

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СВОЕВРЕМЕННОСТИ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ

Бречко А.А.¹, Филин А.В.²

Ключевые слова: транспортная сеть связи, управление развитием, качество инфокоммуникационных услуг, инфокоммуникационный ресурс, имитационное моделирование, тестирование инфокоммуникационных систем, построение инфокоммуникационных систем.

Цель исследования: повышение своевременности предоставления объектами инфокоммуникационной инфраструктуры услуг с заданным качеством при изменении состава обслуживаемых потребителей.

Метод исследования: использовались методы анализа, синтеза, теории графов, теории моделирования, теории распознавания образов, метод морфологического анализа.

Результат исследования является техническое решение (способ), направленное на повышение своевременности предоставления услуг с заданным качеством. Решение включает моделирование существующего объекта инфокоммуникационной инфраструктуры, имитацию функционирования изменившегося состава потребителей, оценку качества предоставляемых потребителям услуг. На основании результатов моделирования и оценки качества осуществляется определение недостающего телекоммуникационного ресурса. После чего синтезируется облик технической системы с учетом уже существующей инфокоммуникационной инфраструктуры, при этом поиск оптимального решения осуществляется методом морфологического анализа, а критериями качества синтезируемой системы является выполнение требований нового состава потребителей и минимум вносимых изменений в нее. Оценка степени внесения изменений осуществляется методами теории распознавания образов путем вычисления расстояния между различными вариантами в пространстве их признаков. За счет чего минимизируется время предоставления услуг с заданным качеством.

Научная новизна состоит в модификации методического подхода к обеспечению потребителей инфокоммуникационными услугами, лежащего в основе разработанного технического решения, а также адаптации формулы Рассела и Рао.

ВВЕДЕНИЕ

Подход к построению объектов инфокоммуникационной инфраструктуры, описанный в экономических, технических и нормативно-правовых источниках, заключается в создании экономически эффективного объекта (системы), технические и функциональные требования к которому формируются исходя из эвристической оценки потребностей потенциальных потребителей (абонентов), их количества и пространственного расположения [1, 2]. Изменение количества и пространственного расположения одиночных потребителей (абонентов) прогнозируемо и учитывается при синтезе объекта, однако, в случае размещения в районе функционирования объекта инфокоммуникационной инфраструктуры, отвечающего требованиям экономической эффективности, нового крупного потребителя (системы управления) влечет за собой снижение качества

предоставляемых услуг всем обслуживаемым потребителям [3]. При этом построение нового объекта инфраструктуры ввиду высокой длительности процесса не позволяет своевременно предоставить требуемые услуги с заданным качеством для изменившегося состава потребителей. Анализ известного научно-методического и научно-технического обеспечения [4-10] показал его направленность на синтез новых систем под заданные требования, при этом существующие технические решения также реализуют указанный подход.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Авторами предложено новое техническое решение (способ), направленное на повышение своевременности предоставления объектами инфокоммуникационной инфраструктуры услуг с заданным качеством при увеличении количества

¹ Бречко Александр Александрович, кандидат технических наук, докторант Военной академии связи им. С.М. Буденного, Санкт-Петербург, E-mail: alexanderbrechko@yandex.ru.

² Филин Андрей Викторович, Заместитель начальника отдела Главного управления связи Вооруженных Сил Российской Федерации, Москва, E-mail: fi1y@mail.ru.

обслуживаемых систем управления. Эффект достигается за счет трансформации и использования существующей инфокоммуникационной инфраструктуры.

Техническое решение представлено последовательностью действий, отображенных в блок-схеме (рис. 1).

В блоке 1 (рис. 1) осуществляется инициация исходных данных: состав и структура существующей транспортной сети (Т), исходное множество обслуживаемых систем управления (C_0) и множество дополнительных систем управления (C_n), координаты размещения их элементов в топологии сети и требования к качеству услуг.

Структура транспортной сети задается графом или матрицей связности.

В случае задания транспортной сети матрицей, количество строк и столбцов соответствует количеству узлов связи, а каждая строка и каждый столбец соответствует определенному узлу связи.

Если между двумя узлами транспортной сети существует линия связи, то в матрице на пересечении строки и столбца, соответствующих этим узлам, ставится единица.

Также может быть осуществлена декомпозиция матрицы связности по параметрам транспортной сети, например, на пересечениях строк и столбцов могут указываться значения показателей, характеризующих связи между соответствующими узлами, например, значения пропускной способности.

