

## Программный комплекс с поддержкой принятия решений о безопасности применения термоллабильных компонентов крови

### Аннотация

Описан алгоритм программного комплекса на основе информационно-аналитической системы с поддержкой принятия решений об эффективности и безопасности применения термоллабильных компонентов крови в медицинской практике на основе сбора, анализа и обработки данных, полученных на этапах заготовки, транспортировки, хранения и контроля качества этих компонентов. Показано применение миварной экспертной системы для программного комплекса. Представлены примеры информационного взаимодействия программного комплекса с устройствами, обеспечивающими контроль температурных параметров технологических процессов, способных существенно повлиять на качественные показатели термоллабильных компонентов крови.

### Введение

В медицинской технике актуально развитие технологий управления процессами заготовки, транспортировки, хранения и контроля качества термоллабильных компонентов крови на основе современных достижений цифровых технологий и искусственного интеллекта. В технологической цепочке, включающей в себя операции от момента донации до момента трансфузии донорской крови и ее компонентов, технологическое оборудование [1], [2] должно обеспечивать с высокой точностью соблюдение параметров безопасных воздействий на контейнеры с гемотрансфузионными средами. При этом контроль температурных параметров технологических процессов не является полностью автоматизированным. Актуальными являются развитие технологий управления процессами заготовки, транспортировки, хранения и контроля качества термоллабильных компонентов крови с использованием искусственного интеллекта (ИИ) и создание рекомендательных систем с поддержкой принятия решений о выдаче компонентов крови для переливания, позволяющей автоматизированным образом отслеживать допустимые к трансфузии заготовленные компоненты крови. Унифицированные программно-технические решения, используемые в разработанных устройствах [1]-[11], позволяют накапливать и предоставлять для последующей обработки и анализа информацию о выполненных технологических операциях с целью принятия решений о пригодности компонентов крови для клинического использования и формирования рекомендации о выдаче данных компонентов по запросам медицинских учреждений. Разрабатываемый программный комплекс, содержащий информационно-аналитическую систему с поддержкой принятия решений (ИАСППР), позволит уменьшить потери дорогостоящих компонентов крови, снизить рабочее время медицинского персонала и исключить применение в медицинской практике компонентов крови, не соответствующих критериям безопасности.

Анализ управления процессами заготовки, транспортировки, хранения и контроля качества термоллабильных компонентов крови [1] показал необходимость применения логического [12] искусственного [13] интеллекта [14]. В разрабатываемом

программном комплексе с ИАСППР используются миварные экспертные системы [15], которые применяют для вычислений [16], управления автономными [17] автомобилями [18] и роботами [19], планирования их действий [20] на основе MIPRA [21] и экспертизы происшествий [22].

### Основная часть

#### Анализ описания знаний в предметной области ИАСППР

Выходными данными по запросам о принятии решения о пригодности компонентов крови являются отчеты, содержащие результат работы программного комплекса. В процессе работы создано описание области ИАСППР в виде табл. 1 для каждого из 29 видов донорской крови и ее компонентов [1]. Всего в ней 381 показатель, поэтому приведен только ее фрагмент. В 3-м столбце приведены значения показателей, при которых принимается решение о пригодности компонентов крови для клинического использования, а в 4-м столбце – о непригодности. Применены четкие границы и логические признаки «да» или «нет».

Для таких предметных областей с причинно-следственными (каузальными) правилами в ИИ рекомендуется применять экспертные системы.

#### Алгоритм программного комплекса с миварной ИАСППР

Алгоритм работы программного комплекса с миварной ИАСППР разбивается на 3 этапа:

- 1) создание базы знаний в формате миварных сетей;
- 2) выполнение логического вывода для конкретной задачи;
- 3) визуализация полученного решения о безопасности компонентов.

