

DOI: 10.5862/JCSTCS.236.7

УДК 656, 007; 004.81, 614.8; 007; 51-7, 351; 351.81; 351.78

*Я.А. Селиверстов, С.А. Селиверстов*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ КЛАССА ГАТЛОСЭМИ  
ДЛЯ УПРЕЖДЕНИЯ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДТП  
И НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ СОЦИАЛЬНЫХ ИСХОДОВ В «УМНОМ ГОРОДЕ»**

*Ya.A. Seliverstov, S.A. Seliverstov*

**USE OF GATLOSAMI TO PREVENT CAUSES OF TRAFFIC ACCIDENTS  
AND ADVERSE SOCIAL ACCIDENTS IN A 'SMART CITY'**

Произведено формальное построение модели интеллектуального городского анализатора транспортно-логистической и социально-экономической мобильности, посредством которого осуществляется переход к персонифицированному рекомендательному управлению элементами городской системы. Введено понятие директивный элемент городской системы. Поставлена проблема построения интеллектуальных систем профилактики причин возникновения ДТП и неблагоприятных социальных исходов в городской среде. Поиск причин наступления неблагоприятных социальных исходов разрешен процедурой абдуктивного вывода. Формирование кодифицированных библиотек потенциально-опасных шаблонов произведено с помощью процедуры индуктивного вывода. Рассмотрены практические приложения и даны рекомендации по дальнейшему функциональному развитию системы.

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ; УМНАЯ ГОРОДСКАЯ ЛОГИСТИКА; МОНИТОРИНГ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ; СИСТЕМЫ ПЕРСОНАЛЬНОГО РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ; СИСТЕМЫ ПРОФИЛАКТИКИ ПРИЧИН ДТП.**

The model of an intelligent data analyzer of city logistics, transportation, social and economic behavior of people and the state objects of urban systems has been developed in this paper. Personalized recommendation control elements of the urban system have been described. The concept of a directive element of the urban system was given and defined. The problem of prevention of causes of accidents has been detailed. Searching for causes of accidents was solved through an abductive inference process. The Codified Template Library of Potentially Dangerous Patterns of Behavior was created with an inductive inference process. Some examples and recommendations for improvement of the GATLOSEMI model were given.

**INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS; SMART URBAN LOGISTICS; MONITORING OF LOGISTICS AND SOCIO-ECONOMIC PROCESSES; PERSONAL RECOMMENDER SYSTEMS; ACCIDENT CAUSE PREVENTION SYSTEMS.**

**Постановка проблемы и анализ предметной области.** Прогрессивное устойчивое развитие густонаселенных городских агломераций и мегаполисов [1] в существующих реалиях становится невозможным под

воздействием нарастающих факторов региональной логистической дестабилизации.

Традиционное городское и региональное управление требует ускоренного перехода к качественно новым системам класса

«Умный город» или Smart City, способным интеллектуализировать городскую среду [2].

Работа современных транспортных автоматизированных информационно-аналитических систем [3, 4] строится на вероятностных данных. Как правило, такие системы выполняют функцию низковероятностного прогноза [5] и измерения реальной транспортной ситуации [6] в рамках существующих показателей [7, 8]. Они также в состоянии разглядеть результат неблагоприятных дорожно-транспортных исходов, но оперативно распознать и своевременно предупредить процессы формирования городских социально-экономических, транспортных и логистических конфликтов в границах существующего программно-алгоритмического и технологического базисов для них является недостижимым шагом.

Класс систем, способных производить интеллектуальный анализ городских транспортно-логистических процессов [9, 10] и упреждать возникновение неблагоприятных социальных исходов посредством информационного уведомления, будем называть *городскими анализаторами транспортно-логистической и социально-экономической мобильности интеллектуальными* (ГАТЛОСЭМИ).

Среди последних научно-исследовательских инициатив, направленных на конструирование систем анализа городских транспортно-логистических данных, можно выделить следующие: в работах [11, 12] решены задачи анализа городских данных применительно к транспортным системам; в [13] произведено построение формальной модели классификации межагентных отношений социально-экономического поведения городского населения, а в [14] формально раскрыта структурная схема системы городского транспортно-логистического мониторинга; в [15] рассмотрены существующие междисциплинарные подходы и предложена концепция «умных городов»; в [16] обозначены перспективы их будущего развития.

В настоящей статье рассматриваются следующие проблемы: создания модели ГАТЛОСЭМИ для рекомендательно-управления городскими транспортно-

логистическими процессами; интеграции разобщенной информации городских ситуационных дата-центров: управления дорожным движением, сотовых операторов, информационных центров МЧС и др.; обеспечения координации городских ведомственных служб: МЧС, ГИБДД, Роспотребнадзора, скорой медицинской помощи, информационной безопасности, федеральной безопасности, статистики, санитарно-эпидемиологического, налогового, миграционного надзоров и др.; профилактики неблагоприятных социальных исходов посредством информационного персонального упреждения населения.

Классификация и анализ социально-экономического поведения элементов городской системы должны осуществляться в границах существующих систем уникальной идентификации [13], Единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации [14], Единой адресной системы, Анатомо-терапевтическо-химической классификации, Медицинской классификации болезней десятого пересмотра (МКБ-10). Работа с данными должна осуществляться в рамках Федерального закона № 152-ФЗ «О персональных данных». Эксплуатация системы предполагает использование вычислительной инфраструктуры ПАО «Ростелеком» и электронного правительства РФ, которая включает 78 серверов IBM, 29 серверов HP, девять серверов Sun, четыре сервера Kraftway, одиннадцать систем хранения данных (СХД) Hitachi, три СХД IBM и три СХД Sun.

Функциональное наполнение системы ГАТЛОСЭМИ опирается на аналитически выведенные ранее в [14] *условия достоверной мобильности*, обуславливающие наличие функций идентификации, аутентификации, местоопределения и распознавания состояний подвижных и стационарных объектов городской транспортной системы (ГТС).

Условия достоверной мобильности применительно к городской системе (ГС) будем трактовать в следующей интерпретации: 1) каждый объект, входящий в ГС или находящийся внутри нее, должен иметь

идентификатор; 2) состояния объектов в ГС должны быть распознаваемы; 3) процесс идентификации объектов в ГС должен быть самоорганизован.

Выполнение условий достоверной мобильности в ГС реализуется процедурой директивизации в границах третьего условия (рис. 1).

Под директивизацией будем понимать процесс связывания совокупного множества элементов городской системы с директивными элементами (ДЭ) ГАТЛОСЭМИ, согласно выражению:

$$F_T^\Gamma : \mathcal{E}_c^s \oplus_{f_\partial} \{\mathcal{E}_d^g\} = \mathcal{E}_c^r, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}^s = \{\mathcal{E}_c^s, c = 1, \dots, N_c\}$  – множество элементов городской системы;  $\mathcal{E}^g = \{\mathcal{E}_d^g, d = 1, \dots, N_d\}$  – множество директивных элементов системы ГАТЛОСЭМИ;  $\mathcal{E}^r = \{\mathcal{E}_c^r, c = 1, \dots, N_c\}$  – множество директивизированных элементов ГС;  $\oplus_{f_\partial}$  – операция директивизации элементов ГТС.

Зададим формальную модель системы ГАТЛОСЭМИ набором функционалов, согласно:

$$\Phi^\Gamma = \left\langle \mathcal{E}^\Gamma; \widehat{F}_N; \widehat{F}_C; \widehat{F}_T; \widehat{F}_R; \widehat{F}_\Psi; \widehat{F}_A; \widehat{F}_\Xi; \widehat{R}; C_{\mathcal{E}^\Gamma}; U^\Gamma \right\rangle_T, \quad (2)$$

где  $\widehat{F}_N : \mathcal{E}^\Gamma \rightarrow N$  – функционал идентификации элементного множества  $\mathcal{E}^\Gamma$ , который каждому объекту из  $\mathcal{E}^\Gamma$  ставит в соответствие идентификатор/набор идентификаторов из множества  $N$ ;  $\widehat{F}_C : \mathcal{E}^\Gamma \times I^\Gamma \rightarrow CH$  – функционал характеристической параметризации элементного множества  $\mathcal{E}^\Gamma$ , ко-

торый каждому объекту из  $\mathcal{E}^\Gamma$  с уникальным номером из  $I^\Gamma$  ставит в соответствие наборы характеристик, присущих данному объекту, таких что  $CH = \{ch_\pi^{\mathcal{E}^\Gamma}, \pi = 1, \dots, N_\pi\}$  – множество характеристик элементов  $\mathcal{E}^\Gamma$ , причем  $ch_\pi^{\mathcal{E}^\Gamma}$  задается кортежем  $ch_\pi^{\mathcal{E}^\Gamma} = \langle name, \{value\} \rangle$ , где  $name$  – имя  $\pi$ -й характеристики,  $\{value\}$  – область допустимых значений, которая задается перечислением этих значений, интервалом или функционально, с помощью правил вычисления и оценки;  $\widehat{F}_T : \mathcal{E}^\Gamma \rightarrow [\tau_T^{def} \vee (\tau_T; \tau_{T+1})]$  – временной оператор, который каждому объекту из  $\mathcal{E}^\Gamma$  ставит в соответствие момент или интервал времени из множества  $T$ , на котором задано отношение строгого порядка, то есть  $\tau_1 < \tau_2, \dots, \tau_T < \tau_{T+1}$ ;  $\tau_T^{def} \in T$  – определенный момент времени, а  $(\tau_T; \tau_{T+1}) \in T$  – определенный интервал времени;  $\widehat{F}_A : (\mathcal{E}^\Gamma; I^\Gamma) \rightarrow A$  – агентное отображение, которое каждому ДЭ ГС  $\mathcal{E}_c^r \in \mathcal{E}^\Gamma$  со множеством идентификаторов  $I^{\mathcal{E}_c^r}$  ставит в соответствие агента из  $a_i \in A$ ;  $\widehat{F}_\Xi$  – функционал интеллектуального анализа графов социально-экономического поведения элементов ГС  $\Gamma_{\mathcal{E}_c^r}^i(V_{\widehat{F}_c}; T)$ ;  $\widehat{R} = OCH \cup ACH \cup FCH$  – регламентирующая область социально-экономической и транспортно-логистической деятельности ДЭ ГС, включающая область оптимально-устойчивых  $OCH$ , допустимо-устойчивых  $ACH$  и неустойчивых значений  $FCH$  характеристик ДЭ ГС  $CH$  и их поведение  $B_i(\mathcal{E}_i^g)$ ;  $C_{\mathcal{E}^\Gamma} = (C_A \vee C_F) \vee \wedge C_{\mathcal{E}^\Gamma}^{HSB}$  – регулирующие воздействия ГАТЛОСЭМИ, состоящие из воздействий  $C_A$  рекомендательного,

