

**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ СЕТЕВОЙ  
ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ**



**СИБАДИ®**



**№3 (35) 2023**

**ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ  
СТРОИТЕЛЬСТВА**

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет  
(СибАДИ)»

# ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

+6

Журнал учрежден ФГБОУ ВО «СибАДИ» в 2014 г.  
Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций

(Роскомнадзор)

Эл. № ФС77- 70353 от 13 июля 2017 г.

Периодичность 4 номера в год.

Предназначен для информирования научной общественности  
о новых научных результатах, инновационных разработках  
профессорско-преподавательского состава, докторантов,  
аспирантов и студентов, а также ученых других вузов.

Выпуск 3 (35)

октябрь 2023 г.

Дата опубликования: 31.10.2023

© ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2023

## ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»  
Техника и технологии строительства

<http://ttc.sibadi.org/>

Научно-практический сетевой электронный журнал. Издается с 2015 г., Выходит 4 раз в год

№ 3 (35)  
дата выхода в свет 31.10.2023

*Главный редактор Жигадло А.П.*, д-р пед. наук, канд. техн. наук, доц., ректор ФГБОУ ВО «СибАДИ».  
*Зам. главного редактора Корчагин П.А.*, д-р техн. наук, проф., проректор по научной работе ФГБОУ ВО «СибАДИ».

*Editor-in-Chief – Zhigadlo A.P.*, doctor of pedagogical sciences, candidate of technical sciences, associate professor, rector, of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia.

*Deputy editor-in-chief – Korchagin P.A.*, doctor of technical sciences, professor, pro-rector for scientific research of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia.

### **Редакционная коллегия:**

**Глотов Б.Н.**, д-р техн. наук, профессор Карагандинского государственного технического университета, Республика Казахстан, г. Караганда.

**Ефименко В.Н.**, доктор технических наук, декан факультета «Дорожное строительство», зав. кафедрой «Автомобильные дороги» ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», г. Томск.

**Жусупбеков А.Ж.**, Вице – Президент ISSMGE по Азии, Президент Казахстанской геотехнической ассоциации, почетный строитель Республики Казахстан, директор геотехнического института, заведующий кафедрой «Строительства» ЕНУ им Л.Н. Гумилева, член-корреспондент Национальной Инженерной Академии Республики Казахстан, д-р техн. наук, профессор, г. Астана, Казахстан.

**Исаков А.Л.**, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС)», г. Новосибирск.

**Карпов В.В.**, д-р экон. наук, проф., Председатель ОНЦ СО РАН, г. Омск.

**Лис Виктор**, канд. техн. наук, инженер - конструктор специальных кранов фирмы Либхерр - верк Биберах ГмбХ (Viktor Lis Dr-Ing. (WAK), Libherr-Werk Biberach GmbH), Mittlbiberach, Германия.

**Матвеев С.А.**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск.

**Миллер А.Е.** д-р экон. наук, профессор ОмГУ им. Ф.М. Достоевского, г. Омск.

**Мочалин С.М.**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск.

**Насковец М.Т.**, канд., техн., наук, УО «Белорусский государственный технологический университет», Республика Беларусь, г. Минск.

**Псэриэнос Бэзил**, доктора инженерных наук, профессор Национального технического университета, г. Афины, Греция.

**Щербаков В.С.**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «СибАДИ».

### **Members of the editorial board:**

**Glotov B.N.**, doctor of technical sciences, professor, Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan.

**Efimenko V. N.**, doctor of technical sciences, dean of faculty «Road construction», department chair «Highways», Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk.

**Zhusupbekov A.Z.**, Vice - President of ISSMGE in Asia, President of Kazakhstan Geotechnical Association, honorary builder of the Republic of Kazakhstan, director of the Geotechnical Institute, head of the department "Construction" of L.N. Gumilyov Eurasian National University, corresponding member of the National Academy of Engineering of the Republic of Kazakhstan, doctor of technical sciences, professor, Astana, Kazakhstan.

**Isakov A.L.**, doctor of technical sciences, professor, Siberian State University of Means of Communication (SSUMC), Novosibirsk.

**Karpov V.V.**, doctor of Economics, professor, the chairman of the Omsk scientific center of The Russian Academy of Sciences' Siberian branch.

**Lis Victor**, candidate of technical sciences, design-engineer of special cranes of Liebherr - Werk Biberach GmbH (Viktor Lis Dr-Ing. (WAK), Libherr-Werk Biberach GmbH), Mittlbiberach, Germany.

