

УДК 004.942

DOI: 10.46548/21vek-2022-1158-0004

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

© Автор(ы) 2022

SPIN-код: 7198-5521

AuthorID: 415365

ORCID: 0000-0002-7495-1090

ScopusID: 57204969256

**ПРОКОФЬЕВ Олег Владимирович**, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Информационные технологии и системы»,

*Пензенский государственный технологический университет*

(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: Prokof\_ow@mail.ru)

SPIN-код: 2207-0367

AuthorID: 740405

ORCID: 0000-0001-6943-0381

**БАУСОВА Зоя Ивановна**, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Информационно-вычислительные системы»,

*Пензенский государственный университет*

(440026, Россия, Пенза, улица Красная, 40, e-mail: bausovazoya@mail.ru)

**Аннотация.** Интегральные системы безопасности следующего поколения обеспечат лучшую защиту от дорожно-транспортных происшествий за счет взаимосвязанных датчиков и исполнительных механизмов обеспечения активной и пассивной безопасности. Ряд технических возможностей будет использоваться для смягчения последствий столкновений, и если их невозможно избежать, они, по крайней мере, уменьшат их серьезность. Становится важным взаимодействие между ключевыми технологическими областями для целостного подхода к проектированию и поддержке принятия решений по интегральным системам безопасности. Во-первых, нужны систематизация и анализ основных проблем проектирования эффективных систем поддержки принятия решений по управлению транспортными средствами и связанных с ними задач разработки программного обеспечения. Во-вторых, новые решения в области анализа данных, предоставляемых датчиками должны быть использованы в этой системе. В-третьих, в последнее время взрывной рост объемов данных о трафике побудил разработчиков создавать модели с большими данными для лучшего принятия решений. Системы для работы с большими данными обрабатывают и анализируют данные, собранные из множества разнородных источников, которые не могут быть обработаны традиционными технологиями. Возникает задача динамической маршрутизации транспортных средств, которая может стать серьезным препятствием при управлении транспортным средством, в том числе, при реализации беспилотных технологий.

**Ключевые слова:** системы поддержки принятия решений, безопасность на транспорте, сенсорные системы, большие данные.

## SAFETY IN TRANSPORT DECISION SUPPORT SYSTEMS

© The Author(s) 2022

**PROKOFIEV Oleg Vladimirovich**, candidate of technical sciences,

associate professor of the department of Information Technologies and Systems

*Penza State Technological University*

(440039, Russia, Penza, BaydukovProyezd / Gagarin Street, 1a/11, e-mail: Prokof\_ow@mail.ru)

**BAUSOVA Zoya Ivanovna**, candidate of technical sciences,

associate professor of the department of Information and Computing Systems,

*Penza State University*

(440026, Russia, Penza, Krasnaya Street, 40, e-mail: bausovazoya@mail.ru)

**Abstract.** The next generation of integrated safety systems will provide better protection against traffic accidents through interconnected sensors and actuators for active and passive safety. A number of technical options will be used to mitigate the effects of collisions, and if they cannot be avoided, they will at least reduce their severity. Interaction between key technology areas is becoming important for a holistic approach to design and decision support for integrated security systems. Firstly, it is necessary to systematize and analyze the main problems of designing effective decision support systems for driving vehicles and related software development tasks. Secondly, new solutions in the field of data analysis provided by sensors should be used in this system. Third, the recent explosion in traffic data has prompted developers to create big data models for better decision making. Big data systems process and analyze data collected from many heterogeneous sources that cannot be processed by traditional technologies. The problem of dynamic vehicle routing arises, which can become a serious obstacle in driving a vehicle, including the implementation of unmanned

technologies.

**Keywords:** decision support systems, transport safety, sensor systems, big data.

*Для цитирования:* Прокофьев О.В. Обеспечение безопасности в транспортных системах поддержки принятия решений / О.В. Прокофьев, З.И. Баусова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 2(58). – С. 26-31. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1158-0004.

