



DOI: 10.5862/JCSTCS/12

УДК 656, 004.8

*С.А. Селиверстов, Я.А. Селиверстов***О ПОСТРОЕНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ
И РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ МЕГАПОЛИСА***S.A. Seliverstov, Ya.A. Seliverstov***CONSTRUCTION OF INTELLIGENT SYSTEM FOR THE ORGANIZATION
AND DEVELOPMENT OF TRANSPORT SYSTEM METROPOLIS**

Обоснована актуальность разработки принципиально новой системы интеллектуальной пространственной организации и развития мегаполиса. Проведен анализ подходов развития современного мегаполиса с учетом развития его функциональной среды и транспортной системы. Исследованы вопросы взаимодействия землепользования, транспорта и городского развития. Проанализированы существующие архитектуры интеллектуальных транспортных систем. На логико-алгоритмическом языке осуществлена формальная разработка интеллектуальной системы организации и развития транспортной системы мегаполиса. Для обеспечения структурной и функциональной однородности последней впервые разработан реляционный фильтр селективного анализа индикаторного комбинаторного расширения связей (РЕФИСАНИК). На логико-алгоритмическом языке представлено описание, процесс синтеза и функционирование основных блоков системы РЕФИСАНИК, включающей блок систему, селекционный фильтр, комбинаторный расширитель индикаторных связей и реляционный регулятор согласования. На практических примерах продемонстрирована работа системы и ее компонентов.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИИ И РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ МЕГАПОЛИСА; ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ УРБАНИЗАЦИЯ; ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА.

The article proves the necessity to develop a radically new system of an intellectual spatial organization and the development of metropolis. We have analyzed the approaches of the modern metropolis taking into account the development of its operational environment and transport system. We have investigated the issues regarding the cooperation of land-use, transport and urban development and analyzed the existing architectures of intelligent transport systems. To develop the intellectual system of the organization and development of the metropolis transport system, a logical-algorithmic language has been used. We have firstly developed a system of REFISANIK to ensure structural and functional homogeneity. Using a logic-algorithmic language we have described the process of synthesis and functioning of main units of the system of REFISANIK including a block system, a selective filter, a combinatorial extender of indicator links and relational regulatory approval. Practical examples demonstrate the operation of the system and its components.

INTELLIGENT SYSTEM FOR THE ORGANIZATION AND DEVELOPMENT OF TRANSPORT SYSTEM METROPOLIS; INTELLIGENT URBANIZATION; INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM.

Основу передовых тенденций развития транспортной системы (ТС) современного мегаполиса [1, 2] сегодня составляет ее все-сторонняя интеллектуализация [3, 4]. Уже проработаны множество подходов созда-

ния и построения интеллектуальных транспортных систем (ИТС) [5]. Основными [6] считаются Европейская рамочная архитектура ИТС, Американская национальная архитектура ИТС и Японская ИТС архи-

текстура. Функциональные сферы последних охватывают [7]: управление дорожным движением, управление общественным транспортом, управление транспортными средствами (ТрСр), электронный сбор платежей, управление чрезвычайными ситуациями на транспорте, грузовые и коммерческие перевозки, информационное обеспечение путешественников и кооперативные технологии.

В области интеллектуального планирования городов с определенной степенью эффективности проработаны интеллектуальные модели управлением городскими транспортными системами (ГТС) [4, 6, 7], модели управления землепользованием [8] и городской логистикой [9, 10].

Под влиянием факторов урбанизации и экономики землепользования [8] произошло смещение операционного ориентирования ГТС в сторону качества обслуживания пассажиров, экологических критериев городской среды и критериев транспортной доступности.

Между тем проблемы построения систем интеллектуального управления процессами урбанизации не исследовались не только российскими, но и европейскими научно-исследовательскими коллективами. Построение интеллектуальных систем управления мегаполисом, по нашему мнению, является определяющим в развитии «умного города» и открывает дорогу к построению принципиально новых систем управления неизмеримо большего класса сложности, чем ИТС.

Анализ предметной области. Представители академических, научных и инженерных кругов с различных точек зрения исследовали проблемы формирования и развития ГТС. Методологические принципы архитектурного построения ТС с фундаментальных позиций рассмотрены в [11], проблемы их развития в [12], а технология анализа в [13, 14]. При этом в [13] предложен метод анализа ГТС посредством ее мультипредставления структурой «черного ящика». В [14] разрешена проблема структурно-функциональной организации транспортных объектов в коммуникационных средах и транспортных сетях (ТрС).

Вопросы типологической классификации последних и их территориального роста с учетом географического положения приведены в [15]. Связь ТС и города с позиции жизнеобеспечения территории и эффективности социально-экономических процессов исследованы в [16], а проблемы функционального зонирования города, организации дорожного движения и проектирования улично-дорожных сетей – в [17]. Аспекты взаимодействия землепользования и транспорта в городских условиях, а также анализ публикаций в этой области исследованы в [18]. Более подробно современные методы и технологии городской инженерии рассмотрены в [10], а направления развития индексов городской устойчивости – в [19]. Рассматривая город и транспорт как единую динамическую систему, в [20] предложен качественный метод анализа устойчивой городской мобильности и определены общие факторы последней. Проблемы взаимодействия землепользования и транспортного планирования с учетом врожденного стремления человека к мобильности частично исследованы в [21].

Развитие информационных, телекоммуникационных и компьютерных технологий [22] позволило подойти к возможности построения интеллектуальных систем управления городскими транспортными процессами [23, 24] и их компонентов [25]. Среди последних работ в этой области отметим следующие. Методы интеллектуального анализа процесса организации транспортной системы рассмотрены в [26]. Проблема автоматической классификации и структурной упорядоченности социально-экономического поведения городского населения применительно к моделям управления ГТС с использованием агентного подхода впервые решается в [27]. В работе [28] построена структурная модель системы городского транспортно-логистического мониторинга с использованием технологий идентификации, аутентификации, местопределения и распознавания состояний подвижных и стационарных объектов. Проблемы внедрения подобных систем разрешаются на принципах, предложенных в [29, 30]. В статье [31] разработана модель



управления ГТП, устойчивая к неопределенности внешней информационной среды, и осуществлен переход от поведенческих принципов Вардропа к целевой функции управления процессами транспортной мобильности. Проблемы построения бесконфликтного непрерывного процесса в ГТС исследованы [32]. Интеллектуализация ГТС с позиции построения самоорганизации транспортно-логистического процесса осуществлена в [33].

Постановка проблемы. Анализ публикаций свидетельствует о проработке научных подходов в построении интеллектуальных ГТС и технологий их повсеместного внедрения. Однако до настоящего времени даже на концептуальном уровне не затрагивалась

задача интеллектуального управления процессом пространственного развития и организации ТС мегаполиса. Разработке данного метода и посвящена настоящая статья.

Архитектурная модель интеллектуальной системы организации и развития транспортной системы мегаполиса (ИСОРТСМ). Изложение ИСОРТСМ уместно начать с формирования ее логико-алгебраической структуры Θ , включающей системы ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ – [U], МЕГАПОЛИС – [M], ТРАНСПОРТ – [T], ФУНКЦИОНАЛ УПРАВЛЕНИЯ – [Ф] и РЕЛЯЦИОННЫЙ РЕГУЛЯТОР СОГЛАСОВАНИЯ – [Σ]. Графически ИСОРТСМ представлена на рис. 1, формально зададим ее следующим выражением:

$$\Theta \ni \left\{ \begin{array}{l} \left\langle \begin{array}{l} [U] \\ [M] \\ [T] \end{array} \right\rangle : \|[M] \ni ([T] \ni [U]) \\ [\Sigma] \cup_{[Ф]} \left(\left\langle \overset{U}{EV} \right\rangle \wedge \left\langle \overset{M}{EV} \right\rangle \wedge \left\langle \overset{T}{EV} \right\rangle \wedge \left\langle \overset{Ф}{EV} \right\rangle \right) \\ \left\langle \overset{U}{EV} \right\rangle \nabla (I_{[U]}); \left\langle \overset{M}{EV} \right\rangle \nabla (I_{[M]}); \left\langle \overset{T}{EV} \right\rangle \nabla (I_{[T]}); \left\langle \overset{Ф}{EV} \right\rangle \nabla (I_{[Ф]}) \\ \left\langle \overset{Ф}{EV} \right\rangle \nabla \left(\left\langle \overset{U}{EV} \right\rangle \wedge \left\langle \overset{M}{EV} \right\rangle \wedge \left\langle \overset{T}{EV} \right\rangle \right) \end{array} \right. , \quad (1)$$

где $[Ф] = (f_\mu, f_r, f_p, f_k)$ – включает операторы: измерения – f_μ , регулирования – f_r , планирования – f_p и контроля – f_k ; $I_{[U]}$ – множество индикаторов развития системы пользователь; $I_{[M]}$ – множество индикаторов развития системы мегаполис; $I_{[T]}$ – множество индикаторов развития системы транспорт; $I_{[Ф]}$ – множество индикаторов развития функционала управления; $\overset{U}{EV}$ – полюс развития системы пользователь; $\overset{M}{EV}$ – полюс развития системы мегаполис; $\overset{T}{EV}$ – полюс развития системы транспорт; $\overset{Ф}{EV}$ – полюс развития функционала управления.

Стрелки, исходящие из СРПС и пересекающие системы ИСОРТСМ [U], [M], [T], [Ф] в направлении соответствующих полюсов – $\overset{U}{EV}$, $\overset{M}{EV}$, $\overset{T}{EV}$, $\overset{Ф}{EV}$, означают рациональный непрерывный процесс развития элементов системы.

Перспективу развития при этом определяют интегральные индикаторные множества $I_{[U]}$, $I_{[M]}$, $I_{[T]}$, $I_{[Ф]}$ соответствующей пары СИСТЕМА→ПОЛЮС. Формально процесс развития ИСОРТСМ интерпретируется так:

$$\Theta \xrightarrow{[\Sigma][Ф]} EV \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} U \xrightarrow{I_{[U]}} \overset{U}{EV} \\ M \xrightarrow{I_{[M]}} \overset{M}{EV} \\ T \xrightarrow{I_{[T]}} \overset{T}{EV} \\ Ф \xrightarrow{I_{[Ф]}} \overset{Ф}{EV} \end{array} \right.$$

Логико-алгебраическое описание внешней структуры ИСОРТСМ. Система пользователь (СП) является основной системой в структуре ИСОРТСМ. Под пользователем будем понимать любое физическое лицо, зарегистрированное под одним из статусов городской принадлежности (житель города, путешественник и др.). Функция СП – формирование и совершенствование

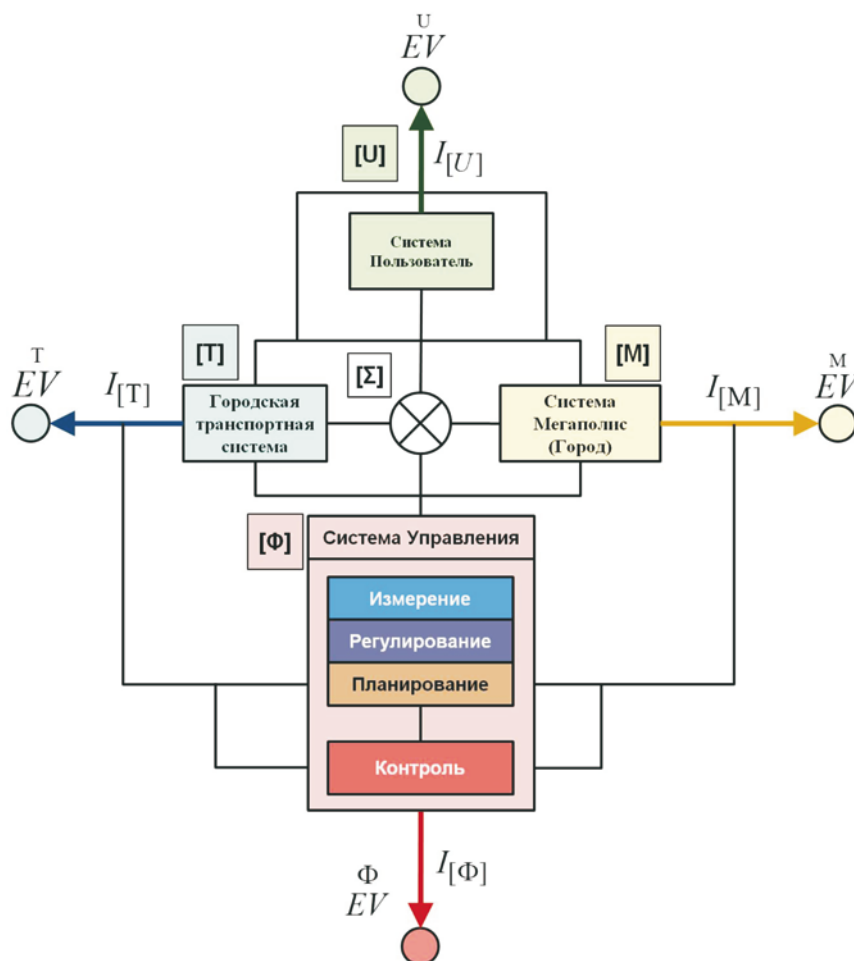


Рис. 1. Структурная схема интеллектуальной системы организации и развития транспортной системы мегаполиса

индикаторов, характеризующих пользователя (характеристики жизнедеятельности, социально-экономические показатели, показатели качества жизни, показатели здоровья, психологические показатели, показатели комфорта и эргономики и др.). Индикаторное множество СП $I_{[U]}$ через СРРС оказывает влияние на процесс формирования и развития индикаторных характеристик СТ, СМ и СУ.

