



doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-1-21-26

МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО ВЫБОРА ПУТЕЙ ДОВЕДЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННО- ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

ШУХАРДИН

Александр Николаевич ¹

ШКОРИНА

Александр Васильевич ²

АННОТАЦИЯ

Введение. Применение положений теории раскрашенных иерархических сетей Петри позволяет создавать модели современных сложных информационно-телекоммуникационных систем (ИТС), позволяющие с относительно невысокими вычислительными затратами проводить моделирование функционирования таких систем, проведение натурных исследований в которых в процессе эксплуатации либо невозможно, либо не целесообразно по различным причинам.

Методика проведения исследования: В статье рассматривается методика, позволяющая выбрать пути доведения информации в информационно-телекоммуникационных системах, а также оценить выполнение предъявляемых требований к системе доведения информации до всех узлов системы при изменениях характеристик системы в процессе эксплуатации. Структурными элементами данной методики являются методика оценивания и математическая модель функционирования информационно-телекоммуникационных систем при доведении сообщений. **Результаты исследования:** при применении разработанной методики формируется три группы узлов: множество узлов, имеющих путь доведения информации, характеризуемый максимальным значением вероятности; множество узлов, имеющих совокупность путей доведения информации, выполнение которых позволит обеспечить выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации; множество узлов, для которых отсутствуют пути, позволяющие обеспечить выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации. Разработанная методика оперативного выбора путей доведения информации в ИТС позволяет для каждого узла рассматриваемой системы выбрать путь (или совокупность путей) доведения информации, позволяющий обеспечить выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации, или выявить узлы, для которых таких путей не существует, для своевременного принятия компенсационных мер.

Сведения об авторах:

¹ Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО "Московский технический университет связи и информатики", г. Ростов-на-Дону, Россия

² Военная академия Ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого, Московская обл., г. Балашиха, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оперативный выбор, информационно-телекоммуникационная система, пути доведения информации.

Для цитирования: Шухардин А.Н., Шкорина А.В. Методика оперативного выбора путей доведения информации в информационно-телекоммуникационных системах // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2023. Т. 15. № 1. С. 21-26. doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-1-21-26

Введение

В работах [1, 2] было показано, что применение положений теории раскрашенных иерархических сетей Петри [3, 4] позволяет создавать модели современных сложных информационно-телекоммуникационных систем (ИТС), позволяющие с относительно невысокими вычислительными затратами проводить моделирование функционирования таких систем, проведение натурных исследований в которых в процессе эксплуатации либо невозможно, либо не целесообразно по различным причинам.

В работах [5, 6] представлена методика, позволяющая эксплуатировающему персоналу на основе построенных моделей таких систем при изменении её структуры, характеристик её элементов оперативно находить все возможные существующие в текущий момент времени пути доведения информации от пункта-источника до всех узлов в ИТС, а также рассчитать вероятность и сроки доставки сообщений для каждого пути.

Однако вопросы оценки результатов проведенного моделирования и принятия решения по результатам моделирования в этих работах не изложены. Требуется разработать методику оперативного выбора путей доведения информации в ИТС, которая позволяла бы эксплуатировающему персоналу оперативно для каждого узла системы выбрать путь (или совокупность путей), обеспечивающий выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации, или выявить узлы, для которых таких путей не существует.

Структурными элементами данной методики являются методика оценивания [6] и математическая модель функционирования ИТС [2] при доведении сообщений.

Выполнение разработанной методики производится в четыре этапа. Порядок выполнения методики представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Порядок выполнения методики оперативного выбора путей доведения информации в ИТС

На первом этапе методики с целью формирования данных для второго этапа производится выполнение методики оперативного оценивания вероятностей и времён доведения информации до каждого узла системы, описанной выше. В результате выполнения первого этапа формируются множества Ω_n существующих в расчётный момент времени путей $\omega_{n,j}$ доведения информации до каждого n -ого узла системы и кортежи значений вероятности и времени доведения информации по каждому из путей $\langle P(\omega_{n,j}), T(\omega_{n,j}) \rangle$. Кроме того, исходными данными для выполнения второго этапа методики являются требуемая вероятность доведения информации $p_{\text{тр}}$ и допустимое время доведения информации $t_{\text{доп}}$ до узлов системы, задаваемые требованиями к системе.

На втором этапе для каждого узла системы проводится оценка полученных на первом этапе данных с целью определения возможных вариантов решения задачи.

