

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СЕТИ 5G В ПРОГРАММЕ ANYLOGIC

Глушак Е.В.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: evglushak@yandex.ru

В данной статье были проанализированы существующие программы для моделирования сетей пятого поколения. В выбранной программе AnyLogic была создана модель сети 5G с несколькими базовыми станциями, которые имеют разные характеристики. Проведены исследования этой модели с учетом различных дисциплин очереди, выполнен расчет нагрузки на каждую станцию при различных приоритетах. Доказано, что эту модель можно будет использовать для исследования и оценки эффективности передачи данных в сети 5G, а также для анализа влияния характеристик дополнительных параметров (задержки, нагрузки и приоритетов) на качество обработки пакетов данных. Доказано, что разработанная модель сети 5G может помочь операторам связи оптимизировать работу своих сетей и обеспечить более эффективное использование выделенных ресурсов.

**Ключевые слова:** сети 5G, задержка, потери пакетов, передача данных, базовые станции, программа AnyLogic, время обслуживания, очередь, нагрузка на сеть

### Введение

Для начала напомним, что 5G является пятым поколением мобильной связи. Вокруг 5G создается целая сеть возможностей, и технологии, основанные на ней, будут активно развиваться в ближайшие годы. Принцип работы 5G похож на предыдущие поколения, когда данные передаются от «сот», или базовой станции, на локальную антенну устройства. Соединяясь между собой по радиоволнам определенного частотного диапазона, эти базовые станции образуют глобальную сотовую сеть.

Основное различие между поколениями состоит в технической составляющей, где 5G имеет более высокие скорости, большую пропускную способность и более короткое время задержки по сравнению с предыдущими поколениями благодаря использованию большего количества антенн. Ключевое отличие – в частотных диапазонах: сотовые сети впервые в истории используют миллиметровый диапазон, который позволяет достичь максимальной теоретической скорости в 20 Гбит/с – это в 20 раз быстрее, чем пиковые скорости 4G [1].

Цель данной работы – создать модель сети 5G в среде AnyLogic для дальнейших исследований. Основной задачей исследования является создание модели сети 5G с несколькими базовыми станциями и различными характеристиками. А также проведение оценки эффективности передачи данных в сети.

Многие ученые, проводившие исследования сетей 5G с помощью моделирования [3–5] не учитывали различные варианты алгоритмов обработки очереди, не рассматривали, как изменятся значения задержек при передаче данных и количество потерянных пакетов при увеличении или уменьшении количества базовых станций, не рассматривались мо-

дели, состоящие из нескольких базовых станций. На основе этого сделаем вывод о целесообразности разработки модели сети 5G, с помощью которой можно будет проводить различные исследования, и которая будет учитывать перечисленные выше параметры.

### Разработка модели сети 5G в среде AnyLogic

Имитационное моделирование сетей 5G широко используется для исследований. Сети 5G можно реализовывать в различных программах моделирования с целью дальнейших исследований. Рассмотрим несколько программ [6]:

1. 5G Toolbox обеспечивает стандартно-совместимые функции и справочные примеры для моделирования, симуляции и верификации систем связи 5G. Toolbox позволяет симулировать уровень ссылки, проверять соответствие стандартам и генерировать тестовые сигналы.

2. GNS3 – популярная программа для эмуляции сетей, которая помогает наблюдать за взаимодействием сетевых устройств и изучать различные топологии. В ней, как и в других перечисленных программных пакетах, можно реализовать сети 5G.

3. OMNeT++ – это программа для моделирования различных сетей связи, имеющая необходимые компоненты для моделирования, в том числе, сетей 5G на C++. OMNeT ++ можно бесплатно использовать для некоммерческих симуляций, например, в академических учреждениях и для преподавания. Данная программа подходит для моделирования сетей 5G [7].

4. AnyLogic – это мультиметодный инструмент для имитационного моделирования, раз-

работанный компанией AnyLogic (ранее XJ Technologies). Он умеет моделировать процессы с помощью методологий, основанных на агентах, заявках, а также очереди и др.