Важно подчеркнуть, что на 2-м этапе каждый раз алгоритм строится в зависимости от имеющихся правил и входных данных. Возможное количество построенных алгоритмов равно факториалу от количества правил в базе знаний (БЗ). Программный комплекс на основе информационно-аналитической системы (ПКИАС) содержит серверную и клиентскую части

Таблица 1

Фрагмент описания предметной области ИАСППР

Виды донорской крови и ее компонентов	Наименование показателя	Значения показателя, при котором принимается решение о пригодности	Значения показателя, при котором принимается решение о непригодности
1. Кровь консервированная	Показатель 1. Группа крови по системе ABO	Наличие данных на этикетке	Отсутствие данных
	...	...	...
	Показатель 6. АлАТ	Меньше 40 ед.	Больше или равно 40 ед.
	...	...	...
	Показатель 14. Стерильность	Стерильно	Нестерильно

(рис. 1). Миварная экспертная система ПКИАС включает в себя: локальный репозиторий моделей в формате миварных сетей (.XML); модуль системы поддержки принятия решений (СППР); модуль логического ИИ ENGINE-сервер; подсистему объяснений принятых решений; блок логического вывода (Разуматор); базу данных логических правил в формате миварных сетей; базу знаний предметной области; интерфейс API. Клиентская часть ПКИАС состоит из пользовательского интерфейса и обеспечивает взаимодействие входящих запросов пользователей и направление им ответов ПКИАС.

### Пример работы алгоритма о принятии решения о безопасности использования компонентов крови

В МЭС алгоритмы решения конкретных задач строятся автоматически [12]-[22], в зависимости от созданной заранее миварной сети предметной области и поступивших на вход системы входных и требуемых выходных данных в формате перечисления объектов миварной сети: «Дано... . Найти... ». Интерфейс ввода данных представлен на рис. 2. Для класса объекта вводятся значения показателей требуемых для принятия решений характеристик. После ввода данных для принятия решения задействуется ИИ, который вырабатывает последовательность логического вывода [12]-[22]. Фрагмент структуры входных данных ПКИАС для определения пригодности компонента крови для дальнейшего клинического использования приведен в табл. 2. На этапе определения пригодности компонентов крови ПКИАС в том числе использует данные, передаваемые на персональный компьютер устройствами, регистрирующими временную зависимость температуры в технологических камерах [1]-[4], [23].

Форматы выходных данных работы алгоритма ПКИАС могут быть следующими:

- 1) результаты экспертного решения о годности компонента крови с доказательной частью в виде ретроспективы этапов процесса принятого решения;
- 2) граф логического вывода;
- 3) протокол логического вывода;
- 4) технологические отчеты.

Достоинством миварных сетей является их эволюционность, т. е. возможно добавление и изменение информации. Не

надо требовать полного описания предметной области, а можно начинать работу и постепенно добавлять информацию.

### Заключение

Проведенный анализ особенностей управления процессами заготовки, транспортировки, хранения и контроля качества термолabileльных компонентов крови показал, что целесообразно использование информационно-аналитической системы на основе миварных технологий логического ИИ с поддержкой принятия решений о безопасности применения компонентов крови в медицинской практике. Для создания ПКИАС применяются миварные экспертные системы. В качестве баз данных о показателях качества компонентов крови используются миварные базы знаний специального формата .XML.

*Работа выполнена при поддержке ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» по договору № 25ГРЦТС10-D5/56183 от 13 декабря 2019 г.*