Если определено, что $\Omega_n = \emptyset$, представляются данные об отсутствии путей доведения информации до n -ого узла системы, соответствующих предъявляемым требованиям, так как для него в данный расчётный момент времени в ИТС не существует путей доведения информации. На этом для n -ого узла выполнение методики завершается и осуществляется переход ко второму этапу для оценки данных следующих узлов.

Иначе, определяется подмножество Ω'_n путей $\omega'_{n,q}$ доведения информации до n -ого узла ИТС, характеризующихся значением времени, не превышающим $t_{\text{доп}}$:

$$\Omega'_n \subset \Omega_n, |\Omega'_n| = Q_n, \Omega'_n = \{ \omega'_{n,q} | T(\omega'_{n,q}) \leq t_{\text{доп}}, q = \overline{1, Q_n} \}, \quad (1)$$

где $\omega'_{n,q}$ – q -й путь доведения информации до n -ого узла.

Если определено, что $\Omega'_n = \emptyset$, представляются данные об отсутствии путей доведения информации до n -ого узла системы, соответствующих предъявляемым требованиям, так как для него в данный расчётный момент времени в ИТС не существует путей доведения информации. На этом для n -ого узла выполнение методики завершается и осуществляется переход ко второму этапу для оценки данных следующих узлов.

Если определено, что $\Omega'_n \neq \emptyset$, то в подмножестве Ω'_n определяется подмножество Ω''_n путей доведения информации до n -ого узла системы, характеризующихся значением вероятности, не ниже $p_{\text{тр}}$:

$$\Omega''_n \subset \Omega'_n, |\Omega''_n| = Q'_n, \Omega''_n = \{ \omega''_{n,q'} | P(\omega''_{n,q'}) \geq p_{\text{тр}}, q' = \overline{1, Q'_n} \}, \quad (2)$$

где $\omega''_{n,q'}$ – q' -й путь доведения информации до n -ого узла.

Если $\Omega''_n \neq \emptyset$, то осуществляется переход к третьему этапу методики, в ходе выполнения которого методом прямого перебора находится путь, соответствующий критерию

$$\hat{\omega}''_{n,q'} = \arg \max_{\omega''_{n,q'} \in \Omega''_n} P(\omega''_{n,q'}). \quad (3)$$

Найденный путь $\hat{\omega}''_{n,q'}$ и является искомым $\hat{\omega}_{n,j}$. Данные о нём представляются эксплуатировающему персоналу.



Для отображения найденного пути $\hat{\omega}_{n,j}$ на схеме последовательность сработавших переходов представляется как последовательность пройденных пакетом информации узлов системы и каналов связи между ними до n -ого узла системы. На этом для n -ого узла выполнение методики завершается и осуществляется переход ко второму этапу для оценки данных следующих узлов.

Если $\Omega'_n = \emptyset$, то для n -ого узла единственного пути $\hat{\omega}_{n,j}$, соответствующего предъявляемым требованиям, не существует, и выполняется четвёртый этап методики, на котором производится оценка совокупности путей Ω'_n на соответствие установленным требованиям. Для подмножества путей вычисляется значение вероятности $P_{\Omega}(\Omega'_n)$ доведения информации до этого узла. Доведение информации по подмножеству путей Ω'_n есть наступление хотя бы одного из событий «доведение информации по отдельному пути $\omega'_{n,q} \in \Omega'_n$ ». Так как события «доведение информации по отдельному пути $\omega'_{n,q}$ » являются независимыми в совокупности, то вероятность наступления хотя бы одного из событий, независимых в совокупности, определяется выражением:

$$P_{\Omega}(\Omega'_n) = 1 - \prod_{q=1}^{Q_n} (1 - P(\omega'_{n,q})), \quad (4)$$

где $P(\omega'_{n,q})$ – вероятность доведения информации до n -ого узла системы по пути $\omega'_{n,q}$.

Вместе с тем, из-за особенностей функционирования ИТС (доведение информации по всем возможным каналам, распараллеливанием, дублированием, избыточностью структуры ИТС и т.п.) пути подмножества Ω'_n могут иметь общие элементы (узлы, ЛС). При этом значение вероятности, вычисленное в соответствии с выражением (4), будет некорректно и завышено.

Для получения более корректного результата предложен подход с использованием функции поглощения, описанный в ГОСТ Р 53111–2008 [7]. При определении вероятности $P_{\Omega}(\Omega'_n)$ доведения информации до n -ого узла по подмножеству путей Ω'_n в соответствии с выражением (4) вероятность $P(\omega'_{n,q})$ представляется как произведение значений вероятностей функционирования узлов системы и значений вероятностей передачи информации по линиям связи, и после раскрытия скобок у всех членов выражения заменяются на единицу значения показателей степени, имеющие значения больше единицы.