Система транспорт (СТ) – рационально организованная совокупность множества индикаторов, характеризующих объекты и субъекты транспортной инфраструктуры и ТрСр, функционирующих в пределах границ мегаполиса. Цель транспорта – удовлетворение потребностей пользователя качественными транспортными услугами.

Функция СТ – устойчивое поддержание

и развитие характеристик индикаторного множества СТ, обеспечивающее непрерывное эффективное функционирование ТП внутри мегаполиса.

Индикаторное множество СТ через РРС оказывает влияние на процесс формирования и развития индикаторных характеристик СП, СМ и СУ.

Система мегаполис (СМ) – рационально организованное индикаторное множество, характеризующее мегаполис в целом. Значением индикаторов СМ определяется уровень безопасности мегаполиса, эффективность функционирования его подсистем, степень развития и разнообразия его инфраструктуры. Функция СМ – устойчивое поддержание и развитие характеристик индикаторного множества СМ.

Индикаторное множество CM через



РРС оказывает влияние на процесс формирования и развития индикаторных характеристик СП, СТ и СУ.

Система управления (СУ) в общем виде представлена операторами измерения текущего состояния объекта управления, планирования, регулирования и контроля. Цель СУ – совершенствование управляющих методов и воздействий для устойчивого обеспечения процессов функционирования ИСОПТСМ и удовлетворения потребностей пользователя. Функция СУ – устойчивое развитие характеристик индикаторного множества ИСОПТСМ в соответствии с заданным законом управления.

Реляционный регулятор согласования (РРС) – система, обеспечивающая рациональное развитие ИСОПТСМ. Цель РРС – рациональное совершенствование ИСОПТСМ. Функция РРС – поиск состояния устойчивого рационального максимума функционирования систем ИСОПТСМ, при котором достигается предельная скорость движения вдоль вектора развития СИСТЕМА–ПОЛЮС. Поиск и формирование согласованного индикаторного множества, обеспечивающего устойчивый рост индикаторных множеств ИСОПТСМ.

Таким образом, предлагаемая структурная схема ИСОПТСМ логически связывает процесс развития ТС и мегаполиса и позволяет производить мультианализ их компонент с учетом расширения структуры последних.

Логико-алгебраическое описание внутренней структуры ИСОПТСМ. Схема организации внутренней структуры ИСОПТСМ Θ , представленная на (рис. 2), включает четыре блока РЕФИСАНИК¹ – структурных базовых единицы внутренней структуры ИСОПТСМ – РЕФИСАНИК ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ $P^{[U]}$, РЕФИСАНИК МЕГАПОЛИС $P^{[M]}$, РЕФИСАНИК ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА $P^{[V]}$, РЕФИСАНИК ТРАНСПОРТНЫЕ КОММУНИКАЦИИ $P^{[C]}$. Центром ИСОПТСМ является РРС.

Формально внутреннюю структуру ИСОПТСМ зададим следующим выражением:

$$\Theta_{in} \ni \begin{cases} P^{[U]} \ni \langle Y_U, S_U, A_U, I_U, \xi_U \rangle \\ P^{[T]} \ni \langle Y_T, S_T, A_T, I_T, \xi_T \rangle \\ P^{[M]} \ni \langle Y_M, S_M, A_M, I_M, \xi_M \rangle \\ P^{[V]} \ni \langle Y_V, S_V, A_V, I_V, \xi_V \rangle \\ [\Sigma] \\ [\Phi] \end{cases} \quad (3)$$

Система [Т] как внешний блок ИСОПТСМ (рис. 1) разделяется на две составляющие: транспортные средства [V] и транспортные коммуникации [ТС], которые рассматриваются как отдельные взаимосвязанные развивающие единицы, а система управления [Ф] образует внешний контур.

Рассмотрим структуру РЕФИСАНИК, представленную на (рис. 3).

Общая структура РЕФИСАНИК состоит из следующих элементов: селекционный фильтр – Y ; блок система – S ; блок анализа – A ; индикаторное множество показателей эффективности системы – I ; комбинаторный расширитель индикаторных связей – ξ (КРИС). Таким образом, структура РЕФИСАНИК интерпретируется выражением

$$P \ni \langle Y, S, A, I, \xi \rangle. \quad (4)$$

Изолированно рассмотрим структуру элементов РЕФИСАНИК.

Блок система S . В общем виде блок S задается множеством взаимосвязанных, организованных элементов, различных классов

$$S : \mathcal{E} = \{\varepsilon_i, i = 1, \dots, n\}, \quad (5)$$

где ε_i – элемент системы S .

Классы на множестве элементов системы S формирует операция разбиения f_μ^d множества S на непересекающиеся совокупности подмножеств согласно:

$$f_\mu^d : S = \bigcup_{\mu=1}^{\mu} S_\mu \quad |S_\mu| = d_\mu, \quad (6)$$

где $\mu = 1, \dots, \mu$ – классы разбиения; $d_\mu = 1, \dots, R$ – глубина классов разбиения.

¹ РЕФИСАНИК – РЕляционный ФИльтр Селективного Анализа Индикаторного Комбинаторного расширения связей

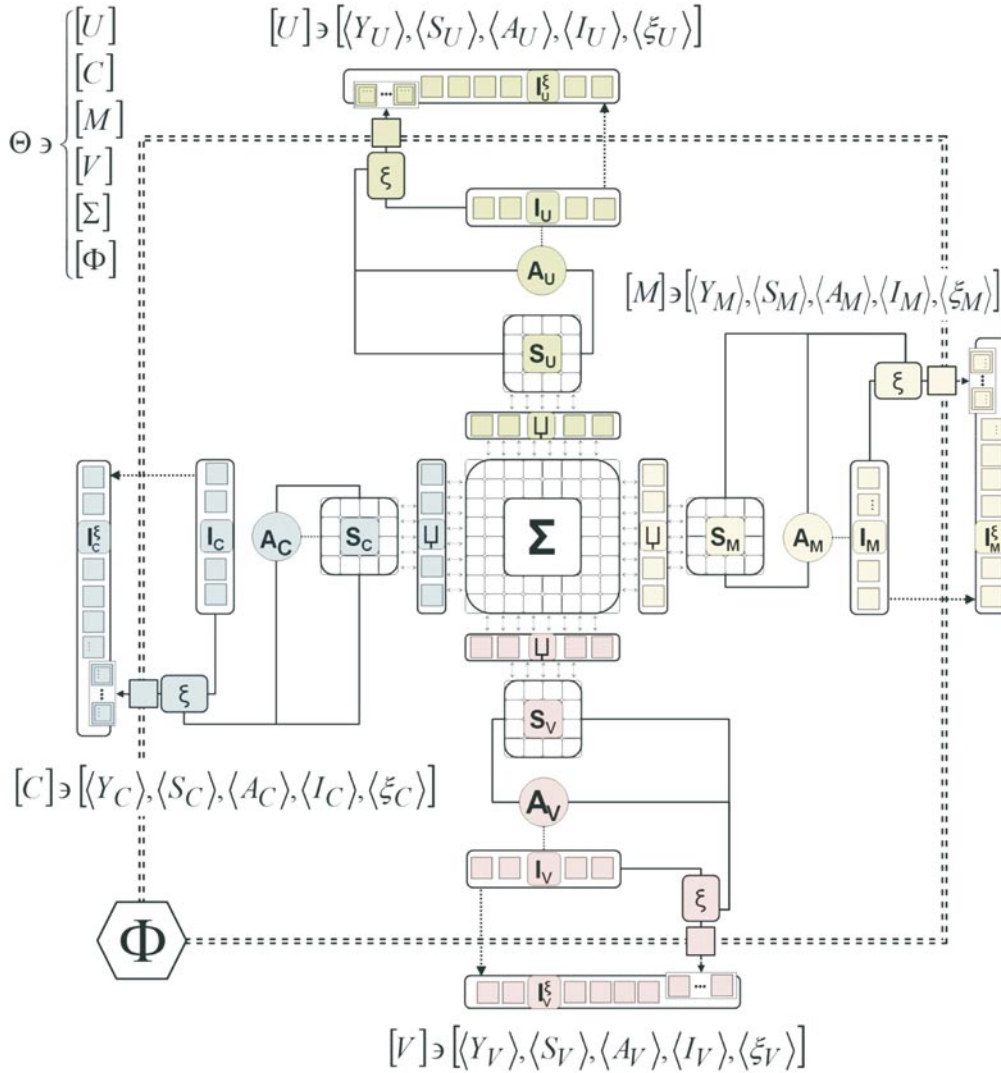


Рис. 2. Схема внутренней структуры ИСОТСМ

Для регистрации, хранения и работы с данными элементами системы введем операцию идентификации f_{id} ее элементов согласно:

$$f_{id} : S \xrightarrow{\forall \{e_i\} \in S} I, \quad (7)$$

где $I = \{i_d\}$ – множество уникальных номеров, т. е. существует и определено отображение f_{id} , которое каждому объекту из S ставит в соответствие уникальный номер $i_{dk} \in I$.

Каждый элемент системы ε , выраженный уникальным номером i_d , должен быть параметризован определенным набором свойств. Зададим для этого операцию f_{CH} , которая каждому уникальному номеру i_{dk}

ставит в соответствие набор характеристик, присущих данному объекту, согласно следующему выражению:

$$f_{CH} : S \xrightarrow[\{e_i\} \ni \{i_d\}]{\forall \{e_i\} \in S} CH, \quad (8)$$

где $CH = \{ch_a^{i_d}, a = 1, \dots, n_a, i = 1, \dots, n\}$ – множество характеристик элементов системы S .

