

# ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ И ПРОВЕДЕНИИ ХИРУРГИЧЕСКОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА

**Немковский Г.Б.**, руководитель департамента разработки и внедрения ООО «ВЕСТТРЕЙД ЛТД»; ассистент кафедры информационных и интернет-технологий Института цифровой медицины ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

**Дорофеева Е.И.**, канд. мед. наук, заведующая по клинической работе отделения хирургии новорожденных неонатологии и педиатрии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. академика В.И. Кулакова» Минздрава России

**Лосев А.Ю.**, ассистент кафедры информационных и интернет-технологий Института цифровой медицины ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

*Работа посвящена исследованию особенностей информационных процессов подготовки и проведения хирургических вмешательств у неонатальных пациентов. Цель работы – оптимизация информационных процессов для минимизации времени проведения хирургического вмешательства (ХВ) за счет повышения эффективности подготовки к нему.*

*В статье приведены данные по оптимизации в части времени выполнения процесса оказания медицинской помощи неонатальному пациенту с врожденным пороком развития легких в форме эндоскопического ХВ. Сокращение времени вмешательства достигается за счет модификации процесса подготовки к вмешательству путем реализации информационной поддержки в ходе планирования ХВ. В статье продемонстрирована оптимизация процесса ХВ на примере операций в неонатальной хирургии.*

**Ключевые слова:** оптимизация, информационный процесс, планирование, минимизация критического пути, медицинские изображения, неонатальная хирургия.

**Для цитирования:** Немковский Г.Б., Дорофеева Е.И., Лосев А.Ю. Оптимизация информационных процессов при подготовке и проведении хирургического вмешательства // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 2 (77). С. 51-58.

## ВВЕДЕНИЕ

Текущий уровень развития хирургии предполагает создание новых технических решений для визуализации органов и систем пациента, а также патологических изменений в них, обуславливающих заболевание. Особое значение это имеет для подготовки к проведению хирургических вмешательств в неонатальном периоде. Предпочтение в современной неонатальной хирургии при лечении врожденных пороков развития легких отдается эндоскопическим хирургическим доступам, которые уже доказали свою эффективность. При этом такие вмешательства технически сложны и сопровождаются повышенными интраопе-

рационными рисками [1–2]. Врожденные пороки развития легких, такие как кистозно-аденоматозная мальформация легких (КАМЛ) характеризуются наличием участков ткани аномального кистозного строения разного размера, полноценно не участвующих в дыхании и газообмене, что сопровождается высоким риском дыхательной недостаточности и инфекционных осложнений. Радикальный метод лечения – хирургическое вмешательство по удалению аномальных участков легкого – сопряжено с повышенным риском осложнений на этапах поиска, мобилизации и перевязки одного или нескольких крупных аномальных сосудов, по диаметру не уступающих артериям почек и селезенки. В лечении врожденной КАМЛ рекомендованным

и признанным объемом хирургической помощи является лобэктомия<sup>1</sup> пораженной доли [1–3].

Эффективность проведения хирургического вмешательства (ХВ) отражает способность активных средств, используемых в ходе оперативного вмешательства, решить поставленную задачу в кратчайшие сроки [4], минимизируя время проведения ХВ. При этом лицо, принимающее решение (ЛПР), сознательно абстрагируется от некоторых ограничений, рассматривая их как определенное объединение «идеальных» объектов (элементов, связей, подсистем, процессов), которые могут образовывать структуры, как при выполнении отдельных технологических процессов, так и ХВ в целом.

Действенным средством, позволяющем реализовать скрытые резервы сокращения подготовительных этапов к проведению ХВ, выступают информационные технологии (ИТ) в составе информационной системы управления и поддержки принятия решений в составе средств представления разнородных данных (видеоданные, включая реальный масштаб времени, справочные данные и др.) [5]. Практика применения ИТ для задач медицины находит все новые объекты исследования от задач общей диагностики [6] и информационного контроля динамики состояния пациентов, с привлечением методов, например, компьютерного зрения и машинного обучения [7] и соответствующих программных продуктов с повышенными требованиями к их разработке и контролю [8], до применения внешних информационных систем, например, спутниковой навигации для контроля зон заражения [9].