Например, пусть T – транспортная сеть, а $\{t_1, t_2, \dots, t_N\}$ – множество узлов этой сети. Тогда общий вид матрицы связности, описывающей структуру транспортной сети и пропускную способность каналов связи представлена ниже:

$$T = \begin{bmatrix} - & PC_{1,2} & PC_{1,3} & \dots & PC_{1,N} \\ PC_{2,1} & - & PC_{2,3} & \dots & PC_{2,N} \\ PC_{3,1} & PC_{3,2} & - & \dots & PC_{3,N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ PC_{N,1} & PC_{N,2} & PC_{N,3} & \dots & - \end{bmatrix} \quad (1)$$

где PC_{ij} – пропускная способность канала связи между t_i и t_j узлами транспортной сети.

Органы и объекты управления связаны между собой согласно структуре системы управления. Структура зависит от объекта управления и решаемых системой управления задач. Управление распределенными объектами и динамичными процессами требует соответствующей рас-

пределенной и динамичной системы управления, что в большей степени реализуется за счет использования ресурсов транспортной сети связи. Специфика функционирования системы управления обуславливает различие требований по количеству и качеству потребляемых услуг связи.

Связанность органов и объектов управления (структура системы управления) может быть задана графом или матрицей связности.

Принцип описания системы управления матрицей аналогичен принципу описания транспортной сети. Так количество строк и столбцов матрицы соответствует количеству элементов системы управления, при этом на пересечении строк и столбцов могут указываться значения требований к услугам.

Координаты размещения элементов систем управления в топологии сети задаются соответствием каждому элементу системы управления узла транспортной сети, к которому осуществляется его привязка для получения услуг. Точка привязки зависит от географического расположения элементов систем управления относительно узлов связи транспортной сети.

Требования к качеству услуг определяются исходя из решаемых системой управления задач. Наиболее важным показателем, характеризующим способность транспортной сети выполнять задачи по целевому предназначению, является пропускная способность ее каналов связи, поскольку:

- пропускная способность характеризует целевое предназначение транспортной сети;
- за счет дополнительного задействования пропускной способности возможно повышение качества услуг по другим показателям, например, уменьшение количества ошибок за счет добавления избыточности в передаваемые сообщения, или уменьшение времени передачи за счет параллельной передачи различных частей сообщения по нескольким каналам связи и т.д.;
- как правило, ограничения транспортной сети на обслуживание новых пользователей, обусловлено нехваткой пропускной способности.
- Учитывая вышеуказанное, в представленном техническом решении рассмотрены требования к пропускной способности (скорости) каналов связи между элементами системы управления.

Например, пусть C – некоторая система управления, а $\{c_1, c_2, \dots, c_N\}$ – множество элементов этой системы управления. Тогда матрица связности, задающая структуру системы управления

