



Управление конфигурацией улично-дорожной сети умного города: сценарий на основе паттернов коллективных действий участников принятия решений

А. В. Смирнов^а, доктор техн. наук, профессор, orcid.org/0000-0001-8364-073X

Т. В. Левашова^а, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, orcid.org/0000-0002-1962-7044, tatiana.levashova@iias.spb.su

Н. Н. Тесля^а, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, orcid.org/0000-0003-0619-8620

^аСанкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, 14-я линия В. О., 39, Санкт-Петербург, 191718, РФ

Введение: в процессе совместной деятельности участников цифровых сообществ, состоящих из людей и программных агентов, часто возникают повторяющиеся задачи, для решения которых могут быть использованы типовые модели поведения участников (паттерны коллективных действий). **Цель:** разработать модели эффективной организации целенаправленных действий участников цифровых сообществ и сценарий использования моделей при формировании рекомендаций по управлению конфигурацией улично-дорожной сети умного города как разновидности социотехнической системы. **Результаты:** разработана концептуальная модель паттерна коллективных действий, упрощающая обработку контекстной информации и взаимодействие участников цифрового сообщества за счет однородного представления информации, используемой в спецификациях паттернов различных видов. Разработана обобщенная модель выполнения задачи принятия решений на основе паттернов коллективных действий, позволяющая организовать выбор паттернов в процессе коллективного выполнения задачи. Предложен сценарий решения участниками цифрового сообщества задачи формирования рекомендаций по управлению конфигурацией улично-дорожной сети умного города, подтверждающий адекватность разработанных моделей. **Практическая значимость:** результаты исследований вносят вклад в решение проблемы управления конфигурацией социотехнических систем. Они предоставляют модели для эффективной организации целенаправленных коллективных действий участников цифровых сообществ в процессе совместного решения ими задачи управления конфигурацией как задачи принятия решений и могут быть использованы, например, для формирования рекомендаций по управлению конфигурациями таких систем, как умный город, аэропорт и т. п.

Ключевые слова – умный город, социотехническая система, цифровое сообщество, улично-дорожная сеть, поддержка принятия решений, паттерны коллективных действий.

Для цитирования: Смирнов А. В., Левашова Т. В., Тесля Н. Н. Управление конфигурацией улично-дорожной сети умного города: сценарий на основе паттернов коллективных действий участников принятия решений. *Информационно-управляющие системы*, 2025, № 4, с. 13–25. doi:10.31799/1684-8853-2025-4-13-25, EDN: ZOZUHI

For citation: Smirnov A. V., Levashova T. V., Teslya N. N. Management of smart city road network configuration: a scenario based on collaboration patterns of decision-making participants. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2025, no. 4, pp. 13–25 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2025-4-13-25, EDN: ZOZUHI

Введение

Умные города представляют собой сложные социотехнические системы (СТС), способствующие повышению качества жизни за счет применения передовых технологий для принятия решений в сфере экономического и экологического использования городских систем жизнедеятельности [1]. СТС – это самоорганизующийся элемент гибридной техногенной среды, возникающий и развивающийся в результате взаимодействия и коммуникации человека, технической инфраструктуры и технологий. Помимо умных городов, примерами СТС являются аэропорты, энергетические, транспортные и другие системы, содержащие и реализующие компьютеризированные сетевые формы циклической комму-

никации, в которых осуществляется групповая деятельность участников коллектива [2].

Чтобы отвечать постоянным технологическим изменениям, характерным для современной эпохи, СТС должны быть способны развиваться в соответствии с этими изменениями. Преобразование существующей конфигурации СТС в новую является одной из функций управления конфигурациями. В данной статье под управлением конфигурацией понимается модификация конфигурации подсистем умных городов в целях ее адаптации к изменениям в технологической сфере и другим условиям, которые накладывает текущая ситуация. Концепция умного города предполагает повышение уровня комфорта горожан, часто достигаемое благодаря усовершенствованиям, которые учитывают

последние технологические изменения [3, 4], что подтверждает актуальность предлагаемых в данной работе исследований.

Одним из направлений развития общества, возникших благодаря прогрессу информационных технологий, являются цифровые сообщества. Эти сообщества, сложившиеся вследствие появления и интенсивного развития социальных сетей и объединяющие в себе географически разрозненных, но связанных общими интересами участников [5], приобретают всю большую значимость. Такие сообщества представляют собой сетевые системы, в которых цифровые технологии поддерживают взаимодействие людей и организаций, объединившихся в целях совместного решения проблем [5, 6]. Применительно к концепции умного города эти сообщества могут рассматриваться как коллективы, участники которых осуществляют совместную деятельность (коллективные действия) по управлению конфигурациями соответствующих подсистем.

Одним из аспектов концепции умного города является городское планирование, включающее в себя, помимо прочих, задачу управления конфигурацией улично-дорожной сети (УДС) [7]. На решение этой задачи участниками цифрового сообщества направлена данная статья. Применительно к рассматриваемой задаче цифровое сообщество реализует функции рабочей группы комиссии по обеспечению безопасности дорожного движения при администрации города (района). Эта комиссия является координационным органом, образованным для обеспечения согласованных действий исполнительных органов государственной власти различных уровней, ведомств, предприятий, учреждений, организаций независимо от форм собственности и общественных объединений в области обеспечения безопасности дорожного движения. Рабочая группа включает в себя специалистов (представителей) комитетов, управлений, инспекций и других административных образований, руководители которых входят в состав комиссии. Данная группа занимается формированием рекомендаций по обеспечению безопасности дорожного движения.

Цифровое сообщество рассматривает задачу управления конфигурацией УДС умного города в части адаптации технических средств организации дорожного движения к новым условиям как задачу принятия решений на основе паттернов коллективных действий. Решения, поддерживающие деятельность умного города, должны быстро приниматься и при этом быть эффективными [8, 9], что мотивировало обращение к таким паттернам. В процессе совместной деятельности часто возникают повторяющиеся однотипные проблемы, а паттерны коллективных действий предлагают готовые ответы для подобных про-