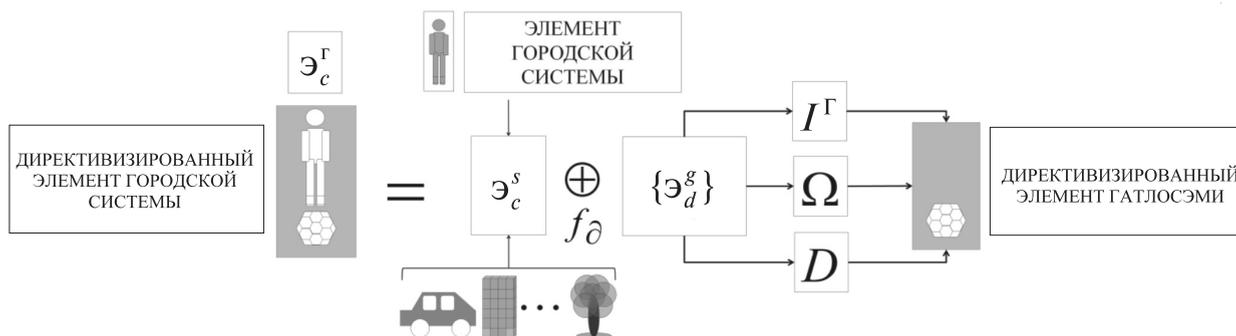


Рис. 1. Директивизация элементов городской системы

$C_F$  принудительного и  $C_{\Xi}^{HSB}$  девиантного\* управлений;  $U^\Gamma = U^\Gamma(CH_U^{\Xi^f}) = \{u_{\Xi^f}(\{ch_\pi^u\})\}$  – целевая функция управления ДЭ ГС (или функция полезности), зависящая от субъективных характеристик управления  $\{u_{\Xi^f}(\{ch_\pi^u\})\}$  каждого ДЭ ГС;  $T$  – множество моментов или интервалов времени.

Тогда целевой функционал ГАТЛОСЭМИ  $\Phi^C$  примет вид:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{ГАТЛОСЭМИ}}^C &= \lim_{\substack{B_i(\Xi^f) \rightarrow B_i^{\text{Pr ef}}(\Xi^f) \\ C_{\Xi^f} : OCH \leq (CH^\Gamma) \leq ACH}} U^\Gamma = \\ &= \max U^\Gamma = U_{\text{Pr ef}}^\Gamma, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $U_{\text{Pr ef}}^\Gamma$  – функция оптимального или предпочтительного управления, максимизирующая полезность ДЭ ГС;  $B_i^{\text{Pr ef}}(\Xi^f)$  – предпочтительное поведение ДЭ ГС.

*Профилактика причин возникновения ДТП* требует расширения существующих систем диагностики социально-экономической и потребительской деятельности. Последнее делает необходимым введение в систему ГАТЛОСЭМИ новых информационных функционалов и операторов, позволяющих связать существующие и новые системы классификации.

Таковым является функционал контроля ДЭ ГС:

$$\hat{\Pi} = \{p_x\}, \quad (4)$$

где  $\{p_x\}$  – множество операторов контроля характеристик ДЭ ГС.

Функционал контроля множеству кодифицированных социальных и иных отклонений  $CL_{dev} = \{CL_d\}$  и множеству кодифицированных объектов  $CL_n = \{CL_k^\ominus\}$  ставит в соответствие множество кодифицированных причин отклонений или кодифицированных библиотек противопоказаний  $L = \{L_x\}$ , в соответствии с выражением:

$$\hat{\Pi} : \{CL_d\} \cap \{CL_k^\ominus\} \rightarrow \{L_x\}. \quad (5)$$

Рассмотрим в составе функционала контроля ДЭ ГС два оператора, ответственных

за надлежащее физиологическое состояние городского населения. Выражение (5) перепишем в следующем виде:

$$\hat{\Pi} = \{p_g^h; p_n^h; \dots\}, \quad (6)$$

где  $p_g^h$  – оператор контроля товарного потребления, который множеству кодифицированных медицинских диагнозов международной классификации болезней десятого пересмотра [МКБ-10] =  $\{dm_\mu\}$  ставит в соответствие кодифицированную библиотеку товарных противопоказаний из множества существующих систем товарной и продуктовой классификации [ОКП, АТХ, ...] в соответствии с выражением:

$$p_g^h : [\text{МКБ-10}] \cap [\text{ОКП, АТХ, ...}] \rightarrow \text{LGC}, \quad (7)$$

где LGC – кодифицированная библиотека товарных противопоказаний.

$p_n^h$  – оператор контроля потребительской деятельности, который, сравнивая множество кодифицированных медицинских диагнозов [МКБ-10] =  $\{dm_\mu\}$  с системами классификации социально-экономической деятельности и социальных потребностей [ОКПД, ОКВЭД, LHN...], выводит соответствующую кодифицированную библиотеку противопоказанных видов потребительской деятельности LNC в соответствии с выражением:

$$\begin{aligned} p_n^h : [\text{МКБ-10}] \cap \\ \cap [\text{ОКПД, ОКВЭД, LHN...}] \rightarrow \text{LNC}, \end{aligned} \quad (8)$$

где LHN =  $\{need_\alpha\}$  – кодифицированная библиотека человеческих потребностей.

Введение новых систем потребительского контроля согласно (7), (8) потребует уточнений стандартов кодификации товаров, таких как EAN-13.

**Интеллектуальный анализ.** Рассмотрим более подробно структуру функционала интеллектуального анализа:

$$\hat{F}_\Xi = \{\Xi_A^L; \Xi_I^L; \Xi_P^L \dots\}, \quad (9)$$

где  $\Xi_A^L$  – процедура абдуктивного вывода;  $\Xi_I^L$  – процедура индуктивного вывода;  $\Xi_P^L$  – процедура вероятностного анализа.

Последовательно рассмотрим каждую из процедур (9).

$\Xi_A^L$  – процедура абдуктивного выво-

\* Информационное воздействие ГАТЛОСЭМИ, упреждающее приближение индивидуального поведения ДЭ ГС к потенциально-опасному шаблону.

да [17, 18], каждому состоянию перехода  $S_{\mathcal{E}_i^f}^{\tau_s}(V_{\hat{F}_c}; T)$  директивного элемента  $\mathcal{E}_i^f$  из области оптимально-устойчивых состояний в область допустимо-устойчивых или неустойчивых состояний на интервале времени  $\tau_s \in T_S$  ставит в соответствие множество его порождающих временных гипотетических графов  $\Gamma_h^{\mathcal{E}_i^f}(V_{\hat{F}_c}; T)$  на временном горизонте  $T_S$ .

Состояние перехода  $S_{\mathcal{E}_i^f}^{\tau_s}(V_{\hat{F}_c}; T)$  в общем случае будем называть ситуацией, а применительно к рассматриваемой проблеме – «неблагоприятным социальным исходом», вида:

$$S_{\mathcal{E}_i^f}^{\tau_s}(V_{\hat{F}_c}; T) \xrightarrow{\Xi_{\mathcal{E}_i^f}^L} \bigvee_{\lambda=1}^{\lambda=(2^h-1)} \left( \bigwedge_{h=1}^{h=N_h} \Gamma_h^{\mathcal{E}_i^f}(V_{\hat{F}_c}; T) \right)_{\lambda} = C_{\lambda=1}^S \vee \dots \vee C_{\lambda=2^h-1}^S, \quad (10)$$

где  $h = 1, \dots, N_h$  – число гипотез, квазипорождающих неблагоприятный социальный исход  $S_{\mathcal{E}_i^f}^{\tau_s}(V_{\hat{F}_c}; T)$ ;  $\lambda$  – количество наборов гипотетических графов  $C_{\lambda}^S$ , представляющих собой совместное сочетание выявленных причин;  $S$  – индекс-указатель неблагоприятного социального исхода.

Процедуру  $\Xi_p^L$  вероятностного анализа причин возникновения ДТП и неблагоприятных социальных исходов представим в виде:

$$S_{\mathcal{E}_i^f}^{\tau_s}(V_{\hat{F}_c}; T) \xrightarrow{\Xi_{\mathcal{E}_i^f}^L} p(C_{\delta=1}^S) \geq \dots \geq p(C_{\delta=2^h-1}^S), \quad (11)$$

где  $p(C_{\delta=1}^S), \dots, (C_{\delta=2^h-1}^S)$  – вероятности совместных сочетаний гипотетических графов, на которых задан строгий порядок.

Процедура вероятностного анализа  $\Xi_p^L$  строится на хорошо проработанном статистическом аппарате [19].

Пояснение процедуры абдуктивного вывода (10) в графовой интерпретации дано на рис. 2.

Гипотетические графы (10) формируются в процессе двух этапов.