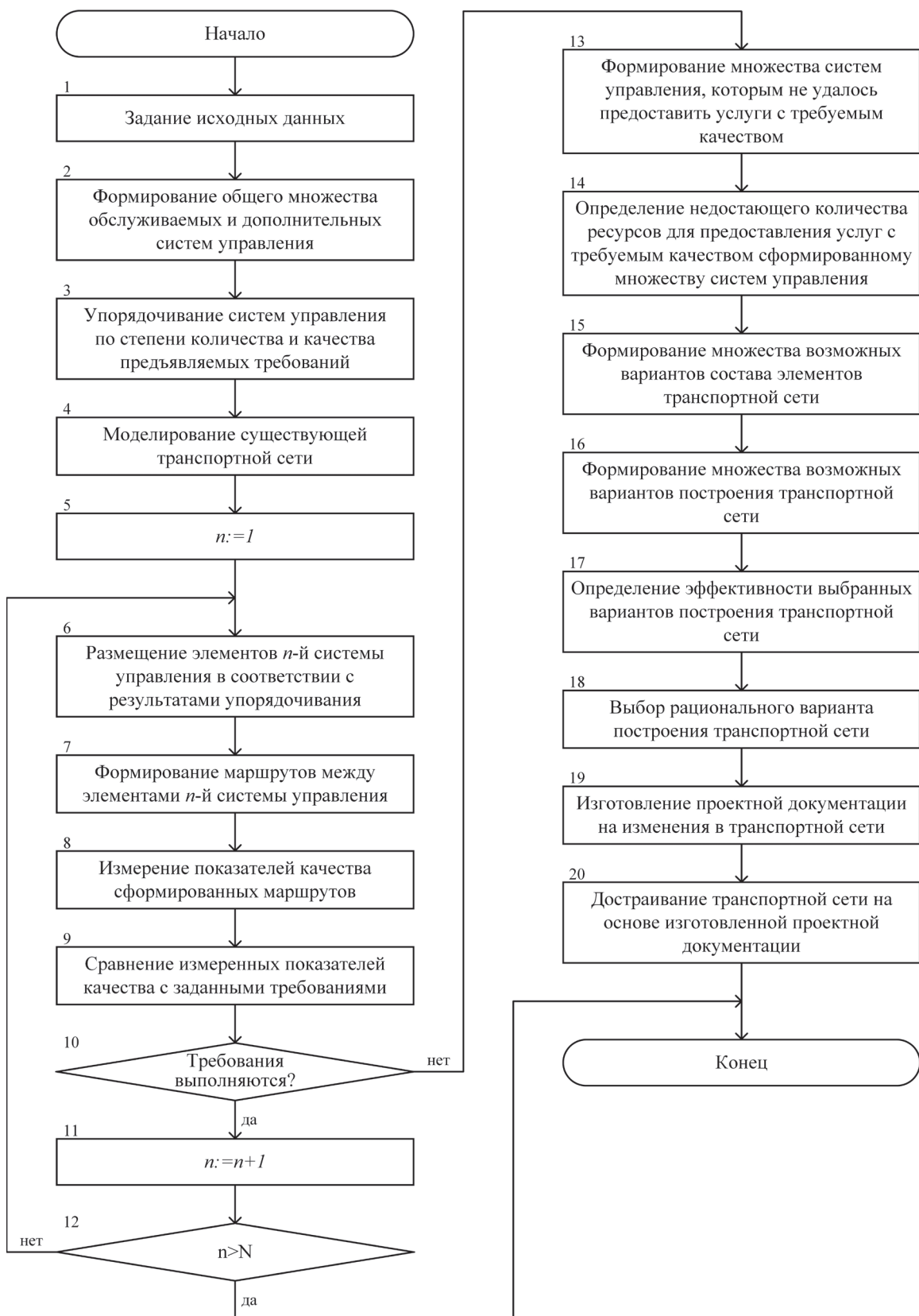


Рис.1. Блок-схема способа развития инфокоммуникационной инфраструктуры при увеличении количества обслуживаемых систем управления

и требуемую пропускную способность каналов представлена ниже:

$$C = \begin{pmatrix} - & PC_{1,2}^{тр} & PC_{1,3}^{тр} & \dots & PC_{1,N}^{тр} \\ PC_{2,1}^{тр} & - & PC_{2,3}^{тр} & \dots & PC_{2,N}^{тр} \\ PC_{3,1}^{тр} & PC_{3,2}^{тр} & - & \dots & PC_{3,N}^{тр} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ PC_{N,1}^{тр} & PC_{N,2}^{тр} & PC_{N,3}^{тр} & \dots & - \end{pmatrix} \quad (2)$$

где $PC_{i,j}^{тр}$ – требуемая пропускная способность канала связи между c_i и c_j элементом системы управления.

В блоке 2 (рис. 1) осуществляется формирование общего множества (C) обслуживаемых (C_e) и дополнительных (C_n) систем управления: $C = C_e \cup C_n$, при этом общее количество систем управления (N) соответствует мощности множества $C = \{c_1, c_2, \dots, c_N\}$.

В блоке 3 (рис. 1) осуществляется упорядочивание систем управления по объему предъявляемых требований.

В сформированном общем множестве C системы управления упорядочиваются по следующему принципу. Положение системы в общем множестве C тем выше, чем больше сумма требуемых пропускных способностей по каждому информационному направлению:

$$\sum_{k=1}^L PC_k^{тр}, \quad (3)$$

где L – количество информационных направлений системы управления,

$PC_k^{тр}$ – требуемая пропускная способность на k -м информационном направлении.

В блоке 4 (рис. 1) моделируется существующая транспортная сеть.

При моделировании транспортной сети учитываются следующие основные факторы:

- структура транспортной сети и параметры ее элементов;
- используемые в транспортной сети алгоритмы;
- места расположения пользователей транспортной сети, временные и нагрузочные характеристики ее использования.