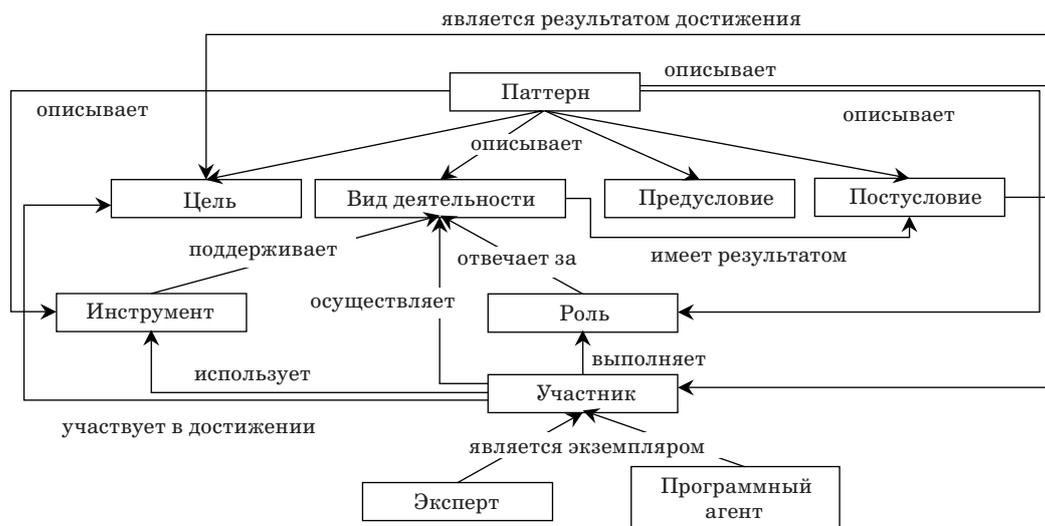
блем и таким образом обеспечивают эффективное совместное поведение участников цифрового сообщества и эффективное принятие решений этим сообществом [10, 11].

Концептуальная модель паттерна коллективных действий

Концептуальная модель паттерна коллективных действий разрабатывалась на основе анализа различных видов паттернов коллективных действий и является обобщением концептуальных моделей таких паттернов. Подробно с результатами анализа можно ознакомиться в работах [12, 13] авторов данной статьи, где вместо паттернов коллективных действий использовался термин паттерны человеко-машинного сотрудничества. Рассматривались паттерны, связанные как с коллективными действиями совместно людей и машин, так и с действиями отдельно групп людей или машин. В результате анализа было выявлено пять видов паттернов: организационный паттерн, паттерн процесса, когнитивный паттерн, паттерн коллаборативной инженерии, паттерн взаимодействия.

Концептуальная модель паттерна коллективных действий [13] (рис. 1) поддерживает следующую семантику. Паттерн предлагает решение, описывающее, каким образом может быть достигнута цель коллективных действий. Множество предусловий определяет возможность использования паттерна. В достижение цели вовлечены участники коллективных действий (участники цифрового сообщества). Такими участниками являются люди и программные агенты. В процессе коллективных действий участники осуществляют деятельность (множество видов деятельности), выполнение которой приводит к достижению цели. Участники действуют в соответствии с ролями, которые они выполняют, и, при необходимости, используют инструменты, поддерживающие определенные виды деятельности. Различные виды деятельности участников приводят к различным результатам (постусловиям видов деятельности). Постусловия видов деятельности, которые ведут к достижению цели коллективных действий, образуют множество постусловий использования паттерна.

Пять видов паттернов предлагают типовые решения для достижения пяти целей: формирования архитектуры среды коллективных действий (организационный паттерн), создания плана коллективных действий для достижения цели (паттерн процесса), создания плана коллективных действий при решении интеллектуальной задачи (когнитивный паттерн), разработки сценария взаимодействия участников (паттерн



■ **Рис. 1.** Концептуальная модель паттерна коллективных действий
 ■ **Fig. 1.** Conceptual model of collaboration pattern

взаимодействия), установки правил (процедуры) принятия коллективных решений (паттерн коллаборативной инженерии).

Паттерны коллективных действий являются средством управления совместной деятельностью участников цифрового сообщества в процессе решения ими стоящих перед сообществом задач. В отличие от цели, которая появляется на определенных этапах решения задачи и для достижения которой может быть предложено типовое решение, задача – это конкретный вопрос, требующий ответа или решения. В данной статье задачей, стоящей перед сообществом, является задача управления конфигурацией УДС умного города. В статье предполагается, что эта задача решается как задача принятия решений.

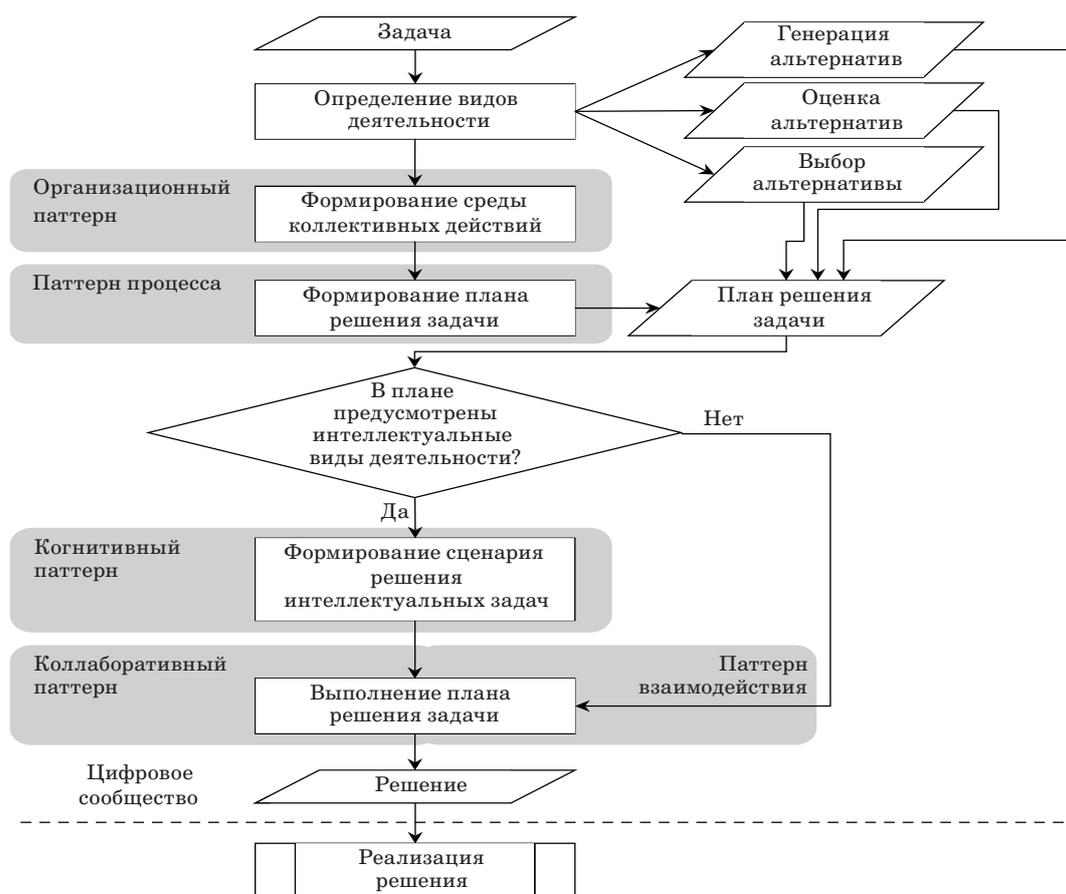
Обобщенная модель выполнения цифровым сообществом задачи принятия решений на основе использования паттернов коллективных действий

Обобщенная модель выполнения цифровым сообществом стоящей перед ним задачи как задачи принятия решений на основе использования паттернов коллективных действий является контекстно ориентированной. Контекстное представление информации соответствует ее представлению в паттернах коллективных действий. Благодаря этому отсутствует необходимость в дополнительной обработке информации при реализации предлагаемых паттернами решений, а единство терминологии упрощает взаимодействие участников коллективных действий.