Цель данной работы – рассмотрение задачи построения бизнес-процесса подготовки и проведения ХВ в ИС управления эндоскопическим вмешательством (ИСУ ЭВ) в неонатальной хирургии в виде сетевой структуры, моделирование которой позволит описать процессы, протекающие в системе, и произвести оптимизацию плана выполнения технологических операций для сокращения времени выполнения ХВ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из способов описания процессов в ИСУ является представление структуры выполнения задач системы с помощью сетевой модели [10]. Рассмотрим модель формирования оптимального плана подготовки и проведения ХВ. Положим, что имеется план, который содержит множество логически взаимосвязанных между собой работ  $V$ . Работы обозначаются как  $(i, j)$ , где  $i$  – начальное, а  $j$  – конечное событие работы. Каждая работа может выполняться только одним определенным исполнителем. Работы, выполняе-

мые одним исполнителем, выделяются во множество  $V^l$ , причем  $\bigcup_{l=1}^L V^l = V$ .

Операционная бригада обладает ограниченным человеческим ресурсом, т. е. в бригаду входит фиксированное число исполнителей. К ним относятся хирург, анестезиолог, ассистент и операционная сестра. Построив критический путь плана подготовки и проведения ХВ увидим, что критическим ресурсом [11], или исполнителем, все задачи которого являются критическими, является оперирующий хирург, т. е. минимизация критического пути  $\bar{K}$  в ходе ХВ сводится к сокращению критических задач хирурга.

Для простоты записи обозначим:  $t_i$  – регламентная длительность выполнения  $i$ -го этапа,  $q^i$  – коэффициент сложности этапа, определяемый на стадии подготовки к ХВ. Длительность вмешательства определяется как

$$D = \sum_i t_i q_i. \quad (1)$$

Для корректности задачи необходимо выполнение условия  $K \leq D$ , где  $K$  – длина критического пути плана ХВ. Планируемая длительность ХВ  $[T_H - T_K] \leq D$  разбивается на  $f$  интервалов, каждый продолжительностью  $\tau_k$  ( $k = \bar{1}, \bar{f}$ ), причем каждый исполнитель может повторяться и быть задействован в различных работах подготовки и проведения ХВ.

Требуется обеспечить минимизацию критического пути проведения ХВ, за счет возможного сокращения или переноса отдельных технологических операций  $\tau_k$  в ходе планирования комплексного применения видов обеспечения процесса управления эндоскопическим вмешательством в неонатальной хирургии

$$\bar{K} \rightarrow \min_k \sum \tau_k. \quad (2)$$

Технологические процессы, выполняемые в ходе ХВ, будем условно разбивать на целевые, которые приводят к целевому результату  $\bar{K}$  и функциональные, обеспечивающие целевые процессы [12] (сбор информации, отображение, контроль и т. д.).

Каждый технологический процесс будем характеризовать множеством параметров –  $X$ , отношений (связей) между ними –  $R$  и множеством временных параметров –  $T$ . Тогда смену состояний в рассматриваемой информационной системе будем понимать, как переход от одного технологического процесса к следующему, что формально будем отображать выражением вида:

<sup>1</sup> Лобэктомия – одна из наиболее частых операций в торакальной хирургии (хирургия грудной клетки), данное вмешательство представляет собой удаление доли легкого.

$$\langle \{X, R\} \times T \rangle_k \xRightarrow{\theta^{(k)}} \langle \{X, R\} \times T \rangle_{k+1}, \quad (3)$$

где  $\theta^{(k)}$  – информация о  $k$ -ой технологической операции для протоколирования подготовки и проведения ХВ, а также формирования базы данных и знаний.

Концептуальная согласованность принимаемых решений основывается как на текущей информации, так и на обеспечении последовательного расширения за счет новой информации от очередной выполненной технологической операции:

$$\theta^{(k)} \subseteq \theta^{(k+1)} \subseteq \dots \subseteq \theta^{(f)}. \quad (4)$$

Рассмотрим критический путь хирургического вмешательства (рис. 1) на примере наиболее часто встречающейся в торакальной хирургии новорожденных патологии – лобэктомии при КАМЛ. С 2013 по 2017 г. в отделе неонатальной и детской хирургии Национального медицинского исследовательского Центра акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова проведено 39 таких вмешательств. Стандартные этапы вмешательства и их статистическая длительность приведены в табл. 1. Заметим, что время подготовки к вмешательству не оценивается, поскольку не является критическим с точки зрения оценки эффективности и качества процесса вмешательства. Для удобства оценки примем его равным 0.