Атрибуты определенной характеристики, отражающие свойство каждого элемента системы, согласно принципам нормализации задаются кортежем $ch_a^{i_d} = \langle [i_d], [name\ character], [attribute\ values], \{set_{av}\} \rangle$, где $[i_d] \in I$ – уникальный номер каждого элемента, $[name\ character]$ – имя характеристики, выраженное множеством определения,

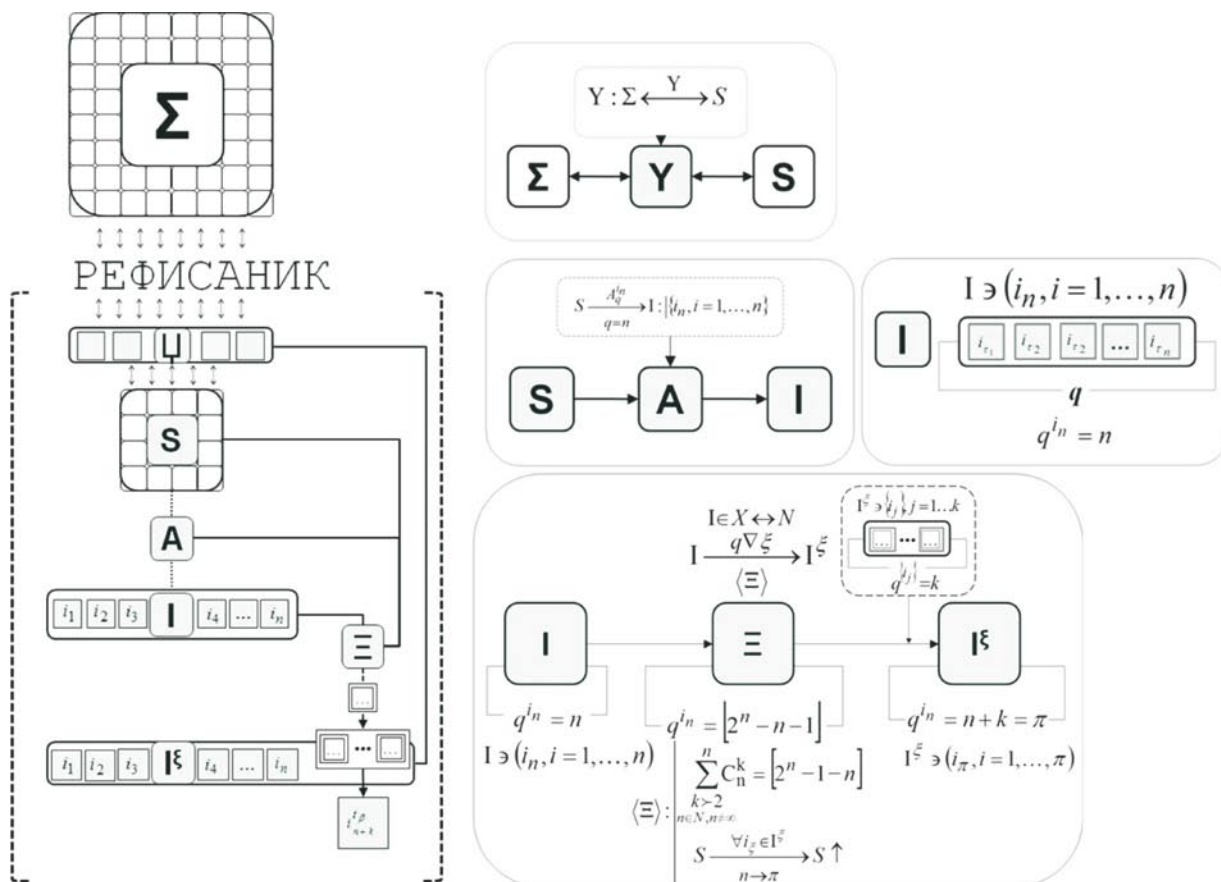


Рис. 3. Схема функционирования системы РЕФИСАНИК

[*attribute value*] – атрибут характеристики, выраженный областью определения, [*set_{av}*] – численное значение определенного атрибута характеристики.

Графически процесс построения организации блок системы S интерпретирован на рис. 4.

В случае если описание свойств каждого элемента системы предполагает динамический характер развития, может быть задана хронологическая операция f_i следующего вида:

$$f_i : S \xrightarrow[\{e_i \in \{I_d\}\}]{\forall \{e_i\} \in S} \langle \tau_T^{\det} \vee (\tau_T; \tau_{T+i}) \rangle, \quad (9)$$

где $\tau_T^{\det} \in T$ – определенный момент времени; T – множество моментов или интервалов времени; при контроле f_i можно опереться на «шестую нормальную форму», а для проверки условий, связанных с интервалами, – на операторы Аллена.

Процесс структурно-функциональной организации элементов ε_i в системе S за-

дадим операцией поиска $f_{r_{low}}^{\varepsilon_I}$ оптимального условия структурно-функционального взаимодействия элементов системы согласно

$$f_{r_{low}}^{\varepsilon_I} : S \xrightarrow[\{e_i \in \{I_d\}\}]{\forall \{e_i\} \in S} \langle r_I^{low} \in R \rangle. \quad (10)$$

Структурно-функциональная организация для каждого элемента [$\varepsilon_i \in I_d$] в системе подчинена определенному условию структурно-функционального взаимодействия r_I^{low} .

Частично пример организации системы транспорт приведен в [28], а пример определения оптимальных условий структурно-функционального взаимодействия элементов транспортной системы разработан в [32].

Блок анализа (А). Блок анализа производит оценку значений индикаторов внутри каждого РЕФИСАНИКа. Графическое пояснение процесса оценки индикаторов внутри блока анализа представлено на рис. 5, а формально задается выражением:

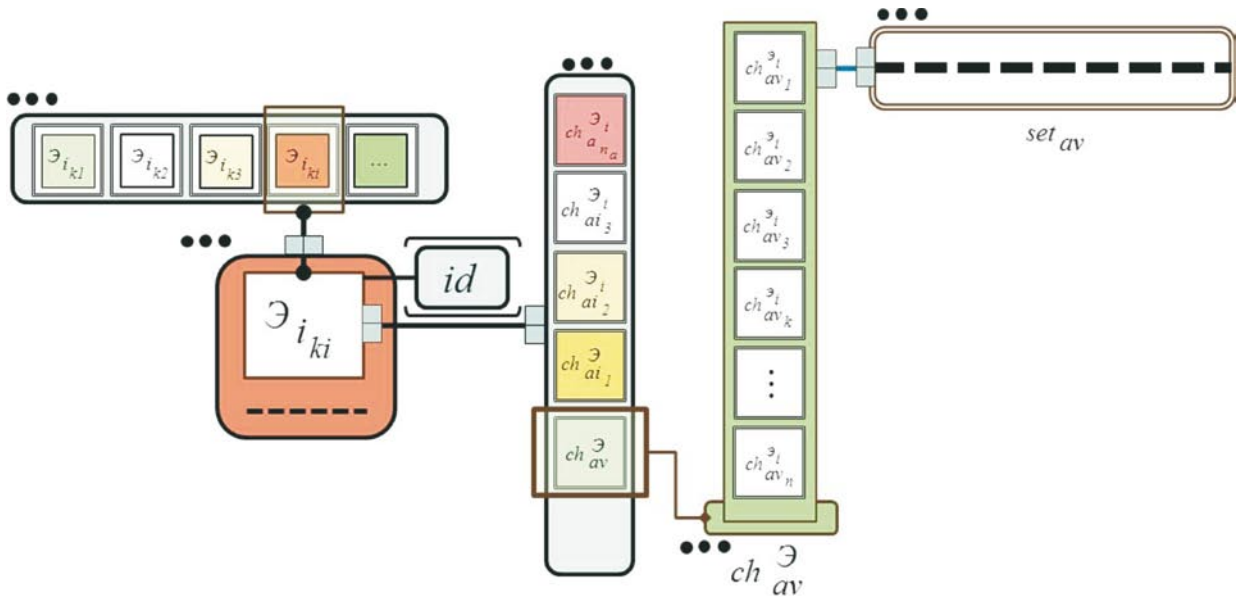


Рис. 4. Схема построения процесса организации блока системы S

$$A : \left| I^{[etalon]} - I^{[real]} \right| \xrightarrow{f^{[compare]}, f^{[diagnos]}} R, \quad (11)$$

$$I^{[real]} \times R = I^{[etalon]},$$

где $I^{[etalon]} = \{i_{\gamma}^{[et]}, \gamma = 1 \dots n_{iet}\}$ – эталонное множество индикаторов; $i_{\gamma}^{[et]}$ – эталонное значение определенного индикатора; $I^{[real]} = \{i_{\gamma}^{[r]}, \gamma = 1, \dots, n_{iet}\}$ – реальное множество показателей; $i_{\gamma}^{[r]} = i_{id}[o_{ch_{id} \times \delta}] f(set_{av_i}^{e_{id}}, \tau)$ – текущее значение индикатора за определенный период или момент времени τ ; $ch_{av_i}^{e_{id}} = f(set_{av_i}^{e_{id}}, \tau)$ – текущее значение определенной характеристики элемента $\mathfrak{E}$, входящего в вычисляемый индикатор $i_{\gamma}^{[r]}$; $[o_{ch_{id} \times \delta}]$ – оператор маршрутизации связи текущего значения индикатора i_{id} , характеристики ch_{id} и действия над ними δ ; $I^{[etalon]} = \{i_{\gamma}^{[et]}, \gamma = 1, \dots, n_{iet}\}$ – множество эталонных значений показателей; $i_{\gamma}^{[et]}$ – эталонное значение определенного индикатора эффективности; $f^{[compare]}$ – функция сравнения текущего значения $i_{\gamma}^{[r]}$ индикатора с эталонным $i_{\gamma}^{[et]}$; $f^{[diagnos]}$ – функция диагностирования причинно-следственных отношений между индикаторами, выявляющая причину отклонения значений текущих индикаторов от эталонных; R – регулирующее воздействие, удерживающее значение индикаторов в рамках допустимых отклонений.

Блок интегральных индикаторов (БИИ) (I). Интегральное индикаторное множество $[Integ]$ зададим множеством индикаторов эффективности $I = \{i_n\}$ и множеством условий $Y = \{y\}$, при котором они достигают оптимального значения, согласно

$$[Integ] = \langle I \wedge Y \rangle. \quad (12)$$

Формирование множества индикаторов эффективности $I = \{i_n\}$ реализуется оператором f_i , посредством которого происходит перемещение результирующих индикаторов из блока A в блок I , согласно

$$A \xrightarrow{f_i} I, \quad (13)$$

при этом множества $I^{[real]}$ и I равномощны:

$$|I^{[real]}| = |I|. \quad (14)$$

Формирование множества условий $Y = \{y\}$ реализуется оператором f_y , согласно

$$A \xrightarrow{f_y} I. \quad (15)$$

Блок КРИС. Реализует процесс расширения количества индикаторов индикаторного множества и совершенствование блока анализа.

Процесс работы блока КРИС задается следующим образом.

Пусть система индикаторов имеет ко-

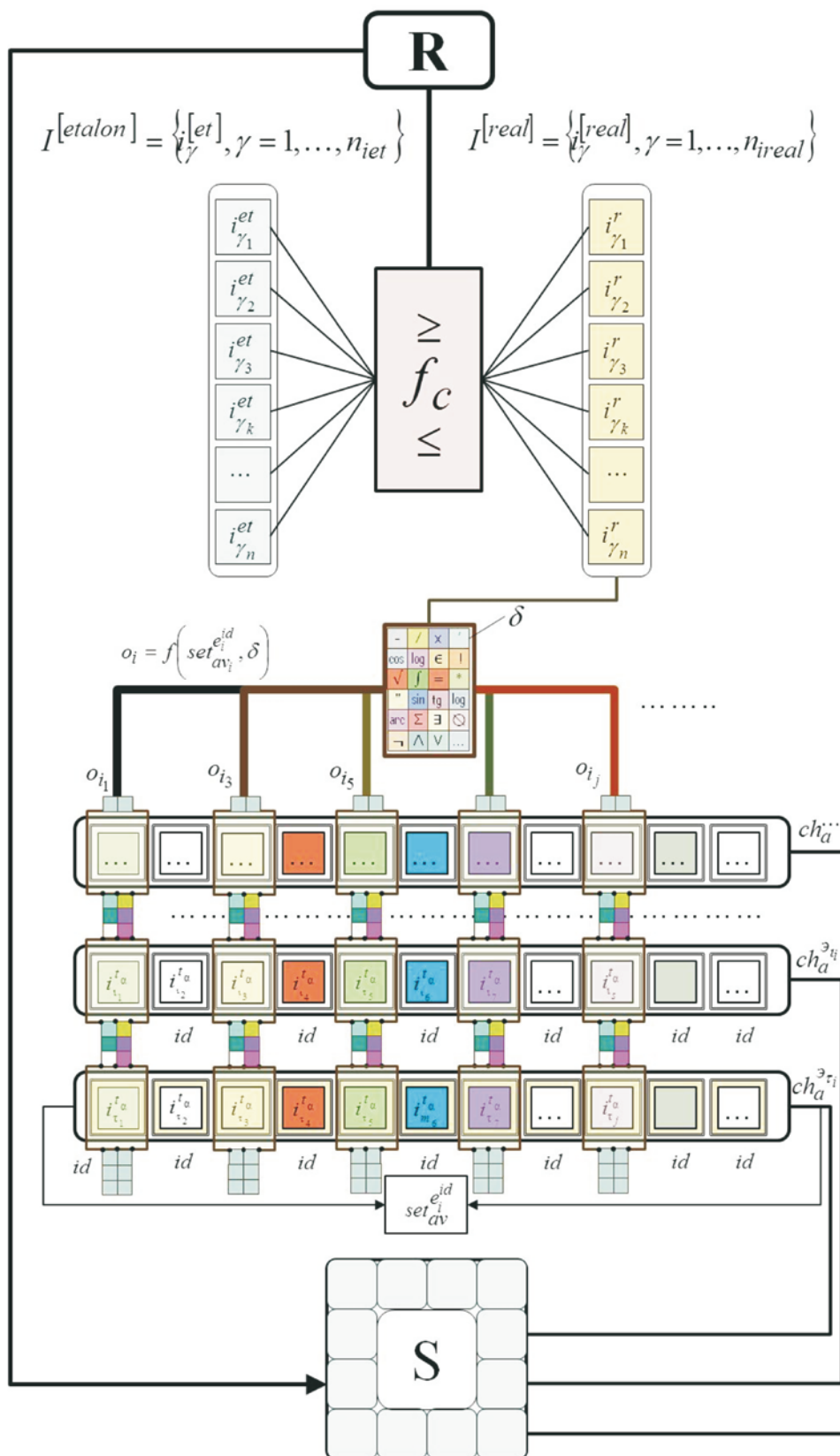


Рис. 5. Схема построения блока анализа

личество q индикаторов i , равных n , тогда можно записать:

