

УДК 654.07

## **Модель информационно-телекоммуникационного взаимодействия между автоматизированными транспортными средствами в условиях неполного покрытия мобильными сетями**

**А. Р. Андреева<sup>1,2</sup>, Р. П. Сорокин<sup>2</sup>, М. А. Сахарова<sup>1,2</sup>, И. В. Захаров<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

<sup>2</sup> Закрытое акционерное общество «Институт телекоммуникаций», Россия, 194100, Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 5, к. 5 литера М

**Для цитирования:** Андреева А. Р., Сорокин Р. П., Сахарова М. А., Захаров И. В. Модель информационно-телекоммуникационного взаимодействия между автоматизированными транспортными средствами в условиях неполного покрытия мобильными сетями // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2024. Т. 21, вып. 1. С. 290–304. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-01-290-304

### **Аннотация**

С целью повышения безопасности, а также оптимизации пути движения в повседневной жизни для сокращения времени в дороге в настоящее время появляется все больше предпосылок внедрения высокоавтоматизированных и полностью автоматизированных транспортных средств в различные сферы жизни человека. Это позволит оптимизировать и усовершенствовать дорожную систему страны в целом, а самое главное, снизить аварийность и, следовательно, повысить безопасность дорожного движения. При внедрении данных транспортных средств необходимо разработать алгоритм связи между различными участниками дорожного движения при различных условиях и расстояниях между объектами. **Методы:** в данном исследовании использованы методы имитационного моделирования, метод табличного и графического отображения данных, метод факторного анализа, методы модельного эксперимента, а также метод экспертных оценок. **Результаты:** в рамках работы разработаны алгоритм передачи сообщений с различной по содержанию и приоритету информацией между двумя высокоавтоматизированными / полностью автоматизированными транспортными средствами либо транспортное средство с автоматизированной государственной инфраструктурой с применением различных каналов связи, а также основанная на нем имитационная модель, которая была создана в среде моделирования AnyLogic. Применение различных приоритетов позволяет гарантировать минимальное время доставки наиболее важных сообщений, содержащих информацию для управления ТС. В результате проведения моделирования получены гистограммы вероятностно-временных характеристик передачи сообщений различного приоритета и сообщений, подтверждающих их доставку, при использовании различных каналов связи. **Практическая значимость:** результаты моделирования дают возможность оценить качество и время доставки сообщений в заданных условиях и обеспечить эффективную передачу информации с помощью изменения интенсивностей и размеров сообщений, применения различных каналов связи и их скоростей и так далее.

**Ключевые слова:** автоматизация, транспортное средство, имитационное моделирование, канал связи, цифровизация, автоматизированное транспортное средство, сеть связи.

## Введение

В 2021 году Министерство транспорта приступило к воплощению стратегии цифровой трансформации транспортной отрасли, в которую входят шесть основных направлений, а именно: «Беспилотники для пассажиров и грузов», «Зеленый цифровой коридор пассажира», «Бесшовная грузовая логистика», «Цифровое управление транспортной системой Российской Федерации», «Цифровизация для транспортной безопасности», «Цифровые двойники объектов транспортной инфраструктуры» [1].

Цифровизация транспортной отрасли может помочь преодолеть следующие вызовы: снизить аварийность из-за человеческого фактора, повысить эффективность перевозочного процесса, легализовать «серые» перевозки, упростить бюрократическую часть перевозок, повысить скоординированность и информированность местных/региональных/федеральных органов, осуществлять мониторинг за состоянием транспортной инфраструктуры, осуществить бесшовность при смене видов транспорта.

## Внедрение высокоавтоматизированных и полностью автоматизированных транспортных средств

Одним из решений стратегии является постепенное введение высокоавтоматизированных транспортных средств (ВАТС) и полностью автоматизированных транспортных средств (ПАТС) в сфере наземного транспорта.

Всего существует шесть уровней автоматизации транспортного средства: L0 — нет автоматизации; L1 — помощь водителю, конкретные функции под контролем; L2 — частичная автоматизация, автоматизация комбинированных функций (например, адаптивный

круиз-контроль); L3 — условная автоматизация: автоматизация всех важных функций с ограничениями (ограниченное самоуправление); водитель должен иметь возможность постоянно контролировать управление; L4 — высокая автоматизация: транспортное средство выполняет все задачи вождения при определенных условиях; водитель может взять управление на себя; L5 — полная автоматизация: транспортное средство выполняет все задачи вождения в любых условиях, водитель может взять управление на себя. Большинство крупных производителей автомобилей объявили о выпуске автомобилей L4+ в ближайшее время [2, 3].

В соответствии с ГОСТ Р 70249-2022 ВАТС — это транспортное средство, оснащенное автоматизированной системой вождения, которая действует в пределах конкретной среды штатной эксплуатации применительно к некоторым или всем поездкам без необходимости вмешательства человека в качестве запасного варианта обеспечения безопасности дорожного движения [4].

Согласно Распоряжению Правительства РФ от 25.03.2020 № 724-р «О Концепции обеспечения безопасности дорожного движения с участием беспилотных транспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования». ПАТС — это транспортное средство, оснащенное автоматизированной системой вождения, которая действует без каких бы то ни было ограничений среды штатной эксплуатации применительно к некоторым или всем поездкам без необходимости вмешательства человека в управление для обеспечения безопасности дорожного движения [5].

Предпосылками к организации умной транспортной системы являются главные

проблемы дорог больших городов — образование дорожных пробок. Ремонтные работы, ДТП и иные непривычные для людей ситуации на дороге вызывают множество сложностей как для водителей, так и для служб, которые стараются решить данные проблемы [6].

Существует большое количество достоинств ввода ВАТС и ПАТС в эксплуатацию, в том числе: повышение безопасности дорожного движения, снижение негативного влияния на окружающую среду, снижение длительности перевозок и цен на них, повышение эффективности движения и др. [7].

Для создания дорожной системы с ВАТС/ПАТС должны быть выполнены следующие условия: в составе ТС должна находиться мощная вычислительная платформа, которая обрабатывает данные с максимальной производительностью в реальном времени; должны быть предусмотрены надежные центры обработки данных; должна осуществляться комплексная безопасность — от дверных замков до центра обработки данных, от бортовых процессоров в автомобиле до серверов в облаке/центре обработки данных [8].

Система управления ВАТС/ПАТС должна обеспечивать прием и передачу управляющего сигнала, сбор информации с различных сенсоров (радары, лидары, видеокамеры и т. д.), обработку полученной информации. Также необходимо обеспечить выполнение функций, соответствующих технике с низкой степенью автоматизации (торможение, повороты и т. д.).

