

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

Кафедра электрического подвижного состава

И. С. ЕВДАСЕВ, Д. В. ДОРОЩУК, Ю. А. БАЛЮК

**АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРОДСКОГО
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА**

Учебно-методическое пособие по курсовому проектированию

Гомель 2006

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра электрического подвижного состава

И. С. ЕВДАСЕВ, Д. В. ДОРОЩУК, Ю. А. БАЛЮК

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

Учебно-методическое пособие по курсовому проектированию

Одобрено методической комиссией механического факультета

Гомель 2006

УДК 656.132.6(075.8)
ББК 39.808
Е15

Рецензент – заведующий кафедрой «Электрический подвижной состав»
канд. техн. наук, доцент В. С. Могила (УО «БелГУТ»).

Евдасев, И. С.

Е15 Анализ показателей эксплуатации городского электрического транспорта: учебно-метод. пособие по курсовому проектированию / И. С. Евдасев, Д. В. Дорощук, Ю. А. Балюк. – Гомель: УО «БелГУТ», 2006. – 51 с.
ISBN 985-468-108-4

Даны краткие сведения из теории пассажироперевозок городским электрическим транспортом. Изложен порядок проведения глазомерного счетного метода обследования пассажироперевозок и обработки результатов натурного обследования – расчета и анализа показателей эксплуатации городского электрического транспорта.

Предназначено для студентов специальности 1-37 01 05 «Городской электрический транспорт».

УДК 656.132.6(075.8)
ББК 39.808

© Евдасев И. С., Дорощук Д. В., Балюк Ю. А., 2006
© Оформление. УО «БелГУТ», 2006
ISBN 985-468-108-4

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение в курсовое проектирование	4
1 Количественные показатели городских пассажирских перевозок	5
2 Обследование пассажироперевозок	6
2.1 Планирование и проведение натурного обследования	6
2.1.1 Методы обследования пассажироперевозок	6
2.1.2 Планирование обследования	11
2.1.3 Порядок проведения натурного обследования.....	13
2.1.4 Разработка плана обследуемого участка сети	15
2.2 Первичная обработка результатов обследования.....	16
2.2.1 Заполнение таблицы исходных данных.....	16
2.2.2 Определение интервалов прибытия, отправления и стоянки троллейбусов на контрольном пункте	17
2.2.3 Определение ходовой скорости и скорости сообщения троллейбусов на контролируемом перегоне	17
2.3 Анализ регулярности движения троллейбусов.....	18
2.3.1 Анализ интервалов прибытия, отправления и стоянки.....	18
2.3.2 Анализ ходовой скорости и скорости сообщения	21
2.3.3 Определение интенсивности движения	22
2.3.4 Определение пассажиропотока перегона	22
2.3.5 Определение пропускной способности сечения перегона.....	22
2.3.6 Определение пропускной способности остановочного пункта.....	23
2.3.7 Определение пропускной способности перекрестков	25
2.3.8 Заключение по пропускной способности обследуемого участка сети	28
2.4 Определение количества троллейбусов, одновременно находящихся на перегоне.....	28
2.4.1 Построение графика исполненного движения.....	28
2.4.2 Построение диаграммы количества троллейбусов, одновременно находящихся на перегоне.....	28
2.5 Расчет расхода электроэнергии троллейбусами	28
2.5.1 Диаграмма движения троллейбуса на перегоне.....	28
2.5.2 Работа на преодоление основного сопротивления движению.....	30
2.5.3 Работа на преодоление сопротивления от уклонов	31
2.5.4 Работа, затраченная на нагрев пусковых реостатов	32
2.5.5 Работа сил торможения.....	33
2.5.6 Расход электроэнергии на движение троллейбуса	34
2.5.7 Расход электроэнергии на вспомогательные нужды троллейбуса	34
2.5.8 Расход электроэнергии на тяговую подстанцию	34
2.5.9 Построение диаграммы тока в контактной сети.....	35
2.6 Определение взаимосвязи между показателями эксплуатации.....	35
2.6.1 Определение вида зависимости между показателями	35
2.6.2 Регрессионный анализ линейной зависимости	36
2.6.3 Корреляционный анализ	36
2.6.4 Проверка взаимосвязи по уровню значимости.....	37
Список литературы.....	38
Приложение А Исходные данные для курсовой работы.....	39
Приложение Б Критические точки распределения Стьюдента.....	40
Приложение В Пример плана участка транспортной сети.....	41
Приложение Г Условные графические обозначения и изображения элементов плана транспортной сети	42
Приложение Д Технические характеристики троллейбусов.....	46
Приложение Е Пример построения графиков.....	51

ВВЕДЕНИЕ В КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

В процессе выполнения курсовой работы студент углубленно знакомится с показателями пассажироперевозок городским электрическим транспортом, а также приобретает навыки проведения и анализа результатов натурного обследования пассажироперевозок.