**Введение.** Интегральные системы безопасности (*Integral Safety Systems, ISS*) сочетают пассивную безопасность с системами активной безопасности. В первых используются как конструктивные средства, так и подсистемы, использующие бортовые данные, например, от датчиков ускорения и датчиков отклонения от курса, как в известных электронных системах стабилизации. С другой стороны, системы активной безопасности в основном полагаются на динамические данные, получаемые датчиками из окружающей среды автомобиля. Типичным случаем активной безопасности являются нынешние системы помощи водителю (*Advanced Driver Assistance Systems, ADAS*) – системы поддержки принятия решений, предназначенные для выявления критических ситуаций вождения, предупреждений для водителя. *ADAS* основаны на динамических данных и сенсорных системах для обнаружения и классификации объектов, а также для отслеживания расстояния до цели. Комбинация систем обоих типов повысит общую безопасность движения и в то же время снизит весомость негативных воздействий и расход топлива по сравнению с вариантом, в котором использовались бы системы одного типа. Таким же способом соединения пассивных и активных систем безопасности можно снизить тяжесть аварий и их последствий. Эта интеграция может быть реализована за счет сочетания последних достижений в трех различных областях: моделирования гибридных систем безопасности, анализа данных датчиков и поддержки принятия решений для управления транспортным средством. Комплексный подход к проектированию транспортных информационных систем, использующий достижения различных наук, позволит создать системы поддержки принятия решений (*Decision Support System, DSS*) нового поколения. Моделирование уже давно рассматривается автомобильной промышленностью как экономически целесообразное средство проверки алгоритмических реализаций систем безопасности.

**Методология.** Проектирование и разработка *ISS* сопряжены со специфическими проблемами. Анализ данных, собираемых датчиками, относится к современным методам и системным архитектурам для обработки огромного количества разнородных данных. Это не может не потребовать использования технологий для больших данных. Разработки в области систем поддержки принятия решений и, конкретно, проблемы проектирования логического компонента принятия решений для *ISS* также должны привлечь внимание разработчиков. Поэтому целью работы стала формулировка принципов проектирования транспортных *DSS* на основе научного междисци-

плинарного подхода, расширяющих функциональные возможности и обеспечивающих безопасность традиционных и новых видов транспорта. Основной проблемой *ISS* является их функциональная зависимость от неточных и изменчивых данных из окружающей среды автомобиля, которые воспринимаются датчиками, такими как камеры, радары или лазерные сканеры. Проверка функциональности с использованием набора всех возможных ситуаций только на полигоне или на дорогах общего пользования недостаточна с точки зрения воспроизводимости и точности. Однако это нецелесообразно с точки зрения использования экономических ресурсов и поэтому производители автомобильного оборудования используют различные подходы, основанные на моделировании, при проектировании и разработке систем, чтобы экспериментировать и проверять свои алгоритмические реализации. Хотя их полезное использование, очевидно, зависит от качества моделей окружения системы, бортовых датчиков и исполнительных механизмов системы, преимущество их использования проявляется на нескольких этапах разработки [1]. Моделирование помогает анализировать и ограничивать исследования проектного пространства, например, для идентификации подходящего датчика или определения его монтажного положения, ориентации для достижения наилучшей эффективности в предполагаемом наборе вариантов использования. После запуска производства следующего поколения транспортных средств упрощения и допущения относительно моделей маневрирования других участников дорожного движения могут быть скорректированы за счет ввода экспериментальных данных обратно в модель среды моделирования. Это представляет особый интерес для срока службы датчиков, которые могут быть заменены, в то время как части системы программного обеспечения остаются неизменными. Другим примером является обратная совместимость протоколов связи, которая становится все более и более важной в отношении систем, которые полагаются на связь между транспортными средствами и связь между транспортными средствами и дорожной инфраструктурой для реализации функций комфорта или безопасности.

Симуляционные подходы при проектировании и разработке *ISS* могут быть реализованы с обязательным условием решения ряда задач. Во-первых, выбор системы моделирования, которая будет использоваться при проектировании и разработке, напрямую зависит от интересующих вопросов, на которые необходимо получить ответы. Таким образом, в обозримом будущем не будет единой или объединяющей системы моделирования, и, таким образом, различные и специ-