**Matveev S.A.**, doctor of technical sciences, professor, of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia.

**Miller A.E.**, doctor of economic sciences, professor OMGU of F.M. Dostoyevsky, Omsk.

**Mochalin S.M.**, doctor of technical sciences, professor, of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia.

**Naskovets M.T.**, candidate of the technical science, YO «Belarusian State Technological University», Minsk, Belarus.

**Psarianos Basil**, Dr-Ing., professor Natl Technical University, Athens, Greece.

**Shcherbakov V.S.**, doctor of technical sciences, professor, of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia.

Учредитель ФГБОУ ВО «СибАДИ».

**Адрес учредителя:** 644050, г. Омск, пр. Мира, 5.

Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС77-70353 от 13 июля 2017 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). С 2015 года представлен в Научной Электронной Библиотеке [eLIBRARY.RU](http://eLIBRARY.RU) и включен в **Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)**.

**Редакционная коллегия** осуществляет экспертную оценку, рецензирование и проверку статей на плагиат.

**Редактор** Куприна Т.В.

**Адрес редакции журнала** 644050, г. Омск, пр. Мира, 5

Тел. (3812) 65-88-30. e-mail: [ttc.sibadi@yandex.ru](mailto:ttc.sibadi@yandex.ru)

© ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2023

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **РАЗДЕЛ I НАЗЕМНЫЙ ТРАНСПОРТ**

**А.Н. Григорьева**

Исследования заправочных станций и способов зарядки электромобилей

**А.В. Хохлов, М.Г. Симуль**

Применение информационных технологий для расчета транспортной задержки на регулируемом перекрестке



## ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ И СПОСОБОВ ЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

**А.Н. Григорьева**

*Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ),  
г. Омск, Россия*

**Аннотация.** В статье рассмотрены коммерчески доступные типы и способы зарядки электромобилей, а также проведен анализ перспективных зарядных станций для данного вида автотранспорта. Исследования показали, что удаленные, автономные зарядные станции для электромобилей нуждаются в накопителях энергии.

**Ключевые слова:** электромобили, зарядные станции, заправочные станции, электроснабжение, аккумуляторная батарея

## RESEARCH OF GAS STATIONS AND WAYS OF CHARGING ELECTRIC VEHICLES

**A.N. Grigoreva**

*The Siberian State Automobile and Highway University,  
Omsk, Russia*

**Abstract.** The article discusses commercially available types and methods of charging electric vehicles, as well as an analysis of promising charging stations for this type of vehicle. Studies have shown that remote, autonomous charging stations for electric vehicles need energy storage.

**Keywords:** electric vehicles, charging stations, gas stations, power supply, battery.

### ВВЕДЕНИЕ

Популярность электромобилей (ЭМ) в последние десятилетия возросла благодаря их превосходным характеристикам и экономичности. В связи с загрязнением парниковыми газами, глобальным потеплением и сокращением использования ископаемого топлива электромобили в целом были признаны заменой глобальным экологическим проблемам и выбросам CO<sub>2</sub> в автомобильной промышленности [1]. Силовые электронные технологии обеспечивают высокую надежность и эффективность при преобразовании возобновляемой энергии, а также помогают снизить вредные выбросы [2]. Расчетное снижение выбросов парниковых газов в 2030 г. составит 40–215 млн т CO<sub>2</sub>, а в 2050 г. – около 340–1380 млн т CO<sub>2</sub>. Для предотвращения этой тенденции необходим отказ от углеводородного топлива для транспортного сектора [3].

Низкие цены на электроэнергию и высокие цены на нефть увеличивают скорость распространения электромобилей. На рисунке 1 представлен график изменения стоимости углеводородного моторного топлива и электроэнергии.

Информация получена в открытых интернет-источниках [4, 5, 6].

Однако при использовании электромобилей с литий-ионными аккумуляторами возникают трудности в процессе эксплуатации при точном прогнозировании их работоспособности и сроке службы [7]. Также существует проблема в утилизации литий-ионных аккумуляторных батарей [8]. Биобатареи потенциально могут стать многообещающей экологически чистой аккумуляторной технологией будущего с меньшим воздействием на окружающую среду, чем существующие аккумуляторные батареи [9].

## НАЗЕМНЫЙ ТРАНСПОРТ

Энергоснабжение является серьезной проблемой при эксплуатации электромобилей [10]. Еще одной огромной проблемой при эксплуатации электромобилей является сеть электрических заправочных станций и скорость зарядки электромобилей.