В контексте представлена вся информация о текущей ситуации, включая информацию об имеющихся ресурсах (участниках коллективных действий и используемых ими инструментах), выполняемых участниками ролях, осуществляемых ими видах деятельности и задаче. Одной из характеристик задачи является ее статус в данный момент времени. Статус задачи может иметь значения: новая, намечена, запланирована, назначена, в работе, завершена. Совместно или по отдельности статус задачи и выполняемые виды деятельности определяют текущую цель коллективных действий, в соответствии с которой выбирается тот или иной паттерн. Паттерн предлагает типовое решение по достижению текущей цели.

Процесс выполнения задачи на основе паттернов коллективных действий описан в сценарии поддержки принятия решений [13]. В соответствии с этим сценарием задача при появлении имеет статус «Новая». Этот статус означает, что текущей целью является определение видов деятельности, требующихся для решения задачи. Поскольку задача решается как задача принятия решений, такими видами деятельности являются идентификация цели, генерация альтернатив, оценка альтернатив и выбор альтернативы (принятие решения) [14, 15].

После того как виды деятельности определены, задача приобретает статус «Намечена». Дальнейшая деятельность участников цифрового сообщества, нацеленная на выполнение задачи, поддерживается паттернами коллективных действий (рис. 2). Условия выбора этих паттернов приведены в табл. 1.



■ **Рис. 2.** Обобщенная модель выполнения задачи принятия решений на основе паттернов коллективных действий
 ■ **Fig. 2.** Generalized model of fulfilling decision-making problem based on collaboration patterns

■ **Таблица 1.** Условия выбора паттернов коллективных действий
 ■ **Table 1.** Conditions for choice of collaboration patterns

Предусловия	Паттерн	Цель	Проблема	Постусловия
Статус задачи: «Намечена»	Организационный	Формирование архитектуры среды коллективных действий	Определение множества компонентов среды коллективных действий	Архитектура среды коллективных действий Статус задачи: «Запланирована»
Статус задачи: «Запланирована»	Процесса	Формирование плана решения задачи	Планирование деятельности участников	План коллективных действий Статус задачи: «Назначена»
Статус задачи: «В работе» Характер вида деятельности: интеллектуальный	Когнитивный	Формирование плана решения интеллектуальной задачи	Организация процесса решения интеллектуальной задачи	Сценарий решения интеллектуальной задачи
Статус задачи: «В работе» Запрос на принятие решений	Коллаборативной инженерии	Установка правила (процедуры) коллективного принятия решений	Выбор и согласование правила коллективного принятия решений	Правило коллективного принятия решений
Статус задачи: «В работе» Запрос на взаимодействие	Взаимодействия	Формирование сценария взаимодействия участников	Определение инструментов и коммуникативных актов для взаимодействия	Сценарий взаимодействия участников

Сценарий решения цифровой сообществом задачи предоставления рекомендаций по конфигурации УДС умного города

Задача управления конфигурацией УДС умного города решается в рамках мероприятий по уменьшению количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Эта задача ставится программным агентом системы «умный город», который на основании анализа данных о ДТП на определенном участке дороги формирует перечень мест концентрации ДТП за отчетный год. Местом концентрации ДТП называется участок дороги, улицы, не превышающий 1000 метров вне населенного пункта или 200 метров в населенном пункте, либо пересечение дорог, улиц, где в течение отчетного года произошло три и более ДТП одного вида или пять и более ДТП независимо от их вида, в результате которых погибли или были ранены люди (Федеральный закон от 10.12.1995 № 196-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «О безопасности дорожного движения» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2025): 196-ФЗ. РФ, 1995, 45 с.). Например, за 2024 г. в Санкт-Петербурге выявлено 91 место концентрации ДТП, среди которых 10 выделены как места с самой высокой концентрацией однотипных ДТП (Комплексная схема организации дорожного движения Санкт-Петербурга. Санкт-Петербург, Правительство Санкт-Петербурга. Комитет по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга, 2024. 201 с.). Для принятия решения о проведении мероприятий в части реконфигурации технических средств организации дорожного движения, направленных на снижение количества ДТП, информация о данных местах передается в человеко-машинную среду коллективного интеллекта (ЧМСКИ) [16]. Данная среда оказывает технологическую поддержку, обеспечивая возможность взаимодействия участников, поддерживая их интероперабельность, а также предоставляя механизмы самоорганизации и средства для выполнения сложных вычислительных операций, которые реализуются агентами.

Человеко-машинная среда коллективного интеллекта формирует для участников цифрового сообщества задачу предоставления рекомендаций по конфигурации УДС умного города в конкретном месте концентрации ДТП. Эта задача решается в рамках регулярного обследования, направленного на выявление и устранение мест концентрации ДТП и чаще всего предусматривает реконфигурацию технических средств организации дорожного движения.

При поступлении задачи ей присваивается статус «Новая», и в соответствии с обобщенной

моделью выполнения задачи принятия решений (см. рис. 2) определяются виды деятельности, требующиеся для ее решения как задачи поддержки принятия решений. Такими видами являются генерация множества возможных рекомендаций по реконфигурации технических средств организации дорожного движения, направленных на снижение количества ДТП в заданном месте, оценка этих рекомендаций относительно критериев, принятых цифровым сообществом, и принятие решения о предоставляемой рекомендации по снижению количества ДТП. На интервале от момента поступления задачи до момента определения видов деятельности в контексте представлено значение статуса задачи – «Новая» и текущая цель – «Определение видов деятельности». После того как эти виды определены, в контексте появляются перечисленные выше виды деятельности.

По завершении определения видов деятельности задаче присваивается статус «Намечена», который передается в контекст. Благодаря единому представлению информации в контексте и паттернах наличие в контексте данного статуса сразу позволяет обратиться к организационному паттерну, т. е. инициировать деятельность по созданию архитектуры среды коллективных действий. Соответственно, в контексте появляется цель «Формирование архитектуры среды коллективных действий». В результате применения указанного паттерна определяются ресурсы среды, выполняемые средой функции и роли участников коллективных действий.