ализированные модели необходимо координировать и интегрировать для получения требуемых данных. Например, при моделировании проверки системы предупреждения о столкновении с пешеходами не требуется моделировать потоки воздуха в пассажирском салоне. Таким образом, для управления процессом интеграции потребуются соответствующие подходы в отношении разработки программного обеспечения. Во-вторых, польза от использования симуляционных подходов при проектировании и разработке критических с точки зрения безопасности или построения *ADAS* напрямую зависит от качества моделей для датчиков и окружающей среды транспортного средства. Таким образом, произвольно выбранных моделей шума для искусственного снижения идеального качества смоделированных данных датчика недостаточно и вместо этого требуются более совершенные модели свойств материалов окружающей среды для более точного моделирования характеристик обнаружения радиолокационной системы. Кроме того, освещение и погодные условия также должны быть смоделированы соответствующим образом, чтобы анализировать поведение транспортного средства в различных условиях окружающей среды для заданного набора дорожных ситуаций. Вследствие перечисленных этапов моделирование генерирует все более растущий объем данных, которые необходимо проанализировать, чтобы выявить скрытые взаимосвязи, которые могут быть полезны при проверке системы. Таким образом, необходимы методы агрегирования этих данных для получения быстрого обзора качества программного обеспечения сложной встроенной системы в целом, как описано в [1]. Должны быть разработаны и применены подходы к поиску и раскрытию скрытых связей внутри образовавшихся таким образом больших данных. Современный вариант использования автомобиля как простого средства мобильности оказывает значительное влияние на средние профили использования транспортных средств, которые играют важную роль при общем проектировании и выборе параметров систем управления энергопотреблением.

**Результаты.** Проблемы, связанные с огромным объемом и разнородностью данных, которые необходимо обрабатывать и анализировать для проектирования и разработки *ADAS*, не могут быть решены обычными статистическими методами. В целом, существует потребность в универсальных, сложных и масштабируемых платформах для поддержки извлечения информации из необработанных данных. Эти структуры должны реализовывать сочетание быстрых алгоритмов и интеллектуальных методов для извлечения информации из данных и представления ее в формах, способствующих принятию решений. Возникает необходимость одновременного применения мультидисциплинарных методологий в отношении анализа больших данных. Для систем безопасности важно разработать и применить методы статистической идентификации и обнаружения сложных событий, то есть событий, которые обобщают, представляют или обо-

значают наборы простых событий. Сложные события имеют решающее значение для систем безопасности, так как, большое количество простых и, казалось бы, некоррелированных и несинхронизированных простых событий может привести к аварийным ситуациям и даже к авариям. Сложные события не могут быть обнаружены с помощью обычного статистического анализа и существует потребность в комбинированных алгоритмических и интеллектуальных методах их идентификации. Связанная область исследований известна как прогнозирование и обработка сложных событий (*Complex Event Prediction and Processing, CEPP*) [2].

Сложные события представлены структурами данных, которые содержат не только сведения о каждом событии-компоненте, но и отношения между ними по времени, причинно-следственные связи и т. д. Формальное описание события с помощью переменных и реляционных операторов формирует шаблон события (ключевое понятие в *CEPP*) и включает в себя правила для агрегирования, фильтрации и сопоставления событий низкого уровня в сочетании с возможностями для создания новых событий более высокого уровня [3]. В случае систем безопасности *CEPP* можно использовать для объединения в моделях данных об окружающей среде и транспортных средствах, которые потенциально могут привести к различным непредвиденным ситуациям. В целом аналитика данных в рамках *CEPP* полезна для совершенствования транспортных *DSS*. Идентификация и прогнозирование шаблонов в потоках данных включает использование передовых многомерных статистических методологий и алгоритмов интеллектуального анализа данных, таких как визуальная аналитика, схемы выборки, тесты множественных сравнений, временные ряды, методы сжатия данных, методы классификации и кластеризации, правила ассоциации, оптимизация, алгоритмы и продвинутое вероятностные, а также стохастические причинно-следственные модели, такие как байесовские сети и модели структурных уравнений.