В данном случае для исследования сети 5G использовалась программа AnyLogic, так как она имеет необходимые инструменты и проста в использовании. С использованием AnyLogic была создана модель сети 5G, демонстрирующая возможность распределения устройств с применением различных алгоритмов управления трафиком.

Модель показывает, как устройства подключаются к станциям 5G. Станции соединены коммутаторами (6 станций на 1 коммутатор). Такие станции могут быть распределены по различным странам по всему миру. Для наглядности рассмотрим данную схему на Объединенных Арабских Эмиратах (ОАЭ) оператора Etisalat.

Etisalat выделил поддерживающие приложения, в том числе массовые коммуникационные решения M2M, сетевое взаимодействие между устройствами в режиме реального времени, сверхнадежные функции с низкой задержкой для автономных устройств и устройств Интернета вещей следующего поколения (IoT). Кроме того, в данных сетях обеспечивается дополнительная пропускная способность и меньшая задержка, обеспечивая возможности Интернета вещей, коммерческой дополненной и виртуальной реальности и крупномасштабного использования датчиков.

В AnyLogic созданы следующие типы агентов для моделирования сети 5G [8]:

1. Base – описывает базовые станции, с которыми взаимодействуют устройства абонентов (телефоны, автомобили, устройства IoT).

2. DataCenter – описывает центры, которые предоставляют услуги абонентам (телефонная связь, мобильный интернет, IoT).

3. Sub – описывает абонентов, которые сначала подключаются к базовым станциям, а затем их данные отправляются в сеть виртуализации для доступа к необходимым услугам.

4. SubToCenter – описывает все соединения абонентов с дата-центрами.

5. Simulation – запускает моделирование.

Тип агента Main. Рабочая область представляет собой графическое изображение различных уровней сети 5G и схематическое изображение компонентов библиотеки моделирования производственных процессов и систем. Логическая цепь используется для генерации случайных абонентов и передачи их на обработку.

Каждый элемент логической цепи использует информацию об абонентах, которая хранится в классе Sub. Вначале будут реализованы агенты-абоненты с

интенсивностью 0,5 в секунду. Затем агенты перемещаются к первому конвейеру с помощью блока queue (он используется для ожидания, если конвейер заполнен). Компонент конвейера отображается на графике с помощью заданных свойств (рисунок 1).

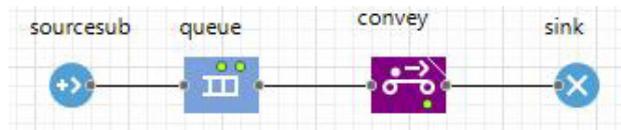


Рисунок 1. Логическая цепь устройств в программе AnyLogic

На уровне сети с базовыми станциями располагаются агенты типа Base, которые имитируют базовые станции RAT (Radio Access Technology). Агенты этого типа объединены в группу base и расположены в определенном месте [9]. Их координаты берутся из двумерной матрицы baseLoc и присваиваются свойствам группы base.

В данном случае, индекс (index) используется как порядковый номер агента при обращении к двумерному массиву baseLoc. Размер этого массива совпадает с количеством агентов в популяции и составляет 10 базовых станций. Каждый агент-абонент добавляется в группу абонентов (subs) для сбора статистики о количестве абонентов разного типа (сколько IoT-устройств, сколько смартфонов, сколько автомобилей и т. д.) в данный момент, подключенных к дата-центру, тип агента Base.

Модель содержит анимацию изображений станций, коммутаторов и шестиугольников белого цвета для обозначения активных сот. Видимость шестиугольника соты определяется переменной ceil, которая может принимать значения от 1 до 6, в зависимости от того, установлена ли связь с абонентом. Отображается тот шестиугольник, порядковый номер которого совпадает со значением переменной ceil.

Такая логика задается кодом в свойстве отображения шестиугольников. Значение links содержит число возможных подключений к абонентам в определенный момент времени. В группе агентов base используется тип агента Base и задается один элемент статистики, в котором суммируются значения переменной links для всех станций.

Рассмотрим тип агента Sub. В типе агента Sub располагается информация о абонентах и их подключениях к базовым станциям.