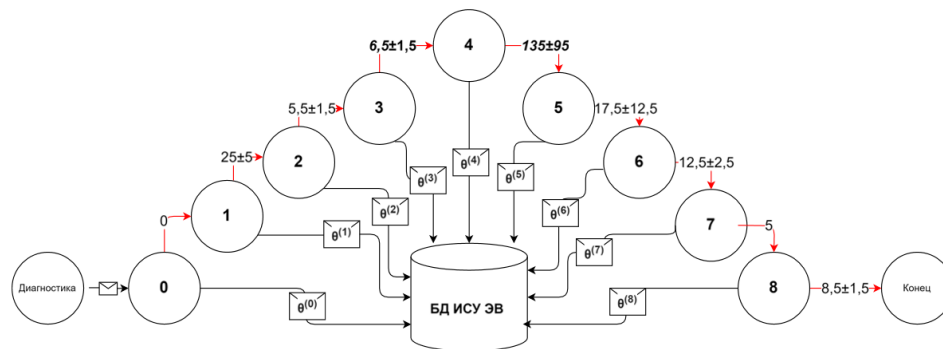


Рис. 1. Критический путь ХВ. Лобэктомия при КАМЛ

Таблица 1

### Исходный временной регламент этапов лобэктомии

№ ЭТАПА	СОДЕРЖАНИЕ	ОБОЗНАЧЕНИЕ	ДЛИТЕЛЬНОСТЬ (мин)
0	Подготовка к вмешательству с просмотром предоперационной томографии	$t_0$	0
1	Укладка пациента в соответствии с типом вмешательства	$t_1$	$25 \pm 5$
2	Установка троакара для оптической системы, осмотр плевральной полости и выбор места для установки рабочих троакаров	$t_2$	$5,5 \pm 1,5$
3	Установка троакаров для рабочих инструментов	$t_3$	$6,5 \pm 1,5$
4	Этапная мобилизация, перевязка и пересечение питающих долей артерий, бронхов и вен	$t_4$	$135 \pm 95$
5	Проверка на герметичность пневмостаза и ликвидация негерметичности	$t_5$	$17,5 \pm 12,5$
6	Удаление доли легкого из плевральной полости через один из разрезов с небольшим его расширением (до 1–1,5 см)	$t_6$	$12,5 \pm 2,5$
7	Установка плеврального дренажа через отдельный разрез	$t_7$	5
8	Удаление троакаров из грудной полости и ушивание мышечных ран, наложение лейкопластырных швов на кожные раны	$t_8$	$8,5 \pm 1,5$
	Время выполнения	$D_x$	$195,5 \pm 100,5$

Согласно имеющейся статистике проведенных вмешательств, совокупное время выполнения вмешательства:

$$D_x = \sum_{i=1}^n t_i, \tag{5}$$

где  $t_i$  – время, необходимое на  $i$ -й этап, составит  $195,5 \pm 100,5$  (мин).

Рассмотрим возможности для сокращения критического пути. Для чего проанализируем и выберем среди этапов проведения ХВ (т. е. этапов 1–8) этапы, поддающиеся декомпозиции на целевые и функциональные технологические процессы, и рассмотрим возможность переноса технологических процессов в этап 0.

Информация технологических процессов об этапах 2 и 4  $\theta^{(2)}, \theta^{(4)}$ , на основании которой принимаются значимые решения в ходе хирургического вмешательства, частично может быть получена на этапе планирования ХВ за счет существующих методов исследования и технологий обработки визуальной информации, включающие компьютерную сегментацию и 3D-реконструкцию изображений. Именно эти методы являются основой для решения задачи сокращения критического пути выполнения ХВ. Ранее нами был разработан метод подготовки графических диагностических данных для использования в системах автоматизированного анализа трехмерного изображения и хирургической навигации при пороках развития легких у новорожденных детей [13].

