °С. Необходимым условием сохранения жизнеспособности тромбоцитов является их постоянное перемешивание. Результаты ранее проведенных работ по созданию устройств для хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред (ТТС) приведены в работе [3–15].

Отсутствие в стационарах гематологического профиля отечественного оборудования для хранения тромбоцитов и чрезвычайно высокая цена импортного оборудования существенно ограничивают заготовку и применение новых методов лечения значительного количества заболеваний (в том числе и высокотехнологичной медицинской помощи), требующих инфузий концентрата тромбоцитов [16–34].

На всех этапах переработки, хранения и транспортирования ТК необходимо обеспечить:

- идентификацию продукта;
- установленные условия хранения, создаваемые специальным оборудованием;
- раздельное хранение компонентов крови по статусу, группам крови АВ0 и резус-принадлежности;
- защиту от повреждения;
- помешивание тромбоцитов;
- контроль условий внешней среды;
- регистрацию данных наблюдения.

Цель работы — проведение исследований, направленных на создание устройства для безопасного хранения тромбоцитов крови с применением систем термостабилизации на основе полупроводниковых термоэлектрических элементов и информационного обеспечения мониторинга процесса хранения.

Устройство для безопасного хранения ТТС в полимерных контейнерах включает в себя теплоизолированную камеру и размещенное в



Рис. 1. Устройство для безопасного хранения ТТС в полимерных контейнерах

ней устройство перемешивания ТТС, систему термостатирования внутреннего пространства теплоизолированной камеры, систему звукового и светового оповещения о возникновении неисправностей и несанкционированных действиях, систему бесперебойного электропитания, информационную систему, обеспечивающую мониторинг процесса хранения, и систему радиочастотной идентификации контейнеров. Опытный образец устройства представлен на рис. 1.

Требуемая высокая точность температуры хранения ТТС и ее высокая равномерность по объему камеры обуславливают использование в составе системы термостатирования элементов охлаждения-нагрева с низкой инерционностью. В качестве таких элементов наибольшее распространение в настоящее время получили полупроводниковые термоэлектрические элементы (элементы Пельтье). По сравнению с другими устройствами охлаждения-нагрева полупроводниковые термоэлектрические элементы имеют такие преимущества, как миниатюрность, отсутствие чувствительности к вибрациям, возможность плавного и точного регулирования температурного режима, экологичность, бесшумность и произвольная ориентация в пространстве [3].

В настоящее время на рынке представлены дорогостоящие комплексы зарубежных производителей. Например, компания Helmer (США) выпускает инкубаторы тромбоцитной массы моделей PC100, PC900, PC1200, PC2200, PC3200,

Технические характеристики

Устройство	Количество контейнеров, шт.	Температура, °С	Напряжение, В (частота, Гц)	Мониторинг процесса хранения ТК
Разрабатываемое устройство для хранения ТТС	24	20...24	110...250 (50)	Имеется
Инкубаторы тромбоцитарной массы моделей PC100, PC900, PC1200, PC2200, PC3200, PC4200	15	20...24	230 (50/60)	Отсутствует
Перемешиватели тромбоцитов моделей PFS15, PFS42, PFS84	15	—	230 (50/60)	»

PC4200 и перемешиватели тромбоцитов моделей PFS15, PFS42, PFS84, PFS396, а фирма Presvac (Аргентина) — инкубаторы тромбоцитарной массы моделей AP-48 LT, AP-96 LT (DD и SD) и перемешиватели донорских тромбоцитов моделей AP-48 L, AP-96 L и AP-30 (роторного типа). Для сравнения в таблице приведены технические характеристики разрабатываемого устройства для хранения ТТС и его аналогов компании Helmer.

В рамках работы проведен комплекс термогидродинамических расчетов с использованием технологий компьютерного моделирования, целью которого являлось определение времени переходного процесса стабилизации температуры ТТС, находящейся внутри полимерного контейнера.

В результате трехмерного сканирования контейнера, заполненного ТК, получено численное описание поверхностной геометрии, которое было подвергнуто компьютерной обработке для получения твердотельной трехмерной модели жидкостного объема. Трехмерное сканирование выполнено с помощью прибора Breuckmannstereo SCAN 5MP. Далее была составлена расчетная схема объекта исследования

(рис. 2), где введены следующие обозначения: Ω_1 — объем жидкости; Ω_2 — оболочка контейнера; Ω_3 — полка устройства для хранения ТТС; Ω_4 — воздушный объем вокруг контейнера и полки; S_1 — поверхность контакта оболочки контейнера с окружающим воздухом; S_2 — поверхность раздела оболочки с жидкостью; S_3 — поверхность контакта оболочки контейнера с полкой; S_4 — поверхность раздела полки с окружающим воздухом. В качестве граничного условия принято, что температура внешней границы воздушного объема постоянна и равна начальной температуре воздушного объема.

Согласно расчетной схеме, при хранении ТТС в рассматриваемом объеме происходят следующие процессы (характеризуемые количеством теплоты, указанным в скобках): теплообмен внутри объема жидкости ($Q_{ж}$); теплообмен по воздушному объему ($Q_{в}$); контактный теплообмен теплопроводностью по оболочке полимерного контейнера ($Q_{об}$); теплообмен теплопроводностью по полке ($Q_{п}$); контактный теплообмен между оболочкой и полкой ($Q_{об-п}$); конвективный теплообмен между жидкостью и оболочкой полимерного контейнера ($Q_{ж-об}$); конвективный теплообмен между окружающим воздухом и оболочкой ($Q_{в-об}$); конвективный теплообмен между окружающим воздухом и полкой ($Q_{в-п}$); конвективный теплообмен между воздухом и изотермической внешней границей ($Q_{в-ст}$).