Этап 1. Сравнение суточного социально-экономического поведения ДЭ ГС  $\Gamma_{\mathcal{E}_i^f}^{date}(V_{\hat{F}_c}; T)$ , предшествующего неблагоприятному социальному исходу  $S_{\mathcal{E}_i^f}^{\tau_s}(V_{\hat{F}_c}; T)$ , со следующими эталонными наборами графов социально-экономического поведения ДЭ ГС, находящихся в оптимально-устойчивой области:

- наиболее вероятным в интервале одного месяца социально-экономическим поведением ДЭ ГС с учетом дня недели:

$$h = 1 : h_{\tau=1} = 1$$

$$V_{h=1}^S = V_{\mathcal{E}_i^f}^{date} \setminus (V_{\mathcal{E}_i^f}^{date} \cap V_{\mathcal{E}_i^f}^{e.date}) \rightarrow \Gamma_{h=1}^{\mathcal{E}_i^f}(V_{\hat{F}_c}; T), \quad (12)$$

где  $V_h^S$  – множество ДЭ ГС (вершин), входящих в вершины  $V_{\mathcal{E}_i^f}^{date}$  графа  $\Gamma_{\mathcal{E}_i^f}^{date}(V_{\hat{F}_c}; T)$  и не входящих в вершины  $V_{\mathcal{E}_i^f}^{e.date}$  графа  $\Gamma_{\mathcal{E}_i^f}^{e.date}(V_{\hat{F}_c}; T)$ ;

- наиболее вероятным в интервале одного месяца социально-экономическим

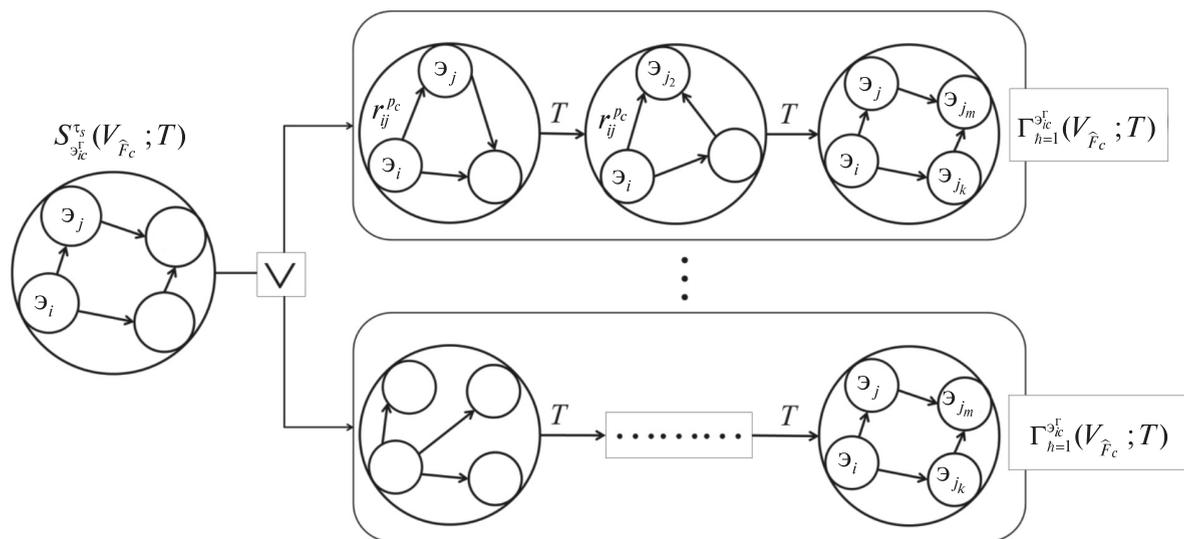


Рис. 2. Графовое представление процедуры абдуктивного вывода

поведением ДЭ ГС:

$$\hbar = 2 : \hbar_2 = 2$$

$$V_{\hbar=2}^s = V_{\mathfrak{z}_{ic}}^{date} \setminus (V_{\mathfrak{z}_{ic}}^{date} \cap V_{\mathfrak{z}_{ic}}^{\varepsilon_{month}}) \rightarrow \Gamma_{\hbar=2}^{\mathfrak{z}_{ic}}(V_{\hat{F}_c}; T), \quad (13)$$

где  $V_h^s$  – множество ДЭ ГС (вершин), входящих в вершины  $V_{\mathfrak{z}_{ic}}^{date}$  графа  $\Gamma_{\mathfrak{z}_{ic}}^{date}(V_{\hat{F}_c}; T)$  и не входящих в вершины  $V_{\mathfrak{z}_{ic}}^{\varepsilon_{month}}$  графа  $\Gamma_{\mathfrak{z}_{ic}}^{\varepsilon_{month}}(V_{\hat{F}_c}; T)$ ;

• наиболее вероятным социально-экономическим поведением ДЭ ГС в интервале недели, предшествующей неблагоприятному социальному исходу:

$$\hbar = 3 : \hbar_{\Gamma=N_r} = 3$$

$$V_h^s = V_{\mathfrak{z}_{ic}}^{date} \setminus (V_{\mathfrak{z}_{ic}}^{date} \cap V_{\mathfrak{z}_{ic}}^{\varepsilon_{week}}) \rightarrow \Gamma_{\hbar=3}^{\mathfrak{z}_{ic}}(V_{\hat{F}_c}; T), \quad (14)$$

где  $V_h^s$  – множество ДЭ ГС (вершин), входящих в вершины  $V_{\mathfrak{z}_{ic}}^{date}$  графа  $\Gamma_{\mathfrak{z}_{ic}}^{date}(V_{\hat{F}_c}; T)$  и не входящих в вершины  $V_{\mathfrak{z}_{ic}}^{\varepsilon_{week}}$  графа  $\Gamma_{\mathfrak{z}_{ic}}^{\varepsilon_{week}}(V_{\hat{F}_c}; T)$ .

Параметр времени  $T$  при этом определяет горизонт исследуемого события, регулирование которого позволяет включать и исключать из рассмотрения акты социально-экономического взаимодействия между ДЭ ГС. Наиболее вероятным для исследования является интервал времени  $T = [\tau_0; \tau_s]$  от начала  $\tau_0$  до свершения события  $\tau_s$  исследуемого события.

Таким образом, на первом этапе в процессе выполнения процедур (12)–(14) вычлняются отличные от эталонных акты социально-экономической деятельности и формируются гипотетические графы, которые могли явиться причиной возникновения исследуемого неблагоприятного социального или иного исхода.

Этап 2. Проверка оператором  $C_{\mathfrak{z}_{\Gamma}}$  состояний всех ДЭ ГС, входящих в граф суточного социально-экономического поведения ДЭ ГС  $\Gamma_{\mathfrak{z}_{ic}}^{date}(V_{\hat{F}_c}; T)$ , предшествующего неблагоприятному социальному исходу  $S_{\mathfrak{z}_{ic}}^{\tau_s}(V_{\hat{F}_c}; T)$ , через кодифицированные базы, сформированные операторами контроля характеристик ДЭ ГС  $\hat{\Pi} = \{\pi_x^{\mathfrak{z}_{ic}}\}$ .

В гипотетический граф включаются ДЭ ГС, чье социально-экономическое поведение протекает с нарушением кодифицированных баз операторов контроля, согласно условиям:

$$\begin{aligned} \Gamma_{\mathfrak{z}_{ic}}^{date}(V_{\hat{F}_c}; T) &\rightarrow (V_{\hat{F}_c})_{\mathfrak{z}_{ic}}^{date} \overset{C_{\mathfrak{z}_{\Gamma}}}{\cap} L_x^{\mathfrak{z}_{ic}} = \\ &= \Gamma_{\hbar_x}^{\mathfrak{z}_{ic}}(V_{\hat{F}_c}^x; T), \quad x = \pi, \dots, \pi_x \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \{\Gamma_{\mathfrak{z}_{ic}}^{date}(V_{\hat{F}_c}; T)\} &\rightarrow \{(V_{\hat{F}_c})_{\mathfrak{z}_{ic}}^{date}\} \overset{C_{\mathfrak{z}_{\Gamma}}}{\cap} \{L_x^{\mathfrak{z}_{ic}}\} = \\ &= \{\Gamma_{\hbar_x}^{\mathfrak{z}_{ic}}(V_{\hat{F}_c}^x; T)\}, \quad x = \pi, \dots, \pi_x, \end{aligned}$$

где  $\mathfrak{z}_{ic}^r$  – ДЭ ГС, чей суточный граф социально-экономического поведения проверяется операторами функционала контроля;  $\{\mathfrak{z}_{ic}^r\}$  – множество ДЭ ГС, взаимодействующих с  $\mathfrak{z}_{ic}^r$  и входящими в его суточный граф социально-экономического поведения  $\Gamma_{\mathfrak{z}_{ic}}^{date}(V_{\hat{F}_c}; T)$ ;  $L_x^{\mathfrak{z}_{ic}}$  – кодифицированная библиотека для ДЭ ГС  $\mathfrak{z}_{ic}^r$ , сформированная оператором контроля  $\pi_x$ ;  $\{\Gamma_{\hbar_x}^{\mathfrak{z}_{ic}}(V_{\hat{F}_c}^x; T)\}$  – множество гипотетических графов актов социально-экономического поведения ДЭ ГС, входящих в граф  $\Gamma_{\mathfrak{z}_{ic}}^{date}(V_{\hat{F}_c}^x; T)$ , в отношении которых выявлено нарушение кодифицированных библиотек, сформированных оператором контроля;  $\{\Gamma_{\mathfrak{z}_{ic}}^{date}(V_{\hat{F}_c}^x; T)\}$  – социально-экономическое поведение множества ДЭ ГС  $\{\mathfrak{z}_{ic}^r\}$ , взаимодействующих с ДЭ ГС  $\mathfrak{z}_{ic}^r$ .

На втором этапе в процессе процедур (15) формируются гипотетические графы актов ДЭ ГС, в отношении которых выявлены нарушения кодифицированных баз, сформированных операторами контроля  $\{\pi_x\}$ , и которые могли бы явиться причиной возникновения неблагоприятного социального исхода  $S_{\mathfrak{z}_{ic}}^{\tau_s}(V_{\hat{F}_c}; T)$ . Таким образом, число гипотетических графов (12)–(15) вычисляется в соответствии с выражением:

$$\hbar = \hbar_r + \hbar_x. \quad (16)$$

Процедура абдуктивного вывода (10) запускается в момент зарегистрированного перехода ДЭ из области оптимально-устойчивых состояний в область допустимо-устойчивых или неустойчивых состояний.

Так как ситуация  $S_{\mathfrak{z}_{ic}}^{\tau_s}(V_{\hat{F}_c}; T)$  свидетельствует о переходе директивного элемента в допустимо-устойчивое или неустойчивое состояние, то гипотетический граф ее порождения  $\Gamma_{\hbar}^{\mathfrak{z}_{ic}}(V_{\hat{F}_c}^x; T)$  будем называть потенциально-опасным шаблоном и обозначать  $\Gamma_{\hbar}^{\mathfrak{z}_{ic}}(V_{\hat{F}_c}^x; T)$ .