Обобщенно процесс моделирования транспортных сетей заключается в создании объектов, заменяющих элементы транспортной

сети и ее пользователей, генерации нагрузки пользователями сети, передаче этой нагрузки через моделируемую сеть в соответствии с заданной логикой работы элементов сети.

В блоке 5 (рис. 1) осуществляется инициализация служебного счетчика, для чего переменной n присваивается значение равное единице. Счетчик используется для создания условия выхода из цикла (блоки 6-12, рис. 1).

В блоке 6 (рис. 1) осуществляется размещение элементов n -й системы управления в соответствии с результатами упорядочивания, для чего вносятся изменения в созданную модель транспортной сети путем привязки элементов n -й системы управления к заданным узлам моделируемой транспортной сети.

В блоке 7 (рис. 1) на созданной модели в соответствии с протоколами маршрутизации, используемыми на существующий транспортной сети, осуществляется формирование маршрутов между элементами n -й системы управления.

Сформированные маршруты

$$U^n = \{u_1^n, u_2^n, \dots\}$$

представляют собой упорядоченные множества транзитных узлов моделируемой транспортной сети. Количество маршрутов соответствует количеству информационных направлений.

$$u_i^n = \{t_1, t_2, \dots, t_j\}, \quad (4)$$

где u_i^n – i -й маршрут n -ой системы управления между элементами, подключенными к узлам t_i и t_j транспортной сети, и состоящий из j транзитных узлов.

В блоке 8 (рис. 1) на созданной модели транспортной сети, имитируя функционирование существующих пользователей и ранее размещенных систем управления $\{c_1, c_2, \dots, c_{n-1}\}$, измеряются показатели качества сформированных маршрутов для n -й системы управления.

Методология измерения (тестирования) качества маршрутов в сетях связи заключается в отправке потока пакетов (тестовой последовательности) и оценке изменения параметров потока пакетов (тестовой последовательности) на приемной стороне.

Известны методики измерения показателей качества сетей связи, например: Методология тестирования устройств для соединения сетей, Протокол активных двусторонних измерений, Методология тестирования Ethernet.

Например, расчет средней скорости передачи информации может быть осуществлен следующим образом:

- иницируется передача тестового файла объемом V_T , превышающим заявленную пропускную способность канала связи;
- фиксируется время передачи файла (t);
- рассчитывается скорость передачи по формуле:

$$W = \frac{V_T}{t} \quad (5)$$

- в течение времени измерений (наблюдения) фиксируется минимальная и максимальная скорость передачи данных;
- средняя скорость рассчитывается по формуле:

$$\overline{W} = \frac{\sum_{i=1}^L (W_i)}{L}, \quad (6)$$

где L – количество измерений.

В блоке 9 (рис. 1) сравниваются измеренные показатели качества с заданными требованиями.

Если все требования выполняются (блок 10, рис. 1), что означает способность моделируемой транспортной сети обслужить с заданным качеством размещенные системы управления, то управление передается блоку 11 (рис. 1).

Если хотя бы одно требование не выполняется (блок 10, рис. 1), что означает окончание свободного телекоммуникационного ресурса моделируемой транспортной сети при наличии неразмещенных и, соответственно, необслуженных систем управления, то управление передается блоку 13 (рис. 1).

В блоке 11 (рис. 1) значение счетчика n увеличивается на единицу.

В блоке 12 (рис. 1) проверяется условие $n > N$.

Если условие $n > N$ (блок 12, рис. 1) не выполняется, что означает наличие систем управления, элементы которых еще не размещены на модели транспортной сети, то управление передается блоку 6 (рис. 1).

Если условие $n > N$ (блок 12, рис. 1) выполняется, что означает способность моделируемой транспортной сети предоставить услуги с заданным качеством множеству как уже обсуживаемых систем управления, так и множеству дополнительных систем управления, то делается вывод, что трансформация транспортной сети при увеличении количества обслуживаемых систем

управления не требуется.

В блоке 13 (рис. 1) формируется множество систем управления, которым не удалось предоставить услуги с требуемым качеством: $\{C_n, C_{(n+1)}, \dots, C_N\}$.

В блоке 14 (рис. 1) определяется недостающее количество ресурсов для предоставления услуг с требуемым качеством сформированному общему множеству систем управления C .

Недостающее количество ресурсов определяется следующим образом.

Предварительно размещаются элементы оставшихся систем управления $\{C_n, C_{(n+1)}, \dots, C_N\}$ на модели транспортной сети и строятся маршруты между их элементами.