Бурное развитие электроэнергетики в настоящее время позволяет с оптимизмом смотреть на технологии быстрой зарядки постоянным током. В системах постоянного тока затраты на техническое обслуживание и дорогостоящее усиление электросети компенсируются быстрой зарядкой, что снижает потребность в дополнительном накопителе энергии [11].

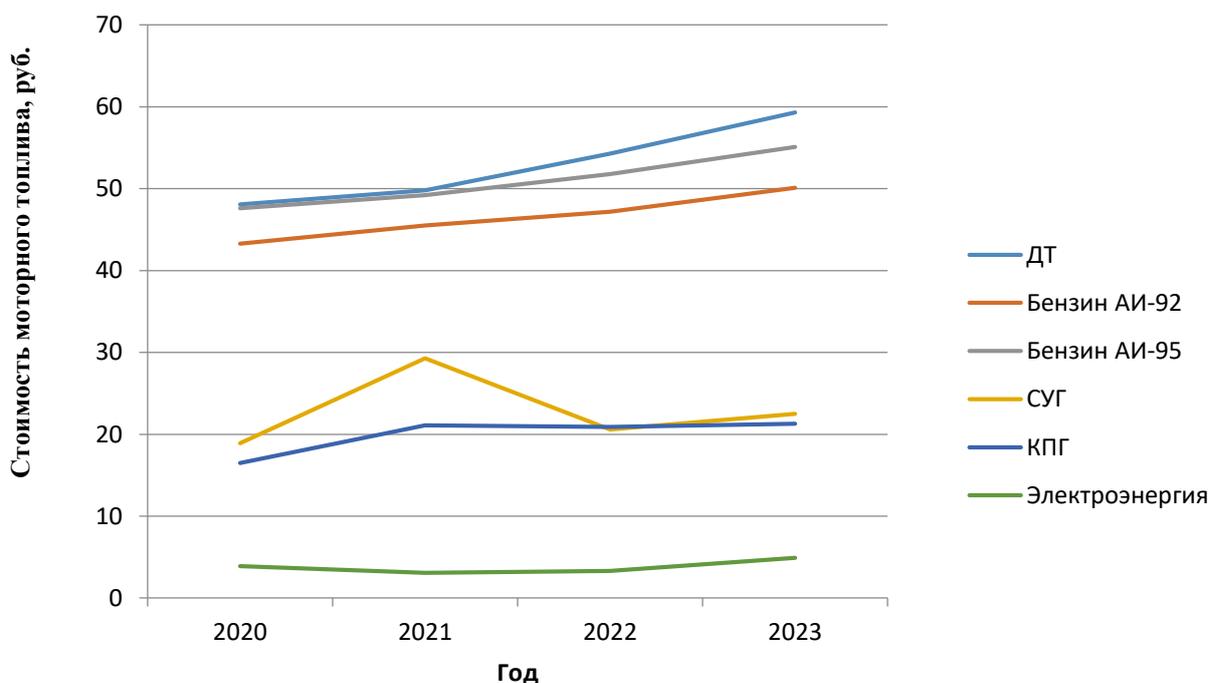


Рисунок 1 – Средняя стоимость углеводородного моторного топлива и электроэнергии за период 2020–2023 гг. в РФ

Figure 1 – Average cost of hydrocarbon motor fuel and electricity for the period 2020-2023 in the Russian Federation

Распространение систем постоянного хранения повысит рентабельность за счет снижения затрат на электросети соединения на городских и автомагистральных зарядных станциях [12]. Быстрорастущее количество электромобилей подталкивает на развитие инфраструктуры мощных зарядных станций. По мнению экспертов, доля электромобилей на рынке должна быть увеличена за счет сокращения времени зарядки аккумулятора [13].

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Типы и способы зарядки электромобилей.

Зарядка электромобилей осуществляется переменным или постоянным током. При зарядке переменным током изменяется его величина и направление. Зарядка переменным током относится к медленному способу зарядки. При зарядке постоянным током характеристики тока будут неизменными. Подключение электромобиля к источнику постоянного тока позволит значительно быстрее осуществить заряд. Зарядка постоянным током относится к быстрому способу зарядки.

Рассмотрим типы зарядки электромобилей:

#### 1. Бытовая сеть.

Зарядка осуществляется от электрической сети с напряжением питания 230 В переменного тока. Конструкция розетки и используемые провода ограничивают силу тока значением 16 А.