В соответствии с расчетной схемой составлена математическая модель физических процессов, протекающих при хранении ТК. Для корректной постановки задачи расчета термогидродинамической системы приняты следующие допущения:

- движение жидкости и воздуха — ламинарное;
- жидкость и воздух — ньютоновские и несжимаемые среды (в силу малых скоростей движения);

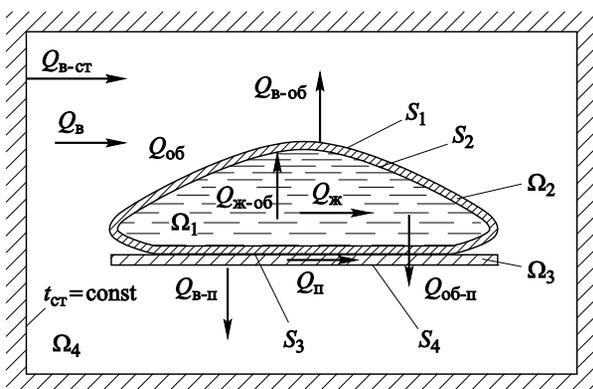


Рис. 2. Расчетная схема полимерного контейнера с ТТС

- рассматриваемые материалы однородны по составу и изотропны по теплофизическим свойствам;

- физические параметры жидкой (ТК), газовой (воздуха) и твердых тел независимы от температуры;

- поскольку плотность жидких сред меняется в незначительных пределах, используется приближение Буссинеска, в соответствии с которым плотности жидкости и воздуха являются линейными функциями температуры и определяются как $\rho = \rho_0[1 - \beta(T - T_0)]$, где ρ — плотность жидкой среды; T — температура; β — коэффициент объемного расширения жидкой среды; $\rho_0 = \rho(T_0)$ — характерное значение плотности при температуре T_0 ; тепловое излучение не рассматривается.

Описание процессов движения и теплообмена основано на системе дифференциальных уравнений в частных производных. Для описания конвективного теплообмена между элементами системы и окружающим воздухом используются следующие зависимости для жидкой среды:

- уравнения сохранения количества движения

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \text{div}(\rho \mathbf{v}u) = \text{div}(\mu \text{grad } u) - \frac{\partial p}{\partial x}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \text{div}(\rho \mathbf{v}v) = \text{div}(\mu \text{grad } v) - \frac{\partial p}{\partial y}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho w) + \text{div}(\rho \mathbf{v}w) = \text{div}(\mu \text{grad } w) - \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g; \quad (3)$$

- уравнение сохранения массы

$$\text{div}(\rho \mathbf{v}) = 0; \quad (4)$$

- уравнение сохранения энергии

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c T) + \text{div}(\rho \mathbf{c}vT) = \text{div}(\lambda \text{grad } T), \quad (5)$$

где t — время; \mathbf{v} — вектор скорости; u, v, w — проекции вектора скорости на оси x, y, z соответственно; μ — динамическая вязкость; p — давление; x, y, z — координаты положения; g — ускорение свободного падения; c — удельная теплоемкость; λ — коэффициент теплопроводности жидкой среды.

Приведенные зависимости рассмотрены с учетом приближения Буссинеска: плотности жидких сред приняты всюду постоянными, за

исключением члена, описывающего выталкивающую силу, где плотность считалась линейной функцией температуры.

В общем случае система уравнений (1)–(5) не имеет аналитического решения. Для получения приближенного решения использованы численные методы, включающие в себя этап дискретизации на основе метода контрольных объемов и специально разработанного итерационного алгоритма. Для численного моделирования методом контрольных объемов выполнено разбиение твердотельной модели на сетку конечных объемов. Перед каждым расчетом проведено определение температуры жидкости в пакете, оболочки, полки и воздуха, характерные для режима.

На рис. 3 представлены характерные распределения температур в расчетной области.

На рис. 4 приведены расчетные временные зависимости температуры ТК в полимерном контейнере при переходе устройства для хранения ТТС в режим стабилизации температуры для различных значений начальной температуры ТТС и времени переходного процесса $t_{п.п.}$

В результате проведенных расчетов установлено, что в зависимости от начальных условий продолжительность термостабилизации составляла от 3,7 до 5,8 мин (от 220 до 350 с), что позволяет судить о достаточно быстром переходе в режим термостабилизации.

Для теплового проектирования устройства в целом составлена упрощенная трехмерная модель камеры для ТТС в соответствии с ранее разработанной конструкцией, приведенная на рис. 5. Термобатарея представлена как трехслойная стенка, через средний слой которой проходит постоянный тепловой поток, равный

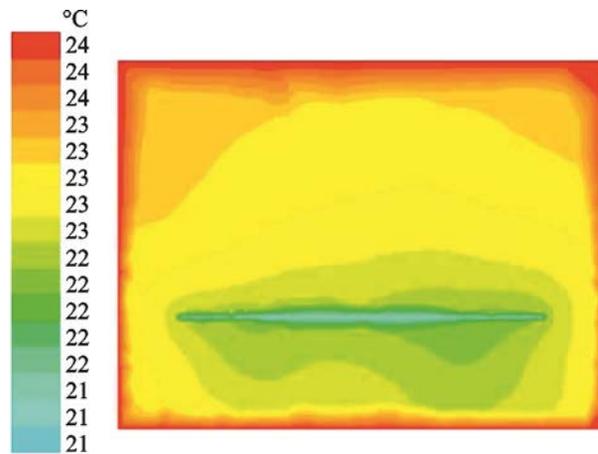


Рис. 3. Распределение температуры в расчетной области для момента времени $t = 100$ с