Вычисления в устройствах, расположенных в ВАТС/ПАТС, должны решать следующие задачи: определение препятствий по маршруту, определение маршрута движения с обновлением в зависимости от дорожной ситуации в реальном времени, взаимодей-

ствие с другими ВАТС/ПАТС, передача информации пользователям и пассажирам и т. п.

При масштабном применении ВАТС и ПАТС необходимо обеспечить связь транспортных средств в потоке между собой, а также со стационарными объектами (например, дорожные знаки и центры обработки информации). В различных условиях и расстояниях между двумя объектами возможно использование следующих видов связи: Bluetooth, GSM, Wi-Fi, УКВ и др.

На рис. 1 показана ситуация на дороге с условием, что в данном месте происходит обмен информацией только непосредственно между транспортными средствами. В случае а) при произошедшей чрезвычайной ситуации на дороге (ДТП, съезд в кювет, ремонт дороги и т. д.) остальные ТС получают данную информацию, например по GSM-сети, а если она недоступна, то по Bluetooth или Wi-Fi. Так как ВАТС/ПАТС находятся на небольших расстояниях друг от друга и имеют возможность заранее объехать, не создавая помехи друг для друга. Также имеется возможность оповещения ДПС и других служб, которые получают точные координаты происшествия, в данном случае, что происшествие случилось возле 327 км трассы. В случае б) автомобили находятся на значительном расстоянии друг от друга, а значит, невозможно использовать Bluetooth или Wi-Fi, тогда данные могут быть переданы по УКВ-каналу.

При эксплуатации ВАТС/ПАТС от данных средств должна быть предусмотрена передача информации различного приоритета. В данной работе предложено 4 приоритета: 1 — аварийные сообщения и сообщения прямого управления ТС; 2 — сообщения о транспортных событиях и инцидентах

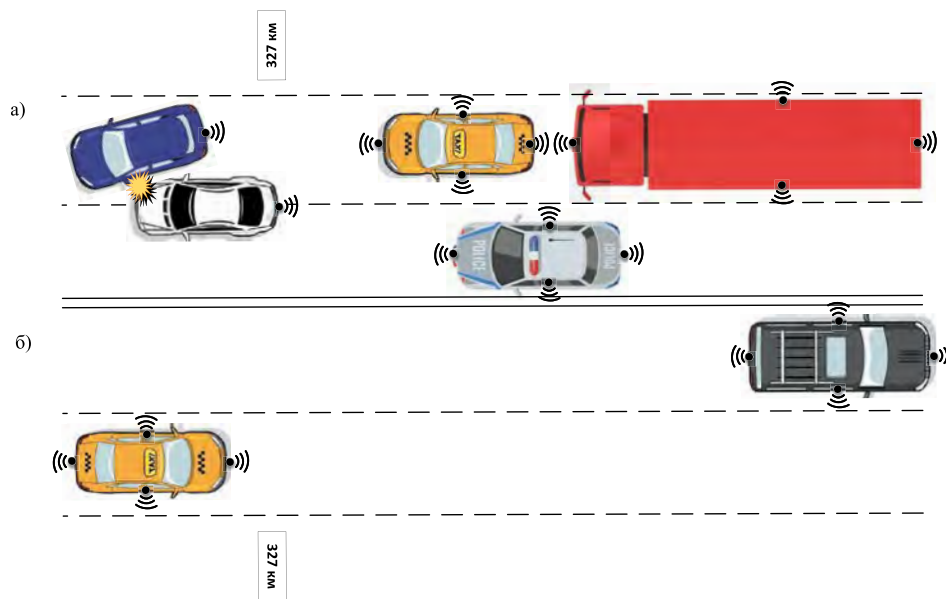


Рис. 1. Взаимодействие ВАТС/ПАТС

в радиусе зоны 2–3 км; 3 — сообщения взаимодействия с дорожной и городской инфраструктурой, 4 — информационное обеспечение ТС и пассажиров (сведения о кафе, магазинах, больницах и т. д.).

### Моделирование информационно-телекоммуникационного взаимодействия между автоматизированными транспортными средствами

Целью моделирования является получение вероятностно-временных характеристик времени передачи сообщений и сообщений, подтверждающих доставку, различного приоритета при применении разнообразных каналов связи. Это позволит определить режимы движения ВАТС/ПАТС с учетом возможностей средств связи.

В результате анализа возможных средств и средств моделирования [9] в данной работе выбрана среда AnyLogic. Программное обеспечение характеризуется современным графическим интерфейсом, а также позволяет

использовать язык Java для разработки моделей. Важным достоинством AnyLogic является высокая гибридность и масштабируемость разрабатываемых моделей [10].

На рис. 2 представлена разработанная дискретно-событийная модель (ДСМ) передачи сообщения от ВАТС/ПАТС 1 до ВАТС/ПАТС 2/ГИА, которая включает в себя основные этапы передачи сообщений, в том числе: источники сообщений различных приоритетов, преобразование файлов в пакеты, подготовку пакетов к отправке, передачу по каналу, вероятность передачи без ошибок с задержкой на повторную передачу, время на обработку сигнала, прием сообщения и обработку полученных сообщений.

Размеры сообщений разного приоритета не одинаковы, поскольку сообщения 1 приоритета, то есть сообщения управления ТС, в том числе в различных чрезвычайных ситуациях, нужно доставить максимально быстро, а значит, их размер должен быть минимален. Сообщения 2 приоритета, содержащие

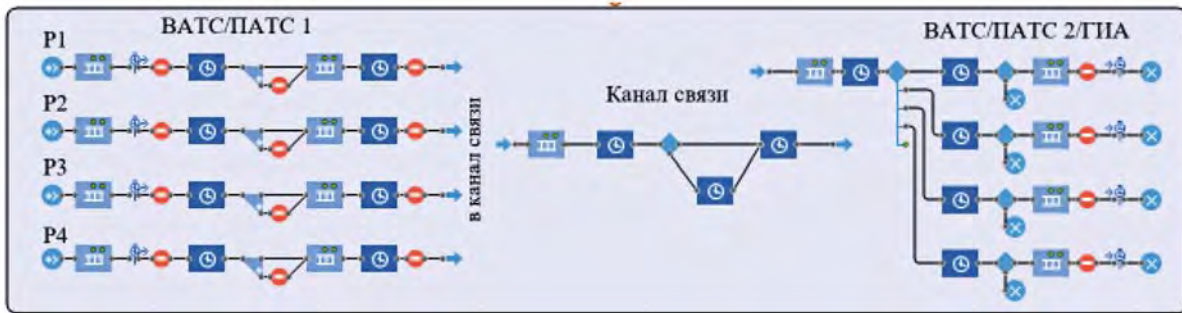


Рис. 2. Дискретно-событийная модель передачи сообщений

информацию об инцидентах и событиях на дороге, характеризуются большим количеством информации, а соответственно, и размером. Поскольку ВАТС/ПАТС являются динамичными объектами, происходит частый обмен информацией с городской инфраструктурой, содержащейся в сообщениях 3 приоритета. Сообщения 4 приоритета не передают критически важной информации, поэтому могут содержать большой объем данных, интенсивность которых может быть увеличена при необходимости по запросу пассажиров. Размер и интенсивность сообщений различного приоритета представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Размер и интенсивность сообщений различного приоритета