Задачи курсового проектирования:

- 1) планирование и проведение глазомерного счетного метода обследования пассажироперевозок троллейбусами на отдельном перегоне;
- 2) разработка плана перегона;
- 3) обработка результатов обследования (расчет интервалов прибытия, отправления, стоянки и скоростей троллейбусов на перегоне);
- 4) анализ регулярности движения троллейбусов;
- 5) построение графика исполненного движения;
- 6) расчет расхода электроэнергии троллейбусами;
- 7) определение взаимосвязи между показателями эксплуатации городского электрического транспорта;
- 8) заключение о качестве работы троллейбусов на маршруте и путях его совершенствования.

При выполнении курсовой работы от студента требуется не только рассчитать требуемые величины и построить зависимости, но также дать краткие пояснения в тексте к полученным зависимостям. В конце пояснительной записки дается заключение, в котором отражаются результаты всей работы в целом и наиболее существенные результаты по каждому разделу. Объем заключения не должен превышать 2 страниц.

Результаты курсового проектирования представляются студентом в виде пояснительной записки. Ориентировочный объем пояснительной записки – 35–40 страниц. Пояснительная записка оформляется в соответствии с ГОСТ 2.105-95 «Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам» [1] и Р 50-77-88 «Рекомендации. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения диаграмм» [2]. В задачи студента при выполнении курсовой работы входит самостоятельное ознакомление с вышеназванными нормативными документами и приобретение навыков по оформлению конструкторской документации.

В работе выполняются упрощенный план обследуемого участка сети, а также график исполненного движения, диаграмма количества троллейбусов, одновременно находящихся на перегоне, и диаграмма тока в контактной сети. План

участка, график и диаграммы рекомендуется выполнять на листах миллиметровой бумаги формата А3.

Индивидуальные исходные данные для курсовой работы принимаются студентом согласно заданному преподавателем шифру по приложению А.

1 КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Основными количественными показателями, характеризующими пассажироперевозки и работу городского массового пассажирского транспорта (ГМПТ), являются: транспортная работа, объем пассажироперевозок, пассажиропоток, средняя длина поездок.

*Транспортной работой (объемом транспортной работы)*¹⁾ называют количество освоенных транспортом пассажирокилометров на маршруте, участке сети или всей сети ГМПТ за единицу времени (час, сутки, месяц, квартал, год). Объем транспортной работы Q , пас.-км/ч (пас.-км/сут, пас.-км/год и т. д.), вычисляется по формуле

$$Q = \frac{\sum_{i,j} T_{ij} L_{ij}}{t}, \quad (1.1)$$

где i – индекс пункта отправления пассажира;

j – индекс пункта прибытия пассажира;

T_{ij} – количество поездок между остановочными пунктами i и j , пас.;

L_{ij} – расстояние между остановочными пунктами i и j по транспортной сети, км;

t – расчетное время, ч (сутки, год и т. д.).

Под *объемом пассажироперевозок (объем перевозок)* понимают количество пассажиров, перевезенных на маршруте, участке сети или всей сети ГМПТ за единицу времени (час, сутки, месяц, квартал, год). Объем пассажироперевозок T , пас./ч (пас./сут, пас./год и т. д.), вычисляется как сумма выполненных за расчетное время поездок:

$$T = \frac{\sum_{i,j} T_{ij}}{t}. \quad (1.2)$$

¹⁾ В практике организации движения наземных видов ГМПТ используются термины «транспортная работа» и «объем транспортной работы», а на железнодорожном транспорте и метрополитене – «пассажирооборот». В теории ГМПТ под пассажирооборотом понимают число прибытий и отправок пассажиров одного или нескольких видов транспорта за единицу времени в пределах территориальной зоны, района, транспортно-пересадочного узла города или остановочного пункта маршрутного транспорта [3].

Объем пассажироперевозок также может быть определен по суммарному количеству пассажиров, вошедших в транспортные средства во всех пунктах отправления или вышедших в пунктах прибытия.