$$q_i = n. \quad (16)$$

Пусть оператор f_ψ отображает индикаторное множество $[I, q_i = n]$ из БИИ в блок КРИС согласно

$$f_\psi : I \xrightarrow[\{i\}]{f_\psi} \Xi, \quad (17)$$

где $I = \{i_n\}$.

Тогда операция ξ расширения индикаторов производится согласно

$$\xi : k_i = 2^n - n - 1. \quad (18)$$

Поясним принципы работы КРИС на практическом примере.

Пример работы КРИС. Пусть множество I состоит из $3(n=3)$ индикаторов: $I = \langle N_v, S_M, N_h \rangle$, где N_v – общее количество автомобилей в мегаполисе, S_M – площадь мегаполиса, N_h – общее количество жителей в мегаполисе. Тогда согласно (18) операция КРИС имеет вид $\xi : k_i = 2^n - n - 1 = 2^3 - 3 - 1 = 2^3 - 3 - 1 = 4$, а схема расширения индикаторов для рассматриваемого примера показана на рис. 6.

Индикаторы q_1, q_2, q_3, q_4 представляют показательные связи ($n1$), которые могут быть образованы между элементами I , а следовательно, задан закон организации последнего:

$$q_1 = S_M / N_v, q_2 = S_M / N_h, \quad (n1)$$

$$q_3 = N_v / N_h, q_4 = \frac{S_M}{\sqrt{N_v N_h}},$$

где q_1 – плотность ТрСр в мегаполисе, км²/ед. т. с.; q_2 – плотность жителей в мегаполисе, км²/чел.; q_3 – процент жителей мегаполиса, имеющих автомобиль, %; q_4 – обеспеченность территории мегаполиса с учетом общего количества жителей и ТрСр, б. р.

Таким образом, общее количество индикаторов потенциально может быть расширено с трех до семи, то есть $I \in \langle N_v, S_M, N_h, q_1, q_2, q_3, q_4 \rangle$.

Селекционный фильтр (СФ). Блок СФ (Y) производит отбор индикаторов структурно-функционального элемента рассматриваемой системы S для перемещения его в РРС.

В основу функционирования СФ по-

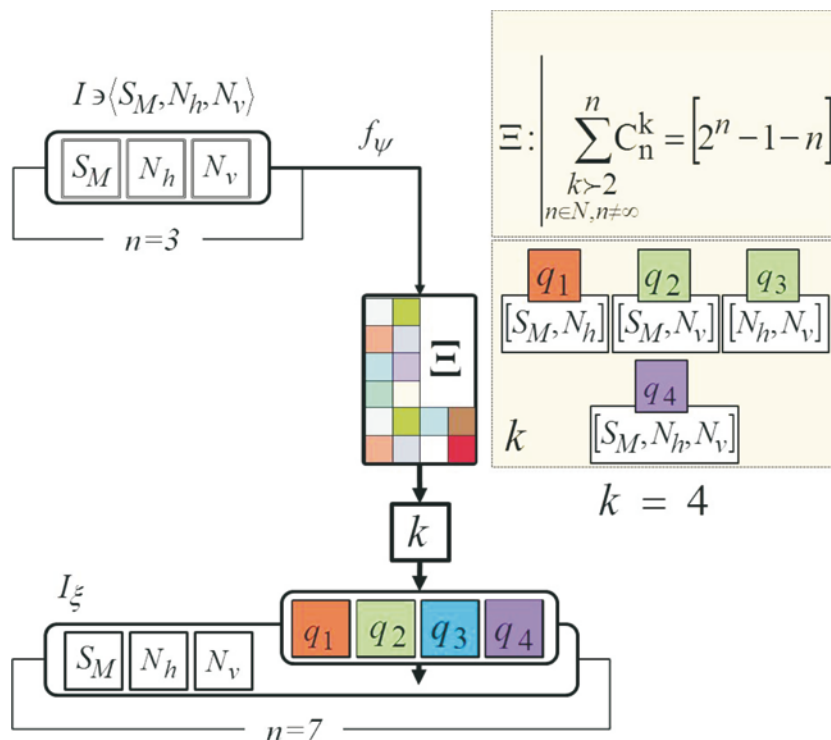


Рис. 6. Схема комбинаторного расширения индикаторов



ложим общий метод просеивания Сильва–Сильвестра, который задается следующим образом.

Пусть элементы $A_i \subset A$ обладают свойством P_i , $i = 1, 2, \dots, n$, тогда подмножество $A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_k$ обладает свойством $P_{i_1} \wedge P_{i_2} \wedge \dots \wedge P_{i_k}$.

Таким образом, если элементы A могут обладать n различными свойствами, то число элементов A , обладающих k указанными свойствами и не обладающих $n - k$ остальными, задаются оператором f_{sift} согласно

$$\begin{aligned} f_{sift} : Card(A_1 \cap \dots \cap A_k \cap \bar{A}_{k+1} \cap \bar{A}_{k+2} \cap \dots \\ \dots \cap \bar{A}_n) = Card(A_1 \cap \dots \cap A_k) - \\ - Card(A_1 \cap \dots \cap A_k \cap A_{k+1}) - \dots \\ \dots - Card(A_1 \cap \dots \cap A_k \cap A_n) + \\ + Caard(A_1 \cap \dots \cap A_k \cap A_{k+1} \cap A_{k+2} \cap \dots \\ \dots + Card(A_1 \cap \dots \cap A_k \cap A_{n-1} \cap A_n) + (-1)^{n-k} \times \\ \times Card(A_1 \cap \dots \cap A_k \cap A_{k+1} \cap A_{k+2} \cap \dots \cap A_n), \end{aligned} \quad (19)$$

где A – конечное множество; $A_i \subset A$, $\bar{A}_i$ – дополнение A_i по отношению к A ; $Card A$ – число элементов во множестве A .

В случае невыделенных множеств, когда множества не выделяются, а фиксируется только число свойств, которыми обладают их элементы, оператор f_{sift} имеет вид:

$$\begin{aligned} W(k) = w(k) - C_{k+1}^1 w(k+1) + \\ + C_{k+2}^2 w(k+2) - \dots + (-1)^{n-k} C_n^{n-k} w(n), \end{aligned} \quad (20)$$

где $W(k)$ – число элементов во множестве A , удовлетворяющих k свойствам.

Пример работы селекционного фильтра. Дано множество V , такое что $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}\}$, где $\{v_i\}$ – множество различных ТрСр, обладающих свойствами, указанными в таблице.

Подсчитаем число элементов V , обла-

дающих следующими свойством: $P_1 \wedge$ не $P_2 \wedge$, не P_3 , то есть $P_1 \wedge \bar{P}_2 \wedge \bar{P}_3$.

Решение. Обозначим подмножества, соответствующие свойствам P_1, P_2, P_3 , через A_1, A_2, A_3 . Тогда, $Card(A_1 \cap \bar{A}_2 \cap \bar{A}_3) = Card(A_1) - Card(A_1 \cap A_2) - Card(A_1 \cap A_3) + Card(A_1 \cap A_2 \cap A_3)$.

Просеиваем V через P_1 : $Card(A_1) = 5$.

Просеиваем A_1 через P_2 и P_3 : $Card(A_1 \cap A_2) = 2$, $Card(A_1 \cap A_3) = 2$.

Просеиваем $A_1 \cap A_2$ через P_3 : $Card(A_1 \cap A_2 \cap A_3) = 0$.

В итоге

$$Card(A_1 \cap \bar{A}_2 \cap \bar{A}_3) = 5 - 2 - 2 + 0 = 1.$$

Таким образом, через процедуру просеивания мы определили, что только транспортное средство v_2 обладает свойством P_1 и не обладает свойствами P_2 и P_3 , то есть является легковым не электрическим и не полноприводным автомобилем.

Реляционный регулятор согласования (PPC). PPC зададим набором операторов: оператор реляционного объединения элементов систем $U, C, M, V - f_{US}$; оператор реляционного объединения свойств (индикаторов) элементов систем $U, C, M, V - f_{US}^P$; реляционного согласования (PC) систем $U, C, M, V - f_\Sigma$.

Процесс PC реализуется последовательностью: на вход в БСРРС поступают просеянные согласно (19, 20) элементы систем и подвергаются процедуре реляционного объединения f_{US} :

$$f_{US} : \Sigma_S = \bigcup_{f_{sift}}^Y S_U \bigcup_{f_{sift}} S_V \bigcup_{f_{sift}} S_M \bigcup_{f_{sift}} S_C. \quad (21)$$

Графически процесс построения f_{US} представлен на рис. 7.

Область Σ_S на рисунке формально отражает набор просеянных элементов систем U, C, M, V .

Свойство транспортных средств

Объект [I]/Свойство [P]		v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	v ₅	v ₆	v ₇	v ₈	v ₉	v ₁₀
P_1	Легковые авто		●		●		●		●		●
P_2	Электрические авто							☀	☀	☀	☀
P_3	Полноприводные авто			○	○	○	○	○			

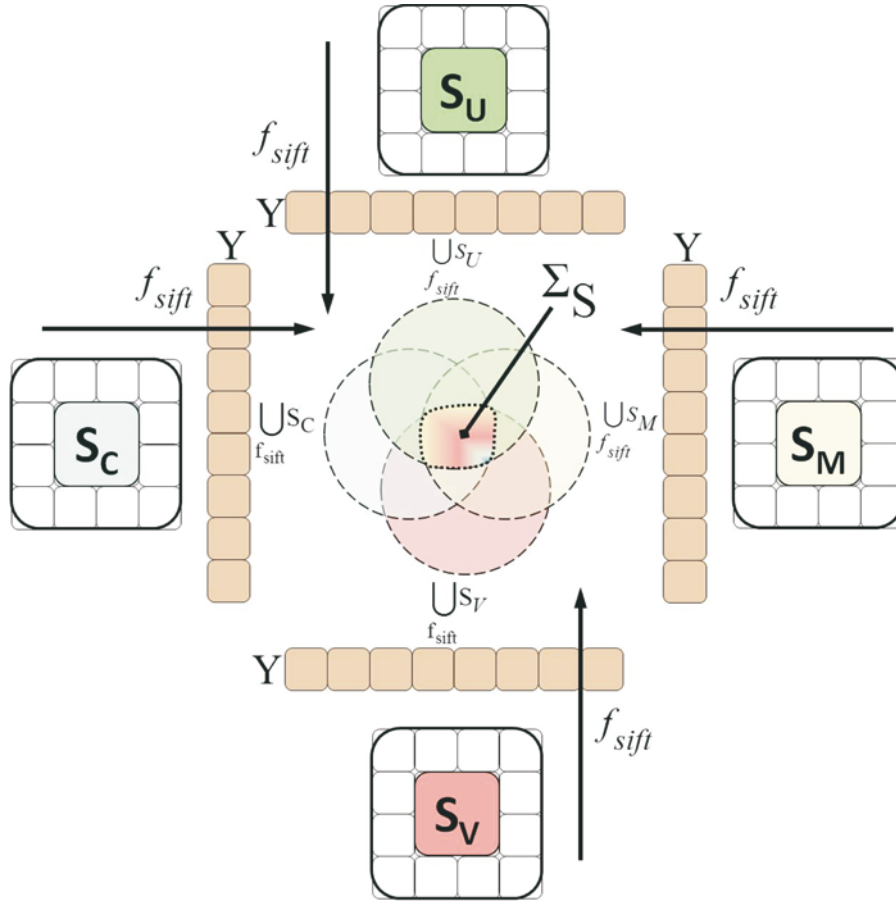


Рис. 7. Схема построения множества Σ_S

Параллельно с процессом f_{US} реализуется процедура f_{US}^P , согласно которой поступившие в PPC свойства соответствующих элементов систем после процедуры просеивания f_{shift}^P подвергаются процессу (22) реляционного объединения свойств f_{US}^P :

$$f_{US}^P : \left\langle \begin{matrix} [S_U]_{sift}^{P_U} \\ [S_C]_{sift}^{P_C} \\ [S_M]_{sift}^{P_M} \\ [S_V]_{sift}^{P_V} \end{matrix} \right\rangle \in \Sigma_S^P, \quad (22)$$