Диаграмма состояния включает в себя переход transition, который запускается каждые 0,1 секунды, чтобы конец линии связи от абонента возвращался в точку положения базовой станции. Направление и скорость перемещения конвейера - 2 м/с. Выбор интервала перехода 0,1 обеспечивает плавное возвращение конца линии в начальное положение.



данным вероятностям. Эти блоки используются для направления потоков данных на различные станции в зависимости от характеристик этих вышек, таких как загруженность или приоритет. Несколько блоков Select Output имеют вероятность 0,4, а несколько от 0,5 до 0,7. Данный параметр определяет нагрузку на базовую станцию.

2. Блоки Queue (блоки очереди) моделируют очередь из поступающих на них агентов, которые ждут дальнейшей обработки. Первые блоки принимают и передают информацию в определенном порядке, т. е. согласно приоритету. Последний блок объединяет в себе все поступающие в него данные. Последние три блока принимают и передают данные, основываясь на приоритете и задержке. Для блоков Queue установлен параметр «емкость», который указывает, сколько агентов может хранить в себе каждый конкретный блок. В нашем случае 80 агентов.

3. Блоки Delay определяют задержку агентов на определенный период времени. Первый блок устанавливает время задержки для входов с вышек. Блоки Sink подсчитывают поступающие в них пакеты данных. Некоторые из них считают необработанные пакеты данных, поступающие от башен, а последний считает общее количество обработанных пакетов.

Помимо схемы с приоритетами, можно реализовать схему FIFO (First In, First Out – первый пришел, первый обслужился) и LIFO (Last In, First Out – последний пришел, первый обслужился). Slice1–Slice6 – станции, не разделяемые на приоритеты. Узел RN

(radio node) соединяет все станции и работает как счетчик пакетов, которые проходят через него от одной к другой. Обработка пакетов идет по указанной дисциплине очереди. Далее проверяется качество обслуживания – потеря пакетов и задержки в передаче данных. Модель содержит один класс Main (так же, как показано на рисунке 3).

Все типы данных также передаются в соответствии с выбранными параметрами. Для каждого блока установлена интенсивность прибытия, а также задано количество агентов, прибывающих в секунду, задается нагрузка на базовую станцию, количество поступающих пакетов от абонентов, приоритет заявок, количество потерянных заявок и т.д.

### Результаты исследований

Проведем моделирование сети 5G с различными вариантами выбора дисциплин очереди, с учетом решения проблем, указанных в [10; 11].

В таблице 1 приведены результаты исходных данных и полученные при моделировании для приоритетной очереди PR. В таблице 2 – для FIFO.

В данном случае расчет происходит за 1 минуту моделирования модели. Время обслуживания будет рассчитываться как:

$$T_0 = \frac{\rho}{N},$$

где  $T_0$  – время обслуживания пакетов,  $\rho$  – нагрузка на базовую станцию (%),  $N$  – число отправленных пакетов.

Таблица 1. Результаты моделирования для приоритетной очереди

Характеристики	Станции 5G		
	Slice1	Slice2	Slice3
Исходные данные нагрузки, %	0,7	0,5	0,4
Приоритет PR (при наличии)	1	4	10
Исходные данные максимального граничного значения задержки, мс	1	6	15
Количество отправленных пакетов, шт.	898	730	660
Количество потерянных пакетов, шт.	1	56	78

Таблица 2. Результаты моделирования для FIFO

Характеристики	Станции 5G					
	Slice1	Slice2	Slice3	Slice4	Slice5	Slice6
Исходные данные нагрузки, %	0,5	0,55	0,65	0,7	0,6	0,45
Приоритет PR (при наличии)	0	0	0	0	0	0
Исходные данные максимального граничного значения задержки, мс	15	5	3	1	4	10
Количество отправленных пакетов, шт.	420	530	334	530	550	289
Количество потерянных пакетов, шт.	14	12	0	1	5	55