Приоритет	Интенсивность генерации сообщений, $\lambda_i$ , сообщение/час	Средний размер пакета, $R_i$ , байт
1 приоритет	60	10
2 приоритет	50	40
3 приоритет	10–100	250
4 приоритет	50	600

При выполнении данного моделирования возможны искажения сообщений с вероятностью 0,05, которые приводят к повторной передаче, характеристики антенн и приемопередатчиков не учитываются. В результате моделирования определяются временные значения передачи информации различных

приоритетов от источника (ВАТС/ПАТС 1) до потребителя (ВАТС/ПАТС 2/ГИА), а также сообщений, подтверждающих доставку, в обратном направлении (опционально) при выборе различных каналов связи.

Представленная на рис. 2 ДСМ имитирует передачу сообщения от источника к потребителю и состоит из трех основных блоков, а именно: ВАТС/ПАТС 1, ВАТС/ПАТС 2/ГИА и канал связи между ними, характеристики которого задаются перед началом моделирования.

Первоначально в источнике происходит генерация сообщений различного приоритета (интенсивность данных сообщений представлена в табл. 1), осуществляя часть алгоритма, показанную на рис. 3.

Выбор канала происходит в зависимости от обстановки и его доступности, например, в городских территориях целесообразна передача через сеть GSM. На территориях, где покрытие данной сети непостоянно, а взаимодействующие объекты находятся на расстоянии друг от друга не более 50 метров, возможно применение каналов Wi-Fi. При увеличении расстояния и недоступности GSM-сети используется УКВ-канал связи.

Следующая часть алгоритма (рис. 4) происходит в приемнике сообщений (ВАТС/ПАТС 2/ГИА), в том числе следующие процедуры: прием полученных пакетов и опре-

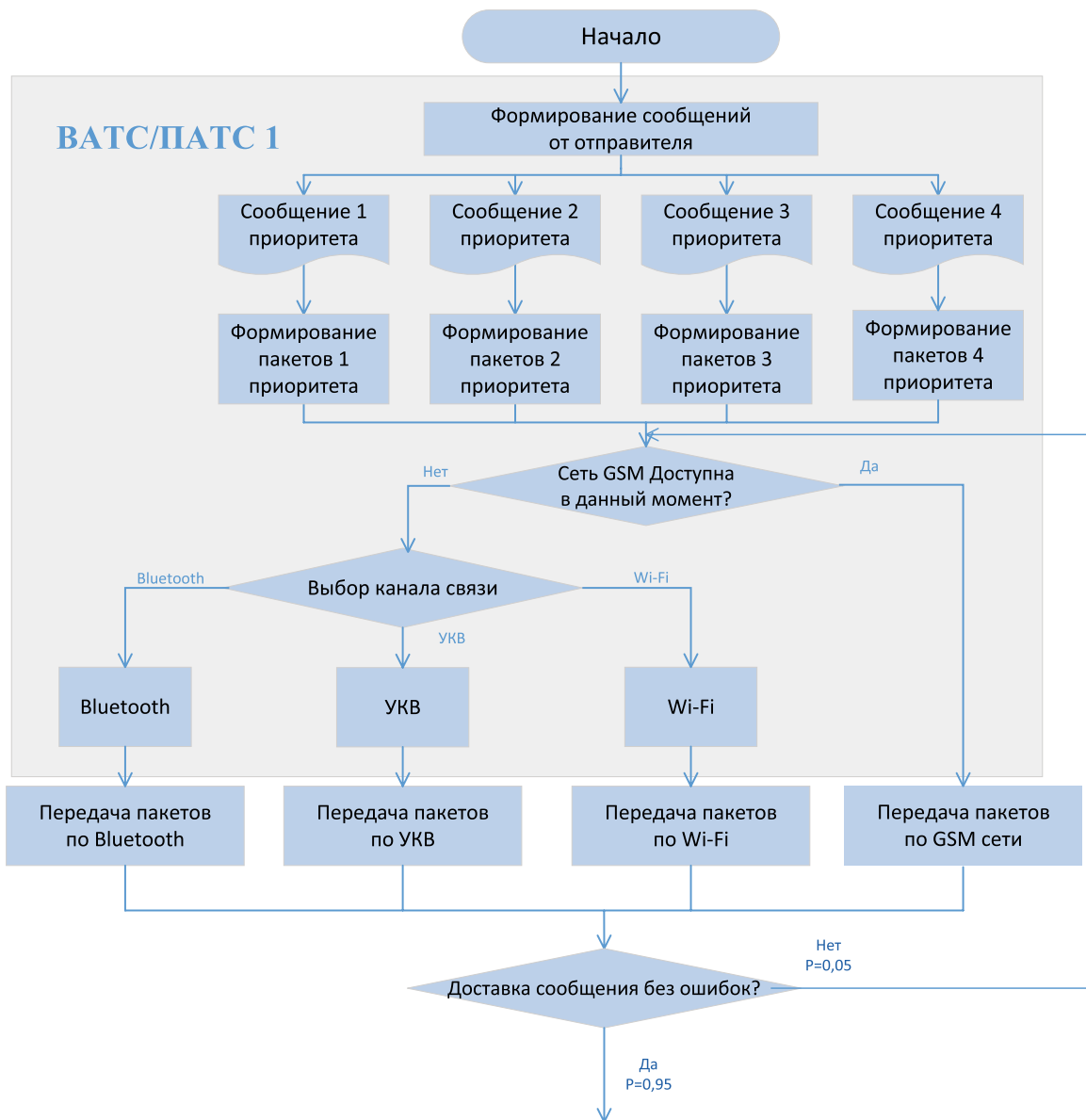
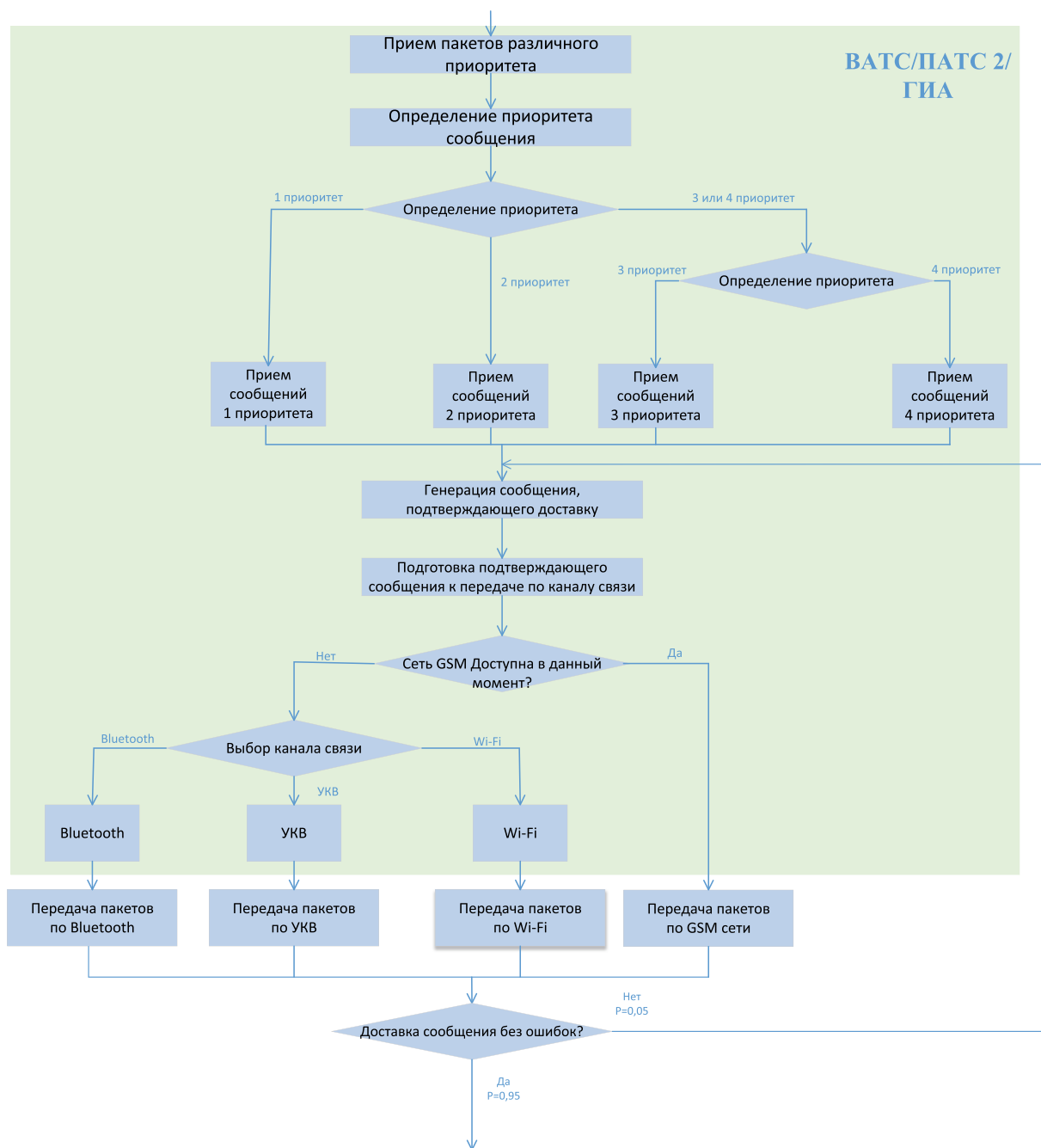