### Список литературы:

1. Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Четкин А.В., Лазаренко М.И. Технологии трансфузиологии. – М.: САЙНС-ПРЕСС, 2012. 272 с.
2. Verba V.S., Gudkov A.G., Leushin V. Yu. et al. National equipment for blood service // Gematologiya i Transfusiologiya. 2008. Vol. 53 (1). PP. 43-44.
3. Lemondzhava V.N., Leushin V. Yu., Agasieva S.V. et al. Automated Systems for Thawing Cryopreserved Blood Components // Biomedical Engineering. 2018. Vol. 51. Iss. 6. PP. 385-388.
4. Gudkov A.G., Leushin V. Yu., Bobrikhin A.F., Lemondjava V.N., Goralcheva E.N. Development results of the intelligent device for storage of the transfusion environments containing platelets / Proceedings of the 8th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management (IC3K 2016). 2016. Vol. 3. PP. 108-115.
5. Agasieva S.V., Gudkov A.G., Sister V.G. et al. Nonpolluting Technologies for Polymer Welding // Chemical and Petroleum Engineering. 2015. Vol. 51. № 5-6. PP. 366-369.

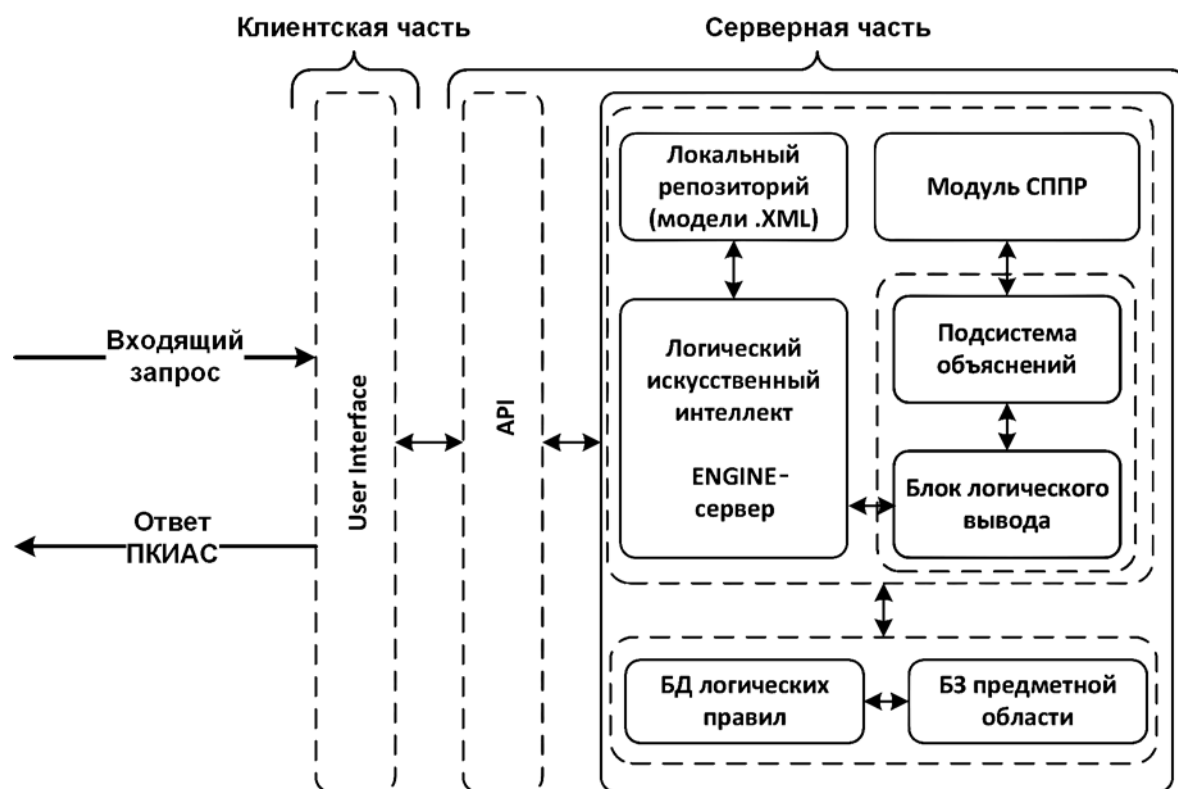


Рис. 1. Клиент-серверная архитектура ПКИАС с модулем ИИ

6. Gudkov A.G., Leushin V.Yu., Sidorov I.A. et al. A Functional Line of Plasma Extractors // Biomedical Engineering. 2021. Vol. 54 (5). PP. 350-353.
7. Agasieva S.V., Gudkov A.G., Leushin V.Yu., Lemondzhava V.N. et al. A Device for Storage of Platelet-Containing Transfusion Media // Biomedical Engineering. 2017. Vol. 50. Iss. 5. PP. 325-327.