где $[S_U]_{sift}^{P_U}$, $[S_C]_{sift}^{P_C}$, $[S_M]_{sift}^{P_M}$, $[S_V]_{sift}^{P_V}$ – свойства элементов систем U , C , M , V после процедуры просеивания (рис. 8).

Область Σ_S^P формально отражает набор просеянных элементов систем U , C , M , V .

Упорядоченные наборы просеянных

свойств систем подвергаются процедуре реляционного согласования f_Σ :

$$f_\Sigma : (\cap C_{[S_n]_{sift}^{P_n}}^k) \xrightarrow{\left\langle \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\rangle} [S_\Phi]_{perf}^{P_\Phi} \longrightarrow (\cap C_{S_n}^k) = \begin{cases} \emptyset \longrightarrow (\cap C_{S_n}^k) \tilde{\otimes} R_{S_{\wedge n}}^\Phi \\ \neq \emptyset \longrightarrow (\cap C_{S_n}^k) \end{cases}, \quad (23)$$

где f_Σ – реляционный оператор согласования; $[S_n]_{sift}^{P_n}$ – упорядоченные множества после просеивания, содержащие элементы с параметрическим указанием свойств; n – количество систем, $n = 4$, то есть U , C , M , V ; k – количество наборов подсистем $k = 2^n - 1$, подлежащих согласованию; $[S_\Phi]_{perf}^{P_\Phi}$ – упорядоченные множества, содержащие элементы с эталонными параметрами свойств; Φ – функционал управления сравниваемых индикаторных множеств систем (свойств систем); *perf.* (*perfect* – со-

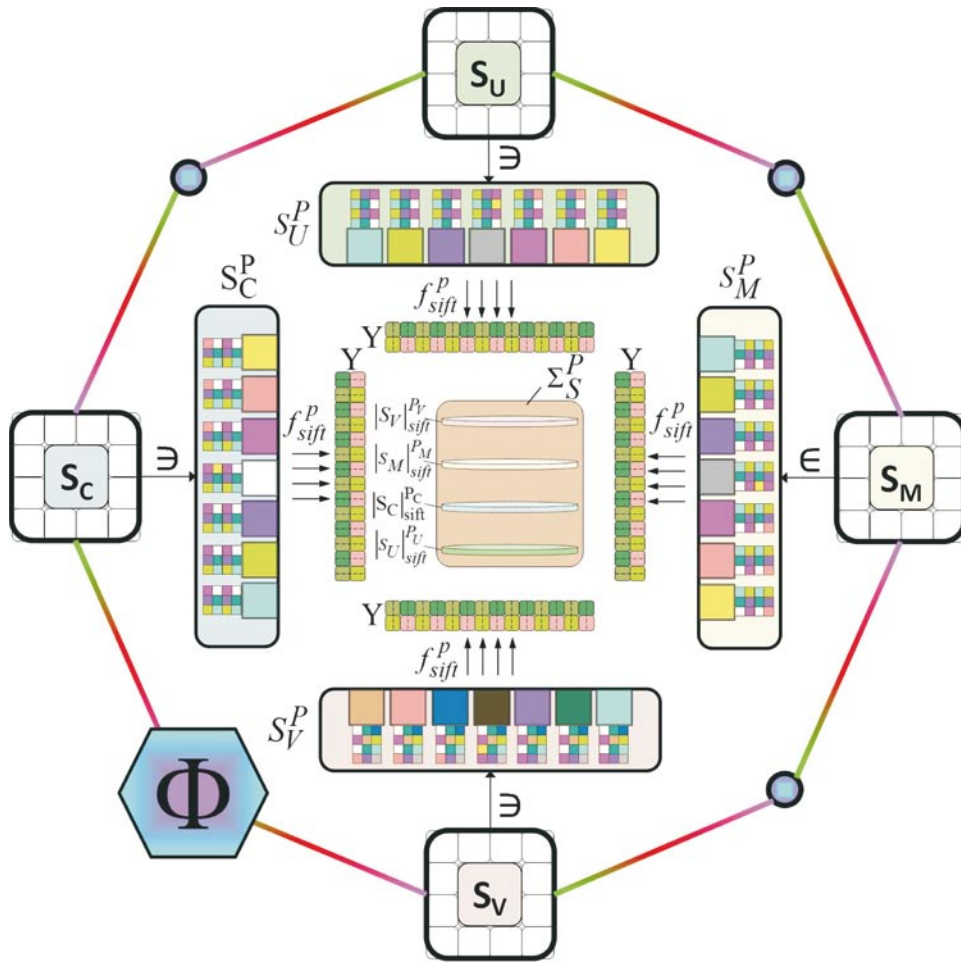


Рис. 8. Схема построения множества Σ_S^P

вершенный, идеальный) – индекс, указывающий на эталонные значения сравниваемых индикаторов; $\cap C_{|s_n|_{sift}}^k$ – разностное сочетание упорядоченных свойств систем после просеивания с параметрическим указанием свойств; $\left\langle \begin{smallmatrix} \leq \\ \geq \end{smallmatrix} \right\rangle^{CPR}$ – оператор сравнения, указательный индекс над оператором CPR означает сравнение (*compare* – сравнение); $\tilde{\otimes} = \left\langle \begin{smallmatrix} \cup \\ \backslash \\ CONST \end{smallmatrix} \right\rangle$ – оператор развития систем U, C, M, V .

Раскроем первую часть процедуры реляционного согласования (23) согласно (см. (24)).

Раскроем вторую часть процедуры ре-

ляционного согласования (23), согласно (см. 25), где $R_{s_{\wedge \vee \bar{U}}}^\Phi$ – реляционное расширение элементов (РРЭ) системы пользователь с параметрическим указанием свойств (ПУС); $R_{s_{\wedge \vee C}}^\Phi$ – РРЭ коммуникационной системы с ПУС; $R_{s_{\wedge \vee M}}^\Phi$ – РРЭ системы мегаполис с ПУС; $R_{s_{\wedge \vee P}}^\Phi$ – РРЭ системы ТрСр с ПУС; $R_{s_{\wedge \vee \langle \bar{U}, \bar{C} \rangle}}^\Phi$ – РРЭ системы пользователь и/или коммуникационной системы с ПУС; $R_{s_{\wedge \vee \langle \bar{U}, \bar{M} \rangle}}^\Phi$ – РРЭ коммуникационной системы и/или системы мегаполис с ПУС; $R_{s_{\wedge \vee \langle \bar{U}, \bar{P} \rangle}}^\Phi$ – РРЭ системы пользователь и/или системы ТрСр с ПУС; $R_{s_{\wedge \vee \langle \bar{C}, \bar{P} \rangle}}^\Phi$ – РРЭ коммуникационной системы и/или системы ТрСр с ПУС; $R_{s_{\wedge \vee \langle \bar{P}, \bar{M} \rangle}}^\Phi$ – РРЭ системы ТрСр и/или системы мегаполис с ПУС; $R_{s_{\wedge \vee \langle \bar{P}, \bar{C}, \bar{U} \rangle}}^\Phi$ – РРЭ системы ТрСр и/или коммуникацион-

$$\left(\cap_{[S_n]_{sift}^p} C^k \right) \left\langle \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\rangle [S_\Phi]_{perf}^{P_\Phi} = \left[\begin{array}{l} \left([S_U]_{sift}^{P_U} \cap [S_C]_{sift}^{P_C} \right) \left\langle \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\rangle [S_{\Phi=C,U}]_{perf}^{P_{\Phi=C,U}} \\ \left([S_U]_{sift}^{P_U} \cap [S_M]_{sift}^{P_M} \right) \left\langle \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\rangle [S_{\Phi=M,U}]_{perf}^{P_{\Phi=M,U}} \\ \left([S_U]_{sift}^{P_U} \cap [S_V]_{sift}^{P_V} \right) \left\langle \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\rangle [S_{\Phi=V,U}]_{perf}^{P_{\Phi=V,U}} \\ \left([S_C]_{sift}^{P_C} \cap [S_M]_{sift}^{P_M} \right) \left\langle \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\rangle [S_{\Phi=C,M}]_{perf}^{P_{\Phi=C,M}} \\ \left([S_C]_{sift}^{P_C} \cap [S_V]_{sift}^{P_V} \right) \left\langle \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\rangle [S_{\Phi=C,V}]_{perf}^{P_{\Phi=C,V}} \\ \left([S_V]_{sift}^{P_V} \cap [S_M]_{sift}^{P_M} \right) \left\langle \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\rangle [S_{\Phi=V,M}]_{perf}^{P_{\Phi=V,M}} \\ \left([S_U]_{sift}^{P_U} \cap [S_C]_{sift}^{P_C} \cap [S_V]_{sift}^{P_V} \right) \left\langle \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\rangle [S_{\Phi=U,C,V}]_{perf}^{P_{\Phi=U,C,V}} \\ \left([S_U]_{sift}^{P_U} \cap [S_C]_{sift}^{P_C} \cap [S_M]_{sift}^{P_M} \right) \left\langle \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\rangle [S_{\Phi=U,C,M}]_{perf}^{P_{\Phi=U,C,M}} \\ \left([S_C]_{sift}^{P_C} \cap [S_V]_{sift}^{P_V} \cap [S_M]_{sift}^{P_M} \right) \left\langle \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\rangle [S_{\Phi=C,V,M}]_{perf}^{P_{\Phi=C,V,M}} \\ \left([S_U]_{sift}^{P_U} \cap [S_V]_{sift}^{P_V} \cap [S_M]_{sift}^{P_M} \right) \left\langle \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\rangle [S_{\Phi=U,V,M}]_{perf}^{P_{\Phi=U,V,M}} \\ \left([S_U]_{sift}^{P_U} \cap [S_V]_{sift}^{P_V} \cap [S_M]_{sift}^{P_M} \cap [S_C]_{sift}^{P_C} \right) \left\langle \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\rangle [S_{\Phi=U,V,M,C}]_{perf}^{P_{\Phi=U,V,M,C}} \\ [S_U]_{sift}^{P_U} \left\langle \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\rangle [S_{\Phi=U}]_{perf}^{P_{\Phi=U}} \\ [S_V]_{sift}^{P_V} \left\langle \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\rangle [S_{\Phi=V}]_{perf}^{P_{\Phi=V}} \\ [S_C]_{sift}^{P_C} \left\langle \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\rangle [S_{\Phi=C}]_{perf}^{P_{\Phi=C}} \\ [S_M]_{sift}^{P_M} \left\langle \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\rangle [S_{\Phi=M}]_{perf}^{P_{\Phi=M}} \end{array} \right]. \quad (24)$$