Рис. 3. Начало алгоритма передачи сообщений

деление их приоритета, а также генерация сообщений, подтверждающих доставку, и выбор канала для его дальнейшей передачи, если это необходимо. Канал передачи сообщений, подтверждающих доставку, в рамках данного моделирования совпадает с каналом, выбранным при передаче сообщения. Важной особенностью является то, что приоритет сообщений, подтверждающих доставку, совпадает с приоритетом сообщения.

ДСМ передачи сообщений, подтверждающих доставку (рис. 5), также состоит из трех основных блоков, важным отличием является то, что сообщения, подтверждающие доставку сообщений 3 и 4 приоритета, по приоритету совпадают. Основные этапы передачи сообщений, подтверждающих доставку, идентичны передаче сообщений.

После получения сообщений, подтверждающих доставку, при условии, что она



**Рис. 4.** Продолжение алгоритма передачи сообщений

подтверждает успешную доставку сообщения, копия данного сообщения удаляется из буфера (окончание алгоритма показано на рис. 6).

Для проведения экспериментов необходимо задать вероятностные временные значения процессов, которые происходят в данной модели. Характеристики и их значения приведены в табл. 2.

При доступности GSM-сети связь обеспечивается через нее, так как данная технология имеет высокий уровень качества связи, высокую защищенность за счет алгоритмов, а также доступность и возможность использования роуминговой связи (перемещение из одной сети в другую без потери присвоенного номера). Поэтому основная часть моделирования будет производиться через

канал связи GSM. Для начала рассмотрим время доставки сообщений и сообщений, подтверждающих доставку, различного приоритета при следующих исходных данных: значения размеров и интенсивностей сообщений приведены в табл. 1, интенсивность 3 приоритета выбрана 20 сообщений/час, то есть при небольшой скорости движения ТС, а значит, и нечастом обмене с ГИА, канал связи — GSM (270 Кбит/с). На рис. 7 представлены гистограммы времени передачи сообщений различного приоритета.

Для оценки изменения времени передачи сообщений от различных приоритетов сообщения заданы интенсивности всех приоритетов 10 сообщений/час, результаты моделирования представлены на рис. 8 (канал связи GSM).