8. Agasieva S.V., Gudkov A.G., Bobrikhin A.F., Lemondzhava V.N. et al. Modeling of Processes of Storage of Containers with Platelet-Containing Media in Platelet Incubators // Biomedical Engineering. 2017. Vol. 50. Iss. 5. PP. 348-351.
9. Agasieva S.V., Vetrova N.A., Gudkov A.G. et al. Technological Optimization of Devices for Safe Storage of Platelet-Containing Transfusion Media // Biomedical Engineering. 2017. Vol. 51. Iss. 4. PP. 254-257.
10. Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Сидоров И.А., Агасиева С.В. и др. Устройства для герметизации полимерных контейнеров с кровью и ее компонентами // Медицинская техника. 2020. № 6. С. 4-7.
11. Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Агасиева С.В., Четкин А.В. и др. Холодильное устройство для безопасного хранения компонентов и препаратов крови // Медицинская техника. 2021. № 2 (326). С. 8-10.

Таблица 2

Структура фрагмента входных данных примера работы

Виды донорской крови и ее компонентов	Наименование показателя
5. Эритроцитная взвесь	Показатель 1. Группа крови по системе АВО
	Показатель 2. Резус-принадлежность – антиген D
	Показатель 3. Антигены С, с, Е, е системы резус
	...
23. Свежезамороженная плазма	Показатель 13. Гемолиз в конце срока годности
	Показатель 1. Группа крови по системе АВО
	...
	Показатель 13. Стерильность
	Показатель 14. Остаточное содержание лейкоцитов после лейкоредукции