ной системы и/или системы пользователь с ПУС; $R_{S_{\wedge\vee\{U,M,C\}}}^\Phi$ – РРЭ системы пользователь и/или системы мегаполис и/или коммуникационной системы с ПУС; $R_{S_{\wedge\vee\{V,M,C\}}}^\Phi$ – РРЭ системы ТрСр и/или системы мегаполис и/или коммуникационной системы;

$R_{S_{\wedge\vee\{U,V,M\}}}^\Phi$ – РРЭ системы пользователь и/или системы ТрСр и/или системы мегаполис; $R_{S_{\wedge\vee\{U,V,M,C\}}}^\Phi$ – РРЭ системы пользователь и/или системы ТрСр и/или системы мегаполис и/или коммуникационной системы. Подсчет общего количества согласова-

$$\left[\left(\cap_{S_n} C_n^k \right) \tilde{\otimes}_{\text{mim}\Psi} R_{S_I}^\Phi \right] = \begin{bmatrix} \left([S_U]_{sift}^{P_U} \cap [S_C]_{sift}^{P_C} \right) \tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\langle \bar{U}, \bar{C} \rangle}}^\Phi \\ \left([S_U]_{sift}^{P_U} \cap [S_M]_{sift}^{P_M} \right) \tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\langle \bar{U}, \bar{M} \rangle}}^\Phi \\ \left([S_U]_{sift}^{P_U} \cap [S_V]_{sift}^{P_V} \right) \tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\langle \bar{U}, \bar{V} \rangle}}^\Phi \\ \left([S_C]_{sift}^{P_C} \cap [S_M]_{sift}^{P_M} \right) \tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\langle \bar{C}, \bar{M} \rangle}}^\Phi \\ \left([S_C]_{sift}^{P_C} \cap [S_V]_{sift}^{P_V} \right) \tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\langle \bar{C}, \bar{V} \rangle}}^\Phi \\ \left([S_V]_{sift}^{P_V} \cap [S_M]_{sift}^{P_M} \right) \tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\langle \bar{V}, \bar{M} \rangle}}^\Phi \\ \left([S_U]_{sift}^{P_U} \cap [S_C]_{sift}^{P_C} \cap [S_V]_{sift}^{P_V} \right) \tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\langle \bar{V}, \bar{C}, \bar{U} \rangle}}^\Phi \\ \left([S_U]_{sift}^{P_U} \cap [S_C]_{sift}^{P_C} \cap [S_M]_{sift}^{P_M} \right) \tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\langle \bar{U}, \bar{M}, \bar{C} \rangle}}^\Phi \\ \left([S_C]_{sift}^{P_C} \cap [S_V]_{sift}^{P_V} \cap [S_M]_{sift}^{P_M} \right) \tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\langle \bar{V}, \bar{M}, \bar{C} \rangle}}^\Phi \\ \left([S_U]_{sift}^{P_U} \cap [S_V]_{sift}^{P_V} \cap [S_M]_{sift}^{P_M} \right) \tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\langle \bar{U}, \bar{V}, \bar{M} \rangle}}^\Phi \\ \left([S_U]_{sift}^{P_U} \cap [S_V]_{sift}^{P_V} \cap [S_M]_{sift}^{P_M} \cap [S_C]_{sift}^{P_C} \right) \tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\langle \bar{U}, \bar{V}, \bar{M}, \bar{C} \rangle}}^\Phi \\ ([S_U]_{sift}^{P_U}) \tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\bar{U}}}^\Phi \\ ([S_C]_{sift}^{P_C}) \tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\bar{C}}}^\Phi \\ ([S_V]_{sift}^{P_V}) \tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\bar{V}}}^\Phi \\ ([S_M]_{sift}^{P_M}) \tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\bar{M}}}^\Phi \end{bmatrix}. \quad (25)$$

ний систем $U, C, M, V (n=4) \square \cap_{n=4}$ в (24) и (25) определяется следующим выражением:

$$\cap_{n=4} = \sum_{k=1}^{k=n} \cap_k = \sum_{k=1}^{k=n} (k-1)C_n^k. \quad (26)$$

Тогда для (24) и (25) имеем:

$$\begin{aligned} \cap_{n=4} &= \sum_{k=1}^{k=n=4} \cap_k = \sum_{k=1}^{k=4} (k-1)C_n^k = (0)C_4^1 + \\ &+ (1)C_4^2 + (2)C_4^3 + (3)C_4^4 = 0 \cdot 4 + 1 \cdot 6 + \\ &+ 2 \cdot 4 + 3 \cdot 1 = 17. \end{aligned}$$

Таким образом, общее количество согласований составит $\cap_{n=4} = 17$.

Подсчет общего числа согласуемых наборов $(S)_{n=4}$ систем U, C, M, V в (24) и (25)

определяется следующим выражением:

$$(S)_{n=4} = \sum_{k=1}^{k=n} C_n^k = 2^n - 1. \quad (27)$$

Тогда для (24) и (25) имеем:

$$(S)_{n=4} = \sum_{k=1}^{k=n=4} C_n^k = 2^n - 1 = 2^4 - 1 = 15.$$

Таким образом, общее количество согласуемых наборов систем в РРС составит $(S)_{n=4} = 15$.

Рассмотрим процесс работы РРС на примере развития по температурному показателю ГТС, состоящей из пешеходного транспортного сообщения.

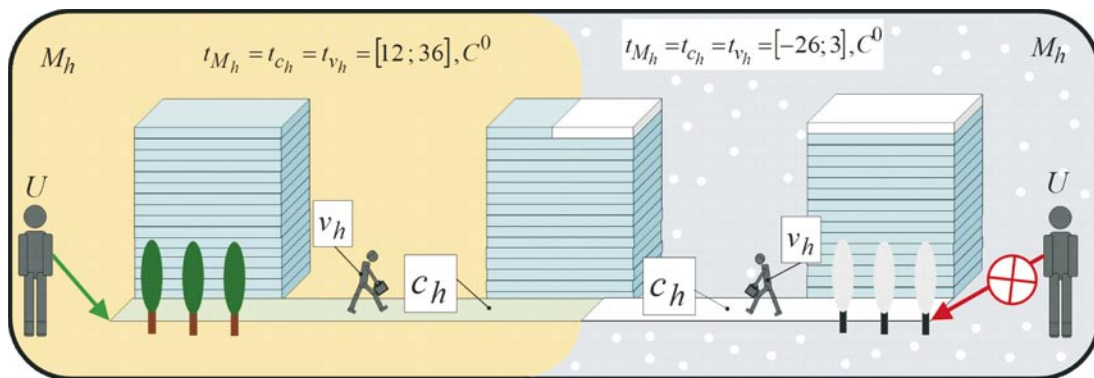


Рис. 9. Системы U , C , M , V , подлежащие реляционному согласованию

Пример работы PPC. Системы U , C , M , V заданы следующим набором свойств: система пользователь $S_U : t_{h_u} = [35; 38]^\circ\text{C}$; система мегаполис $S_M : t_M = [-26; 34]^\circ\text{C}$; система транспортных коммуникаций $S_C = c_h : t_{c_h} = [-26; 34]^\circ\text{C}$, где c_h – пешеходная транспортная коммуникация; система транспорт $S_V = v_h : t_{v_h} = [11; 18]^\circ\text{C}$, где v_h – пешеходный вид транспорта (рис. 9).

Требуется формально описать работу PPC в процессе развития ГТС по температурному показателю в границах пешеход-

ного транспортного сообщения.

Решение. Пусть на вход PPC поступают просеянные согласно (19) показатели систем U , C , M , V .

Так как процесс реляционного согласования (23) выполняется для одного показателя t , то первая часть выражения (24) примет вид:

$$f_\Sigma : \left(\cap_{[S_n]_{\text{diff}}}^k \right) \left(\begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right) [S_\Phi]_{\text{perf}}^p = \quad (n2)$$

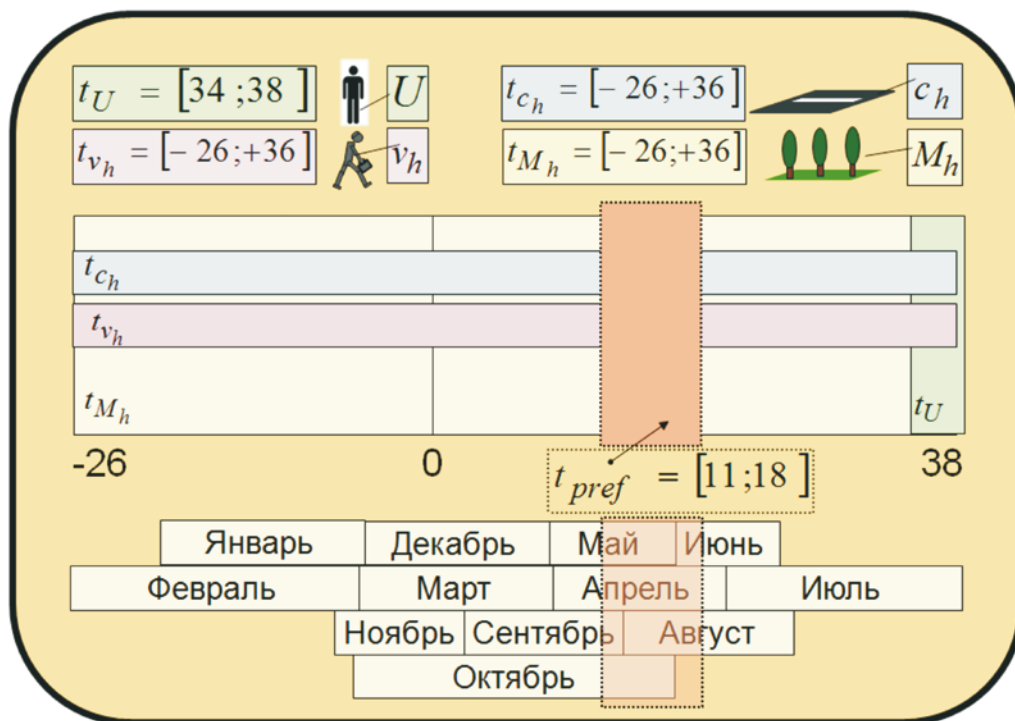


Рис. 10. Схематическая интерпретация реляционного согласования



$$= \left([t_U]_{sift}^{P_U} \cap [t_{v_h}]_{sift}^{P_{V_h}} \cap [t_{M_h}]_{sift}^{P_{M_h}} \cap [t_{c_h}]_{sift}^{P_{C_h}} \right) \times \left\langle \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\rangle [S_{\Phi=U,V,M,C}]_{perf}^{P_{\Phi=U,V,M,C}} = \emptyset. \quad (n2)$$

Графическая интерпретация (n2) представлена на рис. 10.

Анализ сравнения температурных показателей систем S_U, S_V, S_M, S_C с эталонным значением $t_{pref} = [11; 18]$ позволяет установить температурные режимы $t = \begin{cases} [-26; +11] \\ [+11; +38] \end{cases}$ и интервалы времени (ноябрь, декабрь, январь, февраль, март, ноябрь, сентябрь, октябрь, июль), при которых возникает нарушение функционирования среды жителей мегаполиса M_h и пешеходного транспортного сообщения v_h , то есть $f_{\Sigma} : \left(\cap C_{[S_n]_{sift}^{P_n}}^k \right) = \emptyset$.

Для устранения выявленного температурного рассогласования РРС в соответствии с (23) осуществляет реляционное расширение области текущих значений показателей элементов системы U, C, M, V до

эталонного значения, согласно

$$\left[\left(\cap C_{S_n}^k \right) \tilde{\otimes} R_{S_{\wedge \vee n}}^{\Phi} \right] = \left([t_U]_{sift}^{P_U} \cap [t_{v_h}]_{sift}^{P_{V_h}} \cap \right. \quad (n3)$$

$$\left. \cap [t_{M_h}]_{sift}^{P_{M_h}} \cap [t_{c_h}]_{sift}^{P_{C_h}} \right) \tilde{\otimes} R_{\wedge \vee \langle \tilde{U}, \tilde{V}, \tilde{M}, \tilde{C} \rangle}^{\Phi}.$$

Достижение требуемого значения температурного показателя возможно при возведении изолированной транспортной пешеходной коммуникации $c_h^{t_{pref}}$ и/или создании средств персонального температурного регулирования пользователя $t_{v_h}^{pref} (t_{h_u}^{pref})$, и/или построении изолированной искусственной окружающей среды мегаполиса $t_{M_h}^{pref}$ (рис. 11).