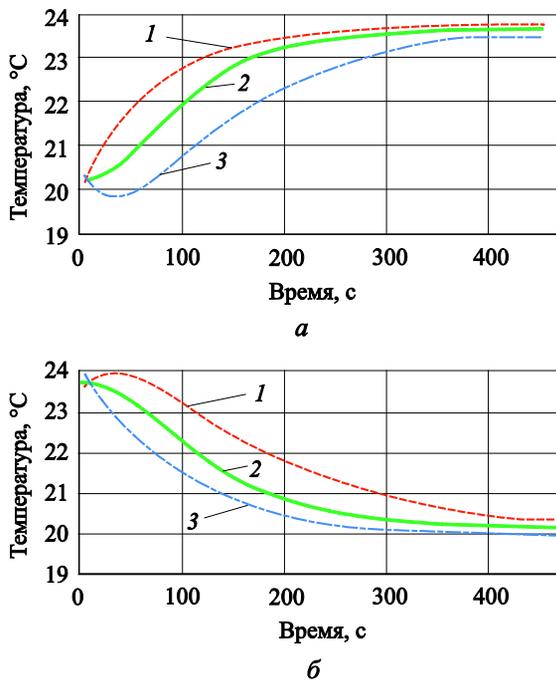


Рис. 4. Графики переходного процесса по объему в расчетной области при максимальном (1), среднем (2) и минимальном (3) значениях начальной температуры ТТС:
 $a - t_{п.л} = 340$ с; $b - t_{п.л} = 350$ с

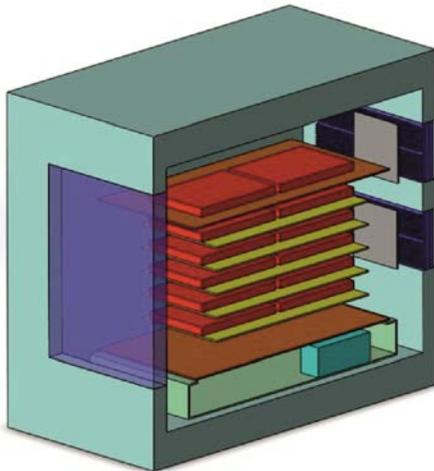


Рис. 5. Сечение трехмерной модели расчетной области камеры для ТТС

холодопроизводительности термоэлектрического модуля. Каждый из внутренних вентиляторов выполнен в виде параллелепипеда, на одной грани которого задана скорость всасывания потока, а на противоположной — скорость нагнетания.

Для каждой границы раздела жидкой и твердой фаз рассмотрен процесс конвективно-теплообмена, в каждом однородном объекте расчетной схемы — процесс теплообмена теп-

лопроводностью, а между каждым двумя сегментами поверхностей — наличие лучистого теплообмена, зависящего от температуры поверхностей. В случае затенения лучистый теплообмен между двумя сегментами не учитывался.

Для численного моделирования проведено разбиение твердотельной модели на сетку конечных объемов. В результате разбиения получена расчетная сетка, состоящая из 4 696 518 элементов и 5 709 102 узлов. Общий вид сетки в области поверхностей раздела представлен на рис. 6.

Расчеты проведены с шагом, равным 1 с. Время расчета составило 4 000 с. На рис. 7 показано изменение распределения температур в расчетной области для различных значений времени расчета t_p . Как видно из рисунка, наиболее теплые массы воздуха концентрируются в верхней части камеры, а наиболее холодные — в области около радиатора термоэлектрического модуля.

Нагрев от двигателя электромеханического модуля не приводит к значительному перераспределению температур.

Для повышения надежности устройства и снижения вероятности внезапного выхода его из строя разработана система регистрации всех параметров его работы, включая временные зависимости температуры в различных зонах камеры, моменты открывания двери камеры и аварийные ситуации, связанные с отключением напряжения сети и остановкой устройства перемешивания. Анализ протокола параметров работы устройства позволяет выявить как повторяющиеся нестабильные неисправности, так