Объект	Значение	Найти
ПКИАС_Анализ_крови		
1_Эритроцитная_взвесь		
1.1_ВВОД_показателей_эритроцитной_взвеси		
1_ПОКАЗАТЕЛЬ 1 - Группа крови по системе АВО (1/0)	1	<input type="checkbox"/>
1_ПОКАЗАТЕЛЬ 2 - Резус-принадлежность – антиген D (1/0)	1	<input type="checkbox"/>
1_ПОКАЗАТЕЛЬ 3 - Антигены С,с,Е,е системы резус (1/0)	1	<input type="checkbox"/>
1_ПОКАЗАТЕЛЬ 4 - Антиген К системы Kell (1/0)	1	<input type="checkbox"/>
1_ПОКАЗАТЕЛЬ 5 - Антиэритроцитарные антитела (1/0)	0	<input type="checkbox"/>
1_ПОКАЗАТЕЛЬ 6 - АлАТ (ед)	35	<input type="checkbox"/>
1_ПОКАЗАТЕЛЬ 7 - Маркеры Вич - инфекции (1/0)	0	<input type="checkbox"/>
1_ПОКАЗАТЕЛЬ 8 - Маркер гепатита В (1/0)	0	<input type="checkbox"/>
1_ПОКАЗАТЕЛЬ 9 - Маркер гепатита С (1/0)	0	<input type="checkbox"/>
1_ПОКАЗАТЕЛЬ_10 - Маркер возбудителя сифилиса (1/0)	0	<input type="checkbox"/>
1_ПОКАЗАТЕЛЬ_11 - Гемоглобин (г)	46	<input type="checkbox"/>
1_ПОКАЗАТЕЛЬ_12 - Гематокрит (г/дл)	0,55	<input type="checkbox"/>
1_ПОКАЗАТЕЛЬ_13 - Гемолиз в конце срока годности (%)	0,5	<input type="checkbox"/>
1.2_ВЫВОД_по_показателям_эритроцитной_взвеси		
1_ВЫВОД ПОКАЗАТЕЛЬ 1 - Группа крови по системе АВО	Наличие данных	<input type="checkbox"/>
1_ВЫВОД ПОКАЗАТЕЛЬ 2 - Резус-принадлежность – антиген D	Наличие данных	<input type="checkbox"/>
1_ВЫВОД ПОКАЗАТЕЛЬ 3 - Антигены С,с,Е,е системы резус	Наличие данных	<input type="checkbox"/>
1_ВЫВОД ПОКАЗАТЕЛЬ 4 - Антиген К системы Kell	Наличие данных	<input type="checkbox"/>
1_ВЫВОД ПОКАЗАТЕЛЬ 5 - Антиэритроцитарные антитела	Отсутствие	<input type="checkbox"/>
1_ВЫВОД ПОКАЗАТЕЛЬ 6 - АлАТ	– меньше или	<input type="checkbox"/>
1_ВЫВОД ПОКАЗАТЕЛЬ 7 - Маркеры Вич - инфекции	Отсутствие	<input type="checkbox"/>
1_ВЫВОД ПОКАЗАТЕЛЬ 8 - Маркер гепатита В	Отсутствие	<input type="checkbox"/>
1_ВЫВОД ПОКАЗАТЕЛЬ 9 - Маркер гепатита С	Отсутствие	<input type="checkbox"/>
1_ВЫВОД ПОКАЗАТЕЛЬ_10 - Маркер возбудителя сифилиса	Отсутствие	<input type="checkbox"/>
1_ВЫВОД ПОКАЗАТЕЛЬ_11 - Гемоглобин	Выше или равно	<input type="checkbox"/>
1_ВЫВОД ПОКАЗАТЕЛЬ_12 - Гематокрит	Норма	<input type="checkbox"/>
1_ВЫВОД ПОКАЗАТЕЛЬ_13 - Гемолиз в конце срока годности	Норма – меньше	<input type="checkbox"/>
1_РЕШЕНИЕ - Эритроцитная взвесь	Эритроцитная	<input checked="" type="checkbox"/>
2_Эритроцитная_масса_лейкоредуцированная		
3_Отмытые_эритроциты		
4_Эритроцитная_взвесь_размороженная_отмытая		
5_Концентрат_тромбоцитов_полученный_методом_афереза_лейкоредуцированный		
6_Свежезамороженная_плазма		

Рис. 2. Интерфейс ввода данных для анализа пригодности компонентов крови для клинического использования