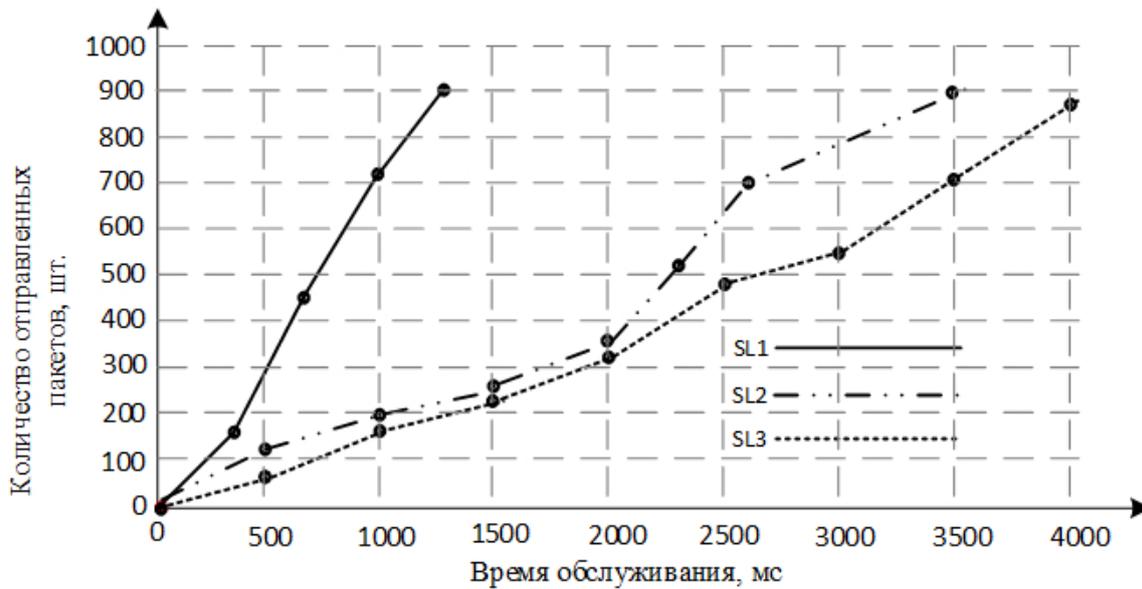


Рисунок 4. Зависимость времени обслуживания от количества отправленных пакетов в 5G с учетом приоритетов

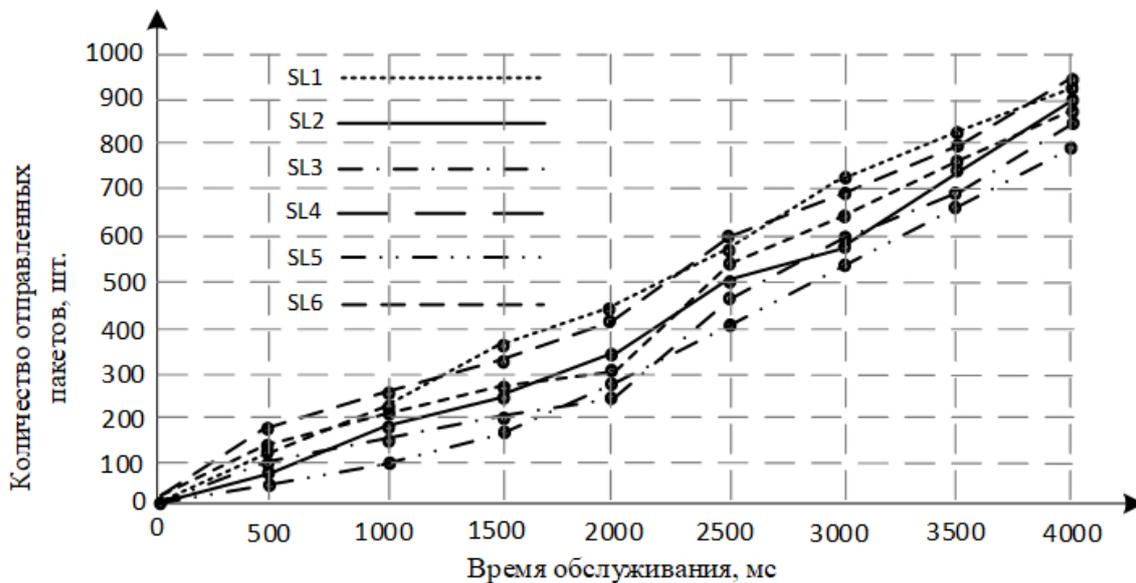


Рисунок 5. Зависимость времени обслуживания от количества отправленных пакетов в 5G без учета приоритетов

Получим графики зависимости времени обслуживания от количества отправленных пакетов в 5G с учетом приоритетов и без учета приоритетов, а также сделаем вывод о количестве потерянных пакетов (рисунок 4, рисунок 5).