Таким образом, исключается возможность многократного учета вероятности существования узла или передачи информации по ЛС. В соответствии с этим выражение для вычисления вероятности доведения информации до n -ого узла по подмножеству путей Ω'_n принимает следующий вид:

$$P_{\Omega}(\Omega'_n) = E \left\{ 1 - \prod_{q=1}^{Q_n} \left(1 - \prod_{z=1}^{Z_q} p_{u,z} \right) \right\}, \quad (5)$$

где $p_{u,z}$ – значение вероятности срабатывания z -го помеченного перехода в q -ом пути до n -ого узла;

Z_q – количество помеченных переходов в q -ом пути до n -ого узла; E – функция поглощения.

Если $P_{\Omega}(\Omega'_n)$ не ниже $p_{\text{тр}}$, т.е. удовлетворяет критерию

$$P_{\Omega}(\Omega'_n) \geq p_{\text{тр}}, \quad (6)$$

то выполнение всего подмножества путей Ω'_n соответствует предъявляемым требованиям. В этом случае при выполнении доведения информации каждый путь подмножества Ω'_n является обязательным для реализации. Для отображения на схеме в подмножестве Ω'_n методом прямого перебора определяется путь, характеризующийся максимальным значением вероятности, по критерию

$$\hat{\omega}'_{n,q} = \arg \max_{\omega'_{n,q} \in \Omega'_n} P(\omega'_{n,q}). \quad (7)$$

Полученные данные представляются для отображения на схеме. На этом для n -ого узла выполнение методики завершается и осуществляется переход ко второму этапу для оценки данных следующих узлов.

Если $P_{\Omega}(\Omega'_n)$ не удовлетворяет критерию (6), представляются данные об отсутствии путей доведения информации до n -ого узла, соответствующих предъявляемым требованиям. На этом для n -ого узла выполнение методики завершается и осуществляется переход ко второму этапу для оценки данных следующих узлов.

Во всех случаях представления данных об отсутствии до n -ого узла ИТС путей доведения информации, соответствующих предъявляемым требованиям, должностные лица в рамках своих полномочий должны принять решение о порядке доведения информации до n -ого узла системы с использованием других средств или принять компенсационные меры, приводящие ИТС в состояние, позволяющее получить пути доведения информации до указанного узла, соответствующие требованиям.

Выполнение 2-4 этапов методики описано алгоритмом выбора пути доведения информации до каждого узла ИТС, изображённым на рисунках 2, 3, и начинается с загрузки исходных данных (рис. 2, блок 1) – данных, найденных на 1-ом этапе, а также значений $p_{\text{тр}}$ и $t_{\text{доп}}$.

Все три этапа методики проводятся в теле цикла «Перебор узлов» (блоки 3-17), в котором последовательно для каждого узла ИТС осуществляется выбор путей, обеспечивающих выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации.

Второй этап методики реализован блоками 4-8. В случае если до n -ого узла не существует путей доведения информации, множество Ω_n пустое (блок 4, решение «Да»), выполнение методики для этого узла завершается.

Производится сохранение информации об отсутствии путей доведения информации до n -ого узла в ИТС, позволяющих обеспечить выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации (блок 15) в данный расчетный момент времени. После этого счётчик n увеличивается на 1 (блок 16), и цикл может повториться для нового значения n до перебора всех N узлов рассматриваемой системы (блок 17).