Комплексная платформа для системы безопасности, основанная на анализе данных датчиков и комплексной обработке событий, должна включать три основных компонента [4]: компонент мониторинга, отвечающий за представление событий, наблюдение и составление событий; компонент передачи, отвечающий за уведомление о событии; реагирующий компонент, отвечающий за инициирование множества действий на основе предопределенных правил. Таким образом, для систем безопасности, в которых создаются непрерывные потоки пользовательских данных, первым требованием является эффективный мониторинг, который может быть основан на методах формирования выборки, методах уменьшения размерности и распознавании сложных событий с помощью методов сопоставления с образцом. Требования к уведомлению могут основываться на методах кластеризации и классификации или даже на правилах ассоциации. В целом аналитика данных может значительно

улучшить функциональность и производительность систем безопасности. Как показано в [5], обнаружение шаблонов в современных системах должно быть запрограммировано с учетом деталей конкретных шаблонов, которые необходимо обнаружить. Распространено предположение, что разработчики точно знают, что представляют собой эти шаблоны при разработке приложения, и что шаблоны составляют часть спецификаций приложения. Однако в таких случаях, как нежелательные ситуации, которые система безопасности должна диагностировать и предотвращать, разработчики вряд ли точно знают, как может выглядеть критическое событие, при первом проектировании приложения. В таких случаях статистические методы наряду с методами машинного обучения могут использоваться для изучения исторических событий и обучения распознаванию новых закономерностей.

Еще одним очень важным применением анализа данных является непрерывный контроль качества системы. Передовые статистические методы и быстрые алгоритмы необходимы для мониторинга и самонастройки всей системы. Следовательно, аналитика данных может помочь выявить неисправности отдельных датчиков или даже всей системы и, более того, могут проверить точность и эффективность систем поддержки принятия решений, получив от них обратную связь. Компонент контроля качества, по сути, обеспечивает интеллектуальность системы и приводит к действиям по самокоррекции и самосовершенствованию. Использование статистических методов и методов интеллектуального анализа данных ограничено конкретными данными из определенных источников в зависимости от предметной области. Сегодня существует несколько мощных бесплатных программных инструментов с открытым исходным кодом, таких как статистический язык R [6], язык разметки прогнозирующих моделей [7] (*Predictive Model Markup Language, PMML*), проекты стандартов *Data Mining Group* для статистических моделей и моделей интеллектуального анализа данных [8], платформа *KNIME* [9] для анализа данных, проект по масштабируемому машинному обучению и интеллектуальному анализу данных *Apache Mahout* [10], проект динамической маршрутизации транспортных средств *Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP)* [11]. Эти инструменты дают возможность комбинировать широкий спектр статистических методологий и моделей, способных взаимодействовать для обработки массивных данных из разнородных источников и получения данных для системы поддержки принятия решений [12].

**Обсуждение.** *DSS* для управления транспортными средствами в настоящее время являются одним из основных и ключевых компонентов большинства интеллектуальных программных решений. Их назначение состоит в том, чтобы помочь лицам, принимающим решения, и экспертам в предметной области, предоставляя альтернативные решения с учетом ситуации. Такой аспект также должен включать алгоритмы обучения, чтобы повысить качество решений. *DSS* мо-

гут управляться моделью, коммуникацией, данными, документами или знаниями [13], предоставляя опыт решения проблем, сохраненный в виде фактов, правил или подобных форм. Производительность *DSS* зависит от различных факторов, таких как качество и эффективность входных данных, алгоритмы принятия решений и предоставленная поддержка для пересмотра суждений. В связи с этим для *ISS* необходимо очищать данные от шумов и собирать данные датчиков таким образом, чтобы их можно было должным образом визуализировать для компонентов, принимающих решения. Для компьютеризированных *DSS* ключевой вопрос заключается в том, как представить информацию о ситуации [14]. Эти знания касаются основных технических и экологических аспектов, а также субъективных, индивидуальных знаний и предпочтений лиц, принимающих решения. Как показано на рисунке 1, компонент поддержки принятия решений *ISS* может быть реализован на двух основных уровнях: уровне событий и уровне принятия решений. С помощью рассуждений, основанных на прецедентах, система идентифицирует похожие прецеденты в хранилище событий, чтобы предоставить необходимую информацию для принятия соответствующих решений в отношении текущей ситуации. Ключевой функцией слоя событий является компонент измерения шаблона подобия. С помощью алгоритма машинного обучения шаблон подобия позволяет повысить точность измерений подобия на основе цикла обратной связи с системой альтернативных решений. «Оценка решений» и «Проверка суждений» на уровне принятия решений также играют важную роль в повышении производительности и обучении системы принятию более эффективных решений.