Ресурсами, включенными в архитектуру среды коллективных действий (рис. 3), являются участники цифрового сообщества (агенты и эксперты), а также ЧМСКИ, которая рассматривается как инструмент, обеспечивающий технологическую поддержку участников. Взаимодействие агентов с данной средой осуществляется через протокол REST API, а экспертов – через пользовательский веб-интерфейс.

Группа агентов включает в себя *аналитика происшествий* (предоставляет информацию о ДТП, произошедших в заданном месте, и анализирует карточки учета ДТП (Приложение А к Распоряжению Росавтодора № 853-р от 12 мая 2015 г. (ред. от 31.01.2017) «Об издании и применении ОДМ 218.6.015-2015 «Рекомендации по учету и анализу дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах Российской Федерации», 2017. 106 с.); множество *аналитиков контекста* (получают данные из погодного архива и системы контроля дорожных фондов (СКДФ)); *менеджера контекста* (осуществляет расширение контекста информацией из СКДФ о дороге, на которой расположено место концентрации ДТП, знаках, установленных в месте

концентрации ДТП, и погоде в момент каждого ДТП); *рекомендательного агента* (предлагает рекомендации мероприятий по снижению и профилактике аварийности); *предписывающего агента* (предлагает критерии оценки альтернатив, типовые регламенты решения задач, документы для ознакомления).

Группа экспертов включает в себя представителей исполнительных органов государственной власти различных уровней, ведомств, предприятий, учреждений, организаций, обеспечивающих безопасность дорожного движения. В рамках предлагаемого сценария в качестве экспертов рассматриваются представители рабочей группы Комиссии по обеспечению безопасности дорожного движения при губернаторе Санкт-Петербурга, в которую входят специалисты Управления ГИБДД ГУ МВД России по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области (*представитель ГИБДД*), Комитета по развитию транспортной инфраструктуры (*представитель администрации*), СПб ГКУ «Дирекция по организации дорожного движения Санкт-Петербурга» (*представитель ДОДД*).

Для участников коллективных действий определены следующие роли: *ЛПР* (лицо, принимающее решения), *аналитик* (занимается аналитическими исследованиями, систематизацией и обобщением информации и данных), *специалист по организации рабочего процесса* (занимается разработкой сценариев решения интеллектуальных задач), *помощник* (предоставляет

сервисы для эксперта) и *посредник* (осуществляет передачу информации в контекст). Участники коллективных действий могут выполнять одну или несколько из приведенных здесь ролей. Сами роли и распределение их между участниками на рис. 3 не показаны, так как назначение участника на роль осуществляется при планировании процесса решения задачи. Далее в тексте имена участников пишутся с прописной буквы, а названия выполняемых ими ролей – со строчной.

В множество функций, исполняемых средой коллективных действий, входят функции по выполнению видов деятельности, которые были определены для поступившей задачи (генерация множества возможных рекомендаций, оценка рекомендаций, принятие решения о предоставляемой рекомендации), взаимодействию участников и предоставлению информации.

Формирование архитектуры среды коллективных действий завершается тем, что ее компоненты отображаются в контексте, а задаче присваивается статус «Запланирована», который также передается в контекст. В соответствии с данным статусом участники переходят к разработке плана решения задачи, в контексте появляется цель «Формирование плана решения задачи». Поскольку формирование рекомендаций происходит в рамках регулярного (планового) обследования, для планирования деятельности участников *предписывающий агент* предлагает типовой план, ранее построенный при помощи



■ **Рис. 3.** Ресурсы среды коллективных действий
 ■ **Fig. 3.** Resources of collaboration environment

паттерна процесса и используемый для решения подобных задач в ЧМСКИ. Конкретизация типового плана применительно к сформированной архитектуре среды коллективных действий показана в табл. 2. Этот план передается в контекст. В таблице столбец с номером обозначает порядок вида деятельности в запланированной последовательности действий. Позиции «Взаимодействие» и «Изменение контекста» номеров не имеют, поскольку они могут потребоваться при выполнении любого вида деятельности.

После создания плана задаче присваивается статус «Назначена», участники коллективных действий приступают к его реализации, и статус задачи меняется на «В работе». Статусы задач и виды деятельности, которые участники выполняют по мере реализации плана, и их результаты, отображаются в контексте. Далее во избежание ненужного увеличения объема статьи в описании не указывается, что конкретный вид деятельности и полученный результат отображены в контексте, поскольку это и так понятно.

На этапе сбора информации о задаче (№ 1 в плане решения задачи (см. табл. 2)) *аналитик происшествий* предоставляет участникам координаты места ДТП, например пересечение набережной Обводного канала и Московского проспекта (рис. 4), и статистическую сводку за отчетный период (2023–2024 гг.) для исследования. Согласно предоставленной сводке, за этот период на данном участке произошло шесть ДТП с общим числом участников – 8. *Аналитик контекста* предоставляет дополнительную информацию о погоде во всех местах ДТП, типе и состоянии дорожного покрытия,



Тип ДТП:

- × столкновение
- наезд на пешехода
- наезд на велосипедиста

■ **Рис. 4.** Карта с визуализацией места концентрации ДТП

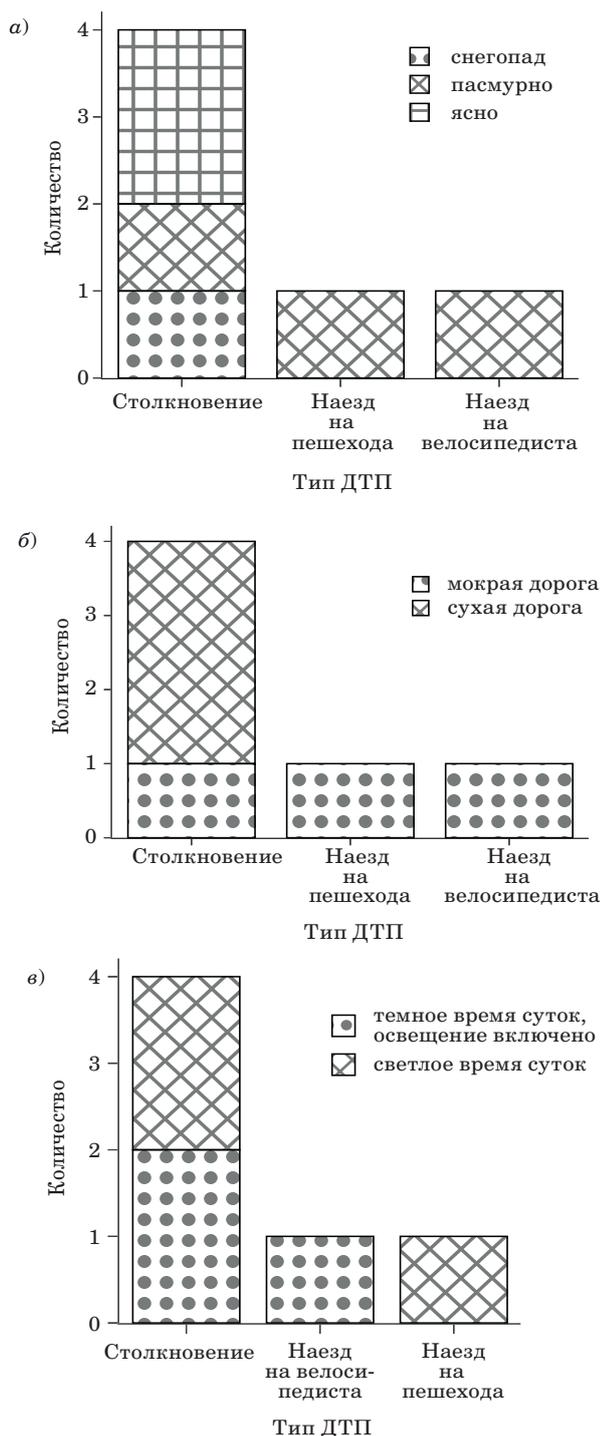
■ **Fig. 4.** Map visualizing a place of traffic accidents concentration