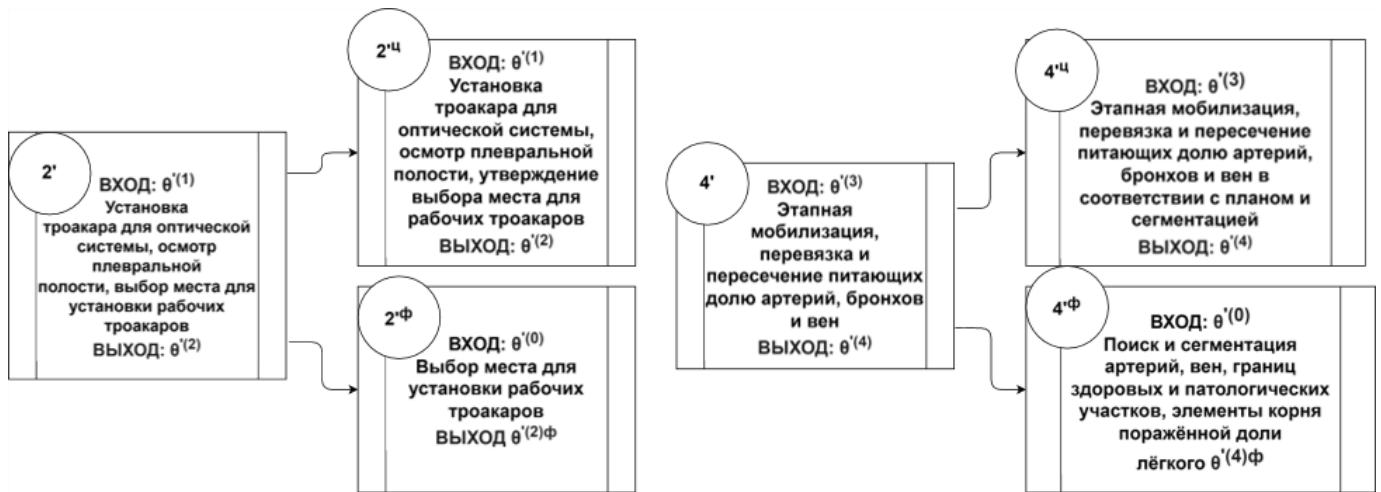


Рис. 2. Декомпозиция этапов лобэктомии при КАМЛ

Внедрим метод подготовки диагностических данных в этап 0 (подготовка к ХВ). Обозначим  $\theta^{(k)}$  – информацию о  $k$ -ой технологической операции модифицированного процесса подготовки и проведения ХВ и воспользуемся информацией этого этапа для декомпозиции этапов 2' и 4' на функциональные и целевые операции (Рис. 2). Этап 2<sup>Ф</sup> (выбор места для установки рабочих троакаров) может быть проведен на основе информации  $\theta^{(0)}$ , получаемой на этапе планирования после подготовки и сегментации диагностических изображений. То есть функциональная операция 2<sup>Ф</sup> может быть перенесена в этап 0', а информация об этой операции может быть сохранена в БД информационной системы управления эндоскопическим вмешательством (БД ИСУ ЭВ) на этапе 0'. При этом:

$$\theta^{(0)} \cup \theta^{(1)} \cup \theta^{(2)Ф} \cup \theta^{(2)Ц} = \theta^{(2)}. \tag{6}$$

Аналогично, выполним декомпозицию этапа 4' на 4<sup>Ц</sup> и 4<sup>Ф</sup>. Дополнительно можно заметить, что применение этого метода позволит не только существенно сократить время выполнения соответствующих этапов ХВ за счет переноса работ на этап подготовки, но и сократить время целевых этапов в нетипичных анатомических случаях за счет более тщательной подготовки к вмешательству.

Результаты проведения лобэктомии в отделе неонатальной и детской хирургии после оптимизации процесса подготовки показали положительные результаты. Всего с 2019 по 2023 г. было проведено 185 таких вмешательств. Статистические результаты представлены в табл. 2.

Таким образом, совокупное время выполнения лобэктомии после оптимизации =  $131 \pm 52$  (мин).

Таблица 2

**Временной регламент этапов лобэктомии после оптимизации**

№ ЭТАПА	СОДЕРЖАНИЕ	ОБОЗНАЧЕНИЕ	ДЛИТЕЛЬНОСТЬ (мин)
0'	Подготовка к вмешательству с просмотром предоперационной томографии	$t'_0$	0
1'	Укладка пациента в соответствии с типом вмешательства	$t'_1$	25±5
2'	Установка троакара для оптической системы, осмотр плевральной полости	$t'_2$	5,5±1,5
3'	Установка троакаров для рабочих инструментов в соответствии с планом	$t'_3$	4,5±1,5
4'	Этапная мобилизация, перевязка и пересечение питающих долю артерий, бронхов и вен в соответствии с планом и сегментацией	$t'_4$	52,5±27,5
5'	Проверка на герметичность пневмостаза	$t'_5$	17,5±12,5
6'	Удаление доли легкого из плевральной полости через один из разрезов с небольшим его расширением (до 1–1,5 см)	$t'_6$	12,5±2,5
7'	Установка плеврального дренажа через отдельный разрез	$t'_7$	5
8'	Удаление троакаров из грудной полости и ушивание мышечных ран, наложение лейкопластырных швов на кожные раны	$t'_8$	8,5±1,5
	Время выполнения	$D'_x$	131± 52