В качестве компонент *DSS* присутствуют две базы данных, а именно репозиторий событий и база решений. Репозиторий событий состоит из исторических данных о событиях. База данных о решениях содержит окончательные решения и пересмотренные решения для конкретных ситуаций. В компоненте моделирования решений необходимо учитывать различные критерии, такие как предпочтения (например, осведомленность о ситуации), альтернативы решения, данные датчиков и индикаторы оценки решения. Одно из возможных применений для собранных данных с датчиков в *ISS* – это развертывание облачных сервисов [15].

Строгий дизайн является краеугольным камнем на пути к внедрению надежных и оптимизированных *ISS*. Большинство усилий по повышению надежности обычно приводят к неоптимальному использованию ресурсов системы. Строгие методы проектирования позволяют сбалансировать противоречивые интересы надежности и оптимальности. Более того, в *ISS* человеческий фактор играет центральную роль в поведении системы: его реакции подразумевают изменения состояния в поведении аппарата, которые учитываются при автономном функционировании *ISS* [16].

В [17] автор представляет строгий дизайн системы как формальный и подотчетный процесс, основанный



на модели, ведущий от требований к правильной реализации системы. Подотчетность относится к возможности утверждать, какие из системных требований удовлетворены, а какие могут не быть удовлетворены. Автор рассматривает основные характеристики успешных методов строгого проектирования систем подлинного реального времени и микросхем для автомобильной промышленности. Успех этих методов объясняется последовательными и подотчетными потоками проектирования, а также широким использованием архитектур и правил проектирования, которые позволяют создавать правильные конструкции, зависящие от реакции человека и окружающей среды автомобиля. С этой целью автор опирается на структуру компонентов Поведение, Взаимодействие, Приоритет (*Behaviour, Interaction, Priority, BIP*) [18] для

формализации проектирования смешанных интерактивных аппаратно-программных систем, поведение которых определяется явлениями из окружающей среды. *BIP* – это средство реализации четырех ключевых инженерных принципов, а именно разделения задач, построения на основе компонентов, семантической согласованности и правильности построения. В «строгом» поточном проектировании, в таком как *BIP*, человеческая реакция в функциях поддержки водителя *ISS* будет предусмотрена в соответствующих моделях взаимодействия человека и машины, которые будут объединены с моделями гибридных систем [19] для транспортного средства. В [16] авторы обсуждают причинно-следственный цикл в расширенных функциях поддержки водителя, которые можно формально представить, как показано на рисунке 2.