$\Xi_{\Gamma}^L$  – процедура индуктивного вывода

[20], которая из множества межэлементных отношений  $\{\Theta_{ic}^r \times \Theta_{jc}^r\} = \{\Gamma(v; r_{ij}^{pc})\}$ , событий  $\Gamma_h^{\Theta_{ic}^r}(V_{\hat{F}_c}^x; T)$  и фактов  $CH_x^{\Gamma_h}(\Theta^S)$  за определенный период  $\Gamma_{\Theta_{ic}^r}^{period}(V_{\hat{F}_c}^x; T)$ , породивших

неблагоприятный социальный исход (ситуацию)  $S_{\Theta_{ic}^r}^{\tau_s}(V_{\hat{F}_c}^x; T)$ , выводит правило  $\Pi_S$  порождения данной ситуации  $\Gamma_s^{\Theta_{ic}^r}(V_{\hat{F}_c}^x; T)$ , согласно

$$\Xi_I^L : \frac{\left. \begin{aligned} &CH_x^{\Gamma}(\Theta_{\Gamma}^{date}) \cap (CH_x^{\Gamma}(\Theta_{\Gamma}^{dt}), CH_x^{\Gamma}(\Theta_{\Gamma}^S); L_x; LPDP) \rightarrow CH_x^{\Gamma_h}(\Theta^S) \\ &\Gamma_{\Theta_{ic}^r}^{date}(V_{\hat{F}_c}^x; T) \cap \{\Gamma_{\Theta_{ic}^r}^{dt}(V_{\hat{F}_c}^x; T)\} \cap S_{\Theta_{ic}^r}^{\tau_s}(V_{\hat{F}_c}^x; T) \rightarrow \Gamma_h^{\Theta_{ic}^r}(V_{\hat{F}_c}^x; T) \\ &\{\Gamma(v; r_{ij}^{pc})\} \in \Gamma_{\Theta_{ic}^r}^{dt}(V_{\hat{F}_c}^x; T), i = 1, N_i^s, j = 1, N_j^s, p_c = 1, N_{p_c}^s \end{aligned} \right\} \rightarrow S_{\Theta_{ic}^r}^{\tau_s}(V_{\hat{F}_c}^x; T)}{X : S_{\Theta_{ic}^r}^{\tau_s}(V_{\hat{F}_c}^x; T) \rightarrow \Gamma_s^{\Theta_{ic}^r}(V_{\hat{F}_c}^x; T), CH_x^{\Gamma_h}(\Theta^S) \mid \Rightarrow X = \Pi_S}, \quad (17)$$

где  $CH_x^{\Gamma}(\Theta_{\Gamma}^{date}), CH_x^{\Gamma}(\Theta_{\Gamma}^{dt})$  – характеристики множества ДЭ ГС графа  $\Gamma_{\Theta_{ic}^r}^{date}(V_{\hat{F}_c}^x; T)$  и эталонных графов  $\{\Gamma_{\Theta_{ic}^r}^{dt}(V_{\hat{F}_c}^x; T)\}$  на анализируемом интервале времени;  $S_{\Theta_{ic}^r}^{\tau_s}(v; r_{ij}^{pc})$  – множество зарегистрированных параметров функциональных отношений, предшествовавших неблагоприятному социальному исходу;  $CH_x^{\Gamma}(\Theta_{\Gamma}^S)$  – характеристики ДЭ ГС, ставших участниками неблагоприятного социального исхода;  $CH_x^{\Gamma_h}(\Theta^S)$  – характеристики ДЭ ГС в гипотетических графах

порождения неблагоприятного социального исхода.

Пояснение процедуры индуктивного вывода (17) в графовой интерпретации дано на рис. 3.

В основу процедуры индуктивного вывода и формирования правила  $\Pi_S$  порождения ситуаций положен принцип ситуационного подобия. Сформулируем его следующим образом:

Если в отношении ДЭ ГС  $\Theta_{\alpha}$  с характери-

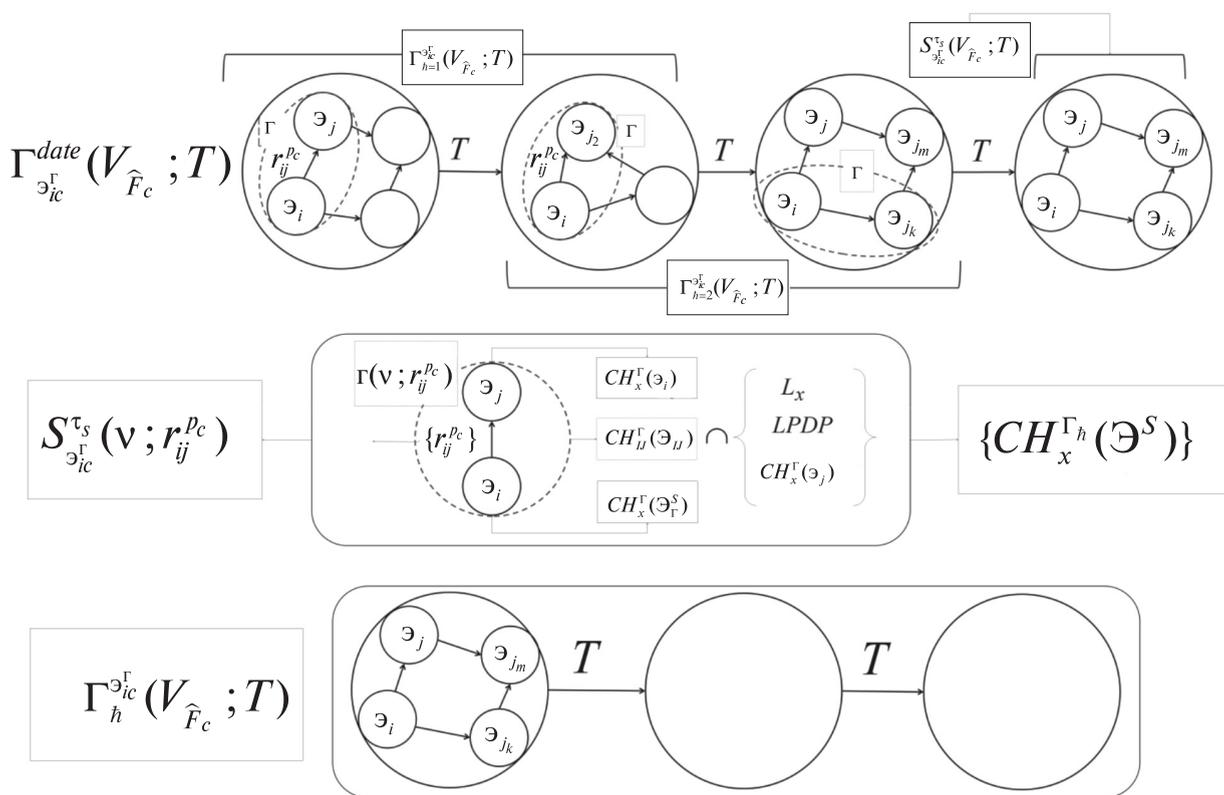


Рис. 3. Процедура индуктивного вывода

стиками  $CH_{\alpha}$  и социально-экономическим поведением  $\Gamma_{\alpha}(V_{\hat{F}_c}; T)$  по причине  $\Gamma_h(V_{\hat{F}_c}; T)$  наступил неблагоприятный социальный исход  $S_{\phi} = S_{\alpha}^{\tau_s}(V_{\hat{F}_c}; T)$ , то ДЭ ГС  $\alpha_{\beta}$ , имеющий схожие параметры  $CH_{\alpha} \sim CH_{\beta}$ ;  $\Gamma_{\alpha}(V_{\hat{F}_c}; T) \sim \Gamma_{\beta}(V_{\hat{F}_c}; T)$  по той же причине  $\Gamma_h(V_{\hat{F}_c}; T)$  может попасть в схожий неблагоприятный социальный исход  $S_{\phi}$ , то есть:

$$\Gamma_{\alpha}^{def}(V_{\hat{F}_c}; T) \oplus \Pi_{S_{\phi}} = \Gamma_{\beta}(V_{\hat{F}_c}; T). \quad (18)$$

Пояснение принципа ситуационного подобия (18) в графовой интерпретации дано на рис. 4.

Граф порождения ситуации  $S_{\alpha}^{\tau_s}(V_{\hat{F}_c}; T)$  при этом представляет собой потенциально опасный шаблон, то есть  $\Gamma_s^{\alpha}(V_{\hat{F}_c}; T) = HSB_{\alpha}^s(V_{\hat{F}_c}; T)$ , который регистрируется в кодифицированной библиотеке потенциально-опасных шаблонов социально-экономической деятельности ДЭ ГС LPDP [21].

Рассмотрим работу ГАТЛОСЭМИ упрощенно на примере интеллектуального анализа причин возникновения ДТП с участием городского жителя.

Пример. Социально-экономическое поведение жителя Санкт-Петербурга  $\Gamma_{h_c}^{date}(V_{\hat{F}_c}; T) = \Gamma_{id_1^h}^{04.11.2015}(V_{\hat{F}_c}; [18:00 - 00:00])$  с ИНН =  $id_1^h$ , повлекшее 4 ноября 2015 года ДТП  $S_{\alpha}^{\tau_s}(V_{\hat{F}_c}; T)$ , представлено на рис. 6. Эталонное социально-экономическое поведение жителя Санкт-Петербурга с ИНН =  $id_1^h$  за октябрь 2015 года, день недели среда  $\Gamma_{h_c}^{sdate}(V_{\hat{F}_c}; T) = \Gamma_{id_1^h}^{10.2015(wend)}(V_{\hat{F}_c}; [18:00 - 00:00])$  в интервале времени с 18:00 по 00:00 представлено на рис. 5.