Объемы пассажироперевозок и транспортной работы связаны между собой величиной, которую называют *средняя длина поездки* L_{cp} , км,

$$L_{cp} = \frac{Q}{T}. \quad (1.3)$$

Пассажиропоток – количество пассажиров, проследовавших в одном или разных направлениях на одном или нескольких видах транспорта через сечение транспортной сети в единицу времени. Пассажиропоток и объем пассажироперевозок измеряются в пас./ч (пас./сут, пас./год и т. д.), но отличаются и по смыслу, и по значениям. Средний пассажиропоток Π_{cp} , пас./ч (пас./сут, пас./год и т. д.), в сечениях участка сети может быть выражен через количество поездок по следующей формуле:

$$\Pi_{cp} = \frac{\sum_{i,j} T_{ij} L_{ij}}{L_{py} t}, \quad (1.4)$$

где L_{py} – длина рассматриваемого участка сети, км.

2 ОБСЛЕДОВАНИЕ ПАССАЖИРОПЕРЕВОЗОК

2.1 Планирование и проведение натурного обследования

2.1.1 Методы обследования пассажироперевозок

Расчетные пассажироперевозки определяют требующуюся мощность каждого транспортного предприятия (количество и типы необходимого подвижного состава, количество и размеры депо и ремонтных баз подвижного состава, мощность системы энергоснабжения и т. д.). Мощность транспортных предприятий находится в прямой зависимости от объема осваиваемых ими пассажироперевозок, но, с другой стороны, обилие факторов, влияющих на формирование транспортных связей, не дает возможности их точно и всестороннего расчета. Любая модель расчета количественных показателей городских пассажирских перевозок базируется на ограниченном количестве исходных данных и поэтому может дать лишь приблизительное представление об ожидаемых пассажироперевозках.

В действующих транспортных хозяйствах данные о пассажироперевозках получают методами натурного или опросного обследования в конкретных условиях места и времени. Такие обследования должны периодически проводиться во всех действующих хозяйствах ГМПТ для уточнения планов движения, перераспределения подвижного состава по маршрутам и часам суток, уточнения

маршрутной системы, решения вопросов координации работы разных видов транспорта, составления планов развития транспортной сети и т. д.

Виды и методы обследований пассажироперевозок в действующих транспортных сетях классифицируют по длительности охватываемого периода времени, широте охвата транспортной сети и характеру привлекаемой техники [4].

По длительности охватываемого периода различают обследования систематические и разовые.

Систематические обследования проводят ежедневно в течение всего периода эксплуатации подвижных средств линейные работники службы движения: диспетчеры маршрутов, контролеры движения и др. Эти обследования базируются на наблюдениях за колебаниями пассажиропотоков. На основе систематических обследований оценивают распределение пассажиропотоков по длине и направлениям маршрутов, по часам суток, дням недели, месяцам и сезонам года, оценивают соответствие выпуска подвижного состава пассажиропотокам и правильность координации работы маршрутов разных видов ГМПП.

Разовыми называют кратковременные обследования пассажироперевозок по той или другой программе, определяемой поставленными перед обследованием целями. Разовые обследования проводятся обычно специальной группой контролеров и предназначаются для получения документальных данных о пассажироперевозках, требующихся для решения вопросов оптимизации маршрутной системы, развития транспортной сети, изменения системы организации движения или других ответственных действий.

По широте охвата транспортной сети различают сплошные и выборочные обследования.

Сплошные обследования проводят одновременно по всей транспортной сети города. Они отличаются большой трудоемкостью и требуют привлечения большого количества контролеров, однако позволяют получить общую картину пассажироперевозок по всей сети и для всех видов транспорта. По результатам таких обследований решают коренные вопросы работы сети (вопросы развития сети ГМПП, координации работы разных видов ГМПП, координации работы ГМПП города с автотранспортом, пригородным и внешним транспортом, изменений маршрутной системы и т. д.).

Выборочные обследования организуют по отдельным районам движения, конфликтным точкам или маршрутам для решения более мелких вопросов организации движения.

По характеру привлекаемой техники различают автоматизированные и неавтоматизированные обследования.

Автоматизированные методы обследования пассажироперевозок бывают следующих видов:

- активный непрерывный автоматический контроль;
- автоматический контроль наполнения поездов.