Для каждой линии связи вычисляется ее недостающий ресурс (требуемая дополнительная пропускная способность) – путем суммирования требуемых пропускных способностей:

$$PC_j^{\text{нед}} = \sum_{i=1}^F PC_i^{\text{тр}}, \quad (7)$$

где $PC_j^{\text{нед}}$ – недостающий пропускная способность j -й линии связи;

$PC_i^{\text{тр}}$ – требования к пропускной способности для i -го информационного направления;

F – количество информационных направлений, маршруты которых проходят через j -ю линию связи.

Недостающее количество ресурсов формируется путем объединения в множество недостающих пропускных способностей линий связи:

$$PC^{\text{нед}} = \{PC_1^{\text{нед}}, PC_2^{\text{нед}}, \dots, PC_K^{\text{нед}}\},$$

где K – количество линий связи транспортной сети.

В блоке 15 (рис. 1) формируется множество возможных вариантов состава элементов транспортной сети.

Множество вариантов создается путем комбинирования различных элементов, при этом в итоговом множестве остаются только те варианты, которые суммарно обеспечивают недостающий ресурс.

В блоке 16 (рис. 1) формируется множество возможных вариантов построения транспортной сети. Варианты построения получаются на основе сформированного множества возможных вариантов состава элементов транспортной сети. Важным показателем, влияющим возможности транспортной сети по предоставлению услуг, помимо состава ее элементов является

их топологическое расположение или структура сети. Построение структуры сети осуществляется следующим образом.

Для формирования множества возможных вариантов построения транспортной сети могут быть использованы различные методы, например, метод морфологического анализа, суть которого заключается в определении функций, которые должны выполняться транспортной сетью, перечислении множества возможных вариантов частных решений осуществления каждой функции и выборе приемлемого решения.

В блоке 17 (рис. 1) определяется эффективность сформированных вариантов построения транспортной сети.

Поскольку решается задача трансформации транспортной сети, важным показателем эффективности является степень внесения изменений в транспортную сеть, которые предполагает тот или иной вариант.

Поэтому эффективность сформированного варианта может быть определена как степень различия существующей транспортной сети и транспортной сети с внесенными изменениями. Эффективность варианта будет тем выше, чем степень различия меньше.

Различие или, в терминологии теории распознавания образов – расстояние, между двумя объектами в пространстве их признаков может быть вычислено, например, по формуле Жаккара, Сокзла и Миченера, Рассела и Рао и др.

Коэффициент различия может быть вычислен путем сравнения двух матриц связанности. Первая матрица связанности соответствует структуре существующей транспортной сети, а вторая – существующей транспортной сети с внесенными изменениями в соответствии со сформированным вариантом.

Классическое расстояние Рассела и Рао вычисляется по формуле:

$$1 - \frac{i}{N}, \quad (8)$$

где i – число совпавших бинарных признаков, N – общее число признаков. При этом в случае сравнения матриц связанности i – число идентичных ячеек, значения в которых совпадают в обеих матрицах и не равны нулю, N – общее число ячеек в матрице. Такой коэффициент показателен при сравнении структуры сетей.

Однако, важно не только различие структуры сетей, но и различие характеристик каналов связи. Поэтому для вычисления различия с

учетом качества каналов связи значения пропускной способности в матрицах нормализуются, после чего вычисляется расстояние по адаптированной авторами формуле Рассела и Рао:

$$1 - \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |PC_{i,j} - PC_{i,j}^*|}{N^2}, \quad (9)$$

где $PC_{i,j}$ – нормализованное значение пропускной способности в ячейке i,j матрицы связности существующей транспортной сети;

$PC_{i,j}^*$ – нормализованное значение пропускной способности в ячейке i,j матрицы связности существующей транспортной сети с внесенными изменениями в соответствии со сформированным вариантом; N^2 – количество ячеек в матрице.

В блоке 18 (рис. 1) выбирается рациональный вариант построения транспортной сети: из сформированных вариантов построения транспортной сети, удовлетворяющих потребностям нового состава потребителей (существующих и дополнительных систем управления), выбирают вариант, предполагающий минимальные изменения в транспортной сети.