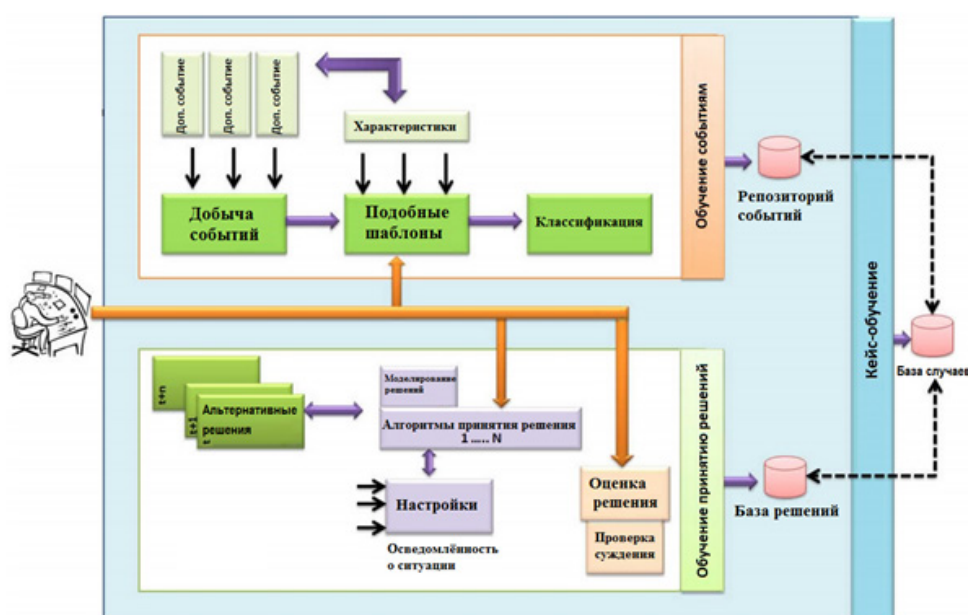


Рисунок 1 – Структура компонента принятия решений

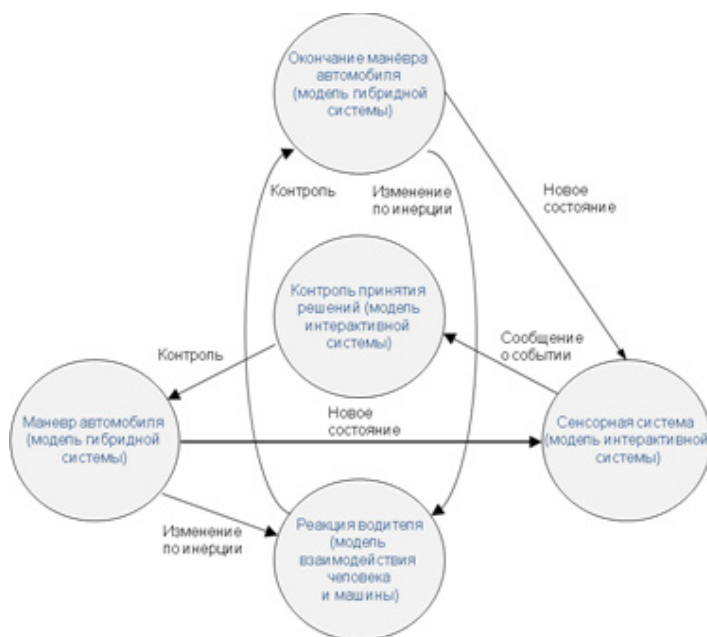


Рисунок 2 – Моделирование функций поддержки решений водителя

Они также указывают на важность выработки одинаковых действий контролируемым транспортным средством в идентичных ситуациях, так как любое отклонение от этого принципа может вызвать нежелательную реакцию водителя. При наличии этого и адекватной формальной модели поведения человека должна быть предусмотрена возможность обнаружения или доказательства отсутствия ошибок, возникающих при взаимодействии *ISS* и водителя. Такой анализ, вероятно, приведет к усовершенствованию проекта для установления эффективного баланса между надежностью и оптимальным использованием ресурсов. Продолжением развития такого рода моделей человеческого поведения является работа, описанная в [20]. В этой работе авторы описывают методологию проверки, обнаруживающую сбои в работе интерактивных систем, вызванные действиями человека, которые можно рассматривать как когнитивные ошибки.

**Выводы.** Комплексный подход к созданию безопасного транспорта на основе *DSS* требует ряда решений в проекте.

1. «Строгий» системный дизайн на основе моделей является основой того, чтобы справиться с неоднородностью и высокой сложностью подсистем *ISS*, а также предпосылкой для получения надежных и оптимизированных реализаций.

2. Формальные модели для гибридных систем и описания интерфейса человека и машины позволяют выявить ограничения "строгих" методов проектирования.

3. Использование программной архитектуры анализа больших данных для решения динамических задач оптимизации *DVRP* определяет перспективу развития *DSS*, предоставляя возможность минимизации общего расстояния и расхода ресурсов.

Внедрение принципов проектирования безопасных и экономичных транспортных средств послужит развитию новых поколений отечественных автомобилей [21].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Berger, C., Block, D., Hons, C., Kühnel, S., Rumpe, B., Leschke, A., and Strutz, T. Meta-Metrics for Simulations in Software Engineering on the Example of Integral Safety Systems. 25 Aug 2014. Retrieved from <https://doi.org/10.48550/arXiv.1408.5691>.
2. Fulop, L., Fülöp, O., Tóth, G., Vidacs, L., Beszédes, Á., Demeter, H., Farkas, L. (2012). Predictive Complex Event Processing: A conceptual framework for combining Complex Event Processing and Predictive Analytics. ACM International Conference Proceeding Series. DOI 10.1145/2371316.2371323.
3. Grez, A., Riveros, C., Ugarte, M., (2017). Foundations of Complex Event Processing. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/319898832\\_Foundations\\_of\\_Complex\\_Event\\_Processing](https://www.researchgate.net/publication/319898832_Foundations_of_Complex_Event_Processing).
4. Event-driven Architecture. [Электронный ресурс] URL: <http://exiatec.com/capabilities/event-driven-architecture/> (дата обращения: 30.04.2022).
5. Etzion, O., Niblett, P. Event Processing in Action. Manning Publications Co., 2010, pages 325.
6. The R Project for Statistical Computing. [Электронный ресурс] URL: <https://www.r-project.org/> (дата обращения: 30.04.2022).
7. Predictive Model Markup Language. [Электронный ресурс] URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Predictive\\_Model\\_Markup\\_Language](https://en.wikipedia.org/wiki/Predictive_Model_Markup_Language) (дата обращения: 30.04.2022).