Руководствуясь условиями задачи, реляционное расширение области текущих значений показателей элементов системы U, C, M, V до эталонного значения температурного интервала $t_{pref} = [11; 18]$ будем осуществлять за счет развития пешеходной коммуникации c_h посредством возведения изолированной транспортной пешеходной коммуникации $c_h^{t_{pref}}$. Таким образом, результат работы РРС (23) примет вид:

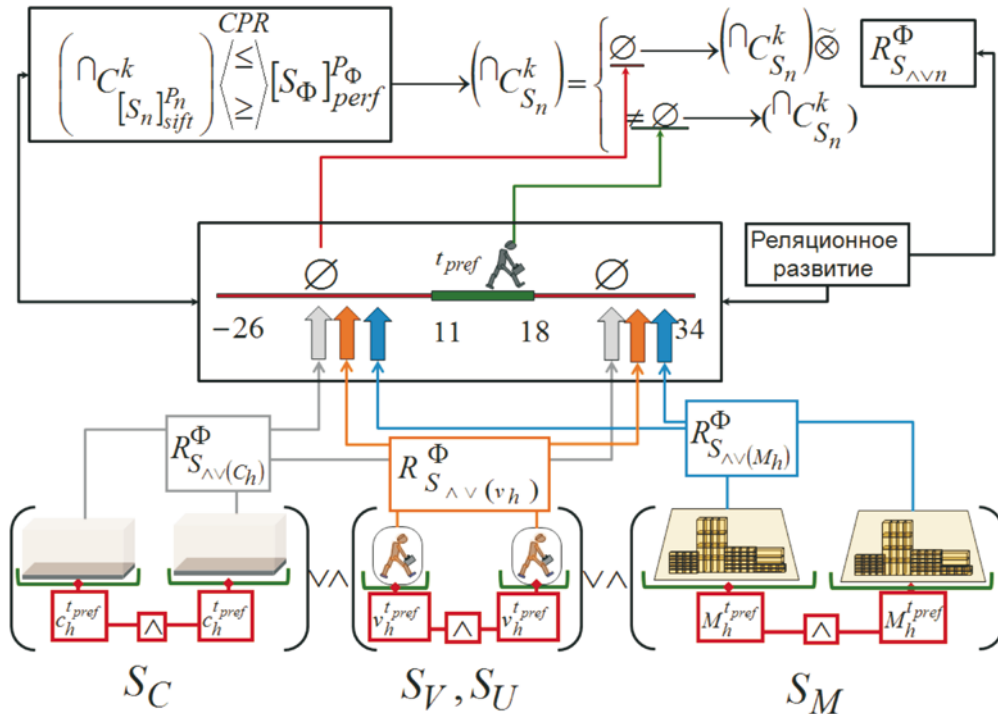


Рис. 11. Процесс реляционного расширения области текущих значений показателей элементов систем U, C, M, V

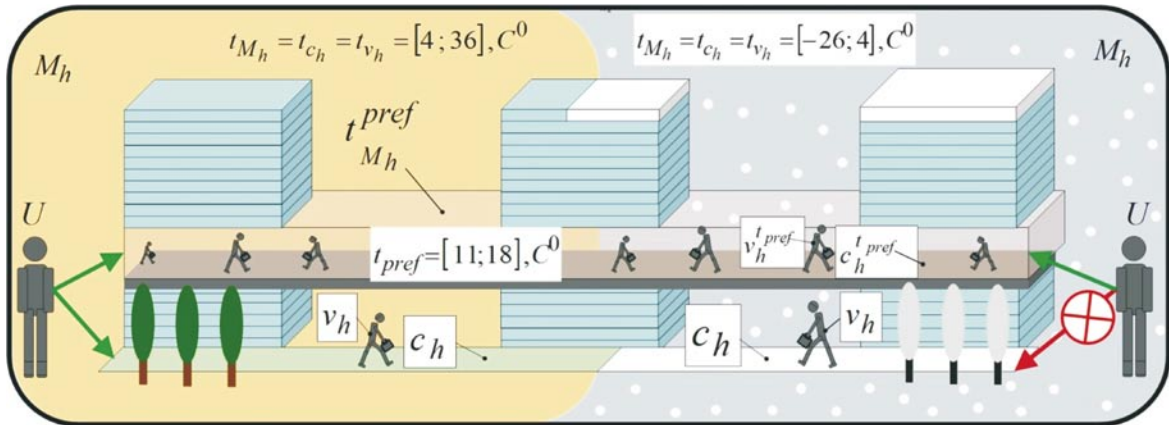


Рис. 12. Преобразованная ГТС по температурному показателю в границах пешеходного транспортного сообщения

$$\left([t_U]_{sift}^{P_U} \cap [t_{v_h}]_{sift}^{P_{v_h}} \cap [t_{M_h}]_{sift}^{P_{M_h}} \cap [t_{c_h}]_{sift}^{P_{c_h}} \right) \tilde{\otimes} \tilde{\otimes} R^{\Phi} \bigwedge \langle \tilde{c} = (c_h^{pref}; t_{c_h}^{pref}) \rangle = \left([t_U]_{sift}^{P_U} \cup [t_U^{pref}] \cap \right. \\ \left. \cap [t_{v_h}]_{sift}^{P_{v_h}} \cup [t_{v_h}^{pref}] \cap [t_{M_h}]_{sift}^{P_{M_h}} \cup [t_{M_h}^{pref}] \cap \right. \\ \left. \cap [t_{c_h}]_{sift}^{P_{c_h}} \cup [t_{c_h}^{pref}] \right) = t_{c_h}^{pref} = t_{pref} = [11; 18]. \quad (n4)$$

В соответствии с рассматриваемым примером осуществляется реляционное переборное встраивание требуемых элементов систем U , C , M , V , приводящее тем самым к целевому функциональному развитию городской среды из структуры (рис. 9) к структуре (рис. 12), в которой согласующим элементом по температурному индикатору $t_{pref} = [11; 18]$ между системами U , C , M , V выступает новая изолированная транспортная пешеходная коммуникация $c_h^{t_{pref}}$, позволяющая реализовать непрерывное функционирование в требуемом $t_{pref} = [11; 18]$ температурном режиме.

Впервые произведена постановка задачи построения ИСОТСМ и разработаны ее внешняя и внутренняя архитектуры. Внешняя архитектура задана структурной схемой и ее логико-алгебраическим описанием.

Представленная формализация позволяет осуществить процесс мультиинтегрально-

го реляционного управления организацией и развитием систем транспорт, мегаполис и пользователь, в отличие от существующих [1, 4, 7], посредством встроенного регулятора реляционного согласования.

Для обеспечения структурной и функциональной однородности внутренней архитектуры ИСОТСМ впервые разработана система РЕФИСАНИК, которая является базовой единицей ИСОТСМ. На логико-алгоритмическом языке представлен синтез функционирования основных блоков системы РЕФИСАНИК и дано их полное формализованное описание.

На практических примерах продемонстрированы возможности блока КРИС и блока СФ и показаны пути увеличения эффективности системы РЕФИСАНИК, основанные на оптимизации его индикаторов. Применение КРИС позволяет впервые осуществлять процедуру управляемого поиска новых связей внутри заданного индикаторного множества, при этом последнее может быть сформировано с использованием [10, 13–17, 19]. Применение фильтрации индикаторов, реализованной в блоке СФ, дает возможность на определенных заданных условиях формировать вектор внутренних параметров пошаговой оптимизации системы.

Произведено структурно-функциональное построение РРС, формализация произведена с использованием логико-алгоритмического аппарата. На практике-



ском примере продемонстрирована работа РРС в процессе развития ГТС по температурному показателю в границах пешеходного транспортного сообщения.

Таким образом, предложенная архитектура согласуется с интеллектуальными моделями систем управления ГТС [4, 5, 7, 22] и логистикой [33] и может быть интегри-

рована в обобщенную систему управления мегаполисом [1, 2, 4]. Подобная интеграция позволит перейти к построению качественно новых и более эффективных систем интеллектуального управления, по сравнению с [1, 4, 5, 7, 22], и устранить неопределенности процесса организации и развития городской среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Batty M., Axhausen K.W., Giannotti F., Pozdnoukhov A., Bazzani A., Wachowicz M., Ouzounis G., Portugali Y. Smart cities of the future // *The European Physical Journal Special Topics*. 2012. Vol. 214. Iss. 1. Pp. 481–518.
2. Каримов Т.Н., Симонова Л.А. Интеллектуальная система поддержки принятия решения для оперативного управления транспортными потоками // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2011. № 1(115). С. 37–41.
3. Шилов. М. М., Воробьева О.С., Кракау Т.К. Применение систем технического зрения и средств нечётких вычислений в интеллектуальных устройствах автоматики и робототехники // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2010. № 2(97). С. 75–79.
4. Zhang Xiong, Hao Sheng, WenGe Rong, Dave E. Cooper Intelligent transportation systems for smart cities: a progress review // *Science China Information Sciences*. 2012. Vol. 55. Iss. 12. Pp. 2908–2914.
5. Lieskovsky A., Bad'ura Š., Mokryš M. Proceedings in Intelligent Transportation Systems 2013 // *Virtual Conf. EDIS – Publishing Institution of the University of Zilina*. 2013. 173 p.
6. Yokota T., Weiland R.J. ITS Technical Note For Developing Countries. World Bank. 2014. 16 p.
7. Nowacki G. Development and Standardization of Intelligent Transport Systems // *TransNav, the Internat. J. on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2012. Vol. 6. No. 3. Pp. 403–411.
8. Waddell P. UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation and Environmental Planning // *J. of the American Planning Association*. 2002. Vol. 68. No. 3. Pp. 297–314.
9. Попов А.В., Аксёнов К.А., Доросинский Л.Г. Интеллектуальная система моделирования логистических процессов // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2010. № 1(93). С. 68–74.
10. Armando Carlos de Pina Filho, Aloisio Carlos de Pina. Methods and Techniques in Urban Engineering. InTech, 2010. 270 p.
11. Белый О.В., Кокаев О.Г., Попов С.А. Архитектура и методология транспортных систем. СПб.: Элмор, 2002.
12. Белый О.В. Проблемы построения и развития транспортных систем. СПб.: Элмор, 2012. 192 с.
13. Morichi S., Acharya S.R. (eds.) Transport Development in Asian Megacities, Transportation Research, Economics and Policy. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. 276 p.
14. Дубов В.М., Капустянская Т.И., Попов С.А., Шаров А.А. Проблематика сложных систем (концептуальные основы модельных представлений). СПб.: Элмор, 2006. 184 с.
15. Rodrigue J.-P., Comtois C., Slack B. The Geography of Transport Systems. 3rd Ed. New York: Routledge, 2013. 416 p.
16. Сафронов Э.А. Транспортные системы городов и регионов: Учеб. пособие. М.: Изд-во АСВ, 2005. 272 с.
17. Кашкина Л.В. Основы градостроительства: Учеб. пособие. М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2005. 247 с.
18. Te Brömmelstroet M., Bertolini L. Integrating land use and transport knowledge in strategy-making // *Transportation*. 2010. Vol. 37. Iss. 1. Pp. 85–104.
19. Zito P., Salvo G. Toward an urban transport sustainability index: an European comparison // *Eur Transp. Res. Rev.* 2011. Vol. 3. Pp. 179–195.
20. Priester R., Miramontes M., Wulffhorst G. A generic code of urban mobility: how can cities drive future sustainable development? // *Sustainable Mobility in Metropolitan Regions. mobil.TUM. Internat. Scientific Conf. on Mobility and Transport. Conf. Proc. Transportation Research Procedia*. 2014. Vol. 4. Pp. 90–102.

21. Colonna P., Berloco N., Circella G. The Interaction between Land Use and Transport Planning: a Methodological Issue // 5th Internat. Congress Sustainability of Road Infrastructures. Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2012. Vol. 53. Pp. 84–95.

22. Федосов Д.В. Методика выбора варианта подсистемы связи в системах транспортного мониторинга // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2011. № 6(138). С. 7–12.