пропускной способности дороги. На основе этой информации проводится статистический анализ, результаты которого представлены гистограммами (рис. 5, а–в), свидетельствующими о том, что основным видом ДТП является столкновение, преимущественно в пасмурную погоду, в снегопад и в темное время суток, при этом искусственное освещение включено. Основными нарушителями являются водители

■ **Таблица 2.** План решения задачи управления конфигурацией УДС

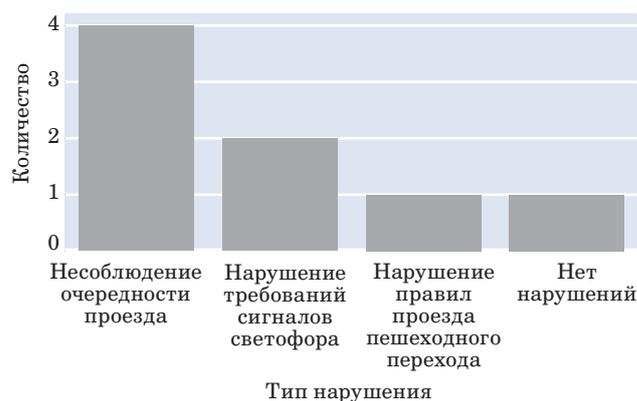
■ **Table 2.** Plan for solving problem of configuration management of street and road network

№	Вид деятельности	Роль	Участник	Инструмент
1	Сбор информации о задаче	Аналитик	Аналитик происшествий Аналитики контекста	ЧМСКИ, REST API
2	Генерация множества рекомендаций по снижению ДТП	Аналитик	Рекомендательный агент	ЧМСКИ, REST API
3	Оценка рекомендаций (интеллектуальная задача)	Специалист по организации рабочего процесса	Представитель администрации	ЧМСКИ, веб-интерфейс
		Помощник	Предписывающий агент	
		ЛПР	Эксперты	
4	Принятие решения	ЛПР	Эксперты	ЧМСКИ, веб-интерфейс
–	Взаимодействие	Инициатор Исполнитель	Все участники	ЧМСКИ, веб-интерфейс, REST API
–	Изменение контекста	Посредник	Менеджер контекста	ЧМСКИ, REST API



■ **Рис. 5.** Результаты статистической обработки информации о месте концентрации ДТП по типу погоды (а); по состоянию дороги (б); по типу освещения (в)
 ■ **Fig. 5.** Results of statistics processing information on place of traffic accidents concentration by weather type (a); by road conditions (b); by lighting type (в)

транспортных средств, а основными типами нарушений являются «несоблюдение очередности проезда» и «нарушение требований сигналов светофора» (рис. 6). Согласно данным СКДФ,



■ **Рис. 6.** Частота нарушений правил дорожного движения в месте концентрации ДТП
 ■ **Fig. 6.** Frequency of traffic violations in place of traffic accidents concentration

на этом участке пересекаются две дороги, одна из которых – набережная Обводного канала с пропускной способностью 302 400 автомобилей в сутки, среднесуточной интенсивностью движения 28 750 автомобилей в сутки, ограничением скорости 60 км/ч, асфальтобетонным покрытием, а другая – Московский проспект с пропускной способностью 368 871 автомобиль в сутки, среднесуточной интенсивностью движения 61 447 автомобилей в сутки, ограничением скорости 60 км/ч, асфальтобетонным покрытием. Состояние дорог соответствует нормативному.

После того как информация о задаче собрана, *рекомендательный агент* приступает к деятельности по генерации рекомендаций по снижению ДТП. Он пользуется «Методическими рекомендациями по выбору эффективных некапиталоемких мероприятий по снижению аварийности в местах концентрации ДТП на автомобильных дорогах общего пользования» (ОДМ 218.6.025–2017, Москва, 2020. 46 с.) и «Руководством по устранению и профилактике возникновения участков концентрации ДТП при эксплуатации автомобильных дорог» (ОДМ 218.4.004-2009, Москва, 2009. 94 с.). На основе этих документов агент предлагает несколько рекомендаций:

- а) пересмотр установленных дорожных знаков, установка дополнительных знаков, увеличивающих осведомленность водителей о схеме проезда перекрестка;
- б) изменение режима работы светофоров для разделения потоков пешеходов и встречных потоков автомобилей;
- в) установка камер для фото- и видеофиксации и автоматическая обработка нарушений.

Предлагаемые рекомендации подлежат оценке. В плане решения задачи управления конфигурацией УДС оценка рекомендаций определена как интеллектуальная задача, поэтому оценку

выполняют эксперты. Процесс решения интеллектуальной задачи начинается с создания плана ее решения. Такой план разрабатывается *представителем администрации* при поддержке *предписывающего агента*. Этот агент на основе когнитивного паттерна [17] предлагает рекомендуемую последовательность действий по решению задачи, а *представитель администрации* уточняет, изменяет и конкретизирует данную последовательность.

Предписывающий агент предложил приведенную далее очередность действий: 1) генерация (вид деятельности, результатом которой является множество предложений G , с которыми согласны все эксперты); 2) уточнение (вид деятельности, результат которой свидетельствует о том, что все эксперты адекватно понимают выдвинутые ими предложения); 3) сокращение (вид деятельности, результатом которой является множество предложений R , отобранных из множества G и представляющих, по мнению экспертов, интерес); 4) уточнение; 5) достижение консенсуса (вид деятельности, в процессе которой отслеживается количество экспертов, поддерживающих одно и то же предложение из множества R).