**ВЫВОДЫ**

Как показано в данной работе, оптимизация критического пути процесса ХВ за счет внедрения метода подготовки графических диагностических данных на этапе планирования ХВ может дать значимое сокращение длительности проведения ХВ. Заметим, что перенос в этап планирования ХВ выбора места установки троакара для оптической системы не дает сокращения времени этапа 2, но заметно сказывается на длительности наиболее сложного этапа 4 в нетипичных анатомических случаях.

Метод подготовки графических диагностических данных разработан авторами в рамках исследования «Разработка прототипа аппаратно-программного комплекса хирургической навигации для поддержки планирования, выполнения и контроля результатов оперативных вмешательств в неонатальном периоде», проводимого на базе ФГБУ «НМИЦ АГП им. В.И. Кулакова» Минздрава России. Технологический партнер ООО «ВЕСТТРЭЙД ЛТД».

**Список использованных источников и литературы**

- Исаков Ю.Ф., Володин Н.Н., Гераськин А.В. Неонатальная хирургия. – М.: Династия, 2011. – 680 с.
- Разумовский А.Ю., Мокрушина О.Г. Эндохирургические операции у новорожденных. – М.: МИА, 2015. – 344 с.
- Polites S.F. et al. Thoracoscopic Vs open resection of congenital cystic lung disease-utilization and outcomes in 1120 children in the United States // Journal of pediatric surgery. 2016. Т. 51, № 7. – С. 1101–1105.
- Надежность и эффективность в технике: справочник в 10 т. Т.3. Эффективность технических систем / Под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
- Информационное обеспечение задач позиционирования хирургического инструмента при эндоскопических вмешательствах / Г.Б. Немковский, Е.И. Дорофеева, А.Б. Кузнецов, В.К. Беляков // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2023. № 5 (74). С. 10–19.
- Мельникова И.П., Кику П.Ф. Программа оптимизации жизнедеятельности курсантов высшего морского учебного заведения // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2011. № 40. С. 105–107.
- Разработка метода определения доминирующего типа дыхания человека на базе технологий компьютерного зрения, системы захвата движения и машинного обучения / А.В. Зубков, А.Р. Донская, С.Н. Бушенева [и др.] // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10, № 4 (39). С. 15–16.

8. Бурый А.С., Морин Е.В. Модельно-алгоритмические структуры оценки качества программных изделий. – М.: Научно-техническое издательство «Горячая линия-Телеком», 2019. – 160 с.
9. Применение цифровых геоинформационных технологий в планировании, организации и контроле практической работы врача фтизиатрической службы / О.Н. Браженко, Д.Ю. Богородский, В.А. Борискин [и др.] // Туберкулез и социально-значимые заболевания. 2023. Т. 11, № 4 (44). С. 4–13.
10. Черниговский А.С., Царев Р.Ю. Оптимизация сетевого плана методом случайного поиска с пересчетом с переменной величиной шага // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–1. С. 360.
11. Человеческий потенциал как критический ресурс России / Рос. акад. наук, Ин-т философии; отв. ред. Б.Г. Юдин. – М.: ИФРАН, 2007. – 175 с.
12. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Интеллектуализация процессов принятия решений в эргатических системах // Транспортное дело России. 2015. № 4. С. 48–50.
13. Dorofeeva E.I., et al. Features of the diagnostic information processing for con-genital lung malformations in newborns for the automated analysis and surgical navigation systems // Procedia Computer Science. 2018. С. 1178–1186.