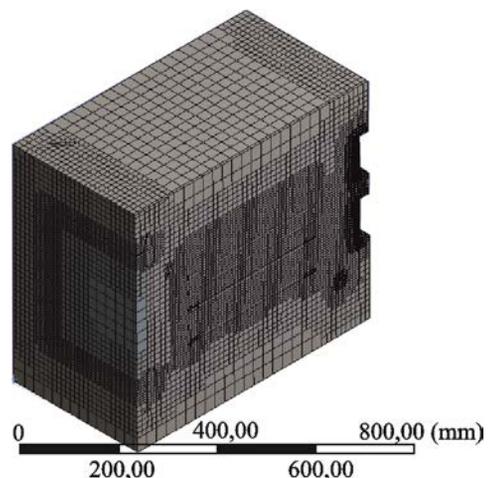


Рис. 6. Общий вид расчетной сетки конечных объемов

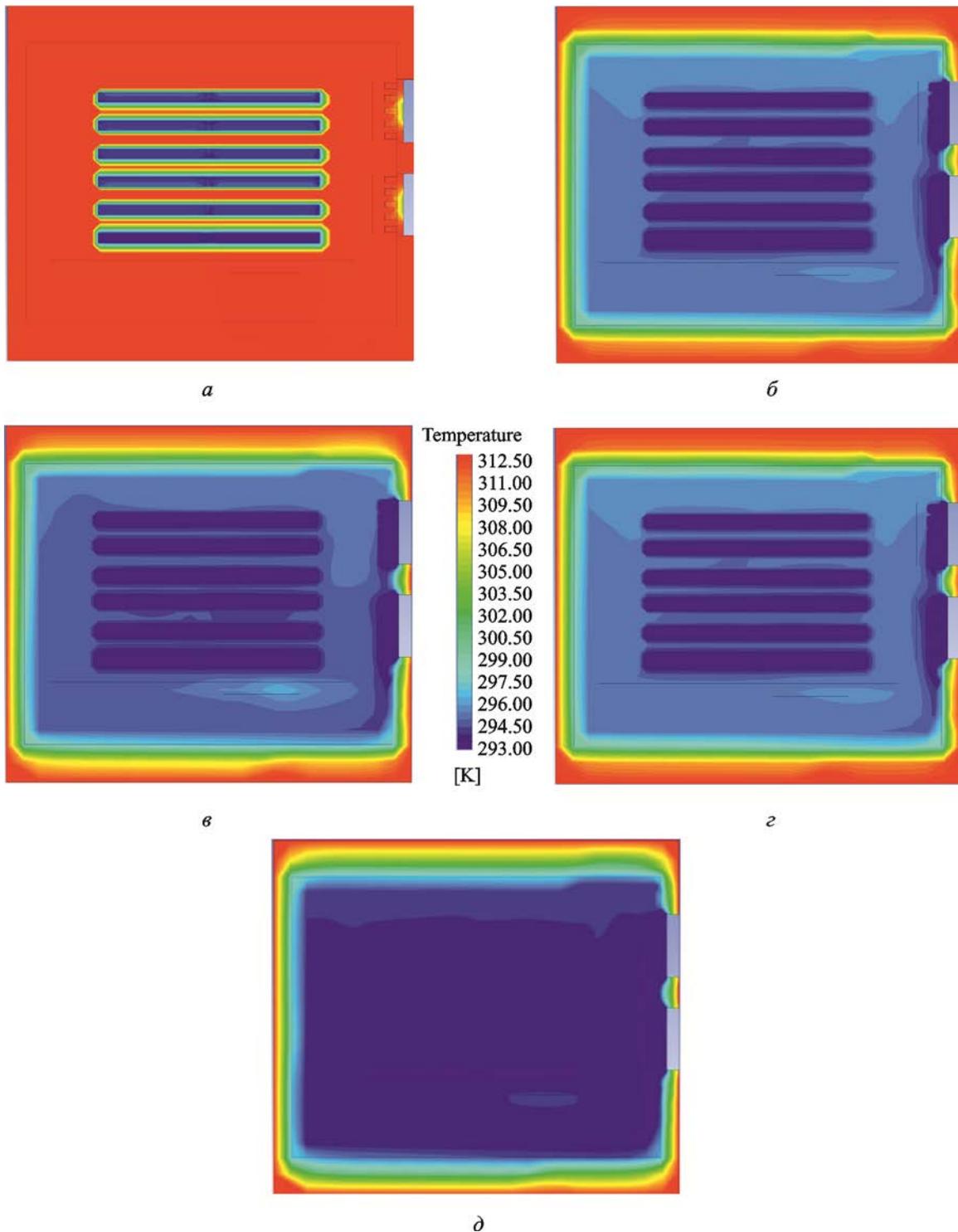


Рис. 7. Распределение температуры в расчетной области при различных значениях времени: а — $t_p = 0$ мин (начало расчета); б — $t_p = 1$ мин; в — $t_p = 10$ мин; г — $t_p = 15$ мин; д — $t_p = 60$ мин

и несоответствие показаний температуры системы управления действительным значениям. Вывод протокола на печать влечет за собой необходимость использования системы коммутации либо непосредственно с печатающим устройством, либо с персональным компьюте-

ром, к которому оно подключено. Для осуществления длительного хранения протоколов в электронном виде предусмотрено подключение устройства к персональному компьютеру. Для этой цели использован соответствующий интерфейс.

Выводы

1. Предложен новый подход к построению устройства для тепловой обработки и хранения компонентов и препаратов крови, обеспечивающего безопасность тромбоцитного концентрата в учреждениях службы крови.

2. Результаты проведенного математического моделирования использованы при создании

экспериментального образца устройства для безопасного хранения ТТС, который обеспечивает требования Всемирной организации здравоохранения к режимам хранения ТК, а также дистанционный контроль и протоколирование режимов хранения ТК с помощью персонального компьютера.

Литература

- [1] Цыбуляк Г.Н., Четкин А.В. *Инфузионно-трансфузионная терапия. Общая хирургия поврежденных*. Санкт-Петербург, Гиппократ, 2005, с. 148–185.
- [2] Грицаев С.В., Глазанова Т.В., Даваасамбуу Б., Карягина Е.В., Потихонова Н.А., Бубнова Л.Н., Четкин А.В., Абдулкадыров К.М. Эффективность трансфузий тромбоцитоконцентрата и антитромбоцитарные и антилейкоцитарные антитела у больных острым миелоидным лейкозом при проведении интенсивной цитостатической терапии. *Вестник Службы крови России*, 2014, № 2, с. 46–51.
- [3] Бобрин А.Ф., Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Лемонджав В.Н., Петров В.И., Шукин С.И. Оборудование для тепловой обработки и хранения компонентов и препаратов крови. *Медицинская техника*, 2015, № 2, с. 40–43.
- [4] Четкин А.В., Данильченко В.В., Григорьян М.Ш., Макеев А.Б., Гудков А.Г., Шукин С.И. Обеспечение безопасности использования тромбоцитного концентрата в учреждениях службы крови. *Медицинская техника*, 2016, № 2, с. 1–3.
- [5] Гудков А.Г., Бобрин А.Ф., Зеленов М.С., Леушин В.Ю., Лемонджав В.Н., Маржановский И.Н., Чернышев А.В. Моделирование процессов хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред в полимерных контейнерах. *Медицинская техника*, 2016, № 3, с. 53–55.
- [6] Бобрин А.Ф., Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Лемонджав В.Н., Лазаренко М.И., Четкин А.В., Борозинец А.С., Кухарева Е.С. Проектирование устройств для тепловой обработки и хранения компонентов и препаратов крови. *Машиностроитель*, 2016, вып. 1, с. 59–63.
- [7] Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Поздин С.В., Бобрин А.Ф., Петров В.И. Термостатируемое устройство для хранения тромбоцитосодержащих сред. *Медицинская техника*, 2012, № 3 (273), с. 18–20.
- [8] Bobrikhin A.F., Leushin V.Y., Lemondzhava V.N., Gudkov A.G., Schukin S.I., Petrov V.I. Equipment for thermal treatment and storage of blood preparations and components. *Bio-medical Engineering*, 2015, vol. 49, no. 2, pp. 116–119. Doi: org/10.1007/s10527-015-9510-1.
- [9] Борисов А.А., Гудков А.Г., Жибурт Е.Б., Каюмова Л.И., Леушин В.Ю., Попов В.В., Селиванов Е.А. Опыт разработки устройств для размораживания криоконсервированных продуктов крови. *Биомедицинские технологии и радиоэлектроника*, 2002, вып. 10–11, с. 66–72.
- [10] Гудков А.Г., Захаров В.В., Леушин В.Ю., Мешков С.А., Оприщенко С.А., Русанов В.М. Устройство для инактивирования вирусов при пастеризации альбумина: пути решения проблемы обеспечения точности процесса термообработки. *Технологии живых систем*, 2006, т. 3, № 5, с. 41–51.
- [11] Борисов А.А., Гудков А.Г., Мешков С.А. Оптимальное проектирование прецизионных тепловых медицинских приборов. *Радиопромышленность*, 2002, вып. 1, с. 69–73.
- [12] Гудков А.Г., Онуфриевич А.Д., Каюмова Л.И., Попов В.В., Четкин А.В., Леушин В.Ю., Мешков С.А., Селиванов Е.А. Размораживатель криоконсервированных продуктов крови «Плазмотерм-4»: решение проблемы обеспечения точности процесса термообработки. *Биомедицинская радиоэлектроника*, 2007, № 6, с. 39–43.