Завершающий этап заключается в изготовлении проектной документации на изменения в транспортной сети (рис. 1, блок 19) и достраивании этой сети (рис. 1, блок 20).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования предложено техническое решение для повышения своевременности предоставления инфокоммуникационных услуг с заданным качеством. Научная новизна работы заключается в модификации подходов к управлению развитием инфокоммуникационной инфраструктуры и адаптации формулы Рассела и Рао, что позволяет повысить эффективность предоставления услуг. Полученные результаты могут быть применены для улучшения работы инфокоммуникационных систем в условиях изменения состава потребителей.

Эффективность, достоверность и реализуемость представленного технического решения апробирована в ходе эксперимента на разработанной авторами имитационной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стародубцев Ю.И. Экономика цифровых информационных услуг: монография / Ю. И. Стародубцев, М.А. Давлятова, ; под общей редакцией заслуженного деятеля науки РФ профессора Ю.И. Стародубцева. –

СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – 452 С.

2. Стародубцев, Ю.И. Структурно-функциональная модель киберпространства / Ю.И. Стародубцев, П.В. Закалкин, С.А. Иванов // Вопросы кибербезопасности. – 2021. – № 4 (44). – С. 16-24. – DOI:10.21681/2311-3456-2021-4-16-24.

3. Бречко, А. А. Проблема синтеза инфокоммуникационных систем с коротким жизненным циклом / А. А. Бречко // Радиолокация, навигация, связь : Сборник трудов XXX Международной научно-технической конференции. В 5-ти томах, Воронеж, 16–18 апреля 2024 года. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2024. – С. 284-287.

4. Бречко, А. А. Проблема управления развитием информационно-телекоммуникационных систем / А. А. Бречко, Ю. И. Стародубцев // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2023) : Труды Шестнадцатой международной конференции, Москва, 26–28 сентября 2023 года. – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2023. – С. 192-196. – DOI 10.25728/mlsd.2023.0192.

5. Иванов В. Г. Основы построения и оценки эффективности функционирования системы связи специального назначения в международном вооруженном конфликте на основе многосферной и конвергентной структуры ее элементов: Монография. – СПб.: ПОЛИТЕХ, 2023. – 298 с.

6. Бречко, А. А. Особенности развития информа-

ционной инфраструктуры / А. А. Бречко, Ю. И. Стародубцев // Радиотехника, электроника и связь : тезисы докладов VII Международной научно-технической конференции, Омск, 04–06 октября 2023 года. – Омск: Омский научно-исследовательский институт приборостроения, 2023. – С. 153-155.

7. О проектировании компьютерных сетей / А. М. Бородай, Г. А. Белоусов, Д. С. Судakov, А. А. Плотников // Технологии и техника: пути инновационного развития : Сборник научных статей 2-й Международной научно-технической конференции, Воронеж, 14 июня 2024 года. – Воронеж: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 98-101.

8. Львович, К. И. Анализ некоторых особенностей проектирования корпоративных сетей / К. И. Львович, А. А. Плотников // Молодежь и наука: шаг к успеху : Сборник научных статей 6-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых. В 3-х томах, Курск, 22–23 марта 2022 года / Отв. редактор М.С. Разумов. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 55-58.

9. Jiang W. Graph-based deep learning for communication networks: A survey //Computer Communications. – 2022. – Т. 185. – С. 40-54.

10. Chouhan A. S., Sridhar V., Rao S. Service provider strategies in telecommunications markets: analytical and simulation analysis //Sādhanā. – 2021. – Т. 46. – №. 1. – С. 44.

A TECHNICAL SOLUTION TO IMPROVE THE TIMELINESS OF INFORMATION EXCHANGE AND COMMUNICATION

Brechko A. A.¹, Philin A. V.²

Keywords: communication transport network, development management, quality of infocommunication services, infocommunication resource, simulation modeling, testing of infocommunication systems, construction of infocommunication systems.

The purpose of the study is to increase the timeliness of the provision of services with a given quality by objects of the infocommunication infrastructure when the composition of the consumers served changes.

Method: methods of analysis, synthesis, graph theory, modeling theory, pattern recognition theory, morphological analysis method were used.

The result of the research is a technical solution (method) aimed at improving the timeliness of providing services with a given quality. The solution includes modeling of an existing infocommunication infrastructure facility, simulation of the functioning of a changed composition of consumers, and assessment of the quality of services provided to consumers. Based on the results of modeling and quality assessment, the missing telecommunications resource is determined. After that, the appearance of the technical system is synthesized taking into account the already existing infocommunication infrastructure, while the search for the optimal solution is carried out by the method of morphological analysis, and the quality criteria of the synthesized system are the fulfillment of the requirements of the new composition of consumers and the minimum of changes made to it. The assessment of the degree of modification is carried out by methods of pattern recognition theory by calculating the distance between different variants in the space of their features. Due to this, the time for providing services with a given quality is minimized.