# INFORMATION PROCESSES OPTIMIZATION DURING PREPARATION AND IMPLEMENTATION SURGICAL INTERVENTION

**Nemkovskiy G.B.**, Head of R&D, WESTTRADE LTD, Assistant of the Department of Informational and Internet Technologies I. M. Sechenov First Moscow State Medical University Ministry of Healthcare of the Russian Federation

**Dorofeeva E.I.**, Ph.D. (Medicine), Head of Clinical Work, Department of Neonatal Surgery, FSBI «National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov» Ministry of Healthcare of the Russian Federation

**Losev A.Yu.**, Assistant of the Department of Informational and Internet Technologies I. M. Sechenov First Moscow State Medical University Ministry of Healthcare of the Russian Federation

*The work is devoted to the study of the features of the information processes of preparation and conduct of surgical interventions in neonatal patients. The purpose of the work is to optimize information processes to minimize the time of surgical intervention (SI) by increasing the effectiveness of preparation for it.*

*The article presents data on optimization in terms of the execution time of the process of providing medical care to a neonatal patient with a congenital lung malformation in the form of endoscopic SI. The reduction of intervention time is achieved by modifying the process of preparing for intervention by implementing information support during the planning of SI. The article demonstrates the optimization of the SI process using the example of operations in neonatal surgery.*

**Keywords:** optimization, information process, planning, minimization of the critical path, medical images, neonatal surgery.

## References

1. Isakov Yu.F., Volodin N.N., Geras'kin A.V. Neonatal'naya hirurgiya. Moscow, Dinastiya Publ., 2011, 680 p.
2. Razumovskiy A.Yu., Mokrushina O.G. Endohirurgicheskie operacii u novorozhdennyh. Moscow, MIA Publ., 2015, 344 p.
3. Polites S.F. et al. Thoracoscopic Vs open resection of congenital cystic lung disease-utilization and outcomes in 1120 children in the United States. Journal of pediatric surgery. 2016. V. 51, no. 7, pp. 1101–1105.
4. Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike: Spravochnik v 10 t. T.3. Effektivnost' tekhnicheskikh sistem. Pod obshch. red. V.F. Utkina, Yu.V. Kryuchkova. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988, 328 p.
5. Nemkovskiy G.B., Dorofeeva E.I., Kuznecov A.B., Belyakov V.K. Informacionnoe obespechenie zadach pozicionirovaniya hirurgicheskogo instrumenta pri endoskopicheskikh vmeshatel'stvah. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2023, no. 5 (74), pp. 10–19.
6. Mel'nikova I.P., Kiku P.F. Programma optimizacii zhiznedeyatel'nosti kursantov vysshego morskogo uchebnogo zavedeniya. Byulleten' fiziologii i patologii dyhaniya. 2011, no. 40, pp. 105–107.
7. Zubkov A.V., Donskaya A.R., Busheneva S.N., et al. Razrabotka metoda opredeleniya dominiruyushchego tipa dyhaniya cheloveka na baze tekhnologij komp'yuternogo zreniya, sistemy zahvata dvizheniya i mashinnogo obucheniya. Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii. 2022, vol. 10, no. 4 (39), pp. 15–16.
8. Buryi A.S., Morin E.V. Model'no-algoritmicheskie struktury ocenki ka-chestva programnyh izdelij. Moscow: "Goryachaya liniya-Telekom" Publ., 2019, 160 p.
9. Brazhenko O.N., Bogorodskiy D.Yu., Boriskin V.A., et al. Primenenie cifrovyyh geoinformacionnyh tekhnologij v planirovanii, organizacii i kontrole prakticheskoy raboty vracha ftiziatricheskoy sluzhby. Tuberkulez i social'no-znachimye zabolevaniya. 2023, vol. 11, no. 4 (44), pp. 4–13.



10. Chernigovskij A.S., Carev R.Yu. Optimizaciya setevogo plana metodom sluchajnogo poiska s pereschetom s peremennoj velichinoj shaga. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015, no. 1–1. P. 360.
11. Chelovecheskij potencial kak kriticheskij resurs Rossii. *Ros. akad. nauk, In-t filosofii*; otv. red. B.G. Yudin. Moscow, IFRAN Publ., 2007, 175 p.
12. Buryi A.S., Shevkunov M.A. Intellektualizaciya processov prinyatiya reshenij v ergaticheskikh sistemah. *Transportnoe delo Rossii*. 2015, no. 4, pp. 48–50.
13. Dorofeeva E.I., et al. Features of the diagnostic information processing for congenital lung malformations in newborns for the automated analysis and surgical navigation systems. *Procedia Computer Science*. 2018, pp. 1178–1186.