Время заряда от 6 до 24 ч. Чтобы не столкнуться с перегревом кабеля, замыканием, рекомендуется пользоваться заводским кабелем со специальной защитой, он, как правило, идет в комплекте с электромобилем.

Для того чтобы полностью зарядить батарею аккумуляторов электромобиля Tesla Model S 75D потребуется около 21 ч [14].

### 2. Заправочная станция переменного тока.

Зарядка осуществляется трехфазным переменным током с напряжением питания 400 В.

Данные заправочные станции способны передавать мощность порядка десятков кВт. Ток зарядки варьируется от 30 до 70 А. Наиболее распространенным разъемом для данного типа зарядки в европейских странах, в том числе в РФ, является Type 2 (рисунок 2).

При использовании данного типа зарядки аккумуляторов электромобиля Tesla Model S 75D потребуется от 3 до 7 ч [14].

Также стоит отметить, что непосредственно аккумуляторы электромобиля всегда заряжаются постоянным током. Поэтому в электромобиль встроено зарядное устройство, которое преобразует поступающий со станции переменный ток в постоянный и регулирует параметры зарядки. Наличие такого устройства для любого электромобиля обязательно, иначе он не сможет подзарядиться в критической ситуации.

В конструкции станции на переменном токе есть системы защиты как электромобиля, так и электрической сети от нештатных ситуаций, и при необходимости биллинговая система, позволяющая продавать услугу зарядки. Размещение основных узлов зарядного устройства на борту электромобиля ограничивает скорость зарядки на переменном токе. Чем выше скорость зарядки, тем больше сила тока. В свою очередь это влечет за собой увеличение массы и габаритов электронных узлов, отвечающих за зарядку. Увеличение скорости зарядки потребует улучшения отвода тепла от электронных узлов. Ограничения по массе, габаритам и возможностям отвода тепла в легковом электромобиле определили предел тока зарядки в 32 А, что характерно для большинства массовых моделей электромобилей.



Рисунок 2 – Тип разъема для зарядки трехфазным переменным током – Type 2

Figure 2 – Three-phase AC charging connector type - Type 2

### 3. Заправочная станция постоянного тока.

Рабочее напряжение аккумуляторной батареи в современных электромобилях обычно составляет 400–450 В, поэтому в качестве стандарта для зарядки на постоянном токе приняты напряжение 500 В.

## НАЗЕМНЫЙ ТРАНСПОРТ

При использовании данного типа зарядки осуществляется подключение заправочной станции напрямую к аккумуляторной батарее. При таком типе зарядки нет ограничений по размерам и массе зарядного устройства, так как все его узлы размещены вне кузова электромобиля.

При зарядке постоянным током интерфейс между станцией и электромобилем обязательно должен содержать канал передачи данных от транспортного средства к зарядке. На основании этой информации станция определяет тип и текущее состояние аккумуляторной батареи, точно подстраивая напряжение и некоторые другие параметры зарядки.

Для зарядки постоянным током используются разъемы CHAdeMO, CCS и Tesla Type 2 (рисунок 3). Зарядные станции с разъемами CHAdeMO и CCS имеют мощность 50 кВт. Такая мощность позволяет за 1,5 ч зарядить электромобиль для пробега 500 км.

В настоящее время осуществляется выпуск заправочных станций постоянного тока не только иностранными компаниями, но и российскими. Первой такой станцией стала «Фора ЭЗС-DC» [15]. Она поддерживает интерфейсы CHAdeMO или CCS, а также ультраскоростную зарядку на переменном токе через Type 2.

Режимы зарядки электромобилей, определенные стандартами SAE J1772, IEC 61851-1, широко используются во всем мире [16]. Параметры зарядных станций для электромобилей в РФ регламентируются ГОСТ Р МЭК 61851-1–2013 «Системы токопроводящей зарядки электромобилей», являющимся адаптацией международного стандарта IEC 61851-1.

Анализ зарядных станций для электромобилей.

Зарядные станции для электромобилей (ЗС) используют многоэнергетическую систему возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для ее выработки.

Гибридные зарядные станции работают вне сети. Эти системы нуждаются в технологии хранения данных для удовлетворения потребностей в нагрузке ночью или в периоды пиковой нагрузки. Эти отдельные зарядные станции предлагают вспомогательные услуги и защиту от колебаний напряжения [17].

Также существуют удаленные зарядные станции с различными конструкциями систем накопления энергии [18].



Рисунок 3 – Тип разъема для зарядки постоянным током – CCS

Figure 3 – DC Charging Connector Type - CCS

Системы накопления энергии в изолированных гибридных зарядных станциях обычно имеет три варианта:

1. Конфигурация единой системы накопления энергии.