Представитель администрации отказывается от деятельности по уточнению, так как считает, что эксперты образуют малую группу, хорошо понимают друг друга, и необходимость в дополнительной деятельности по уточнению высказываний друг друга отсутствует. В результате он конкретизирует последовательность действий по решению задачи оценки рекомендаций следующим образом: 1) генерация – предоставление множества критериев для оценки; 2) достижение консенсуса – выбор критерия; 3) сокращение – выбор рекомендации относительно выбранного критерия. План рабочего процесса решения задачи оценки рекомендаций приведен в табл. 3. Роль *помощника* в этом плане выполняет *предписывающий агент*, который предоставляет экспертам множество критериев оценки.

В процессе реализации плана решения задачи по оценке рекомендаций эксперты выбирают критерий целесообразности. Деятельность,

связанная с выбором рекомендации (сокращением количества рекомендаций), соответствует деятельности по принятию решения. Для ее осуществления используется коллаборативный паттерн [18], который позволяет установить правило принятия решений на основе анализа контекста принятия решений и плюсов и минусов различных правил принятия решений.

Перед использованием коллаборативного паттерна определяется ответственный за выбор правила принятия решений, а участникам принятия решений разъясняется процедура выбора такого правила и объясняется процесс принятия решений в соответствии с правилами.

В рассматриваемом здесь примере ответственным за выбор правила принятия решений считается *представитель администрации*, поскольку именно администрация отвечает за продвижение рекомендаций, которые будут предложены цифровым сообществом. Перед началом процедуры выбора правила *предписывающий агент* предлагает *представителю администрации* и остальным экспертам для ознакомления документ, описывающий процедуру выбора правила принятия решений и процесс принятия решений в соответствии с правилами. В соответствии с паттерном ответственный за выбор правила принятия решений выбирает из множества правил правило, которое он считает подходящим, а затем согласовывает свой выбор с остальными участниками. После того как правило согласовано, оно становится правилом, которым участники пользуются при принятии решений.

Представитель администрации выбирает правило консенсуса. Контекст применения данного правила в паттерне описан как «состояние взаимного согласия между участниками, при котором интересы отдельных участников нацелены на удовлетворение интересов коллектива». В качестве плюсов данного правила паттерн указывает: правило укрепляет доверие; обеспечивает высокий уровень поддержки принятого решения и приверженности к нему; рассматривает последствия принятого решения; способствует обучению, так как требует внимательного слушания и изучения; повышает рациональность

■ **Таблица 3.** План рабочего процесса решения интеллектуальной задачи по оценке рекомендаций

■ **Table 3.** Plan of workflow for solving intellectual task on evaluation of recommendations

№	Вид деятельности	Цель	Роль	Участник	Инструмент
1	Генерация	Предоставление множества критериев оценки	Помощник	Предписывающий агент	ЧМСКИ, REST API
2	Достижение консенсуса	Выбор критерия, с которым согласна группа экспертов	ЛПР	Эксперты	ЧМСКИ, веб-интерфейс
3	Сокращение	Выбор рекомендации	ЛПР	Эксперты	ЧМСКИ, веб-интерфейс

принимаемого решения. Минусы правила: занимает много времени; участники принятия решений должны обладать опытом и знаниями в рассматриваемой области; качество решения может снизиться, если участники не располагают всей необходимой информацией.

Выбранное *представителем администрации* правило, его описание, плюсы и минусы были переданы остальным экспертам на предмет получения от них мнения, согласны они пользоваться правилом консенсуса при принятии решений или нет. Все эксперты выразили свое согласие. После чего они используют это правило при выборе рекомендации относительно критерия целесообразности из множества рекомендаций «а, б, в», которые были предложены *рекомендательным агентом*.

Относительно критерия целесообразности *представители ГИБДД и ДОДД* считают, что рекомендация «а» о пересмотре установленных дорожных знаков, установке дополнительных знаков, увеличивающих осведомленность водителей о схеме проезда перекрестка, нецелесообразна, так как в случае установки дополнительных знаков схема проезда усложнится относительно текущей, что увеличит количество столкновений при проезде перекрестка. Таким образом, данная рекомендация отклоняется.

Касательно рекомендаций «б» и «в» — изменение режима работы светофора и установка дополнительных устройств фото- и видеofиксации нарушений — *представители администрации и ГИБДД* решают, что имеет смысл рассматривать обе рекомендации (рис. 7). *Представитель администрации* предлагает внедрение в рассматриваемом месте системы «умный перекресток»,



■ **Рис. 7.** Предлагаемые места установки камер фото- и видеofиксации на рассматриваемом месте концентрации ДТП

■ **Fig. 7.** Proposed locations for installation of photo and video cameras at the considered place of traffic accidents concentration

которая обнаруживает транспорт с помощью заложенных в дорожное полотно индуктивных петлевых детекторов и управляет светофорами в адаптивном режиме. По мнению данного эксперта, установка такой системы в рассматриваемом месте наиболее целесообразна.

Остальные эксперты согласны с оценкой *представителя администрации*, и, таким образом, принимается рекомендация о внедрении системы «умный перекресток» с автоматической регулировкой режима работы светофора и фото- видеofиксацией нарушений.

При любом взаимодействии участников цифрового сообщества применяется паттерн взаимодействия. В таких случаях ЧМСКИ конкретизирует соответствующие элементы паттерна (последовательность элементарных взаимодействий участников (запрос/ответ)); контент, передаваемый при взаимодействии; роли участников взаимодействий и используемые средства коммуникации (инструменты), а также самих участников взаимодействия в связи с выполняемыми ими ролями. В рассматриваемом паттерне для участников определены две роли: *инициатор* взаимодействия и *исполнитель* (адресат взаимодействия). Инструментом взаимодействия является платформа ЧМСКИ.

Заключение

Рассмотрена проблема управления конфигурацией социотехнической системы на примере решения задачи управления конфигурацией улично-дорожной сети умного города. В результате исследований по проблеме предложены концептуальная модель паттернов коллективных действий, обобщенная модель выполнения задачи принятия решений на основе паттернов коллективных действий и сценарий решения цифровым сообществом задачи предоставления рекомендаций по изменению конфигурации УДС умного города.

Концептуальная модель паттернов коллективных действий является обобщением пяти видов паттернов, где каждый вид паттерна предлагает типовое решение для конкретной задачи, регулярно возникающей в процессе коллективных действий. Данная модель унифицирует концепты, которые присутствуют в спецификациях всех видов паттернов, благодаря чему упрощается обработка контекстной информации и взаимодействие участников цифрового сообщества.