На рис. 5 и 6 нами использованы следующие обозначения:

$$\text{ИНН (жителя)} = id_1^h,$$

$$\text{ИНН (друга жителя)} = id_2^h,$$

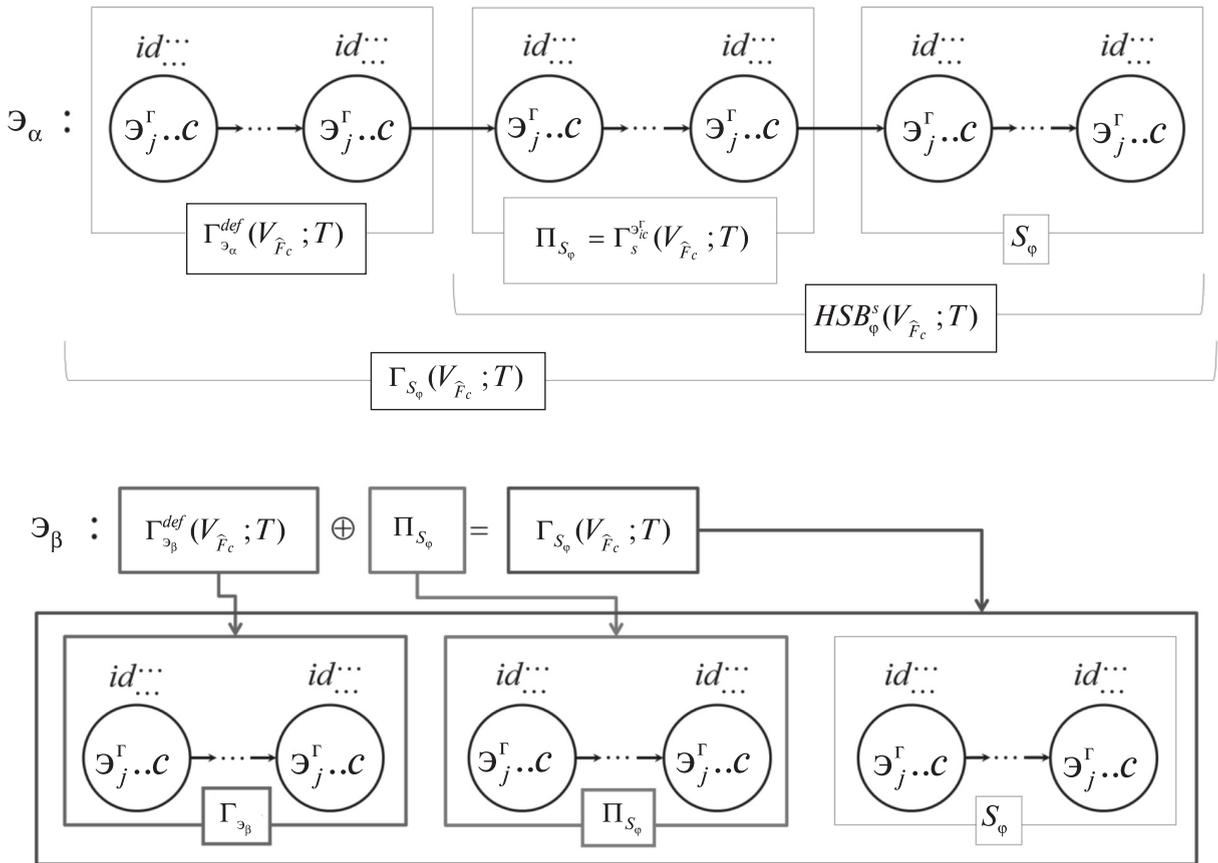


Рис. 4. Графовое представление принципа ситуационного подобия

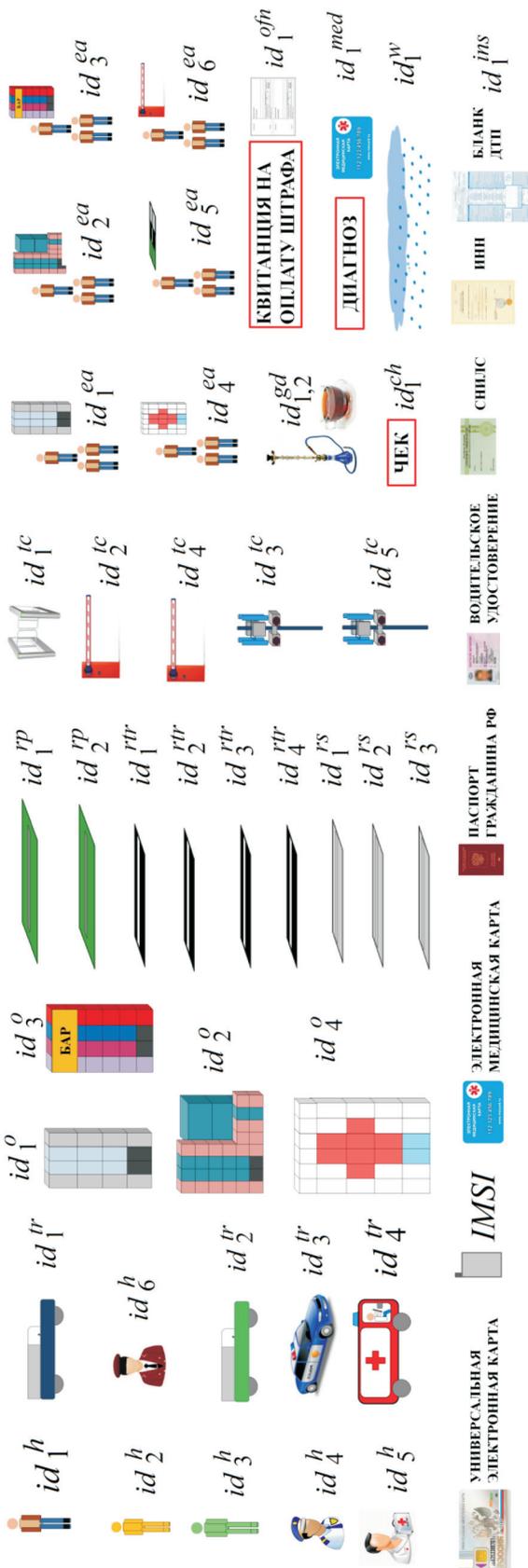
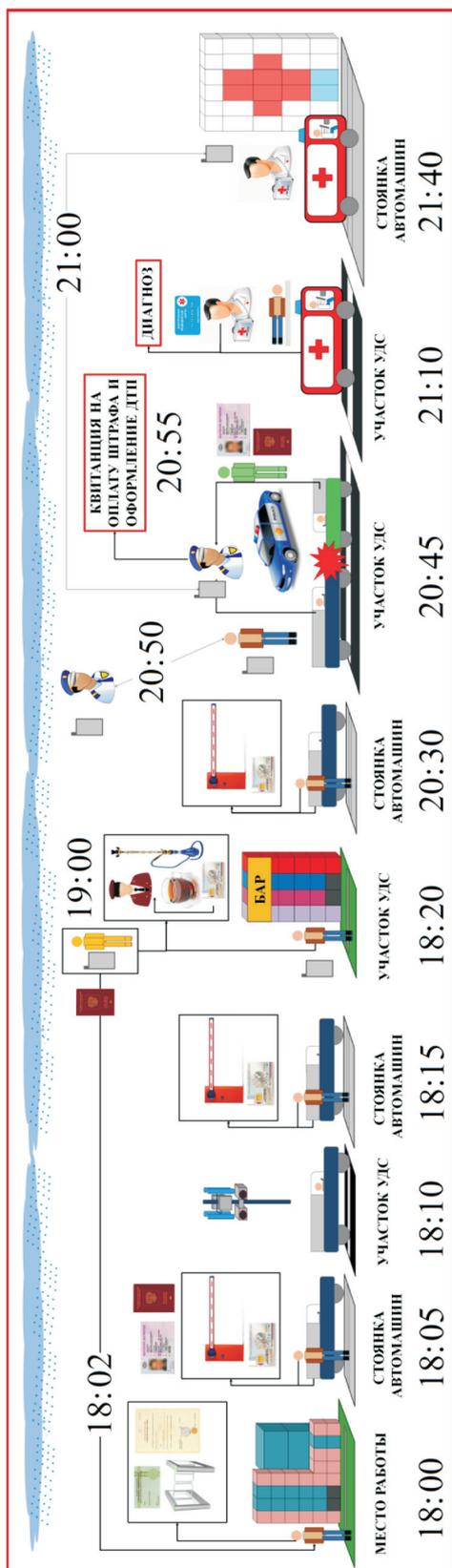


Рис. 5. Социально-экономическое поведение жителя Санкт-Петербурга с  $INN = id_1^h$ , повлекшее ДТП

ИНН (потерпевшего) =  $id_3^h$ ,

ИНН (сотрудника ГИБДД) =  $id_4^h$ ,

ИНН (фельдшера) =  $id_5^h$ ,

ИНН (бармена) =  $id_6^h$ ;  $id_1^o$ ,  $id_2^o$ ,  $id_3^o$ ,  $id_4^o$  – уникальные кадастровые номера (УКН) места жительства, работы, бара и больницы соответственно;  $id_1^{rp}$ ,  $id_2^{rp}$  – УКН пешеходных перегонов, примыкающих к работе и к бару соответственно;  $id_1^{rr}$ ,  $id_2^{rr}$ ,  $id_3^{rr}$ ,  $id_4^{rr}$  – УКН улично-дорожного перегона от автостоянки у места работы до бара, улично-дорожного перегона, на котором произошло ДТП, улично-дорожного перегона на пути в больницу и улично-дорожного перегона от автостоянки у места работы до дома соответственно;  $id_1^{rs}$ ,  $id_2^{rs}$ ,  $id_3^{rs}$ ,  $id_4^{rs}$  – УКН автостоянки у места работы, парковки у бара, парковочного пространства приемного отделения скорой помощи и дома соответственно;  $id_1^{rn}$ ,  $id_2^{rn}$ ,  $id_3^{rn}$ ,  $id_4^{rn}$  – государственные номерные знаки транспортных средств жителя, потерпевшего, сотрудника ГИБДД и скорой помощи;  $id_{1,2}^{gd}$  – уникальный идентификатор товаров (EAN-13) листового чая и курительного табака;  $id_1^{ins}$  – уникальный идентификатор бланка ДТП;  $id_1^{ofn}$  – уникальный идентификатор начисления штрафа ГИБДД;  $id_1^{med}$  – уникальный номер электронной ме-

дицинской карты;  $id_1^w$  – уникальный номер погодной карты района в день ДТП;  $id_2^w$  – уникальный номер погодной карты района в день, принятый за эталонный;  $id_1^{ea}$ ,  $id_2^{ea}$ ,  $id_3^{ea}$ ,  $id_4^{ea}$ ,  $id_5^{ea}$ ,  $id_6^{ea}$  – ИНН управляющей организации многоквартирным домом, в котором проживает житель; компании, в которой работает житель  $id_1^h$ ; бара; больницы; эксплуатационной службы, обслуживающей УДС; компании, которая владеет автопарковками соответственно;  $id_1^{tc}$ ,  $id_2^{tc}$ ,  $id_4^{tc}$  – уникальный сетевой адрес электронной проходной работы и парковок у работы и бара;  $id_3^{tc}$ ,  $id_5^{tc}$  – уникальные номера элементов системы транспортного мониторинга соответственно;  $id_1^{ch}$  – идентификатор счета в баре (чек контрольно-кассовой машины).