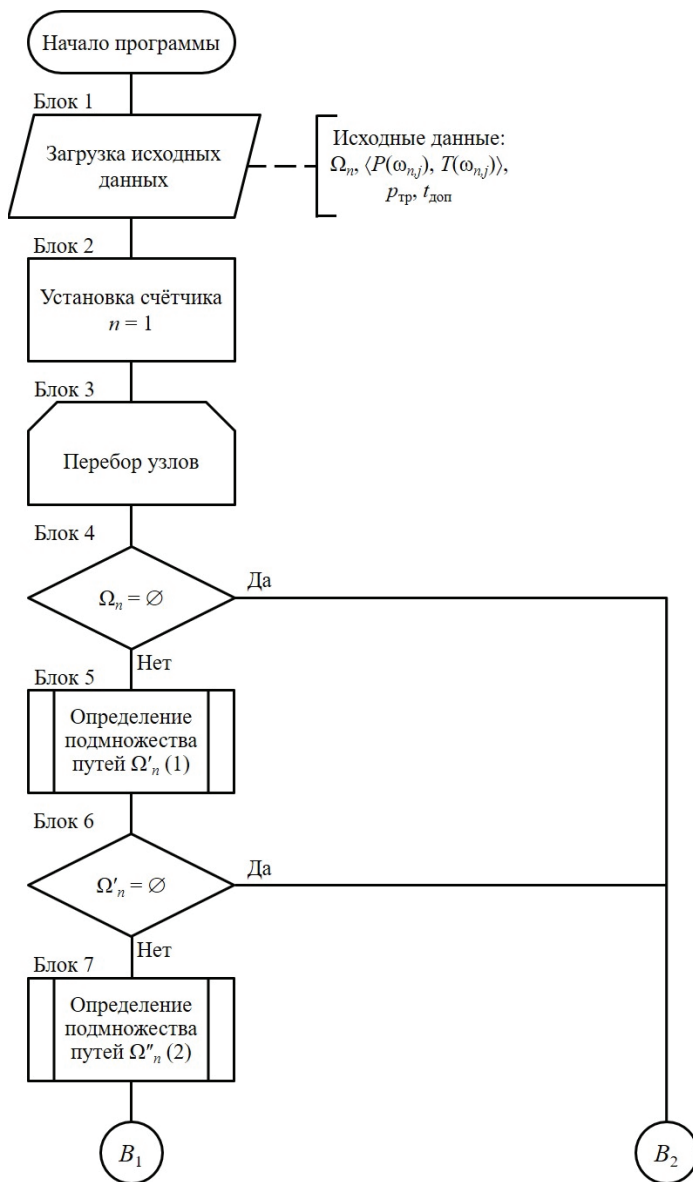


Рис. 2. Алгоритм выбора пути доведения информации до каждого узла ИТС (часть 1)

Если до n -ого узла существуют пути доведения информации (блок 4, решение «Нет»), то для него в блоке 5 методом прямого перебора определяется подмножество $\Omega'_n(1)$ путей, учитывающее ограничение по значению времени.

В случае, если в подмножестве Ω'_n не существует путей до n -ого узла (блок 6, решение «Да»), выполнение методики для этого узла завершается. Производится сохранение информации об отсутствии путей доведения информации до n -ого узла в ИТС, позволяющих обеспечить выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации (блок 15) в данный расчетный момент времени. После этого счётчик n увеличивается на 1 (блок 16), и цикл может повториться для нового значения n до перебора всех N узлов рассматриваемой системы (блок 17).

Если подмножество Ω'_n не пустое (блок 6, решение «Нет»), то для неё в блоке 7 методом прямого перебора

определяется подмножество $\Omega''_n(2)$ путей, учитывающее ограничение по значению вероятности. Второй этап методики заканчивается анализом подмножества Ω''_n .