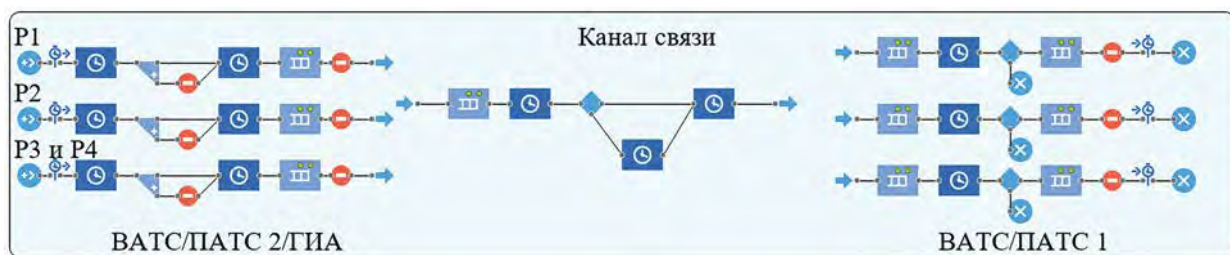


Рис. 5. Дискретно-событийная модель передачи сообщений, подтверждающих доставку

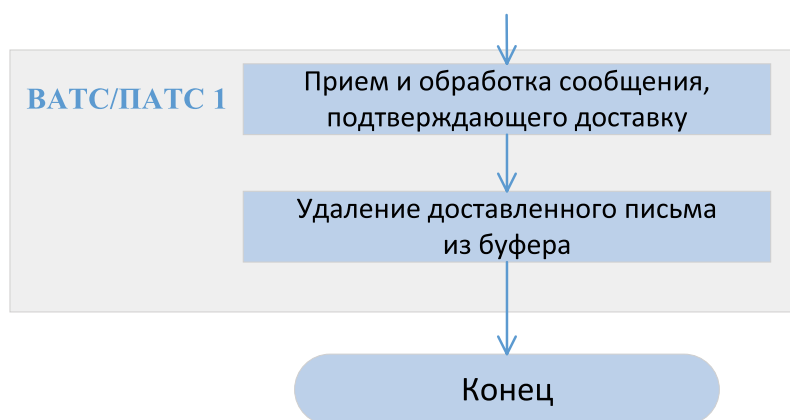


Рис. 6. Окончание алгоритма передачи сообщений



ТАБЛИЦА 2. Характеристики ДСМ

Характеристика	Значение
<b>Передача и прием сообщения</b>	
Преобразование файла в пакеты	0.05 с
Подготовка пакетов к отправке	prep (0.03, 0.06, 0.09), с
Передача по каналу	PacketSize/Speed, с
Вероятность передачи без ошибок	0.95
Задержка на повторную передачу	0.05 + prep (0.04, 0.07, 0.1) + PacketSize/Speed, с
Время на обработку сигнала	normal(0.1, 0.2), с
Прием сообщения	0.05 с
Обработка полученного сообщения	prep (0.03, 0.06, 0.09), с
<b>Передача и прием сообщений, подтверждающих доставку</b>	
Преобразование файла в пакеты	0.05 с
Подготовка пакетов к отправке	1 с
Передача по каналу	PacketSize/Speed, с
Вероятность передачи без ошибок	0.95
Задержка на повторную передачу	0.05 + prep (0.04, 0.07, 0.1) + PacketSize/Speed, с
Время на обработку сигнала	normal (0.1, 0.2), с
Прием сообщения, подтверждающего доставку	0.3 с

На рис. 9 представлена зависимость времени передачи сообщения 3 приоритета при изменении интенсивности от 10 до 100 сообщений/час при оставшихся прежними значениях параметров, то есть при наличии фонового трафика 1, 2 и 4 приоритета. Было отмечено, что при изменении интенсивности 3 приоритета до 70 сообщений/час и выше наблюдается повышенная занятость каналов связи, что существенно увеличивает время доставки сообщения 4 приоритета и сообщений, подтверждающих доставку, 3 и 4 приоритетов.

Как было написано ранее, при недоступности GSM-сети, например, в удаленных районах и за городом, возможно применение других каналов связи. Ниже, на рис. 10, представлены гистограммы времени передачи сообщений при использовании УКВ-канала со

следующими входными параметрами: значения размеров и интенсивности сообщений приведены в табл. 1, интенсивность 3 приоритета выбрана 20 сообщений/час, скорость канала связи — 8192 бит/с.

Для удобства сравнения результатов использования GSM-канала (рис. 7) и УКВ-канала (рис. 10) на рис. 11 приведена гистограмма среднего времени передачи сообщений различного приоритета. Время доставки сообщений через канал УКВ во всех случаях отличается большей длительностью, это связано с тем, что скорость передачи в данном канале в разы ниже, чем в канале GSM-сети. При высоких приоритетах (1 и 2 приоритет) сообщений при использовании GSM- и УКВ-каналов время отличается в среднем в 1,5 раза, при низших приоритетах (3 и 4 приоритет) — в 2,3 раза.

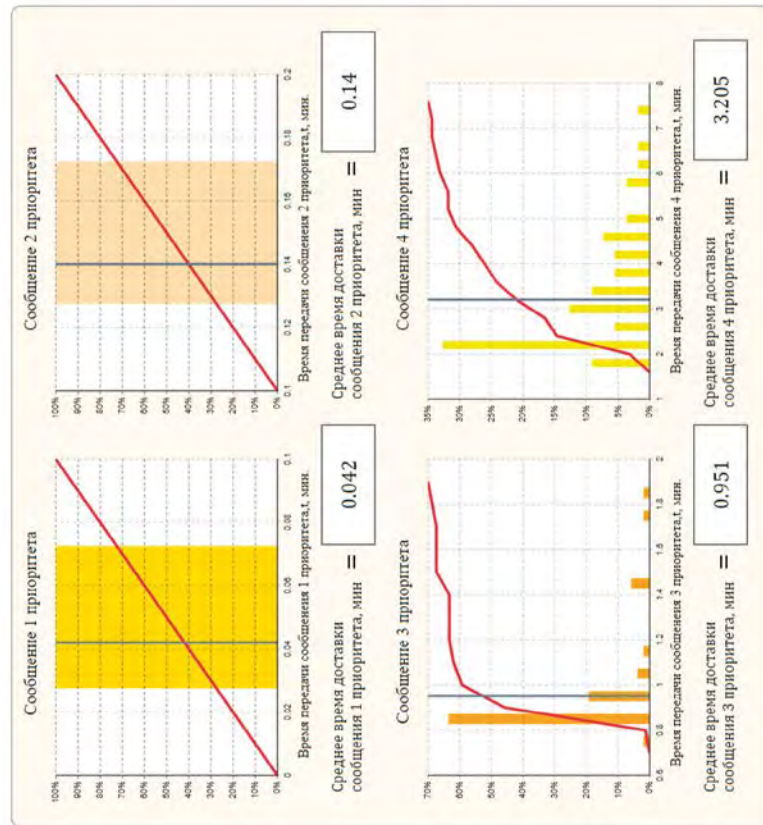


Рис. 8. Результаты моделирования при использовании GSM-канала и одинаковых интенсивностях сообщений разных приоритетов