Эта установка обеспечивает питание с использованием местных возобновляемых источников энергии и единого устройства накопления.

В данной системе может использоваться дизельный генератор для выработки электроэнергии из возобновляемых источников в аварийной ситуации. По сравнению с традиционной электросетевой конструкцией автономная гибридная система с единой конфигурацией хранилища энергии требует меньших инвестиций и приносит больше прибыли при заправке электромобилей. Однако автономные системы имеют более высокие затраты на замену батарей.

2. Конфигурация гибридной системы накопления энергии.

Критическим недостатком гибридных систем, основанных на возобновляемых источниках энергии, является короткий срок службы накопителей энергии. Мощные накопительные системы обеспечивают высокую мощность в течение короткого времени, в то время как высокоэнергетические накопительные устройства обеспечивают среднюю мощность в течение более длительного времени. Технологии высокой мощности и накопления энергии дают наиболее значительный экономический эффект [17].

Система объединяет литий-ионные, свинцово-кислотные аккумуляторы и накопитель на основе суперконденсатора для резких колебаний мощности. Существуют примеры автономной гибридной зарядной станции для электромобилей, использующих литий-ионные аккумуляторы, водород и накопители на основе аммиака для зарядки 50 автомобилей в день [17].

3. Конфигурация системы хранения с возможностью замены.

Технология системы зарядки электромобилей включает в себя сменный накопитель. Полностью заряженный аккумулятор зарядной станции заменяет разряженный аккумулятор электромобиля.

В данной системе имеется устройство для хранения и приема аккумуляторов, а также роботизированное оборудование по замене аккумуляторов.

Электронный блок такой системы данных собирает данные об электромобиле, поступающем на зарядную станцию, а именно: тип, размер, состояние зарядки батареи электромобиля.

Владельцы электромобилей в данном случае берут и сдают аккумуляторные батареи в аренду.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В проведенных исследованиях рассмотрены коммерчески доступные типы и способы зарядки электромобилей, а также проведен анализ перспективных зарядных станций для электромобилей.

Каждый способ зарядки уникально обеспечивает оптимальную зарядку, но у каждого есть свои преимущества и недостатки.

Настоящие исследования дают важную информацию для будущих научных работ по созданию процессов быстрой зарядки и устранению недостатков существующих методов зарядки. Для безопасной, эффективной и быстрой зарядки следует уделять приоритетное внимание контролю температуры аккумулятора.

Анализ зарядных станций для электромобилей демонстрирует, что удаленные, автономные зарядные станции для электромобилей нуждаются в накопителях энергии. Гибридные системы хранения энергии заменяют однотипные системы хранения, поскольку они устраняют их недостатки. Сменные зарядные станции для аккумуляторов – лучший способ сократить время зарядки электромобилей.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беляев Д.С., Генсон Е.М. Определение расхода электроэнергии при эксплуатации электромобилей в загородном режиме // В сборнике: Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2022. № 1. С. 5–11.
2. Raphael Langbauer, Georg Nunner, Thomas Zmek, Jürgen Klärner, René Prieler, Christoph Hochenauer, Modelling of thermal shrinkage of seamless steel pipes using artificial neural networks (ANN) focussing on the influence of the ANN architecture, Results Eng. 17 (2023), 100999, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100999>. ISSN 2590-1230.