Обобщенная модель выполнения задачи принятия решений на основе паттернов коллективных действий является моделью совместного решения любой прикладной задачи как задачи принятия решений. Она поддерживает кон-

текстный выбор паттернов в процессе коллективного решения задачи на основе соответствий между контекстной информацией и значениями предусловий использования паттернов, а также зависимостей между пред- и постусловиями применения паттернов.

Сценарий решения задачи предоставления рекомендаций по управлению конфигурацией УДС умного города реализован на примере решения задачи цифровым сообществом, которое состоит из рабочей группы Комиссии по обеспечению безопасности дорожного движения при администрации города и программных агентов и деятельность участников которого поддерживается платформой человеко-машинной среды

коллективного интеллекта. Сценарий демонстрирует применимость разработанных моделей к реальным условиям.

Финансовая поддержка

Исследование выполнено в рамках бюджетной темы FFZF-2025-0003 «Разработка теоретических и технологических основ анализа неструктурированных данных и многомодального взаимодействия пользователей, интеллектуальной поддержки принятия решений в цифровых сообществах».

Литература

1. Видясова Л. А. Концептуализация понятия «умный город»: социотехнический подход. *International Journal of Open Information Technologies*, 2017, т. 5, № 11, с. 52–57. EDN: XEOHNC. <http://injoit.org/index.php/j1/article/view/506/480> (дата обращения: 30.01.2025).
2. Сергеев С. Социотехнические системы с искусственным интеллектом: вопросы теории и методологии. *Институт психологии Российской академии наук. Организационная психология и психология труда*, 2022, вып. 7, № 1, с. 4–23. doi:10.38098/ipran.opwp_2022_22_1_001. <http://work-orgpsychology.ru/engine/documents/document750.pdf> (дата обращения: 30.06.2025).
3. Yaqoob I., Salah K., Jayarama R., Omar M. Metaverse applications in smart cities: Enabling technologies, opportunities, challenges, and future directions. *Internet of Things*, 2023, vol. 23, Article 100884. doi:10.1016/j.iot.2023.100884
4. Pandya S., Srivastava G., Jhaveri R., Babu M. R., Bhattacharya S., Maddikunta P. K. R., Mastorakis S., Piran Md. J., Gadekallu T. R. Federated learning for smart cities: A comprehensive survey. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2023, vol. 55, Article 102987. doi:10.1016/j.seta.2022.102987
5. *Digital Communities. Sustainability Directory*, 2024. <https://sustainability-directory.com/term/definition/digital-communities/> (дата обращения: 11.01.2025).
6. Xu J. Digital community management mobile information system based on edge computing. *Mobile Information Systems*, 2021, vol. 2021, iss. 8, pp. 1–11. doi:10.1155/2021/5842291
7. Tupayachi J., Xu H., Omitaomu O. A., Camur M. C., Sharmin A., Li X. Towards next-generation urban decision support systems through AI-powered construction of scientific ontology using large language models – a case in optimizing intermodal freight transportation. *Smart Cities*, 2024, vol. 7, no. 5, pp. 2392–2421. doi:10.3390/smartcities7050094
8. Kutty A. A., Kucukvar M., Onat N. C., Ayvaz B., Abdella G. M. Measuring sustainability, resilience and livability performance of European smart cities: A novel fuzzy expert-based multi-criteria decision support model. *Cities*, 2023, vol. 137, Article 104293. doi:10.1016/j.cities.2023.104293
9. Olaniyi O. O., Okunleye O. J., Olabanji S. O. Advancing data-driven decision-making in smart cities through big data analytics: A comprehensive review of existing literature. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 2023, vol. 42, no. 25, pp. 10–18. doi:10.9734/cjast/2023/v42i254181
10. Fan S., Li X., Zhao J. L. Collaboration process pattern approach to improving teamwork performance: A data mining-based methodology. *INFORMS Journal on Computing*, 2017, vol. 29, no. 3, pp. 438–456. doi:10.1287/ijoc.2016.0739
11. Richards D., Cowell-Butler J. Decisions within human-machine teaming: The introduction of decision strings. *2022 IEEE 3rd International Conference on Human-Machine Systems (ICHMS)*, IEEE, 2022, pp. 1–7. doi:10.1109/ICHMS56717.2022.9980668
12. Смирнов А. В., Левашова Т. В. Паттерны человеко-машинного сотрудничества в системах поддержки принятия решений. *Искусственный интеллект и принятие решений*, 2024, № 2, с. 3–17. doi:10.14357/20718594240201
13. Смирнов А. В., Левашова Т. В. Онтология паттернов человеко-машинного сотрудничества для поддержки принятия решений. *Онтология проектирования*, 2024, т. 14, № 3, с. 421–439. doi:10.18287/2223-9537-2024-14-3-421-439
14. Simon H. *The New Science of Decision-Making*. New York, Harper and Row, 1960. 50 p.
15. Simon H. Rational decision making in business organizations. *American Economic Association*, 1979, vol. 69, no. 4, pp. 493–513.
16. Смирнов А. В., Пономарев А. В., Шилов Н. Г., Левашова Т. В., Тесля Н. Н. Концепция построения коллаборативных систем поддержки принятия решений: подход и архитектура платформы. *Инфор-*

матика и автоматизация, 2024, вып. 23, № 4, с. 1139–1172. doi:10.15622/ia.23.4.8

17. Vreede G. J. De, Kolfshoten G. L., Briggs R. O. ThinkLets: a collaboration engineering pattern language. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 2006, vol. 25, no. 2/3, pp. 140–154. doi:10.1504/IJCAT.2006.009064

18. Gottesdiener E. Decide how to decide. *Software Development Magazine*, 2001, vol. 9, no. 1. <https://www.ebgconsulting.com/Pubs/Articles/DecideHowToDecide-Gottesdiener.pdf> (дата обращения: 11.01.2025).

UDC 004.89:004.048+004.5

doi:10.31799/1684-8853-2025-4-13-25

EDN: ZOZUHI

Management of smart city road network configuration: a scenario based on collaboration patterns of decision-making participants

A. V. Smirnov^a, Dr. Sc., Tech., Professor, orcid.org/0000-0001-8364-073X

T. V. Levashova^a, PhD, Tech., Senior Researcher, orcid.org/0000-0002-1962-7044, tatiana.levashova@iias.spb.su

N. N. Teslya^a, PhD, Tech., Senior Researcher, orcid.org/0000-0003-0619-8620

^aSt. Petersburg Federal Research Center of the RAS, 39, 14th Line, 199178, Saint-Petersburg, Russian Federation

Introduction: In the process of joint activities of participants of digital communities consisting of people and software agents, repetitive problems often arise. To organize purposeful joint activities of the participants collaboration patterns that provide reusable solutions for recurring problems can be used. **Purpose:** To develop models for the effective organization of purposeful activities of participants of digital communities based on the collaborative patterns in the process of jointly solving the problem of management of a sociotechnical system and to propose a scenario for making recommendations on the management of a configuration of the smart city road network as a kind of sociotechnical system. **Results:** We develop a conceptual model of a collaboration pattern which facilitates contextual information processing and interactions of the participants of a digital community due to the homogeneous representation of information used in the specifications of patterns of different types. We further develop a generalized decision-making model based on collaboration patterns which supports the choice of patterns in the process of joint activities within digital participation. We propose a scenario for making recommendations on managing the configuration of a smart city street and road network by the participants of a digital community which confirms the adequacy of the developed models. **Practical relevance:** The research results contribute to the problem of the management of sociotechnical system configurations. They provide models for the effective organization of purposeful joint activities of participants of digital communities in the process of their collaborative solving the configuration management problem as a decision-making problem. These results can be used, for instance, to make recommendations on the configuration management for such systems as a smart city, an airport and others.