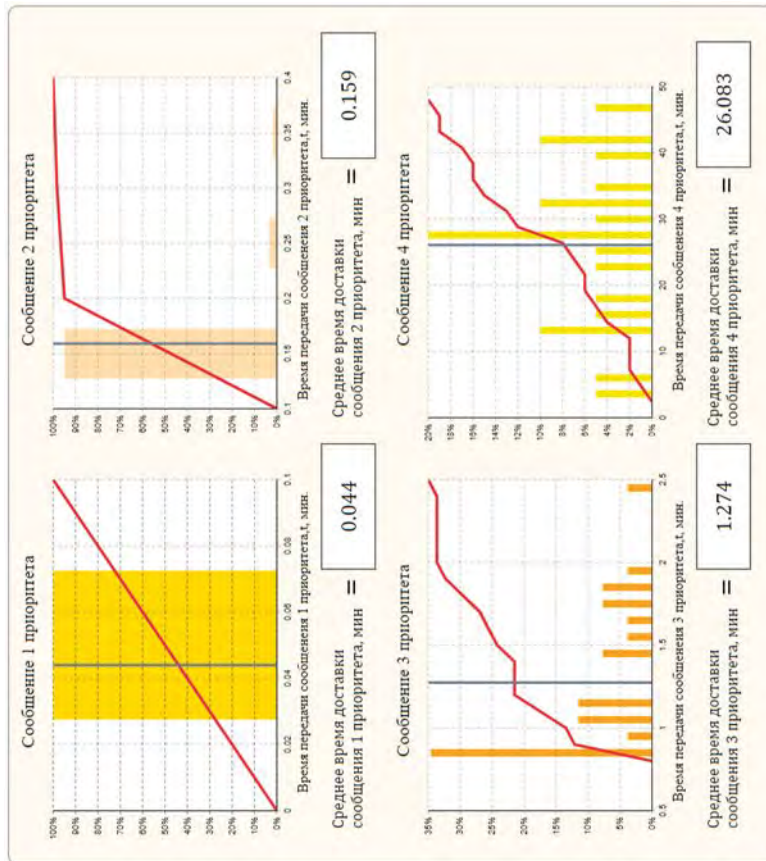


Рис. 7. Результаты моделирования при использовании GSM-канала и различных интенсивностях сообщений разных приоритетов

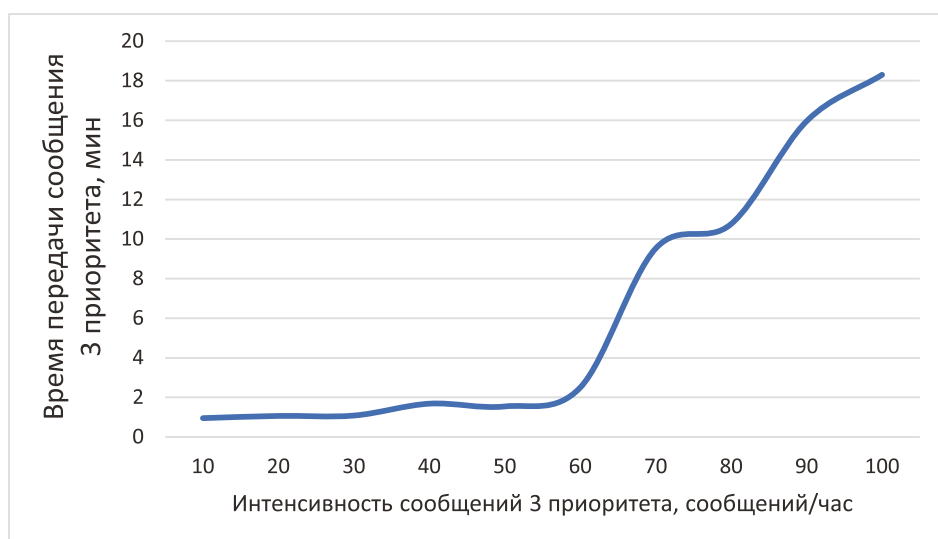


Рис. 9. Зависимость времени доставки сообщений 3 приоритета от интенсивности

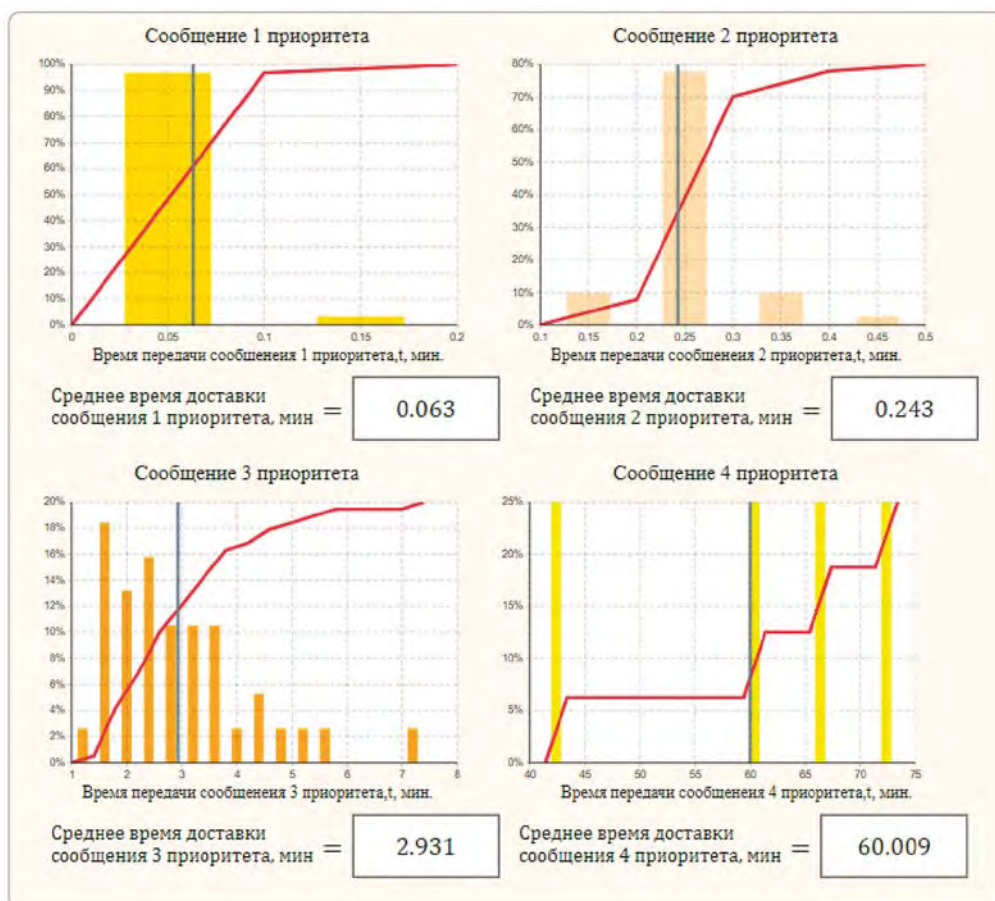
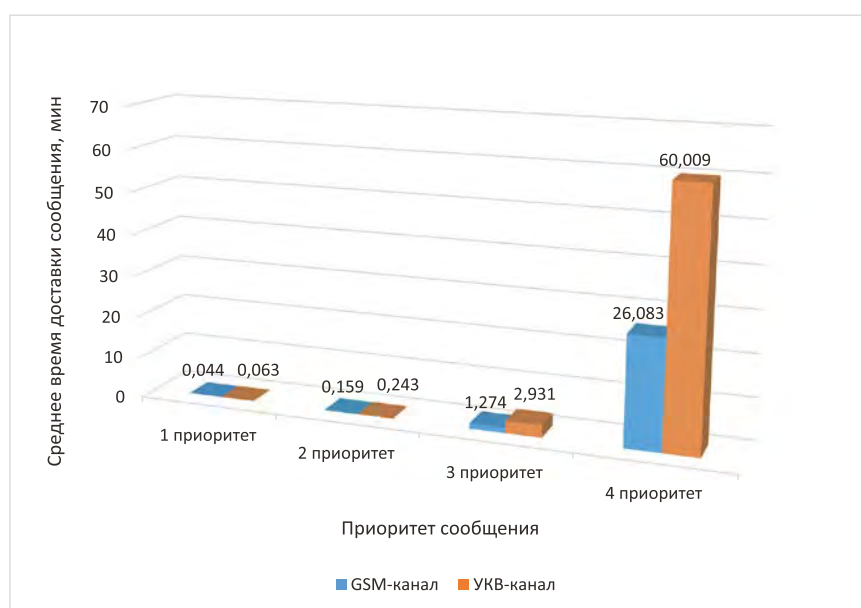