Пусть также известны следующие данные о жителе с  $ИНН = id_1^h$ :

житель имеет нестабильную стенокардию (I20.0 по МКБ) и хронический бронхит неуточненный (J42 по МКБ); библиотека товарных противопоказаний для жителя  $id_1^h$  имеет вид:  $LGC (МКБ-10 \cap ОКП) = ОКП 919316$  (Табак соусированный и ароматизированный); а библиотека противопоказанных видов потребительской деятельности для него:  $LNC (МКБ-10 \cap LHN) = f_{sm}$  «употребление табака»; процесс курения кальяна жителем  $id_1^h$  осуществлялся

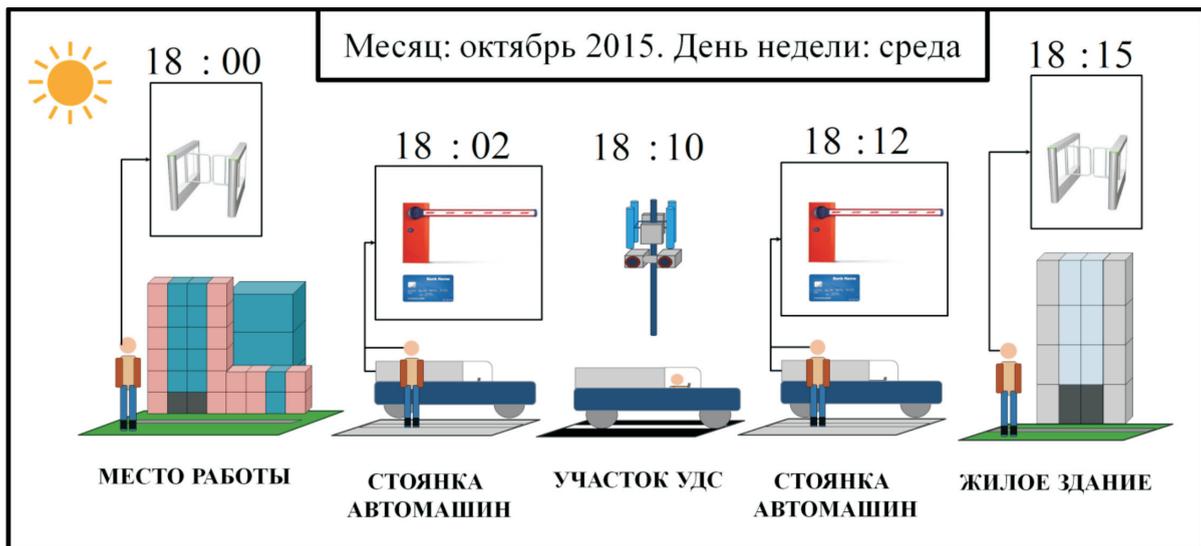


Рис. 6. Эталонное социально-экономическое поведение жителя с  $id_1^h$

с 19:00–20:00.

Жители с ИНН =  $id_2^h$  и ИНН =  $id_3^h$  на момент ДТП зарегистрированных отклонений по здоровью не имеют.

Сотрудник ГИБДД  $id_4^h$ , прибывший на место аварии, установил причину ДТП, классифицировав ее в соответствии с Кодексом административных правонарушений как 12.14-1 – «Невыполнение требований ПДД подать сигнал перед началом движения, перестроением, поворотом, разворотом или остановкой».

В результате ДТП фельдшером  $id_5^h$  были классифицированы по МКБ-10 следующие травмы: S00 (поверхностная травма головы), S80 (поверхностная травма голени), S20 (поверхностная травма грудной клетки). А также установлена причина травмы V43.4 (водитель, пострадавший в результате дорожного несчастного случая на автострате).

Со слов потерпевшего, фельдшером были установлены и другие неуточненные эффекты воздействия внешних причин, такие как T65.2 отравление табаком и никотином.

Также известно, что эксплуатационное состояние транспортных средств, участков УДС и технического обеспечения УДС в момент ДТП находилось в пределах нормы.

Требуется произвести построение графа ДТП с указанием установленных ответственных лицами фактов в порядке следования и формально описать процесс выявления причин ДТП системой

ГАТЛОСЭМИ с использованием процедуры абдуктивного вывода на временном интервале 18:00–20:45.

Решение. На основе исходных данных построим граф  $S_{id_1^h}^{ts}(V_{\hat{F}_c}; T)$  ДТП с указанием установленных инспектором ГИБДД и фельдшером фактов.

Образное представление графа ДТП показано на рис. 7.

Далее перейдем к формализации процедуры абдуктивного вывода.

Гипотетические графы причин ДТП сформируем согласно процедуре (12) первого этапа.

Для этого выделим из графа суточного социально-экономического поведения пользователя  $\Gamma_{id_1^h}^{04.11.2015}(V_{\hat{F}_c}; [18:00 - 00:00])$ , предшествующего неблагоприятному социальному исходу  $S_{id_1^h}^{ts}(V_{\hat{F}_c}; T)$ , отличные от эталонных акты социально-экономической деятельности, представляющие собой вершины и заданные графом  $\Gamma_{id_1^h}^{10.2015(wend)}(V_{\hat{F}_c}; [18:00 - 00:00])$ . В итоге, опираясь на рис. 8, получим:

1) для интервала времени с 18:00-00:00 (рис. 8)

$$V_{id_1^h}^{date} \setminus (V_{id_1^h}^{date} \cap V_{id_1^h}^{\varepsilon, date}) \Big|_{18:00}^{00:00} = \left\{ \begin{array}{l} id_1^w; id_2^{ph}; id_1^{rrr}; id_2^{rs}; id_3^o; id_2^h; id_6^h; id_{1,2}^{gd}; id_2^{mp}; \\ id_3^h; id_2^{tr}; id_4^{ph}; id_4^h; id_4^{ph}; id_5^{ph}; id_1^{ins}; id_1^{ofn}; id_1^{ins}; \\ id_5^h; id_3^{tr}; id_1^{med}; id_3^{rrr}; id_4^{rs}; id_4^o \end{array} \right\};$$