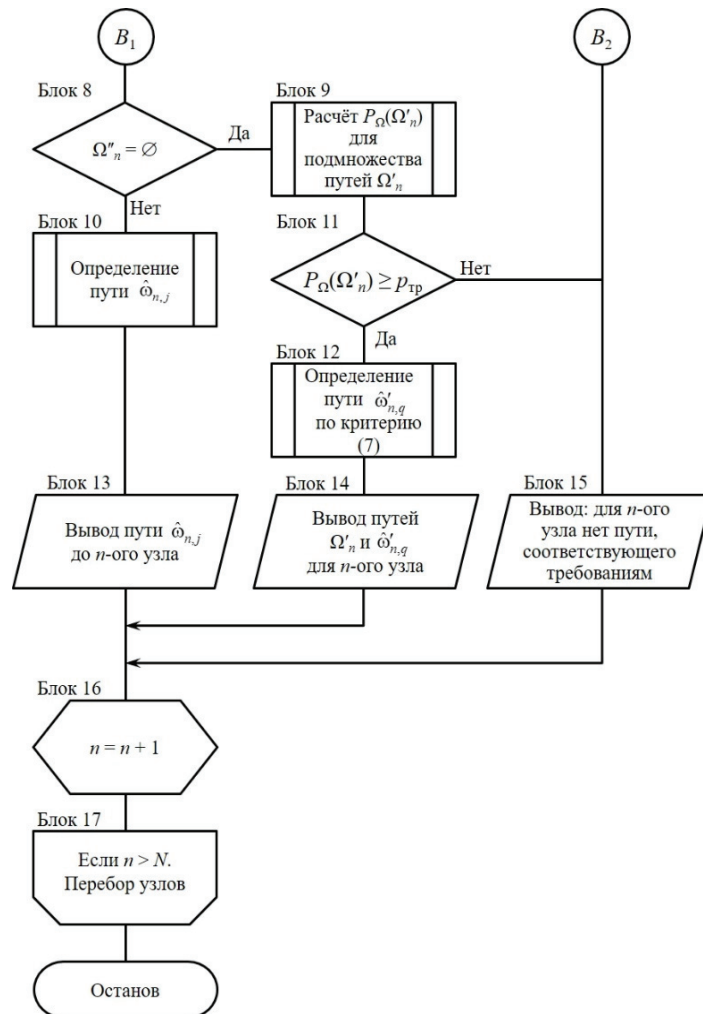


Рис. 3. Алгоритм выбора пути доведения информации до каждого узла ИТС (часть 2)

Если подмножество Ω''_n не пустое (блок 8, решение «Нет»), то начинается третий этап методики (блоки 10, 13). В блоке 10 методом прямого перебора в подмножестве Ω''_n определяется путь, характеризующийся максимальным значением вероятности по критерию (3). Далее производится его сохранение (блок 13).

На этом выполнение методики для n -ого узла завершается. После этого счётчик n увеличивается на 1 (блок 16), и цикл может повториться для нового значения n до перебора всех N узлов рассматриваемой системы (блок 17).

Если подмножество Ω''_n пустое (блок 8, решение «Да»), то начинается четвёртый этап методики (блоки 9, 11, 12, 14). Для подмножества путей доведения информации до n -ого узла Ω'_n , характеризуемого значением времени, не превышающим $t_{доп}$, вычисляется значение вероятности $P_{\Omega}(\Omega'_n)$ (5) доведения информации до этого узла по всему подмножеству путей (блок 9).



Если $P_{\Omega}(\Omega'_n)$ не ниже $p_{тр}$, т.е. удовлетворяет критерию (6), (блок 11, решение «Да»), то выполнение всего подмножества путей Ω'_n позволит удовлетворить заданные требования к вероятности и времени доведения информации, и, соответственно, при доведении информации каждый его путь является обязательным для реализации.

Для отображения на схеме в подмножестве Ω'_n методом прямого перебора определяется путь, характеризующийся максимальным значением вероятности по критерию (7) (блок 12). На этом выполнение методики для n -ого узла завершается, производится сохранение полученных данных для отображения на схеме (блок 14). После этого счётчик n увеличивается на 1 (блок 16), и цикл может повториться для нового значения n до перебора всех N узлов рассматриваемой системы (блок 17).

Если $P_{\Omega}(\Omega'_n)$ не удовлетворяет критерию (6) (блок 10, решение «Нет»), производится сохранение информации об отсутствии путей доведения информации до n -ого узла, позволяющих обеспечить выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации (блок 11), выполнение методики для n -ого узла завершается. После этого счётчик n увеличивается на 1 (блок 16), и цикл может повториться для нового значения n до перебора всех N узлов рассматриваемой системы (блок 17).

Цикл завершается при окончании последовательного перебора всех узлов рассматриваемой системы (блок 17). На этом завершается выполнение методики.

Сходимость описанного алгоритма достигается конечностью цикла «Перебор узлов» (блоки 3-17), обеспечиваемой последовательным изменением значения счётчика и заданием его максимального значения.

В результате выполнения разработанной методики формируются три группы узлов:

а. множество узлов, имеющих путь доведения информации, характеризуемый максимальным значением вероятности, при этом не ниже $p_{тр}$, и значением времени, не превышающим $t_{доп}$;

б. множество узлов, имеющих совокупность Ω'_n путей доведения информации, выполнение которых позволит обеспечить выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации;

с. множество узлов, для которых отсутствуют пути, позволяющие обеспечить выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации.

Таким образом, разработанная методика оперативного выбора путей доведения информации в ИТС позволяет для каждого узла рассматриваемой системы выбрать путь (или совокупность путей) доведения информации, позволяющий обеспечить выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации, или выявить узлы, для которых таких путей не существует, для своевременного принятия компенсационных мер.

Для одного из частных случаев информационно-телекоммуникационных систем, а, именно, автоматизированной системы управления, данная методика доведена до функционирующего программного продукта, она реализована в среде Delphi 10.3.3 Community Edition, получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ [8].