- [13] Гудков А.Г. Процесс разработки нового высокотехнологичного наукоемкого товара. *Наукоемкие технологии*, 2003, т. 4, № 6, с. 69–83.
- [14] Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Попов В.А., Раевский С.К. Технологическое холодильное оборудование для хранения эритроцитарной массы. *Технологии, оборудование, материалы*, 2003, № 3, с. 58–60.
- [15] Бахрах Л.Д., Виноградный А.С., Гудков А.Г. Тепловое оборудование блочного типа на нетрадиционных теплоносителях. *Наукоемкие технологии*, 2001, № 5, с. 4–14.
- [16] Гудков А.Г., Лазаренко М.И., Леушин В.Ю., Чечёткин А.В. *Технологии трансфузиологии*. Москва, Сайнс-Пресс, 2012. 272 с.
- [17] Гудков А.Г. Метод инновационно-технологической оптимизации при проектировании технологического оборудования для медицины. *Биомедицинские технологии и радиоэлектроника*, 2003, вып. 5, с. 66–72.
- [18] Бородавко В.И., Верба В.С., Гудков А.Г., Лазаренко М.И., Леушин В.Ю., Попов В.В., Филатов А.В. Возможности инновационного развития производства медицинского оборудования для службы крови. *Биомедицинская радиоэлектроника*, 2010, № 1, с. 54–64.
- [19] Гудков А.Г., Городецкий В.М., Лазаренко М.И., Леушин В.Ю., Чечёткин А.В. Трансфузиологическая служба в многопрофильном лечебно-профилактическом учреждении. *Биомедицинская радиоэлектроника*, 2011, № 9, с. 17–27.
- [20] Верба В.С., Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Мурафетов А.А., Попов В.В., Раевский С.К. Отечественное оборудование для службы крови. *Гематология и трансфузиология*, 2008, т. 53, № 1, с. 43–44.
- [21] Gudkov A.G., Petrov V.I., Leushin V.Y., Pozdin S.V., Bobrikhin A.F. A Thermostating device for storage of thrombocyte-containing media. *Biomedical Engineering*, 2012, vol. 46(3), pp. 104–105.
- [22] Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Агасиева С.В., Бобрихин А.Ф., Лемонджав В.Н. Оборудование для хранения тромбоцитосодержащих сред. *Машиностроитель*, 2014, № 11, с. 42–46.
- [23] Агасиева С.В., Бобрихин А.Ф., Борозинец А.С., Гудков А.Г., Лазаренко М.И., Лемонджав В.Н., Леушин В.Ю., Маржановский И.Н., Чечёткин А.В. Устройство для размораживания криоконсервированных продуктов крови. *Техника машиностроения*, 2015, № 2 (94), с. 49–55.
- [24] Гудков А.Г. Современное медицинское оборудование для службы крови, офтальмологии и отоларингологии. *Русский инженер*, 2009, № 3(22), с. 44–46.
- [25] Гудков А.Г. *Радиоаппаратура в условиях рынка. Комплексная технологическая оптимизация*. Москва, Сайнс-Пресс, 2008. 336 с.
- [26] Биттер В.В., Виноградный А.В., Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Цыганов Д.И. Инновация — основной фактор развития медицинской техники. *Наукоемкие технологии*, 2004, № 8–9, с. 117–125.
- [27] Гудков А.Г. Метод инновационно-технологической оптимизации при проектировании высокотехнологичных наукоемких изделий. *Инновации*, 2003, № 6, с. 61–63.
- [28] Гудков А.Г., Данилова А.В., Леушин В.Ю., Поздин С.В., Чечёткин А.В. Медико-технологические особенности приготовления эритроцитной взвеси из фильтрованной консервированной крови. *Биомедицинская радиоэлектроника*, 2011, № 4, с. 50–56.
- [29] Городецкий В.М., Гудков А.Г., Нарайкин О.С., Попов В.В., Шукин С.И. Модернизация службы крови страны — важнейшая задача отечественного медицинского приборостроения. *Биомедицинская радиоэлектроника*, 2013, № 3, с. 3–9.
- [30] Гудков А.Г., Попов В.В., Леушин В.Ю., Бобрихин А.Ф., Лемонджав В.Н. Комплексный подход при создании электронных устройств для тепловой обработки и хранения компонентов и препаратов крови. *Биомедицинская радиоэлектроника*, 2014, № 8, с. 54–60.
- [31] Гудков А.Г. Комплексная технологическая оптимизация медицинской техники. *Машиностроитель*, 2014, № 12, с. 50–61.