Markup Language (дата обращения: 30.04.2022).

8. Data Mining Group. [Электронный ресурс] URL: <https://dmg.org/> (дата обращения: 30.04.2022).

9. Berthold, M. R., Cebron, N., Dill, F., Gabriel, T.R., Koetter, T., Meinl, T., Ohl, P., Thiel, K., Wiswedel B. KNIME - the Konstanz information miner: version 2.0 and beyond. ACM SIGKDD Explorations Newsletter Volume 11, Issue 1, June 2009, pp. 26-31 <https://doi.org/10.1145/1656274.1656280>.

10. The Apache Software Foundation. [Электронный ресурс] URL: <http://people.apache.org/~isabel/content/overview.html> (дата обращения: 30.04.2022).

11. Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., Medaglia, A. (2013). A review of dynamic vehicle routing problems. European Journal of Operational Research. 225. 1–11. 10.1016/j.ejor.2012.08.015.

12. Williams, G. J. (2011). Data Mining with Rattle and R: The Art of Excavating Data for Knowledge Discovery. Use R! series. Springer. <http://www.amazon.com/gp/product/1441998896>. 13. 8 Decision Support System Examples To Guide Decision-Making (2022). [Электронный ресурс] URL: <https://www.indeed.com/career-advice/career-development/decision-support-system-examples> (дата обращения: 30.04.2022).

13. Yang, Y. (2007). A framework for decision support systems adapted to uncertain knowledge. Computer Science. <https://www.semanticscholar.org/paper/A-framework-for-decision-support-systems-adapted-to-Yang/a0f32401574b5e1dc3d81fc867dec309b3d7feca>.

14. Bohlouli, M., Schulz F., Angelis, L., Pahor, D., Brandic, I., Atlan D., Tate R. (2020) Towards an Integrated Platform for Big Data Analysis <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.13021>.

15. Sandberg, A., Sivencrona, H., Törngren, M. (2008) Deterministic target selection : setting requirements on speed and yaw rate in automotive sensor systems. Computer Science. <https://www.semanticscholar.org/paper/Deterministic-target-selection-%3A-setting-on-speed-Sandberg-Sivencrona/f00cec9885a6ba2d5e236e255e38f464df37a614>.

16. Sifakis, Joseph. (2014). Rigorous System Design. Foundations and Trends® in Electronic Design Automation. 6. 10.1145/2611462.2611517.

17. Basu, A., Bensalem, B., Bozga, M., Combaz, J., Jaber, M., Nguyen, T.H., Sifakis, J. (2011). Rigorous Component-Based System Design Using the BIP Framework. Software, IEEE. 28. 41 - 48. 10.1109/MS.2011.27.

18. Handbook of hybrid systems control: theory, tools, applications / ed. by J.Lunze, F.Lamnabhi-Lagarigue. – Cambridge: Cambridge University Press, 2009, 565 pages.

19. Weyers, B., Bowen, J., Dix, A., Palanque, P. (2018) The Handbook of Formal Methods in Human-Computer Interaction. Springer, 577 p. <https://www.bokus.com/bok/9783319847542/the-handbook-of-formal-methods-in-human-computer-interaction/>

20. ГАЗ открывает «Академию ИТ». [Электронный ресурс] URL: [http://moymotor.ru/r-290322-gaz-otkryvaet-akademiyu-it/?go\\_from\\_letter=1](http://moymotor.ru/r-290322-gaz-otkryvaet-akademiyu-it/?go_from_letter=1) (дата обращения: 30.04.2022).

Статья поступила в редакцию 04.05.2022

Статья принята к публикации 20.06.2022