### Заключение

В результате исследования можно отметить:

1. По мере увеличения объема данных, обрабатываемых базовой станцией, время обработки пакетов растет.
2. Повышение приоритетности станции способствует сокращению времени обработки пакетов.

3. В целом, наиболее оптимальной конфигурацией является станция с низким приоритетом, низкой нагрузкой и средним количеством поступающих пакетов, так как такая станция обеспечивает среднее время обработки.

4. Исходя из различных дисциплин очереди, можно сделать вывод о возможности выбора наиболее оптимального решения для конкретного случая.

Таким образом, разработанная модель позволяет оценить влияние различных характеристик вышек 5G на качество обслуживания пакетов данных в сети. Это может помочь операторам связи оптимизировать работу своих сетей и обеспечить более эффективное использование ресурсов.

## Литература

1. Оссейран А. Технологии мобильной связи 5G: анализ и перспективы // Первая миля. 2013. Т. 38, № 5. С. 16–21.
2. Модели и методы анализа и расчета показателей эффективности беспроводных гетерогенных сетей: монография / Ю.В. Гайдамака [и др.]. Москва: ФИЦ ИУ РАН, 2018. 71 с.
3. Никишин К.И. Исследование и моделирование 5G сети и характеристик передачи в среде AnyLogic // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2023. Т. 16, № 3. С. 15–24.
4. Кисельников А.Е., Усс М.О., Шидловский Д.Ю. Разработка систем связи стандарта 5G с применением инструментария 5G TOOLBOX программного пакета MATLAB // Центр инженерных технологий и моделирования «Экспонента», 2023. 10 с. URL: <https://hub.exponenta.ru/post/razrabotka-sistem-svyazi-standarta-5g-s-primeneniem-instrumentariya-5g-toolbox-programmnogo-paketa-matlab126> (дата обращения: 20.10.2023).
5. Xiaolong J., Geyong M. Modelling and analysis of priority queueing systems with multi-class self-similar network traffic: a novel and efficient queue-decomposition approach // IEEE Transactions on Communications. 2007. Vol. 57. P. 1444–1452.
6. Фокин Г.А. Модель технологии сетевого позиционирования метровой точности 5G NR. Часть 1. Конфигурация сигналов PRS // Труды учебных заведений связи. 2022. Т. 8, № 2. С. 48–63.
7. Никишин К.И. Моделирование беспроводной сенсорной сети с использованием OMNET++ // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2021. № 78. С. 46–54.
8. Боев В.Д. Об адекватности систем имитационного моделирования GPSS World и Any Logic. Часть 1 // Прикладная информатика. 2010. № 6 (30). С. 69–82.
9. Боев В.Д. Об адекватности систем имитационного моделирования GPSS World и AnyLogic. Часть 2 // Прикладная информатика. 2011. № 4 (34). С. 30–40.
10. Глушак Е.В., Лысиков А.А. Проблемы моделирования детерминированной базовой сети 5G // Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи: материалы XXX Российской научно-технической конференции. Самара, 2023. С. 30–31.
11. Глушак Е.В., Лысиков А.А. Проблемы моделирования детерминированной сети радиодоступа 5G // Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи: материалы XXX Российской научно-технической конференции. Самара, 2023. С. 31–32.