12. *Varlamov O.O., Chuvikov D.A., Aladin D.V., Adamova L.E., Osipov V.G.* Logical artificial intelligence Mivar technologies for autonomous road vehicles // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 534 (1). Art. № 012015.
  13. *Aladin D.V., Varlamov O.O., Chuvikov D.A. et al.* Logic-based artificial intelligence in systems for monitoring the enforcing traffic regulations // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 534 (1). Art. № 012025.
  14. *Varlamov O.O., Chuvikov D.A., Adamova L.E. et al.* Logical, Philosophical and Ethical Aspects of AI in Medicine // International Journal of Machine Learning and Computing. 2019. Vol. 9. № 6. PP. 868-873.
  15. *Varlamov O.O.* Wi!Mi Expert System Shell as the Novel Tool for Building Knowledge-Based Systems with Linear Computational Complexity // International Review of Automatic Control. 2018. Vol. 11. № 6. PP. 314-325.
  16. *Varlamov O.O.* Exhaustive elementary-incremental summing up of numbers with linear computational complexity // Avtomatizatsiya i Sovremennye Tekhnologii. 2003. Vol. 1. PP. 34-41.
  17. *Varlamov O.O., Aladin D.V., Adamova L.E. et al.* Creation of autonomous groups of combine harvesters and tractors for agriculture based on the Mivar decision-making systems «ROBO!RAZUM» // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 819 (1). Art. № 012002.
  18. *Aladin D.V., Varlamov O.O., Chuvikov D.A. et al.* Control of machines and robots: Creation of mivar decision-making systems for controlling autonomous tractors and special vehicles of the ministry of emergencies // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 747 (1). Art. № 012098.
  19. *Aladin D.V., Varlamov O.O., Adamova L.E., Chuvikov D.A., Saraev D.V.* Control of vehicles and robots: Creating of knowledge bases for Mivar decision making systems robots and vehicles // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 747 (1). Art. № 012099.
  20. *Aladin D.V., Varlamov O.O., Chuvikov D.A. et al.* Control of vehicles and robots: Creation of planning systems in the state space (MIPRA) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 747 (1). Art. № 012097.
  21. *Aladin D.V., Varlamov O.O., Adamova L.E., Chuvikov D.A., Fedoseev D.A.* About the project developing «MIPRA» – The intelligent planner in the state space for vehicles, tractors, and robots based on the architectural solutions of the Mivar systems for traffic enforcement // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 819 (1). Art. № 012006.
  22. *Chuvikov D.A., Varlamov O.O., Aladin D.V. et al.* Mivar models of reconstruction and expertise of emergency events of road accidents // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 534 (1). Art. № 012007.
  23. *Лемонджава В.Н., Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Чететкин А.В., Касьянов А.Д.* Информационные технологии мониторинга технологических операций в цепочке от момента донации до момента трансфузии донорских компонентов крови // Клиническая лабораторная диагностика. 2021. Т. 66. № S4. С. 38-39.
- Олег Олегович Варламов,*  
 д-р техн. наук, профессор,  
 кафедры «Системы обработки  
 информации и управления»,  
 ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана  
 (национальный исследовательский университет)»,  
*Дмитрий Алексеевич Чуви́ков,*  
 канд. техн. наук, руководитель Presale-проектов,  
 PARMA Technologies Group,  
 начальник,  
 отдел перспективных решений  
 в области искусственного интеллекта,  
 НИИ МИВАР,  
 Вахтанг Нодарович Лемонджава,  
 научный сотрудник,  
 ООО «НПИ ФИРМА «ГИПЕРИОН»,  
 Александр Григорьевич Гудков,  
 д-р техн. наук, профессор,  
 кафедры «Технология приборостроения»,  
 Дмитрий Владимирович Аладин,  
 аспирант,  
 кафедры «Системы обработки  
 информации и управления»,  
 ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана  
 (национальный исследовательский университет)»,  
 Лариса Евгеньевна Адамова,  
 канд. психолог. наук, доцент,  
 кафедры «Общая психология»,  
 АНО ВО «Российский новый университет»,  
 Вячеслав Георгиевич Осипов,  
 зам. директора,  
 НИИ МИВАР,  
 г. Москва,  
 Александр Викторович Чететкин,  
 д-р мед. наук, профессор, директор,  
 ФГБУ «Российский научно-  
 исследовательский институт гематологии и  
 трансфузиологии Федерального  
 медико-биологического агентства»,  
 г. С.-Петербург,  
 Виталий Юрьевич Леушин,  
 канд. техн. наук, зам. генерального директора,  
 ООО «НПИ ФИРМА «ГИПЕРИОН»,  
 г. Москва,  
 Андрей Дмитриевич Касьянов,  
 канд. мед. наук, руководитель,  
 группа контроля качества,  
 ФГБУ «Российский научно-  
 исследовательский институт гематологии  
 и трансфузиологии Федерального  
 медико-биологического агентства»,  
 г. С.-Петербург,  
 Наталья Алексеевна Ветрова,  
 канд. техн. наук, доцент,  
 кафедры «Технология приборостроения»,  
 ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана  
 (национальный исследовательский университет)»,  
 г. Москва,  
 e-mail: profgudkov@gmail.com