- [32] Агасиева С.В., Бобрихин А.Ф., Гудков А.Г., Лазаренко М.И., Лемонджав В.Н., Леушин В.Ю., Чечёткин А.В. Обеспечение точности процесса термообработки устройства инактивирования вирусов при пастеризации альбумина. *Машиностроитель*, 2015, № 6, с. 50–59.
- [33] Гудков А.Г. Процесс создания высокотехнологичного наукоемкого изделия. *Машиностроитель*, 2016, № 1, с. 13–20.
- [34] Бобрихин А.Ф., Гудков А.Г., Чечёткин А.В., Лазаренко М.И., Леушин В.Ю., Апарников А.Н., Кухарева Е.С. К вопросу размораживания криоконсервированных продуктов крови. *Машиностроитель*, 2016, № 2, с. 49–54.

References

- [1] Tsybuliak G.N., Chechetkin A.V. *Infuzionno-transfuzionnaia terapiia. Obshchaia khirurgiia povrezhdenii* [Infusion-transfusion therapy. General Surgery damage]. Saint Petersburg, Gipokrat publ., 2005, pp. 148–185.
- [2] Gritsaev S.V., Glazanova T.V., Davaasambuu B., Kariagina E.V., Potikhonova N.A., Bubnova L.N., Chechetkin A.V., Abdulkadyrov K.M. Effektivnost' transfuzii trombotsitokonsentrata i antitrombotsitarnye i antileikotsitarnye antitela u bol'nykh ostrym mieloidnym leikozom pri provedenii intensivnoi tsitostateskoi terapii [The effectiveness of anti-platelet transfusions and trombotsitokonsentrata and antileikotsitarnye antibodies in patients with acute myeloid leukemia during intensive cytostatic therapy]. *Vestnik Sluzhby krovi Rossii* [Bulletin of Russian Blood Service]. 2014, no. 2, pp. 46–51.
- [3] Bobrikhin A.F., Gudkov A.G., Leushin V.Y., Lemondzhava V.N., Petrov V.I., Schukin S.I. Equipment for thermal treatment and storage of blood preparations and components. *Biomedical Engineering*, 2015, vol. 49, no. 2, pp. 116–119.
- [4] Chechetkin A.V., Danil'chenko V.V., Grigor'ian M.Sh., Makeev A.B., Gudkov A.G., Shchukin S.I. Obespechenie bezopasnosti ispol'zovaniia trombotsitnogo konsentrata v uchrezhdeniiakh sluzhby krovi [Ensuring the safety of the use of platelet concentrates in blood service institutions]. *Meditinskaiia tekhnika* [Biomedical Engineering]. 2016, no. 2, pp. 1–3.
- [5] Gudkov A.G., Bobrikhin A.F., Zelenov M.S., Leushin V.Iu., Lemondzhava V.N., Marzhanovskii I.N., Chernyshev A.V. Modelirovanie protsessov khraneniia trombotsitodержashchikh transfuzionnykh sred v polimernykh konteinerakh [Modeling of storage containing platelet transfusion media in polymeric containers]. *Meditinskaiia Tekhnika* [Biomedical Engineering]. 2016, no. 3, pp. 53–55.
- [6] Bobrikhin A.F., Gudkov A.G., Leushin V.Iu., Lemondzhava V.N., Lazarenko M.I., Chechetkin A.V., Borozinets A.S., Kukhareva E.S. Proektirovanie ustroistv dlia teplovoi obrabotki i khraneniia komponentov i preparatov krovi [Hardware design for thermal processing and storage blood components and products]. *Mashinostroitel'* [Mechanician]. 2016, is. 1, pp. 59–63.
- [7] Gudkov A.G., Leushin V.Y., Pozdin S.V., Bobrikhin A.F., Petrov V.I. A Thermostatting Device for Storage of Thrombocyte-Containing Media. *Biomedical Engineering*, 2012, vol. 46, no. 3, pp. 104–105.
- [8] Bobrikhin A.F., Leushin V.Y., Lemondzhava V.N., Gudkov A.G., Schukin S.I., Petrov V.I. Equipment for thermal treatment and storage of blood preparations and components. *Biomedical Engineering*, 2015, vol. 49, no. 2, pp. 116–119. Doi: org/10.1007/s10527-015-9510-1.
- [9] Borisov A.A., Gudkov A.G., Zhiburt E.B., Kaiumova L.I., Leushin V.Iu., Popov V.V., Selivanov E.A. Opyt razrabotki ustroistv dlia razmorazhivaniia kriokonservirovannykh produktov krovi [Experience in the development of devices for thawing cryopreserved blood products]. *Biomeditsinskie tekhnologii i radioelektronika* [Biomedical technology and electronics]. 2002, is. 10–11, pp. 66–72.
- [10] Gudkov A.G., Zakharov V.V., Leushin V.Iu., Meshkov S.A., Oprishchenko S.A., Rusanov V.M. Ustroistvo dlia inaktivirovaniia virusov pri pasterizatsii al'bumina: puti resheniia problemy obespecheniia tochnosti protsessa termoobrabotki [Inactivation virus device under pasteurization of albumin: ways of the decision of a problem of maintenance of accurate