3. Григорьев Д.А. Перспективы развития структуры зарядных станций электромобилей // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 31. С. 249 – 251.
4. Показатель «Средние потребительские цены (тарифы) на товары и услуги» // ЕМИСС. Государственная статистика. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31448>, свободный. Заглавие с экрана (дата обращения: 07.09.2023). Текст: электронный.
5. СКТ Первые Российские ЭЗС: официальный сайт. URL: <https://skt-charge.ru/prices/> (дата обращения: 07.09.2023). Текст: электронный.
6. ECARS24: официальный сайт. URL: <https://ecars24.info/karta-elektrozpravok> (дата обращения: 07.09.2023). Текст: электронный.
7. Антониади К.С., Соломко Д.С., Коваль О.И. Тенденции использования электромобилей // Colloquium-Journal. 2020. № 2-1 (54). С. 42–43.
8. D.N.T. How, et al., State-of-Charge Estimation of Li-Ion Battery in Electric Vehicles: A Deep Neural Network Approach, Dickson N.T., 2019. IACC-0821.
9. Vidal C., Kollmeyer P., Chemali E., Emadi A., Li-ion battery state of charge estimation using long short-term memory recurrent neural network with transfer learning, in: In Proc. Of IEEE Transportation Electrification Conf. and Expo, ITEC), Detroit, MI, USA, 2019, pp. 1–6.
10. Гаевский В.В., Одинокова И.В. Влияние автомобилей с ДВС и электромобилей на окружающую среду: сравнение и оценка факторов воздействия // Мир транспорта. 2019. Т. 17, № 3 (82). С. 220– 231.
11. Tran, D.-D., et al, Thorough State-of-the-art Analysis of Electric and Hybrid Vehicle Powertrains: Topologies and Integrated Energy Management Strategies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020. 119 (2020) 109596]
12. Блинков В.М., Щелудяков А.М. Тенденции автомобильной промышленности, электромобили и автономные транспортные средства // Master's Journal. 2022. № 1. С. 94–102.
13. Комарова М.В. Анализ рынка электромобилей в России // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 21. С. 276–281.
14. Отраслевой электротехнический интернет-портал [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.elec.ru/publications/elektricheskaja> (дата обращения: 02.09.2023).
15. ФОРА ЭЗС-DC экспресс-зарядка [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://skyprom.ru/shop/elektromobili-i-zaryadnye-stantsii/fora/fora-ezs-dc-ekspresszaryadka> (дата обращения: 02.09.2023).
16. Инжуватов Д.А., Краснов И.А. Способы решения основных проблем электромобилей // European Journal of Renewable Energy. 2022. № 7 (1). С. 9–14.
17. Balogun J.S., Static Optimization of Fuel Cell Plug-In Hybrid Electric Vehicle, Northern Illinois University, 2018.
18. Донцов С.А. К вопросу экологической безопасности аккумуляторных батарей электромобилей // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2020. № 31. С. 76–79.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Григорьева А.Н. — магистрант группы ЭТКм-23МА1 ФГБОУ ВО «СибАДИ».*

### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

*Grigoreva A.N. – master's student ЭТКм-23МА1 The Siberian State Automobile and Highway University.*

**Научный руководитель:**  
**Банкет Михаил Викторович, канд. техн. наук, доц.,**  
**директор института «Автомобильный транспорт и нефтегазовая техника»**  
**ФГБОУ ВО «СибАДИ»**



## ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДЕРЖКИ НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕКРЕСТКЕ

*А. В. Хохлов, М. Г. Симуль*

*Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ),  
г. Омск, Россия*

**Аннотация.** В статье приведены результаты разработки программы для расчета величины транспортной задержки на регулируемом перекрестке. Транспортная задержка является критерием выбора режима регулирования на транспортных пересечениях. Она бывает экспериментальной и расчетной. Приведено описание средств построения имитационных моделей.

**Ключевые слова:** длительность разрешающего такта, переходный интервал, расчет транспортной задержки, светофорный цикл, транспортная задержка

## APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR THE CALCULATION OF TRAFFIC DELAY AT A REGULATED INTERSECTION

*A.V. Khokhlov, M.G. Simul*

*The Siberian State Automobile and Highway University (SibADI),  
Omsk, Russia*

**Abstract:** The article presents the results of the development of a program for calculating the amount of traffic delay at a regulated intersection. Transport delay is a criterion for choosing a regulatory regime at traffic crossings. It can be experimental and calculated. A description of the tools for constructing simulation models is given.

**Keywords:** the duration of the permissive stroke; transition interval; calculation of transport delay; traffic light cycle; transport delay.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время за счёт того, что увеличивается количество транспортных средств, таких как личные автомобили и общественный транспорт, возникает проблема управления транспортными потоками. Это приводит к транспортным задержкам, увеличению количества аварий и т.д.

В условиях возрастающих интенсивностей движения транспортных потоков к рациональной организации движения предъявляются требования повышения пропускной способности и безопасности движения. Эти требования установлены ФЗ № 443 [1]. Требования применения технических средств организации движения на участках улично-дорожной сети установлены в работе [2]. В качестве критерия выбора режима регулирования движения может применяться транспортная задержка.

Применение информационных технологий значительно упрощает скорость регулирования движения.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Одним из распространённых методов разработки моделей и процессов, позволяющим с достаточной точностью описывать реальную систему регулирования дорожного движения, является имитационное моделирование [3]. Оно может применяться как на существующих участках улично-дорожной сети, так и на проектируемых.