Получено 08.11.2023

**Глушак Елена Владимировна**, к.т.н., доцент кафедры сетей и систем связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 917 118-65-66. E-mail: [evglushak@yandex.ru](mailto:evglushak@yandex.ru)

## 5G NETWORK MODEL DEVELOPMENT IN ANYLOGIC ENVIRONMENT

*Glushak E.V.*

*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation  
E-mail: [evglushak@yandex.ru](mailto:evglushak@yandex.ru)*

This article describes the analysis of programs for modeling 5G networks. In the selected AnyLogic program, a 5G network model with several base stations that have different characteristics was created. Studies of this model have been made taking into account various disciplines of the queue, the load on each station has been calculated at different priorities. It is proved that this model can be used to study and evaluate the of data transmission efficiency in 5G networks, as well as to analyze the impact of the characteristics of additional parameters (latency, load and priorities) on the quality of data processing. The studies confirmed that the developed 5G network model can help telecom operators optimize performance of their networks and ensure more efficient use of allocated resources.

**Keywords:** *5G networks, latency, packet loss, data transmission, base stations, AnyLogic program, service time, queue, network load*

**DOI:** 10.18469/ikt.2023.21.2.02

**Glushak Elena Vladimirovna**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Sasmara, 443010, Russian Federation; Associate Professor of Networks and Communication Systems Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 917 118-65-66. E-mail: evglushak@yandex.ru

### References

1. Osseiran A. 5G radio access: research and vision. *Pervaya milya*, 2013, vol. 38, no. 5, pp. 16–21. (In Russ.)
2. Gaydamaka Yu.V. et al. *Models and methods of analysis and calculation of performance indicators of wireless heterogeneous networks: monograph*. Moscow: FITZ IU RAN, 2018, 71 p. (In Russ.)
3. Nikishin K.I. Research and simulation of a 5g network and transmission characteristics in anylogic. *Izvestiya SPbGETU «LETI»*, 2023, vol. 16, no. 3. pp. 15–24. (In Russ.)
4. Kiselnikov A.E., Uss M.O., Shidlovsky D.Y. *Development of communication systems of the 5G standard using the 5G TOOLBOX of the MATLAB software package*. Center for Engineering Technologies and Modeling «Exponent», 2023, 10 p. URL: <https://hub.exponenta.ru/post/razrabotka-sistem-svyazi-standarta-5g-s-primeneniem-instrumentariya-5g-toolbox-programmno-go-paketa-matlab126> (accessed: 20.10.2023). (In Russ.)
5. Xiaolong J., Geyong M. Modelling and analysis of priority queueing systems with multi-class self-similar network traffic: a novel and efficient queue-decomposition approach. *IEEE Transactions on Communications*, 2007, vol. 57, pp. 1444–1452.
6. Fokin G.A. Simulation model of 5G NR network positioning technology with meter accuracy. Part 1. PRS signals configuration. *Trudy uchebnykh zavedeniy svyazy*, 2022, vol. 8, no. 2, pp. 48–63. (In Russ.)
7. Nikishin K.I. Modeling of wireless sensor network using. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*, 2021, no. 78, pp. 46–54. (In Russ.)
8. Boev V. D. About adequacy of systems of imitating modelling GPSS world and Anylogic. *Prikladnaya informatika*, 2010, no. 6 (30), pp. 69–82. (In Russ.)
9. Boev V. D. On the adequacy of GPSS and Anylogic simulation system. *Prikladnaya informatika*, 2011, no. 4 (34), pp. 30–40. (In Russ.)
10. Glushak E.V., Lysikov A.A. Problems of modeling a deterministic 5G base network. *Aktual'nye problemy informatiki, radiotekhniki i svyazi: materialy XXX Rossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*, Samara, 2023, pp. 30–31. (In Russ.)
11. Glushak E.V., Lysikov A.A. Problems of modeling a deterministic 5G radio access network. *Aktual'nye problemy informatiki, radiotekhniki i svyazi: materialy XXX Rossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. Samara, 2023, pp. 31–32. (In Russ.)

Received 08.11.2023

## ЛИНИИ СВЯЗИ И ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621.315.2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧИ И ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ СИГНАЛЬНО-БЛОКИРОВОЧНЫХ КАБЕЛЕЙ С ТОКОПРОВОДЯЩИМИ ЖИЛАМИ ПОВЫШЕННОЙ ГИБКОСТИ

Попов В.Б.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ  
E-mail: inkat@inbox.ru

В последние годы интенсивное развитие пассажирского скоростного и грузового тяжеловесного движения определяет повышенные требования к организации и обеспечению перевозок, разработке и внедрению новых, пре-