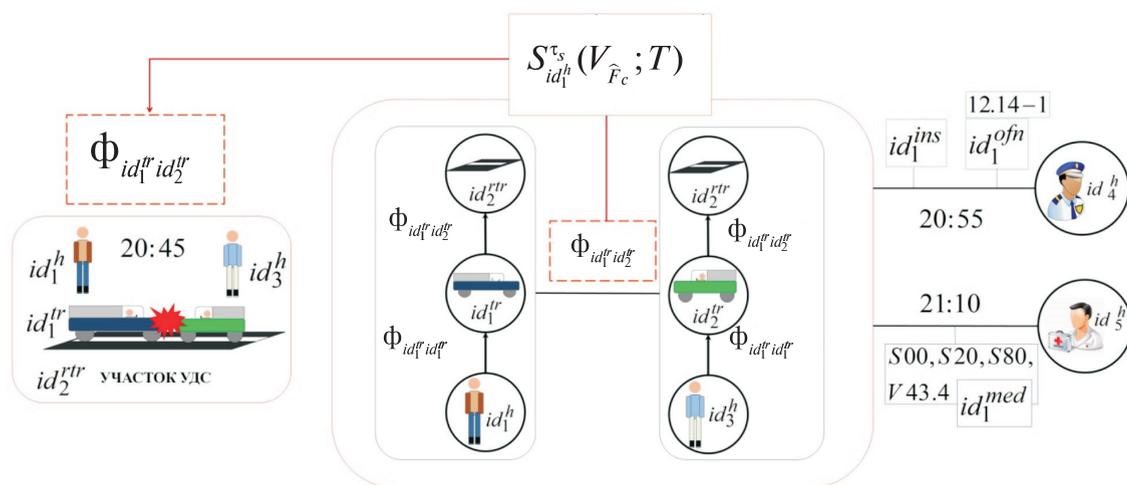


Рис. 7. Формальное представление графа ДТП

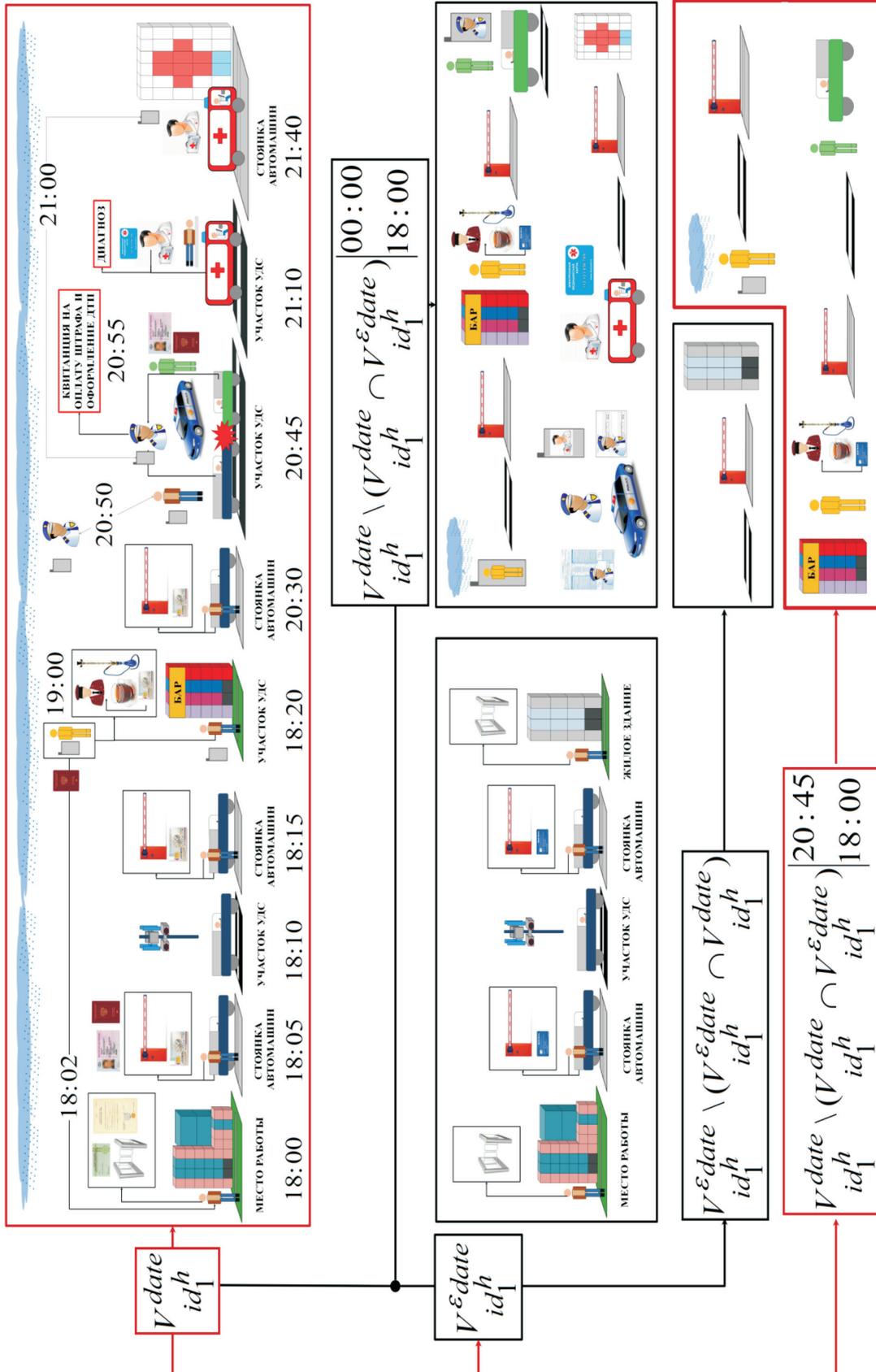


Рис. 8. Формирование гипотез процедурой абдуктивного вывода

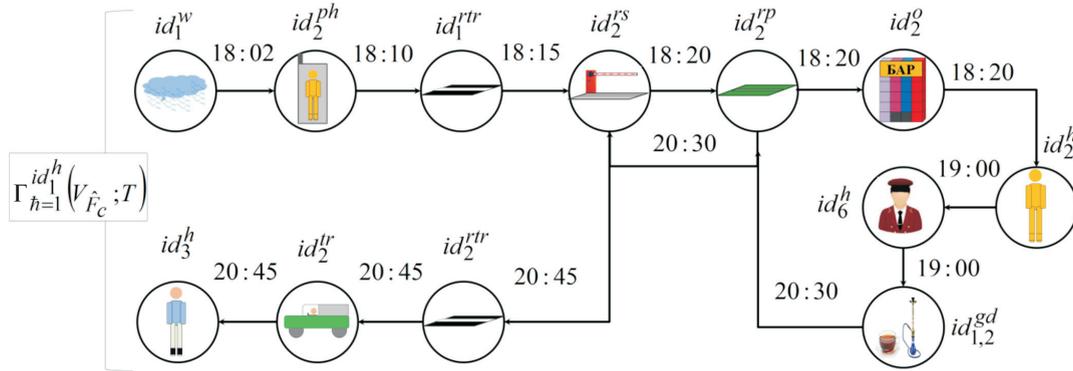


Рис. 9. Гипотетический граф ДТП

2) для требуемого интервала времени с 18:00–20:45 (рис. 8)

$$V_{h=1}^s = V_{id_1^h}^{date} \setminus (V_{id_1^h}^{date} \cap V_{id_1^h}^{e.date}) \Big|_{18:00}^{20:45} = \left\{ id_1^w; id_2^{ph}; id_1^{trr}; id_2^{rs}; id_3^o; id_2^h; id_6^h; id_{1,2}^{gd}; id_2^{tr}; id_2^{trr}; id_3^h; id_2^{tr} \right\}.$$

Таким образом, пользователь с номером  $id_1^h$  не реализовал следующие эталонные акты социально-экономической деятельности (рис. 8):

3)

$$V_{id_1^h}^{e.date} \setminus (V_{id_1^h}^{e.date} \cap V_{id_1^h}^{date}) \Big|_{18:00}^{00:00} = \{ id_4^{trr}; id_4^{rs}; id_1^{rp}; id_1^o \}.$$

Граф  $\Gamma_{h=1}^{id_1^h}(V_{\hat{F}_c}; T)$ , построенный на вершинах множества  $V_{h=1}^s$ , ГАТЛОСЭМИ отнесет в набор гипотетических графов.

Вид данного графа представим на рис. 9.

Определив гипотетический граф с использованием процедуры первого этапа абдуктивного вывода, перейдем к опре-

делению причин ДТП с использованием процедуры второго этапа абдуктивного вывода.

Для этого произведем анализ суточного социально-экономического поведения пользователя с номером  $id_1^h$ , предшествующего неблагоприятному социальному исходу  $S_{id_1^h}^{cs}(V_{\hat{F}_c}; T)$ , на предмет его нарушения кодифицированным базам операторов контроля, согласно выражениям (7) и (8).

Для этого еще раз запишем выражение (15), подставив в него исходные данные в параметрическом виде, в итоге получим:

$$\Gamma_{id_1^h}^{date}(V_{\hat{F}_c}; T) \rightarrow (V_{\hat{F}_c})_{id_1^h}^{date} \overset{C_{\text{ЭГ}}}{\cap} \text{LGC} \rightarrow \Gamma_{h, x=n_g}^{id_1^h}(V_{\hat{F}_c}^{x=n_g}; T).$$

В представленное параметрическое выражение подставим заданные количественные значения, дополнив его для лучшего понимания связью МКБ-10 с LNG, в итоге получим:

$$id_1^h : \underbrace{\{I20, J42, T65.2\}}_{\text{МКБ-10}} \xrightarrow{n_g^h} \underbrace{\{\text{ОКП 919316}\}}_{\text{LGC}} \overset{C_{\text{ЭГ}}}{\cap} \underbrace{\{id_2^{gd}\}}_{id_1^h} \overset{4.11.2015}{\neq 0} \rightarrow \Gamma_{h, n_g}^{id_1^h}(V_{\hat{F}_c}^{n_g}; T).$$

Аналогично определим второй гипотетический граф, подставив в выражение (15) исходные данные. В итоге получим:

$$id_1^h : \underbrace{\{I20, J42, T65.2\}}_{\text{МКБ-10}} \xrightarrow{n_h^h} \underbrace{\left\{ \begin{array}{l} \text{употребление} \\ \text{табака} \end{array} \right\}}_{\text{LNC}} \overset{C_{\text{ЭГ}}}{\cap} \underbrace{\{f_{sm}\}}_{id_1^h} \overset{4.11.2015}{\neq 0} \rightarrow \Gamma_{h, n_h}^{id_1^h}(V_{\hat{F}_c}^{n_h}; T).$$

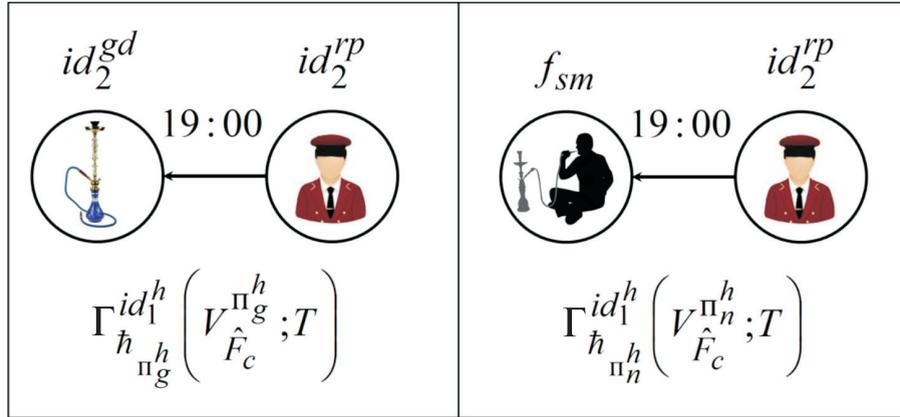


Рис. 10. Гипотетические графы второго этапа абдуктивного вывода

Произведем построение гипотетических графов  $\Gamma_{\hat{h}}^{id_1^h} (V_{\hat{F}_c}^{\Pi_g^h}; T)$  и  $\Gamma_{\hat{h}}^{id_1^h} (V_{\hat{F}_c}^{\Pi_n^h}; T)$ , выявленных на втором этапе процедуры абдуктивного вывода. Вид данных графов представим на рис. 10.

Таким образом, в процессе процедуры абдуктивного вывода системой ГАТЛОСЭМИ будет сформирован набор гипотез согласно (10). Перепишем его для наглядности в следующем виде:

$$S_{\hat{F}_c}^{\tau_s} (V_{\hat{F}_c}; T) \xrightarrow{\Xi_A^L} \bigvee_{\lambda=1}^{\lambda=(2^h-1)} \left( \bigwedge_{h=1}^{h=N_h} \Gamma_{\hat{h}}^{\tau_{ic}^h} (V_{\hat{F}_c}; T) \right)_{\lambda},$$

$$\hat{h} = 1, N_h.$$

Подставив в вышестоящее выражение выявленные в процессе абдуктивного анализа гипотетические графы, получим:

$$S_{\hat{F}_c}^{\tau_s} (V_{\hat{F}_c}; T) \xrightarrow{\Xi_A^L} \bigvee_{\lambda=1}^{\lambda=5} \left( \bigwedge_{h=1}^{h=3} \Gamma_{\hat{h}}^{\tau_{ic}^h} (V_{\hat{F}_c}; T) \right)_{\lambda} =$$

$$= \Gamma_{\hat{h}=1}^{id_1^h} (V_{\hat{F}_c}; T) \vee \Gamma_{\hat{h}(n_h^h)=2}^{id_1^h} (V_{\hat{F}_c}^{n_h^h}; T) \wedge$$

$$\wedge \Gamma_{\hat{h}(n_h^h)=3}^{id_1^h} (V_{\hat{F}_c}^{n_h^h}; T) \vee (\Gamma_{\hat{h}=1}^{id_1^h} (V_{\hat{F}_c}; T) \wedge$$

$$\wedge \Gamma_{\hat{h}(n_h^h)=2}^{id_1^h} (V_{\hat{F}_c}^{n_h^h}; T)) \vee$$

$$\vee \left( \Gamma_{\hat{h}=1}^{id_1^h} (V_{\hat{F}_c}; T) \wedge \Gamma_{\hat{h}(n_h^h)=3}^{id_1^h} (V_{\hat{F}_c}^{n_h^h}; T) \right) \vee$$

$$\vee \left( \Gamma_{\hat{h}=1}^{id_1^h} (V_{\hat{F}_c}; T) \wedge \Gamma_{\hat{h}(n_h^h)=2}^{id_1^h} (V_{\hat{F}_c}^{n_h^h}; T) \wedge$$

$$\wedge \Gamma_{\hat{h}(n_h^h)=3}^{id_1^h} (V_{\hat{F}_c}^{n_h^h}; T) \right), \hat{h} = 1, N_h.$$

Данный пример наглядно раскрывает работу системы класса ГАТЛОСЭМИ по

автоматическому выявлению причин произошедшего неблагоприятного социального исхода.

В настоящей статье рассмотрено технологическое обеспечение «Умных городов». Произведено формальное построение интеллектуальных городских анализаторов транспортно-логистической и социально-экономической мобильности.