- cy of the heat treatment process]. *Tekhnologii zhivyykh system* [Technologies of Living Systems]. 2006, vol. 3, no. 5, pp. 41–51.
- [11] Borisov A.A., Gudkov A.G., Meshkov S.A. Optimal'noe proektirovanie pretsizionnykh teplovykh meditsinskikh priborov [Optimal design of high-precision thermal medical devices]. *Radiopromyshlennost'* [Radio industry]. 2002, is. 1, pp. 69–73.
- [12] Gudkov A.G., Onufrievich A.D., Kaiumova L.I., Popov V.V., Chechetkin A.V., Leushin V.Iu., Meshkov S.A., Selivanov E.A. Razmorazhivatel' kriokonservirovannykh produktov krovi «Plazmoterm-4»: reshenie problemy obespecheniia tochnosti protsessa termoo obrabotki [The Defroster of Cryopreservative Blood Products «Plasmotherm-4»: a Problem Solving of Providing Thermal Process Accuracy]. *Biomeditsinskaia radioelektronika* [Biomedical Radioelectronics]. 2007, no. 6, pp. 39–43.
- [13] Gudkov A.G. Protsess razrabotki novogo vysokotekhnologichnogo naukoemkogo tovara [The process of developing new high-tech knowledge-intensive goods]. *Naukoemkie tekhnologii* [Science Intensive Technologies]. 2003, vol. 4, no. 6, pp. 69–83
- [14] Gudkov A.G., Leushin V.Iu., Popov V.A., Raevskii S.K. Tekhnologicheskoe kholodil'noe oborudovanie dlia khraneniia eritrotsitarnoi massy [Process refrigeration equipment for storage of packed red blood cells]. *Tekhnologii, oborudovanie, materialy* [Technologies, equipment, materials]. 2003, no. 3, pp. 58–60.
- [15] Bakhrakh L.D., Vinogradnyi A.S., Gudkov A.G. Teplovoe oborudovanie blochnogo tipa na netraditsionnykh teplonositeliakh [Heating equipment on non-traditional block type coolants]. *Naukoemkie tekhnologii* [Science Intensive Technologies]. 2001, no. 5, pp. 4–14.
- [16] Gudkov A.G., Lazarenko M.I., Leushin V.Iu., Chechetkin A.V. *Tekhnologii transfuziologii* [Transfusion technology]. Moscow, SAINS-PRESS, 2012. 272 p.
- [17] Gudkov A.G. Metod innovatsionno-tekhnologicheskoi optimizatsii pri proektirovanii tekhnologicheskogo oborudovaniia dlia meditsiny [Method of innovation and technology to optimize the design of process equipment for medicine]. *Biomeditsinskie tekhnologii i radioelektronika* [Biomedical technology and electronics]. 2003, is. 5, pp. 66–72.
- [18] Borodavko V.I., Verba V.S., Gudkov A.G., Lazarenko M.I., Leushin V.Iu., Popov V.V. Vozmozhnosti innovatsionnogo razvitiia proizvodstva meditsinskogo oborudovaniia dlia sluzhby krovi [Innovative Manufacture Opportunities of the Medical Equipment for Blood Service]. *Biomeditsinskaia radioelektronika* [Biomedical Radioelectronics]. 2010, no. 1, pp. 54–64.
- [19] Gudkov A.G., Gorodetskii V.M., Lazarenko M.I., Leushin V.Iu., Chechetkin A.V. Transfuziologicheskaya sluzhba v mnogoprofil'nom lechebno-profilakticheskom uchrezhdenii [Transfusion service in multiple-discipline treatment-and-prophylactic establishment]. *Biomeditsinskaia radioelektronika* [Biomedical Radioelectronics]. 2011, no. 9, pp. 17–27.
- [20] Verba V.S., Gudkov A.G., Leushin V.Iu., Murafetov A.A., Popov V.V., Raevskii S.K. Otechestvennoe oborudovanie dlia sluzhby krovi [National equipment for blood service]. *Gematologiya i transfuziologiya* [Hematology and Transfusiology]. 2008, vol. 53, no. 1, pp. 43–44.
- [21] Gudkov A.G., Petrov V.I., Leushin V.Y., Pozdin S.V., Bobrikhin A.F. A Thermostating device for storage of thrombocyte-containing media. *Biomedical Engineering*, 2012, vol. 46(3), pp. 104–105.
- [22] Gudkov A.G., Leushin V.Iu., Agasieva S.V., Bobrikhin A.F., Lemondzhava V.N. Oborudovanie dlia khraneniia trombocitosoderzhashchikh sred [Equipment for platelet media storage]. *Mashinostroitel'* [Mechanician]. 2014, no. 11, pp. 42–46.
- [23] Agasieva S.V., Bobrikhin A.F., Borozinets A.S., Gudkov A.G., Lazarenko M.I., Lemondzhava V.N., Leushin V.Iu., Marzhanovskii I.N., Chechetkin A.V. Ustroistvo dlia razmorazhivaniia kriokonservirovannykh produktov krovi [The Device for defrosting of cryopreserved blood products]. *Tekhnika mashinostroeniia* [Tekhnika mashinostroeniia]. 2015, no. 2(94), pp. 49–55.