Для построения имитационных моделей существуют такие средства, как Arena, AnyLogic, GPSS и т.д. Каждое из средств имеет свои плюсы и минусы, а также оснащено различными библиотеками.

Например, система GPSS имеет огромный недостаток в том, что данный язык не имеет графической интерпретации, а не каждый процесс обработки можно представить в виде алгоритма. В основном применяется для моделирования систем массового обслуживания.

Arena – позволяет описывать процессы в различных нотациях, а также отображать графически. Язык программирования – SIMAN. Недостатком данного средства является интерфейс, который нагружен большим количеством библиотек и элементов, изучение которого может отнять много времени.

AnyLogic – программное обеспечение для имитационного моделирования, которое разработано российской компанией The AnyLogic Company. Данное ПО обладает удобным, современным пользовательским интерфейсом, с помощью которого легко и удобно реализовывать модели для моделирования процессов. В качестве языка, встроенного в такое ПО, является язык Java.

В данной работе в качестве информационной технологии, позволяющей наиболее своевременно определить транспортную задержку, применим Excel, а точнее язык программирования Microsoft Visual Basic.

Транспортная задержка бывает расчетной и экспериментальной. Методика определения экспериментальной задержки описана в работах по организации движения, например [3, 4, 5]. Формулы для определения расчетной величины задержки по параметрам светофорного цикла приведены в работе [5].

Задержка в  $i$ -й фазе определяется

$$T_{zi} = \frac{(t_{zi} + t_i)^2}{7200T_{ц}} (N_{\Sigma} - N_i),$$

где  $T_{zi}$  – часовая задержка в  $i$ -й фазе, авт.\*ч/ч;  $N_{\Sigma}$  – суммарная интенсивность на перекрестке со всех подходов, авт./ч;  $N_i$  – интенсивность со всех подходов в  $i$ -й фазе, авт./ч;  $t_{zi}$ ,  $t_i$  – длительности соответственно разрешающего такта и переходного интервала в  $i$ -й фазе;  $T_{ц}$  – длительность цикла, с.

Целью разработки программы расчета транспортной задержки является автоматизация и сокращение времени на производимые расчеты. Разработанная программа основана на применении Excel.

В начале работы с программой появляется диалоговое окно (рисунок 1), в котором есть поля для ввода значений: количества фаз, длительности светофорного цикла, суммарной интенсивности движения на перекрестке (рисунок 2).

Затем для каждой фазы мы вводим значения: длительности разрешающего такта, длительности переходного интервала, интенсивности движения со всех подходов в фазе (рисунки 3, 4).

Общая задержка находится как сумма задержек всех фаз.

В результате расчета мы ее и получаем (рисунок 5).

После выполнения расчета и выбора режима регулирования переходят к подготовке проектной документации, частью которой является проект организации дорожного движения. На схемах организации движения показывают расстановку технических средств организации движения [2].

# НАЗЕМНЫЙ ТРАНСПОРТ

UserForm2

Ввод данных

введите количество фаз светофора

введите длительность цикла, с.

введите суммарную интенсивность на перекрестке

ввод измеренных значений тактов светофорного цикла и расчет

назад

выход

Рисунок 1 – Диалоговое окно при обращении к программе

Figure 1 – Dialog box when accessing the program

UserForm2

Ввод данных

введите количество фаз светофора

введите длительность цикла, с.