Рис. 10. Результаты моделирования при использовании УКВ-канала и различных интенсивностях сообщений разных приоритетов



**Рис. 11.** Гистограмма среднего времени передачи сообщений при использовании GSM- и УКВ-каналов

### Выводы по результатам моделирования

По результатам моделирования, приведенным выше, можно увидеть, что при одинаковых интенсивностях сообщений всех приоритетов (10 сообщений/час) время передачи сообщений растет с понижением важности. Среднее время передачи сообщения 1 приоритета составляет 0,042 мин, 2 приоритета — 0,14 мин, 3 приоритета — 0,951 мин, 4 приоритета — 3,205 мин (рис. 8). Таким образом, сообщения высшего приоритета будут доставлены в кратчайшие сроки в отличие от сообщений низших приоритетов.

Время передачи сообщений напрямую зависит от интенсивностей данных сообщений, что отчетливо демонстрируют эксперименты, выполненные при различных значениях интенсивности сообщений 3 приоритета. График зависимости на рис. 9 показывает, что при изменении интенсивности от 10 до 500 сообщений/час канал связи справляется с полезной нагрузкой и время передачи сообщений возрастает не критично. При значени-

ях интенсивности 60 сообщений/час и выше можно отметить повышенную занятость каналов связи, увеличенное время доставки сообщений и сообщений, подтверждающих доставку, 3 и 4 приоритета.

Наиболее оптимальным вариантом канала передачи данных является GSM, поскольку он обладает рядом преимуществ, описанных ранее, время передачи сообщений равно: 1 приоритет — 0,044 мин, 2 приоритет — 0,159 мин, 3 приоритет — 1,274 мин, 4 приоритет — 26,083 мин. По результатам видно, что время передачи сообщений 4 приоритета существенно. Чтобы это изменить, необходимо подбирать значения интенсивностей и размеры сообщений непосредственно для каждой системы. Существуют недостатки данной технологии, в том числе: непокрытие сетью удаленных от города мест, а также плохое качество связи в подземных тоннелях.

В случае отсутствия возможности связи через GSM целесообразно при больших

расстояниях применять канал связи УКВ. При моделировании получены следующие временные характеристики: 1 приоритет — 0,063 мин, 2 приоритет — 0,243 мин, 3 приоритет — 2,931 мин, 4 приоритет — 60,009 мин. Диапазон УКВ позволяет осуществлять радиовещание с очень хорошим качеством благодаря использованию частотной модуляции, а расстояние, на котором возможен обмен данными, достигает 100 км.

При необходимости сократить время доставки сообщений 3 и 4 приоритета пользователи могут использовать несколько модемов (приемо-передающих устройств), которые будут отдельно обеспечивать доставку сообщений различного приоритета.

### Заключение

Разработанная имитационная модель дает возможность получить временные характеристики передачи информации при использовании различных каналов связи, позволяя наиболее эффективно подобрать интенсивность и размер различных сообщений, передаваемых между ВАТС/ПАТС в различных условиях, характеристики приемопередающих устройств и их количество и обеспечить оптимальное использование каналов связи в различных условиях.

### Библиографический список

1. Минтранс России разработал отраслевую Стратегию цифровой трансформации [Электронный ресурс]. URL: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9985> (дата обращения: 30.01.2023).

2. Takács Á., Rudas I., Bösl D., et al. Highly Automated Vehicles and Self-Driving Cars [Industry Tutorial] // IEEE Robotics & Automation Magazine. Dec. 2018. Vol. 25, no. 4. P. 106–112. DOI: 10.1109/MRA.2018.2874301.

3. Вчера и завтра: 6 уровней автоматизации автомобилей [Электронный ресурс]. URL: <https://novate.ru/blogs/110617/41716/> (дата обращения: 25.03.2023).

4. ГОСТ Р 70249–2022. Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Высокоавтоматизированные транспортные средства. Термины и определения. М.: Российский институт стандартизации, 2022. 16 с.

5. Распоряжение Правительства РФ от 25.03.2020 № 724-р «О Концепции обеспечения безопасности дорожного движения с участием беспилотных транспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования» [Электронный ресурс]. URL: [https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73707148/#:~:text=%22полностью%20автоматизированное%20транспортное%20средство%22%20-,дорожного%20движения%20\(fully%20automated%20vehicle\)](https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73707148/#:~:text=%22полностью%20автоматизированное%20транспортное%20средство%22%20-,дорожного%20движения%20(fully%20automated%20vehicle)) (дата обращения: 30.01.2023).

6. Малинецкий Г. Г., Семенов В. В. Дорожное движение в контексте фундаментальных исследований. Препринт. Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша (ИПМ РАН) № 64. М., 2007.

7. Комаров В. В. Понятийный аппарат для описания систем автоматизированного вождения автотранспортных средств / В. В. Комаров, С. А. Гараган // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2019. № 3 (82). С. 26–33.

8. Куликова Я. Сценарии управления беспилотными транспортными средствами в среде «Умного города» / Я. Куликова, Д. Качалов, М. П. О. Фархадов // Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2020): Материалы XIX Международной конференции имени А. Ф. Терпугова (2–5 декабря 2020 г.). Томск: Изд-во НТЛ, 2021. С. 308–313.

9. Даденков С. А. Выбор среды имитационного моделирования информационно-управляющих сетей / С. А. Даденков, Е. Л. Кон // Вестник Пермского университета. 2019. № 1 (44). С. 58–69.