The scientific novelty consists in the modification of the methodological approach to providing consumers with information and communication services, which is the basis of the developed technical solution, as well as the adaptation of the Russell and Rao formula.

¹ Brechko Alexander Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, doctoral student of the Military Academy of Communications named after S.M. Budyonny, St. Petersburg, E-mail: alexanderbrechko@yandex.ru

² Filin Andrey Viktorovich, Deputy Head of the Department of the Main Directorate of Communications of the Armed Forces of the Russian Federation, Moscow, E-mail: fi1y@mail.ru

REFERENCES

1. Starodubcev Ju.I. Jekonomika cifrovych informacionnyh uslug: monografija / Ju. I. Starodubcev, M.A. Davljatova, ; pod obshhej redakciej zaslužennogo dejatelja nauki RF professora Ju.I. Starodubceva. – SPb.: POLITEH-PRESS, 2019. – 452 S.
2. Starodubcev, Ju.I. Strukturno-funkcional'naja model' kiberprostranstva / Ju.I. Starodubcev, P.V. Zakalkin, S.A. Ivanov // Voprosy kiberbezopasnosti. – 2021. – № 4 (44). – S. 16-24. – DOI:10.21681/2311-3456-2021-4-16-24.
3. Brechko, A. A. Problema sinteza infokom-munikacionnyh sistem s korotkim zhiznennym ciklom / A. A. Brechko // Radiolokacija, navigacija, svjaz' : Sbornik trudov XXX Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. V 5-ti tomah, Voronezh, 16–18 aprelja 2024 goda. – Voronezh: Izdatel'skij dom VGU, 2024. – S. 284-287.
4. Brechko, A. A. Problema upravlenija razvitiem informacionno-telekommunikacionnyh sistem / A. A. Brechko, Ju. I. Starodubcev // Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnyh sistem (MLSD'2023) : Trudy Shestnadcatoj mezhdunarodnoj konferencii, Moskva, 26–28 sentjabrja 2023 goda. – Moskva: Institut problem upravlenija im. V.A. Trapeznikova RAN, 2023. – S. 192-196. – DOI 10.25728/mlsd.2023.0192.
5. Ivanov V. G. Osnovy postroenija i ocenki jeffektivnosti funkcionirovanija sistemy svjazi special'nogo naznachenija v mezhdunarodnom vooruzhennom konflikte na osnove mnogosfernoj i konvergentnoj struktury ee jelementov: Monografija. – SPb. : POLITEH, 2023. – 298 s.
6. Brechko, A. A. Osobennosti razvitija informacionnoj infrastruktury / A. A. Brechko, Ju. I. Starodubcev // Radiotekhnika, jelektronika i svjaz' : tezisy dokladov VII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Omsk, 04–06 oktjabrja 2023 goda. – Omsk: Omskij nauchno-issledovatel'skij institut priborostroenija, 2023. – S. 153-155.
7. O proektirovanii komp'juternyh setej / A. M. Borodaj, G. A. Belousov, D. S. Sudakov, A. A. Plotnikov // Tehnologii i tehnika: puti innovacionnogo razvitija : Sbornik nauchnyh statej 2-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Voronezh, 14 ijunja 2024 goda. – Voronezh: ZAO "Universitetskaja kniga", 2024. – S. 98-101.
8. L'vovich, K. I. Analiz nekotoryh osobennostej proektirovanija korporativnyh setej / K. I. L'vovich, A. A. Plotnikov // Molodezh' i nauka: shag k uspehu : Sbornik nauchnyh statej 6-j Vserossijskoj nauchnoj konferencii perspektivnyh razrabotok molodyh uchenyh. V 3-h tomah, Kursk, 22–23 marta 2022 goda / Otv. redaktor M.S. Razumov . Tom 3. – Kursk: Jugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet, 2022. – S. 55-58.
9. Jiang W. Graph-based deep learning for communication networks: A survey //Computer Communications. – 2022. – T. 185. – S. 40-54.
10. Chouhan A. S., Sridhar V., Rao S. Service provider strategies in telecommunications markets: analytical and simulation analysis //Sādhanā. – 2021. – T. 46. – №. 1. – S. 44. ■