Литература

1. Шкорина А.В., Шухардин А.Н. Модель территориально-распределенной иерархической автоматизированной системы управления // Информация и космос. 2020. № 3. С. 94-99.
2. Шухардин А.Н., Шкорина А.В. Модель информационно-телекоммуникационной системы на базе сетей Петри // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2021. № 1. С. 158-161.
3. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. перевод с английского под ред. В. А. Горбатова. М.: Мир, 1984. 264 с.
4. Тронин В. Г. Применение раскрашенных сетей Петри в моделировании вычислительной сети // Автоматизация процессов управления. 2007. № 2. С. 97-102.
5. Шухардин А.Н., Шкорина А.В. Оценка вероятностно-временных характеристик доведения информации в автоматизированной системе управления войсками и оружием // Вестник Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны. 2019. № 4(7). С. 162-169.
6. Шухардин А.Н., Шкорина А.В. Методика оперативного оценивания вероятностей и сроков доставки сообщений в информационно-телекоммуникационных системах // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2021. № 1. С. 153-157.
7. ГОСТ Р 53111–2008 Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки: национальный стандарт Российской Федерации. М.: Стандартинформ, 2008.
8. Шкорина А.В. Методика выбора допустимого варианта доведения информации в автоматизированной системе управления // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2020616029. 08.06.2020.

METHODOLOGY FOR THE OPERATIONAL SELECTION OF WAYS TO COMMUNICATE INFORMATION IN INFORMATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS

ALEXANDER N. SHUKHARDIN

Rostov-on-Don, Russia

ALEXANDER V. SHKORINA

Balashikha, Russia

KEYWORDS: *operational selection, information and telecommunication system, ways of communicating information.*

ABSTRACT

Introduction. The application of the provisions of colored hierarchical Petri theory nets makes it possible to create models of modern complex information and telecommunication systems (ITS), which allow, with relatively low computational costs, to simulate the functioning of such systems, in which field studies are either impossible or not advisable during operation for various reasons. **Practical relevance:** The article discusses a methodology that allows you to choose ways to communicate information in information and telecommunication systems, as well as evaluate the fulfillment of the requirements for a system for communicating information to all

nodes of the system with changes in the characteristics of the system during operation. The structural elements of this methodology are the evaluation methodology and mathematical model of the information and telecommunication systems functioning when delivering messages. **Discussion:** The developed methodology for the rapid choice of ways to deliver information to the ITS allows for each node of the system under consideration to choose a path (or a set of ways) for delivering information that makes it possible to ensure that the required values of the probability and time of delivering information are met, or to identify nodes for which such paths do not exist, for timely acceptance compensatory measures.

REFERENCES

1. A. V. Shkorina, A. N. Shukhardin. Model of a geographically distributed hierarchical automated control system. *Information and space*. 2020. No. 3, pp. 94-99.
2. A. N. Shukhardin, A. V. Shkorin. Model of information and telecommunication system based on Petri nets. *Proceedings of the North Caucasian branch of the Moscow Technical University of Communications and Informatics*. 2021. No. 1, pp. 158-161.
3. J. Peterson. Theory of Petri nets and system modeling: translation from English, ed. V. A. Gorbatov. Moscow: Mir, 1984. 264 p.
4. V. G. Troniny. Application of colored Petri nets in computer network modeling. *Automation of control processes*. 2007. No. 2, pp. 97-102.
5. A. N. Shukhardin, A. V. Shkorin. Evaluation of the probabilistic-temporal characteristics of information delivery in an automated control system for troops and weapons. *Bulletin of the Yaroslavl Higher Military School of Air Defense*. 2019. No. 4(7), pp. 162-169.
6. A. N. Shukhardin, A. V. Shkorin. A technique for operative estimation of the probabilities and terms of message delivery in information and telecommunication systems. *Proceedings of the North Caucasian branch of the Moscow Technical University of Communications and Informatics*. 2021. No. 1. S. 153-157.
7. GOST R 53111–2008 Stability of functioning of a public communication network. Requirements and verification methods: national standard of the Russian Federation. Moscow: Standartinform, 2008.
8. A. V. Shkorin. Methodology for choosing a valid option for communicating information in an automated control system. Certificate of registration of the computer program No. 2020616029. 06/08/2020.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Shukhardin A.N., North Caucasus branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Shkorina A.V., Military Academy of Strategic Missile Forces, Moscow region, Balashikha, Russia

For citation: Shukhardin A.N., Shkorina A.V. Methodology for the operational selection of ways to communicate information in information and telecommunication systems. *H&ES Reserch*. 2023. Vol. 15. No 1. P. 21-26. doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-1-21-26 (In Rus)