Keywords – smart city, sociotechnical system, digital community, street and road network, decision support, collaboration patterns.

For citation: Smirnov A. V., Levashova T. V., Teslya N. N. Management of smart city road network configuration: a scenario based on collaboration patterns of decision-making participants. *Informatsionno-upravliaushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2025, no. 4, pp. 13–25 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2025-4-13-25, EDN: ZOZUHI

Financial support

The research is due to the State Research Project FFZF-2025-0003 “The development of theoretical and technological foundations for the analysis of unstructured data and multimodal user interactions, and for intellectual decision support in digital communities”.

References

- Vidiasova L. Conceptualization of the “Smart City” concept: Socio-technical approach. *International Journal of Open Information Technologies*, 2017, vol. 5, no. 11, pp. 52–57. Available at: <http://injoit.org/index.php/j1/article/view/506/480> (accessed 30 January 2025) (In Russian).
- Sergeev S. Sociotechnical systems with artificial intelligence: Questions of theory and methodology. *Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences. Organizational Psychology and Labor Psychology*, 2022, vol. 7, no. 1, pp. 4–23. doi:10.38098/ipran.opwp_2022_22_1_001. Available at: <http://work-org-psychology.ru/engine/documents/document750.pdf> (accessed 30 January 2025) (In Russian).
- Yaqoob I., Salah K., Jayarama R., Omar M. Metaverse applications in smart cities: Enabling technologies, opportunities, challenges, and future directions. *Internet of Things*, 2023, vol. 23, Article 100884. doi:10.1016/j.iot.2023.100884
- Pandya S., Srivastava G., Jhaveri R., Babu M. R., Bhat-tacharya S., Maddikunta P.K.R., Mastorakis S., Piran Md. J., Gadekallu T. R. Federated learning for smart cities: a comprehensive survey. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2023, vol. 55, Article 102987. doi:10.1016/j.seta.2022.102987
- Digital Communities. Sustainability Directory*, 2024. Available at: <https://sustainability-directory.com/term/definition/digital-communities/> (accessed 11 January 2025).
- Xu J. Digital community management mobile information system based on edge computing. *Mobile Information Systems*, 2021, vol. 2021, iss. 8, pp. 1–11. doi:10.1155/2021/5842291
- Tupayachi J., Xu H., Omitaomu O. A., Camur M. C., Sharmin A., Li X. Towards next-generation urban decision support systems through AI-powered construction of scientific ontology using large language models – a case in optimizing intermodal freight transportation. *Smart Cities*, 2024, vol. 7, no. 5, pp. 2392–2421. doi:10.3390/smartsities7050094
- Kutty A. A., Kucukvar M., Onat N. C., Ayvaz B., Abdella G. M. Measuring sustainability, resilience and livability performance of European smart cities: A novel fuzzy expert-based multi-criteria decision support model. *Cities*, 2023, vol. 137, Article 104293. doi:10.1016/j.cities.2023.104293
- Olaniyi O. O., Okunleye O. J., Olabanji S. O. Advancing data-driven decision-making in smart cities through big data analytics: A comprehensive review of existing literature. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 2023, vol. 42, no. 25, pp. 10–18. doi:10.9734/cjast/2023/v42i254181

10. Fan S., Li X., Zhao J. L. Collaboration process pattern approach to improving teamwork performance: A data mining-based methodology. *INFORMS Journal on Computing*, 2017, vol. 29, no. 3, pp. 438–456. doi:10.1287/ijoc.2016.0739
11. Richards D., Cowell-Butler J. Decisions within human-machine teaming: The introduction of decision strings. *2022 IEEE 3rd International Conference on Human-Machine Systems (ICHMS)*, IEEE, 2022, pp. 1–7. doi:10.1109/ICHMS56717.2022.9980668
12. Smirnov A., Levashova T. Patterns of human-machine collaboration in decision support systems. *Scientific and Technical Information Processing*, 2024, no. 2, pp. 3–17 (In Russian). doi:10.14357/20718594240201
13. Smirnov A., Levashova T. Ontology of human-machine collaboration patterns for decision support. *Ontology of Designing*, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 421–439 (In Russian). doi:10.18287/2223-9537-2024-14-3-421-439
14. Simon H. *The New Science of Decision-Making*. New York, Harper and Row, 1960. 50 p.
15. Simon H. Rational decision making in business organizations. *American Economic Association*, 1979, vol. 69, no. 4, pp. 493–513.
16. Smirnov A., Ponomarev A., Shilov N., Levashova T., Teslya N. A conception of collaborative decision support systems: Approach and platform architecture. *Informatics and Automation*, 2024, vol. 23, no. 4, pp. 1139–1172 (In Russian). doi:10.15622/ia.23.4.8
17. Vreede G. J. De, Kolfshoten G. L., Briggs R. O. ThinkLets: A collaboration engineering pattern language. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 2006, vol. 25, no. 2/3, pp. 140–154. doi:10.1504/IJCAT.2006.009064
18. Gottesdiener E. Decide how to decide. *Software Development Magazine*, 2001, vol. 9, no. 1. Available at: <https://www.ebgconsulting.com/Pubs/Articles/DecideHowToDecide-Gottesdiener.pdf> (accessed 11 January 2025).

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Научная электронная библиотека (НЭБ) продолжает работу по реализации проекта SCIENCE INDEX. После того как Вы регистрируетесь на сайте НЭБ (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>), будет создана Ваша личная страничка, содержание которой составят не только Ваши персональные данные, но и перечень всех Ваших печатных трудов, имеющих в базе данных НЭБ, включая диссертации, патенты и тезисы к конференциям, а также сравнительные индексы цитирования: РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), h (индекс Хирша) от Web of Science и h от Scopus. После создания базового варианта Вашей персональной страницы Вы получите код доступа, который позволит Вам редактировать информацию, помогая создавать максимально объективную картину Вашей научной активности и цитирования Ваших трудов.