10. Куприяшкин А. Г. Основы моделирования систем: учеб. пособие. Норильск: Норильский индустр. ин-т, 2015. 135 с.

Дата поступления: 28.11.2023

Решение о публикации: 15.01.2024

**Контактная информация:**

АНДРЕЕВА Арина Руслановна — аспирант, инженер; arinrus9@gmail.com

СОРОКИН Роман Павлович — ведущий специалист; 123roman456@mail.ru

САХАРОВА Мария Александровна — канд. техн. наук, доцент; zvakamariya@mail.ru

ЗАХАРОВ Иван Вячеславович — аспирант, ведущий программист; zakharov.ing@gmail.com

## The model of information and telecommunication interaction between automated vehicles in conditions of incomplete coverage by mobile networks

A. R. Andreeva<sup>1,2</sup>, R. P. Sorokin<sup>2</sup>, M. A. Saharova<sup>1,2</sup>, I. V. Zaharov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

<sup>2</sup> Joint Stock Company “Institute of Telecommunications”, 5, build. 5, litera M, Saint Petersburg, 194100, Russia

**For citation:** *Andreeva A. R., Sorokin R. P., Saharova M. A., Zaharov I. V.* The model of information and telecommunication interaction between automated vehicles in conditions of incomplete coverage by mobile networks // Proceedings of Petersburg Transport University. 2024. Vol. 21, iss. 1. P. 290–304. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2024-01-290-304

### Abstract

**Objective:** in order to improve safety, as well as optimize the path of movement in everyday life to reduce the time on the road, there are now more and more prerequisites for the introduction of highly automated and fully automated vehicles into various spheres of human life. This will optimize and improve the road system of the country as a whole, and most importantly — reduce accidents and, consequently, improve road safety. When implementing these vehicles, it is necessary to develop an algorithm for communication between different road users under different conditions and distances between objects. **Methods:** this study uses simulation modeling methods, the method of tabular and graphical data display, the method of factor analysis, methods of model experiment, as well as the method of expert assessments. **Results:** within the framework of the work, an algorithm has been developed for transmitting messages with different content and priority information between two highly automated / fully automated vehicles or a vehicle with an automated state infrastructure using various communication channels, as well as a simulation model based on it, which was created in the AnyLogic modeling environment. The use of different priorities allows you to guarantee the minimum delivery time of the most important messages containing information for vehicle management. As a result of the simulation, histograms of the probabilistic-temporal characteristics of the transmission of messages of various priorities and messages confirming their delivery were obtained using various communication channels. **Practical significance:** the simulation results make it possible to assess the quality and time of message delivery under specified conditions and to ensure effective transmission of information by changing the intensity and size of messages, the use of various communication channels and their speeds, and so on.

**Keywords:** automation, vehicle, simulation modeling, communication channel, digitalization, automated vehicle, communication network.



## References

1. Mintrans Rossii razrabotal otraslevuju Strategiju cifrovoj transformacii [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9985> (data obrashhenija: 30.01.2023). (In Russian)
2. Takács Á., Rudas I., Bösl D., et al. Highly Automated Vehicles and Self-Driving Cars [Industry Tutorial] // IEEE Robotics & Automation Magazine. Dec. 2018. Vol. 25, no. 4. P. 106–112. DOI: 10.1109/MRA.2018.2874301.
3. Vchera i zavtra : 6 urovnej avtomatizacii avtomobilej [Jelektronnyj resurs]. URL: [https://novate.ru/blogs/110617/41716/\(data obrashhenija: 25.03.2023\)](https://novate.ru/blogs/110617/41716/(data obrashhenija: 25.03.2023)). (In Russian)
4. GOST R 70249–2022. Sistemy iskusstvennogo intellekta na avtomobil'nom transporte. Vysokoavtomatizirovannye transportnye sredstva. Terminy i opredelenija. M.: Rossijskij institut standartizacii, 2022. 16 s. (In Russian)
5. Rasporyzhenie Pravitel'stva RF ot 25.03.2020 № 724-r “O Konceptcii obespechenija bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija s uchastiem bespilotnyh transportnyh sredstv na avtomobil'nyh dorogah obshhego pol'zovanija” [Jelektronnyj resurs]. URL: [https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73707148/#:~:text=%22polnost'ju%20avtomatizirovannoe%20transportnoe%20sredstvo%22%2-,dorozhnogo%20dvizhenija%20\(fully%20automated%20vehicle\)](https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73707148/#:~:text=%22polnost'ju%20avtomatizirovannoe%20transportnoe%20sredstvo%22%2-,dorozhnogo%20dvizhenija%20(fully%20automated%20vehicle)) (data obrashhenija: 30.01.2023). (In Russian)
6. Malineckij G. G., Semenov V. V. Dorozhnoe dvizhenie v kontekste fundamental'nyh issledovanij. Preprint. Institut prikladnoj matematiki im. M. V. Keldysha (IPM RAN) № 64. M., 2007. (In Russian)
7. Komarov V. V. Ponjatijnyj apparat dlja opisanija sistem avtomatizirovannogo vozhdenija avtotransportnyh sredstv / V. V. Komarov, S. A. Garagan // Transport Rossijskoj Federacii. Zhurnal o nauke, praktike, jekonomie. 2019. № 3 (82). S. 26–33. (In Russian)
8. Kulikova Ja. Scenarii upravlenija bespilotnymi transportnymi sredstvami v srede “Umnogo goroda” / Ja. Kulikova, D. Kachalov, M. P. O. Farhadov // Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie (ITMM-2020): Materialy XIX Mezhdunarodnoj konferencii imeni A. F. Terpugova (2–5 dekabrja 2020 g.). Tomsk: Izd-vo NTL, 2021. S. 308–313. (In Russian)
9. Dadenkov S. A. Vybor sredy imitacionnogo modelirovanija informacionno-upravljajushhijh setej / S. A. Dadenkov, E. L. Kon // Vestnik Permskogo universiteta. 2019. № 1 (44). S. 58–69. (In Russian)
10. Kuprijashkin A. G. Osnovy modelirovanija sistem: ucheb. posobie. Noril'sk: Noril'skij industr. in-t, 2015. 135 s. (In Russian)

Received: 28.11.2023

Accepted: 15.01.2024

### Author's information:

Arina R. ANDREEVA — Postgraduate Student, engineer; arinrus9@gmail.com

Roman P. SOROKIN — Leading Specialist; 123roman456@mail.ru

Maria A. SAHAROVA — PhD in Engineering, Associate Professor; zuvakamariya@mail.ru

Ivan V. ZAHAROV — Postgraduate Student, Leading Programmer; zakharov.ing@gmail.com