введите суммарную интенсивность на перекрестке

ввод измеренных значений тактов светофорного цикла и расчет

назад

выход

Рисунок 2 – Первоначальный ввод исходных данных о режиме регулирования

Figure 2 – Initial input of initial data on the control mode

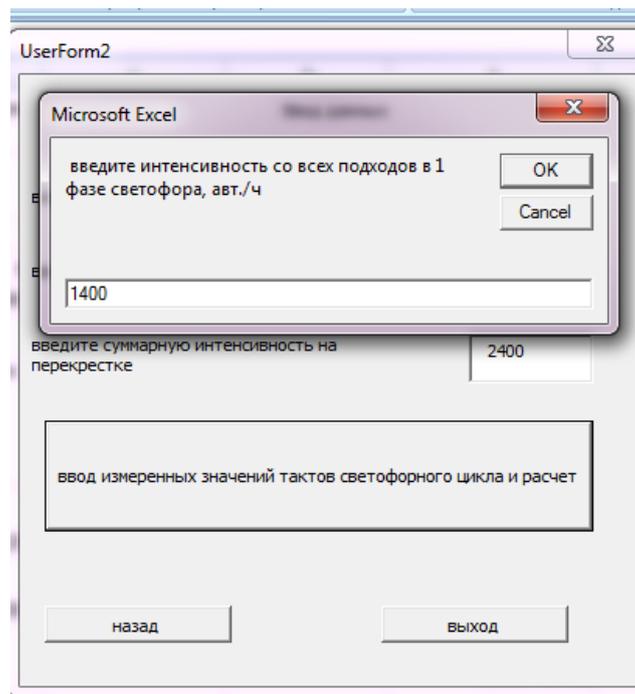


Рисунок 3 – Окно ввода данных на примере первой фазы

Figure 3 – Data entry window on the example of the first phase

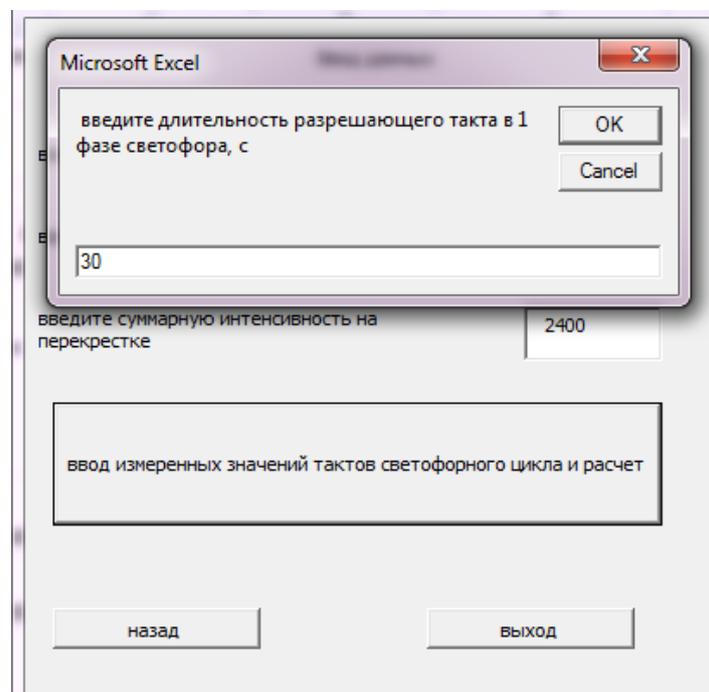


Рисунок 4 – Введение данных о режиме 1-й фазы

Figure 4 – Entering data on phase 1 mode

# НАЗЕМНЫЙ ТРАНСПОРТ

8	1	1400	30	3	2,520833333
9	2	1200	24	3	2,025
10	общая часовая задержка перекрестка, авт.ч/ч				4,595833333
11					

Рисунок 5 – Результаты расчета суммарной задержки по параметрам светофорного цикла

Figure 5 – Results of calculating the total delay by the parameters of the traffic light cycle

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчет задержки по параметрам светофорного цикла позволяет сделать выбор того или иного варианта программы светофорного регулирования на перекрестке. Для повышения пропускной способности надо стремиться к минимальному значению задержки. Таким образом, используя не очень сложные программные средства на основе Excel, можно быстро выполнять расчеты по известным данным, сокращая время на проведение расчетов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон № 443 от 29 декабря 2017 г. // ИПО ГАРАНТ / Компания «ГАРАНТ». Дата обновления: 21.12.21.
2. ГОСТ Р 52289–2019. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, светофоров, разметки, дорожных ограждений и направляющих устройств.
3. Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения [Текст]: учебник: допущено МО РФ для студентов вузов, обучающихся по специальности «Организация и безопасность движения». Изд. стер. М.: Альянс, 2018. 247 с.
4. Порхачёва С.М., Симуль М.Г., Рябокони Ю.А. Организация дорожного движения: лабораторный практикум. Изд. второе, допол. Омск, СибАДИ, 2022. 104 с.
5. Рябокони Ю.А. Практикум по дисциплине «Организация движения»: учебное пособие. Омск: СибАДИ, 2003. 92 с.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Хохлов Артём Витальевич – студент гр. ОДб-20Т1, e-mail: hohlov02@mail.ru.

Симуль Мария Геннадьевна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Организация перевозок и безопасность движения»; e-mail: simul79@yandex.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Khokhlov A.V. – student of Gr. ODb-20T1 Siberian State Automobile and Road University; e-mail: hohlov02@mail.ru.

Simul M.G. – candidate of technical sciences, associate professor, Department of Transportation and Traffic Safety, e-mail: simul79@yandex.ru.