Реализация рекомендательного управления в границах профилактики неблагоприятных социальных исходов позволила не только расширить набор управляющих функционалов, дополнив его функционалами контроля и интеллектуального анализа данных, но и увязать существующие российские и международные классификаторы недостающими кодифицированными библиотеками.

Последнее продемонстрировано на примере построения рекомендательного управления потребительской деятельности городского жителя при помощи Кодифицированной библиотеки товарных противопоказаний. Непосредственное формирование Кодифицированной библиотеки товарных противопоказаний осуществляется оператором контроля потребительской деятельности в ходе анализа Международной классификации болезней десятого пересмотра, Единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации и Кодифицированной библиотеки человеческих потребностей.



Описанное выше, в контексте «Умных городов» (Smart City), позволяет говорить о возможности разрешения системных проблем рациональной организации и устойчивости городских транспортно-логистических процессов.

Согласованное использование ГАТЛОСЭМИ с интеллектуальной систе-

мой организации ГТС [22] позволит качественно повысить эффективность транспортного и логистического обслуживания современного мегаполиса.

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 16-31-00306 в рамках проекта «Построение модели интеллектуального управления городскими транспортными потоками».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Барина Л.Д., Забалканская Л.Э.** Комплексный подход к управлению экологически устойчивым развитием городской транспортной системы // *Транспорт: наука, техника, управление*. 2013. № 10. С. 24–27.
2. **Paroutis S., Bennett M., Heracleous L.** A strategic view on smart city technology: The case of IBM Smarter Cities during a recession // *Technological Forecasting & Social Change*. 2013. Pp. 1–11.
3. **Каримов Т.Н., Симонова Л.А.** Интеллектуальная система поддержки принятия решения для оперативного управления транспортными потоками // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. 2011. № 1(115). С. 37–41.
4. **Малыгин И.Г., Сильников М.В.** Интеллектуальные системы транспортной безопасности // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2014. № 1(29). С. 1–13.
5. **Нурминский Е.А., Пугачев И.Н., Шамрай Н.Б.** Определение пассажиропотоков в региональной транспортной системе на основе модифицированных гравитационных моделей // *Наука и техника*. 2015. № 5. С. 39–45.
6. **Селиверстов Я.А.** Методы и модели построения матриц транспортных корреспонденций // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. 2015. № 2-3(217-222). С. 49–70.
7. **Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А.** Разработка показателей интегрального развития транспортной системы мегаполиса // *Науковедение*. 2015. Т. 7. № 5. С. 1–24. DOI 10.5862/JCSTCS/5
8. **Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А.** О методе оценки эффективности организации процесса дорожного движения мегаполиса // *Вестник транспорта Поволжья*. 2015. № 2(50). С. 91–96.
9. **Daganzo C.F.** *Logistics Systems Analysis*. Springer, 2005. 310 p.
10. **Селиверстов Я.А.** О методе анализа структуры смешанного транспортного потока на городской улично-дорожной сети // *Известия ПГУПС*. 2015. № 3. С. 104–111.
11. **Silva C.T.** Bridging Theory with Practice: An Exploratory Study of Visualization Use and Design for Climate Model Comparison // *IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics*. 2015. Pp. 1–16.
12. **Silva C.T.** Visual Exploration of Big Spatio-Temporal Urban Data: A Study of New York City Taxi Trips // *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2013. Vol. 19(12). Pp. 2149–2158.
13. **Селиверстов Я.А.** О построении модели классификации межагентных отношений социально-экономического поведения городского населения в системах управления транспортными потоками мегаполиса // *Науковедение*. 2014. № 5. С. 188.
14. **Селиверстов Я.А., Селиверстов С.А., Стариценков А.Л.** Особенности построения системы городского транспортно-логистического мониторинга // *Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета ЛЭТИ*. 2015. Т. 1. С. 29–36.
15. **Hafedh Chourabi et al.** Understanding Smart Cities: An Integrative Framework // *45th Hawaii International Conf. on System Sciences*. 2012. Pp. 2289–2297.
16. **Batty M., Axhausen K.W.** Smart cities of the future // *The European Physical Journal Special Topics*. 2012. Vol. 214. Iss. 1. Pp. 481–518.
17. **Kakas A.C., Kowalski R., Toni F.** Abductive logic programming // *Journal of Logic and Computation*. 1992. Vol. 2(6). Pp. 719–770.
18. **Strabykin D.A.** Logical Method for Predicting Situation Development Based on Abductive Inference // *J. of Computer and Systems Sciences International*. 2013. Vol. 52(5). Pp. 759–763.
19. **Таранцев А.А.** *Случайные величины и работа с ними: Учеб.-метод. пособие*. СПб., 2011. 160 с.

20. **Wei Li**. Inductive Inference // *Mathematical Logic. Ser. Progress in Computer Science and Applied Logic*. 2014. Vol. 25. Pp. 235–255.

21. **Селиверстов Я.А., Селиверстов С.А.** Формальное построение цепочек транспортной активности городского населения // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. 2015.

№ 4(224). С. 91–104. DOI 10.5862/JCSTCS.224.9

22. **Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А.** О построении интеллектуальной системы организации и развития транспортной системы мегаполиса // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. 2015. № 2-3(217-222). С. 139–161. DOI 10.5862/JCSTCS/12

## REFERENCES

1. **Barinova L.D., Zabalkanskaya L.E.** Kompleksnyy podkhod k upravleniyu ekologicheskii ustoychivym razvitiyem gorodskoy transportnoy sistemy [Integrated Approach to the Management of Environmentally Stable Development of the Urban Transportation System]. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye* [Transport: Science, Technology, Management], 2013, No. 10, Pp. 24–27. (rus)

2. **Paroutis S., Bennett M., Heracleous L.** A strategic view on smart city technology: The case of IBM Smarter Cities during a recession, *Technological Forecasting & Social Change*, 2013, Pp. 1–11.

3. **Karimov T.N., Simonova L.A.** Intellekturnaya 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]. St. Petersburg, 2011, No. 1(115), Pp. 37–41. (rus)

4. **Malygin I.G., Silnikov M.V.** Intellekturnyye sistemy transportnoy bezopasnosti [Intelligent transport safety systems]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere* [Problems of technosphere risk management], 2014, No. 1 (29), Pp. 1–13. (rus)

5. **Nurminskiy Ye.A., Pugachev I.N., Shamray N.B.** Opredeleniye passazhiropotokov v regionalnoy transportnoy sisteme na osnove modifitsirovannykh gravitatsionnykh modeley [Determination of passenger-traffic flows in regional transport system on the basis of modified gravity models]. *Nauka i tekhnika* [Science & Technology], 2015, No. 5, Pp. 39–45. (rus)

6. **Seliverstov S.A., Seliverstov Ya.A.** Metody i modeli postroyeniya matrits transportnykh korrespondentsiy [Methods and models of the construction of transport correspondence matrix]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye* [St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science.

*Telecommunication and Control*]. St. Petersburg, 2015, No. 2-3 (217-222), Pp. 49–70. (rus)

7. **Seliverstov S.A., Seliverstov Ya.A.** Razrabotka pokazateley integralnogo razvitiya transportnoy sistemy megapolisa [The development of indicators for integrated development of the transport system of the metropolis]. *Naukovedeniye* [Internet magazine Naukovedenie], 2015, Vol. 7, No. 5, Pp. 1–24. (rus)

8. **Seliverstov S.A., Seliverstov Ya.A.** O metode otsenki effektivnosti organizatsii protsessa dorozhnogo dvizheniya megapolisa [A method of evaluating the effectiveness of the organization of traffic metropolis]. *Vestnik transporta Povolzhya*, 2015, No. 2 (50), Pp. 91–96. (rus)

9. **Daganzo C.F.** *Logistics Systems Analysis*. Springer, 2005, 310 p.

10. **Seliverstov Ya.A.** O metode analiza struktury smeshannogo transportnogo potoka na gorodskoy ulichno-dorozhnoy seti [On the method of structure analysis of mixed traffic flow on urban road network], *Izvestiya PGUPS*, 2015, No. 3, Pp. 104–111. (rus)

11. **Silva C.T.** Bridging Theory with Practice: An Exploratory Study of Visualization Use and Design for Climate Model Comparison. *IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics*, 2015, Pp. 1–16.

12. **Silva C.T.** Visual Exploration of Big Spatio-Temporal Urban Data: A Study of New York City Taxi Trips. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2013, Vol. 19 (12), Pp. 2149–2158.

13. **Seliverstov Ya.A.** O postroyenii modeli klasifikatsii mezhagentnykh otноsheniy 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)



14. 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»*, 2015, No. 1, Pp. 29–36. (rus)
15. Hafedh Chourabi et al. Understanding Smart Cities: An Integrative Framework. *45th Hawaii International Conference on System Sciences*, 2012, Pp. 2289–2297.
16. Batty M., Axhausen K.W. Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 2012, Vol. 214, Iss. 1, Pp. 481–518.
17. Kakas A.C., Kowalski R., Toni F. Abductive logic programming, *Journal of Logic and Computation*, 1992, Vol. 2(6), Pp. 719–770.
18. Strabykin D.A. Logical Method for Predicting Situation Development Based on Abductive Inference. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2013, Vol. 52(5), Pp. 759–763.
19. Tarantsev A.A. *Sluchaynyye velichiny i rabota s nimi* [Random variables and work with them]. St. Petersburg, 2011, 160 p. (rus)
20. Wei Li. Inductive Inference, *Mathematical Logic*. 2014. Vol. 25 of the series Progress in Computer Science and Applied Logic, Pp 235–255.
21. Seliverstov Ya.A., Seliverstov S.A. Formalnoye postroyeniye tsepochek transportnoy aktivnosti gorodskogo naseleniya [The Formal Development of Patterns of Daily Travel Activity Chains of the Urban Population]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye* [St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunication and Control]. St. Petersburg, 2015, No. 4 (224), Pp. 91–104. (rus)
22. Seliverstov S.A., Seliverstov Ya.A. O postroyenii intellektualnoy sistemy organizatsii i razvitiya transportnoy sistemy megapolisa [Construction of Intelligent System for the Organization and Development of Transport System Metropolis]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye* [St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunication and Control]. St. Petersburg, 2015, No. 2-3 (217-222), Pp. 139–161. (rus)

---

**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.** *Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences.*

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

E-mail: maxwell\_8-8@mail.ru

**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.** *Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences.*

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

E-mail: amuanator@rambler.ru