- [24] Gudkov A.G. Sovremennoe meditsinskoe oborudovanie dlia sluzhby krovi, oftal'mologii i otolaringologii [Modern medical equipment for blood service, ophthalmology and otolaryngology]. *Russkii inzhener* [Russian engineer]. 2009, no. 3(22), pp. 44–46.
- [25] Gudkov A.G. *Radioapparaty v usloviakh rynka. Kompleksnaia tekhnologicheskaiia optimizatsiia* [Radio equipment in the marketplace. Complex technological optimization]. Moscow, Sains-Press, 2008. 336 p.
- [26] Bitter V.V., Vinogradnyi A.V., Gudkov A.G., Leushin V.Iu., Tsyganov D.I. Innovatsiia — osnovnoi faktor razvitiia meditsinskoii tekhniki [Innovation — the main factor in the development of medical technology]. *Naukoemkie tekhnologii* [Science Intensive Technologies]. 2004, no. 8–9, pp. 117–125.
- [27] Gudkov A.G. Metod innovatsionno-tekhnologicheskoi optimizatsii pri proektirovanii vysokotekhnologichnykh naukoemkikh izdelii [Method of innovation and technology to optimize the design of high-tech products]. *Innovatsii* [Innovations]. 2003, no. 6, pp. 61–63.
- [28] Gudkov A.G., Danilova A.V., Leushin V.Iu., Pozdin S.V., Chechetkin A.V. Mediko-tekhnologicheskie osobennosti prigotovleniia eritrotsitnoi vzvesi iz fil'trovannoi konservirovannoi krovi [Medico-technological features of preparation packed red cells from the filtered whole blood]. *Biomeditsinskaia radioelektronika* [Biomedical Radioelectronics]. 2011, no. 4, pp. 50–56.
- [29] Gorodetskii V.M., Gudkov A.G., Naraikin O.S., Popov V.V., Shchukin S.I. Modernizatsiia sluzhby krovi strany — vazhneishaia zadacha otechestvennogo meditsinskogo priborostroeniia [Modernization of country's blood service is an important task of domestic medical instrument making]. *Biomeditsinskaia radioelektronika* [Biomedical Radioelectronics]. 2013, no. 3, pp. 3–9.
- [30] Gudkov A.G., Popov V.V., Leushin V.Iu., Bobrikhin A.F., Lemondzhava V.N. Kompleksnyi podkhod pri sozdaniia elektronnykh ustroistv dlia teplovoi obrabotki i khraneniia komponentov i preparatov krovi [The complex approach in the development of electronic devices for thermal processing and storage blood components and products]. *Biomeditsinskaia radioelektronika* [Biomedical Radioelectronics]. 2014, no. 8, pp. 54–60.
- [31] Gudkov A.G. Kompleksnaia tekhnologicheskaiia optimizatsiia meditsinskoii tekhniki [Complex technological optimization of medical equipment]. *Mashinostroitel'* [Mechanician]. 2014, no. 12, pp. 50–61.
- [32] Agasieva S.V., Bobrikhin A.F., Gudkov A.G., Lazarenko M.I., Lemondzhava V.N., Leushin V.Iu., Chechetkin A.V. Obespechenie tochnosti protsessa termoobrabotki ustroistva inaktivirovaniia virusov pri pasterizatsii al'bmina [Accuracy maintenance of the heat treatment process of inactivation virus device under pasteurization of albumin]. *Mashinostroitel'* [Mechanician]. 2015, no. 6, pp. 50–59.
- [33] Gudkov A.G. Protsess sozdaniia vysokotekhnologichnogo naukoemkogo izdeliia [Creation process of a hi-tech knowledge-intensive product]. *Mashinostroitel'* [Mechanician]. 2016, no. 1, pp. 13–20.
- [34] Bobrikhin A.F., Gudkov A.G., Chechetkin A.V., Lazarenko M.I., Leushin V.Iu., Aparnikov A.N., Kukhareva E.S. K voprosu razmorazhivaniia kriokonservirovannykh produktov krovi [To the Question of defrost cryopreserved blood products]. *Mashinostroitel'* [Mechanician]. 2016, no. 2, pp. 49–54.

Статья поступила в редакцию 23.06.2016

Информация об авторах

ГУДКОВ Александр Григорьевич (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии приборостроения». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: profgudkov@gmail.com).

БОБРИХИН Александр Федорович (Москва) — начальник отдела. ООО «НПИ ФИРМА ГИПЕРИОН» (121170, Москва, Российская Федерация, Кутузовский пр-т, д. 34, e-mail: bobrihin@yandex.ru).

ЛЕУШИН Виталий Юрьевич (Москва) — кандидат технических наук, зам. генерального директора ООО «НПИ ФИРМА ГИПЕРИОН» (121170, Москва, Российская Федерация, Кутузовский пр-т, д. 34, e-mail: ooo.giperion@gmail.com).

МАРЖАНОВСКИЙ Иван Николаевич (Москва) — лаборант кафедры «Технологии приборостроения». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: ooo.giperion@gmail.com).

ГОРЛАЧЕВА Евгения Николаевна (Москва) — кандидат экономических наук, доцент кафедры «Промышленная логистика». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: gorlacheva@yandex.ru).

ЛЕМОНДЖАВА Вахтанг Нодарович (Москва) — начальник отдела. ООО «НПИ ФИРМА ГИПЕРИОН» (121170, Москва, Российская Федерация, Кутузовский пр-т, д. 34, e-mail: ooo.giperion@gmail.com).

ШАШУРИН Василий Дмитриевич (Москва) — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Технологии приборостроения». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: schashurin@bmstu.ru).

Information about the authors

GUDKOV Aleksandr Grigorievich (Moscow) — Doctor of Science (Eng.) Professor, Department of Technologies of Instrument Making. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: profgudkov@gmail.com@yandex.ru).

BOBRIKHIN Aleksandr Fyodorovich (Moscow) — Head of Department. Research and Manufacturing Innovation Firm «ООО NPI FIRMA GIPERION» (121170, Moscow, Russian Federation, Kutuzovskiy Ave., Bldg. 34, e-mail: bobrihin@yandex.ru).

LEUSHIN Vitaliy Yurievich (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Deputy General Director, Research and Manufacturing Innovation Firm «ООО NPI FIRMA GIPERION» (121170, Moscow, Russian Federation, Kutuzovskiy Ave., Bldg. 34, e-mail: ooo.giperion@gmail.com).

MARZHANOVSKIY Ivan Nikolaevich (Moscow) — Department Technician, Technologies of Instrument Making. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: ooo.giperion@gmail.com).

GORLACHEVA Yevgenia Nikolaevna (Moscow) — Candidate of Science (Economics), Associate Professor, Industrial Logistics Department, Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: gorlacheva@yandex.ru).

LEMONDZHAVA Vakhtang Nodarovich (Moscow) — Head of Department. Research and Manufacturing Innovation Firm «ООО NPI FIRMA GIPERION» (121170, Moscow, Russian Federation, Kutuzovskiy Ave., Bldg. 34, e-mail: ooo.giperion@gmail.com).

SHASHURIN Vasily Dmitrievich (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Head of Department, Technologies of Instrument Making. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: schashurin@bmstu.ru).