23. Шкодырев В.П. Инновационные технологии в задачах управления большими распределенными системами // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2012. № 3(154). С. 73–77.

24. Герасимов В.Н. Система управления движением мобильного робота в среде с динамическими препятствиями. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2013. № 5(181). С. 94–102.

25. Никитин К.В., Бендерская Е.Н. Новый подход к применению рекуррентных нейронных сетей для решения задач распознавания образов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2007. № 4. Т. 2. С. 85–92.

26. Селиверстов С.А. Методы и алгоритмы интеллектуального анализа процесса организации транспортной системы // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. СПб.: ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2014. Вып. 2(24). С. 92–100.

27. Селиверстов Я.А. О построении моде-

ли классификации межагентных отношений социально-экономического поведения городского населения в системах управления транспортными потоками мегаполиса // Научное ведение. 2014. № 5. С. 188.

28. Селиверстов Я.А., Селиверстов С.А., Стариченков А.Л. Особенности построения системы городского транспортно-логистического мониторинга // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 1. С. 29–36.

29. Селиверстов Я.А., Селиверстов С.А. Формальная аксиоматика теории функционального субъективного потребительского поведения // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2014. № 4 (199). С. 34–48.

30. Селиверстов Я.А. Основы теории субъективных функциональных возможностей рационального выбора // Научное ведение. 2014. № 4. С. 90.

31. Селиверстов Я.А., Стариченков А.Н. Построение моделей управления городскими транспортными потоками в условиях неопределенности внешней информационной среды // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2014. № 6(210). С. 81–94.

32. Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А. Основы теории бесконфликтного непрерывного транспортного процесса движения // Научное ведение. 2014. № 3. С. 122.

33. Селиверстов Я.А., Селиверстов С.А. О логико-алгебраическом представлении транспортно-логистического процесса. Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2014. № 4(200). С. 57–68.

REFERENCES

1. Batty M., Axhausen K.W., Giannotti F., Pozdnoukhov A., Bazzani A., Wachowicz M., Ouzounis G., Portugali Y. Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 2012, Vol. 214, Issue 1, Pp. 481–518.

2. Karimov T.N., Simonova L.A. Intellektualnaya sistema podderzhki prinyatiya resheniya dlya operativnogo upravleniya transportnymi potokami [Intelligent decision support system for operational management of traffic flows]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye* [St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunication and Control Systems].

St. Petersburg: SPbGPU Publ., 2011, No. 1(115), Pp. 37–41. (rus)

3. Shilov. M.M., Vorobyeva O.S., Krakau T.K. Primeneniye sistem tekhnicheskogo zreniya i sredstv nechetkikh vychisleniy v intellektualnykh ustroystvakh avtomatiki i robototekhniki [The machine vision systems and fuzzy logic approach for intellectual systems of automation and robotics]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye* [St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunication and Control Systems]. St. Petersburg: SPbGPU Publ., 2010, No. 2(97), Pp. 75–79. (rus)



4. **Zhang Xiong, Hao Sheng, WenGe Rong, Dave E.** Cooper Intelligent transportation systems for smart cities: a progress review. *Science China Information Sciences*, 2012, Vol. 55, Issue 12, Pp. 2908–2914.
5. **Lieskovsky A., Baďura Š., Mokryš M.** *Proceedings in Intelligent Transportation Systems. Virtual Conference*. EDIS Publishing Institution of the University of Zilina, 2013, 173 p.
6. **Yokota T., Weiland R.J.** *ITS Technical Note For Developing Countries*. World Bank, 2014, 16 p.
7. **Nowacki G.** Development and Standardization of Intelligent Transport Systems. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 2012, Vol. 6, No. 3, Pp. 403–411.
8. **Waddell P.** UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation and Environmental Planning. *Journal of the American Planning Association*, 2002, Vol. 68, No. 3, Pp. 297–314.
9. **Popov A.V., Aksenov K.A., Dorosinskiy L.G.** Intellektualnaya sistema modelirovaniya logisticheskikh protsessov [Intelligent system modeling of logistic processes]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye* [St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunication and Control Systems]. St. Petersburg: SPbGPU Publ., 2010, No. 1(93), Pp. 68–74. (rus)
10. **A. Carlos de Pina Filho, Al. Carlos de Pina** Methods and Techniques in Urban Engineering. *InTech*, 2010, 270 p.
11. **Belyy O.V., Kokayev O.G., Popov S.A.** *Arkhitektura i metodologiya transportnykh sistem* [Architecture and methodology of transport systems]. St. Petersburg: Elmor Publ., 2002. (rus)
12. **Belyy O.V.** *Problemy postroyeniya i razvitiya transportnykh sistem* [Problems of construction and development of transport systems]. St. Petersburg: Elmor Publ., 2012. 192 p. (rus)
13. **Morichi S., Acharya S.R. (eds.)** *Transport Development in Asian Megacities, Transportation Research, Economics and Policy*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013, 276 p.
14. **Dubov V.M., Kapustyanskaya T.I., Popov S.A., Sharov A.A.** *Problematika slozhnykh sistem (kontseptualnyye osnovy modelnykh predstavleniy)* [Problems of complex systems (conceptual basis of model representations)]. St. Petersburg: Elmor Publ., 2006, 184 p. (rus)
15. **Rodrigue J.-P., Comtois C., Slack B.** *The Geography of Transport Systems*, 3rd Ed. New York: Routledge, 2013, 416 p.
16. **Safronov E.A.** *Transportnyye sistemy gorodov i regionov* [Transport systems of cities and regions]. Moscow: ASV Publ., 2005, 272 p. (rus)
17. **Kashkina L.V.** *Osnovy gradostroitelstva* [Fundamentals of urban planning]. Moscow: Gumanitar. izd. tsentr VLADOS Publ., 2005, 247 p. (rus)
18. **Te Brömmelstroet M., Bertolini L.** Integrating land use and transport knowledge in strategy-making. *Transportation*, 2010, Vol. 37, Issue 1, Pp. 85–104.
19. **Zito P., Salvo G.** Toward an urban transport sustainability index: an European comparison. *Eur. Transp. Res. Rev.*, 2011, Vol. 3, Pp. 179–195.
20. **Priester R., Miramontes M., Wulffhorst G.** A generic code of urban mobility: how can cities drive future sustainable development? *Sustainable Mobility in Metropolitan Regions. mobil.TUM. International Scientific Conference on Mobility and Transport. Conference Proceedings. Transportation Research Procedia*, 2014, Vol. 4, Pp. 90–102.
21. **Colonna P., Berloco N., Circella G.** The Interaction between Land Use and Transport Planning: a Methodological Issue. *5th International Congress – Sustainability of Road Infrastructures. Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2012, No. 53, Pp. 84–95.
22. **Fedosov D.V.** Metodika vybora varianta podsystemy svyazi v sistemakh transportnogo monitoring [Method of choice of telecommunication system variant for transport monitoring]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye* [St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunication and Control Systems]. St. Petersburg: SPbGPU Publ., 2011, No. 6(138), Pp. 7–12. (rus)
23. **Shkodyrev V.P.** Innovatsionnyye tekhnologii v zadachakh upravleniya bolshimi raspredelennymi sistemami [Innovative technologies in the problems of managing large distribution systems lennym]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Fiziko-matematicheskiye nauki* [St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Physico-mathematical Science]. St. Petersburg: SPbGPU Publ., 2012, No. 3(154), Pp. 73–77. (rus)
24. **Gerasimov V.N.** Sistema upravleniya dvizheniyem mobilnogo robota v srede s dinamicheskimi prepyatstviyami [The motion control system of the mobile robot in environment with dynamic obstacles]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii*.

Upravleniye [St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunication and Control Systems]. St. Petersburg: SPbGPU Publ., 2013, No. 5(181), Pp. 94–102. (rus)

25. **Nikitin K.V., Benderskaya Ye.N.** Novyy podkhod k primeneniyu rekurrentnykh neyronnykh setey dlya resheniya zadach raspoznavaniya obrazov [A new approach to the use of recurrent neural networks for solving pattern recognition]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU* [St. Petersburg State Polytechnical University Journal]. St. Petersburg: SPbGPU Publ., 2007, Vol. 2, No. 4, Pp. 85–92. (rus)

26. **Seliverstov S.A.** Metody i algoritmy intellektualnogo analiza protsessa organizatsii transportnoy sistemy [Methods and algorithms for intellectual analysis of the organization of the transport system]. *Vestnik GUMRF imeni admirala S.O. Makarova* [Bulletin GUMRF named after Admiral Makarov]. St. Petersburg: GUMRF imeni admirala S.O. Makarova Publ., 2014, Vol. 2(24), Pp. 92–100. (rus)

27. **Seliverstov Ya.A.** O postroyenii modeli klassifikatsii mezhagentnykh otnosheniy sotsialno-ekonomicheskogo povedeniya gorodskogo naseleniya v sistemakh upravleniya transportnymi potokami megapolisa [On the construction of classification models mezhagentnykh relations of social and economic behavior of the urban population in traffic management systems metropolis]. *Naukovedeniye* [Internet magazine Naukovedenie], 2014, No. 5, P. 188. (rus)

28. **Seliverstov Ya.A., Seliverstov S.A., Starichenkov A.L.** Osobennosti postroyeniya sistemy gorodskogo transportno-logisticheskogo monitoringa [Features of construction of urban transport and logistics monitoring]. *Izvestiya SPbGETU «LETI»* [News SPbGETU «LETI»]. 2015, No. 1, Pp. 29–36. (rus)

29. **Seliverstov Ya.A., Seliverstov S.A.** Formalnaya aksiomatika teorii funktsionalnogo subyektiv-

nogo potrebitelskogo povedeniya [Formal axiomatic of subjective «functional» theory of consumer]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskkiye nauki* [St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics]. St. Petersburg: SPbGPU Publ., 2014, No. 4(199), Pp. 34–48. (rus)

30. **Seliverstov Ya.A.** Osnovy teorii subyektivnykh funktsionalnykh vozmozhnostey ratsionalnogo vybora [Fundamentals of the theory of subjective functionality of rational choice]. *Naukovedeniye* [Internet magazine Naukovedenie], 2014, No. 4, P. 90. (rus)

31. **Seliverstov Ya.A., Starichenkov A.N.** Postroyeniye modeley upravleniya gorodskimi transportnymi potokami v usloviyakh neopredelennosti vneshney informatsionnoy sredy [Construction of an Urban Traffic Control Model Under the Conditions of Information Uncertainty]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye* [St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunication and Control Systems]. St. Petersburg: SPbGPU Publ., 2014, No. 6(210), Pp. 81–94. (rus)

32. **Seliverstov S.A., Seliverstov Ya.A.** Osnovy teorii beskonfliktnogo nepreryvnogo transportnogo protsessa dvizheniya [Fundamentals of the theory of continuous conflict-free movement of the transport process]. *Naukovedeniye* [Internet magazine Naukovedenie], 2014, No. 3, P. 122. (rus)

33. **Seliverstov Ya.A., Seliverstov S.A.** O logiko-algebraicheskom predstavlenii transportno-logisticheskogo protsessa [About logical-algebraic description of the transport logistic process]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye* [St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunication and Control Systems]. St. Petersburg: SPbGPU Publ., 2014, No. 4(200), Pp. 57–68. (rus)

СЕЛИВЕРСТОВ Святослав Александрович — научный сотрудник Института проблем транспорта имени Н.С. Соломенко РАН.

199178, Россия, Санкт-Петербург, 12-я линия ВО, д. 13.

E-mail: amuanator@rambler.ru

SELIVERSTOV Sviatoslav A. IPT RAS.

199178, 12th line of Vasilievsky Island, 13, St. Petersburg, Russia.

E-mail: amuanator@rambler.ru

СЕЛИВЕРСТОВ Ярослав Александрович — научный сотрудник Института проблем транспорта имени Н.С. Соломенко РАН.

199178, Россия, Санкт-Петербург, 12-я линия ВО, д. 13.

E-mail: maxwell_8-8@mail.ru

SELIVERSTOV Yaroslav A. *IPT RAS.*

199178, 12th line of Vasilievsky Island, 13, St. Petersburg, Russia.

E-mail: maxwell_8-8@mail.ru