Активный непрерывный автоматический контроль (АНАК) пассажироперевозок используется в автоматизированных транспортных системах, основой которых является оперативная обработка запросов на пассажироперевозки. Результаты обработки таких запросов определяют поведение транспортного хозяйства: выдачу подвижного состава на линию к станциям вызова, организацию движения на линии, работу депо и системы электроснабжения.

Автоматический контроль наполнения поездов (АКНП) – наиболее совершенный из многочисленной группы *пассивного* (регистрирующего их состояние без обратного воздействия на формирование пассажиропотоков) контроля пассажиропотоков. Этот вид контроля позволяет получать данные о пассажиропотоках непрерывно, оперативно и с небольшими затратами.

АКНП может производиться следующими методами:

- а) весового контроля путевыми датчиками;
- б) весового контроля поездными датчиками;
- в) поездного контроля входящих и выходящих пассажиров.

Весовой контроль наполнения поездов путевыми датчиками производится на наиболее загруженных перегонах и участках тяговой сети по принципу взвешивания поездов на ходу. В рельсы или под дорожное покрытие уложены датчики давления, включенные последовательно с вычислительным устройством. На контрольном пункте установлено устройство опознавания поездов, позволяющее определить тип поезда, а по типу – тару поезда. На основании данных датчиков давления и информации о tare поезда вычислительное устройство определяет вес пассажиров. Объем пассажироперевозок сети в расчетный период наблюдения непосредственно не фиксируется и может быть установлен лишь в случае, если известна (найдена другими обследованиями) средняя длина поездки.

Весовой контроль поездными датчиками основывается на использовании датчиков давления, установленных в опорных узлах кузова так, что они регистрируют постоянную составляющую нагрузки, передаваемой кузовом на систему подвешивания вагона. Информация с датчиков накапливается в специальных устройствах, установленных на поезде. На основании данных о наполнении определяется объем транспортной работы в расчетном промежутке времени. В этом случае, как и при весовом контроле наполнения поездов путевыми датчиками, объем пассажироперевозок сети в расчетном промежутке времени непосредственно не фиксируется и может быть установлен лишь в случае, если известна (найдена другими обследованиями) средняя длина поездки.

Поездной контроль входящих и выходящих пассажиров может быть построен на основе фотоэлектрических датчиков или выключателей, которые устанавливаются в проемах всех дверей для входа и выхода пассажиров. Суммарная информация о вошедших в поезд и вышедших из поезда пасса-

жирях позволяет определить объем пассажироперевозок в расчетный период наблюдения, наполнение поездов по перегонам и ряд других характеристик.

Следовательно, по возможности обследования пассажироперевозок методы контроля входящих и выходящих пассажиров намного результативнее методов весового контроля наполнения. Объем пассажироперевозок на маршруте за полурейс или рейс определяется суммой вошедших или вышедших пассажиров. При дополнении аппаратуры поезда регистратором пройденного пути в вычислительном устройстве можно производить вычисления и накапливать информацию о выполняемой транспортной работе.

Общий недостаток всех поездных систем контроля наполнения поездов – их более высокая стоимость по сравнению с путевой системой.

Неавтоматизированные методы обследования пассажироперевозок подразделяются на следующие виды:

- натурный (глазомерный);
- опросные (табличный, талонный, анкетный).

К *глазомерным счетным методам* обследования пассажироперевозок относят методы регистрации:

- 1) наполнения поездов;
- 2) пассажирооборота (пассажирообмена) на остановочных пунктах;
- 3) пассажирообмена внутри поездов.

Метод регистрации наполнения поездов сводится к ориентировочной оценке наполнения проходящих поездов по коэффициентам наполнения или прямому подсчету количества пассажиров в проходящих поездах. Данный метод позволяет непосредственно оценить наполнение поездов, определить среднее наполнение и пассажиропотоки по участкам маршрутов и сети, подсчитать объем транспортной работы МПТ на маршрутах и сети. Среди всех других глазомерных счетных методов метод регистрации наполнения поездов является наименее трудоемким и наиболее оперативным, так как он требует наименьшего количества счетчиков. Однако этот метод отличается невысокой точностью и его возможности ограничиваются построением картограмм пассажиропотоков и определением объема транспортной работы. Обследование данным методом не позволяет получить данные для определения объема пассажироперевозок.

Метод регистрации пассажирообмена на остановочных пунктах заключается в подсчете на остановочных пунктах количества вошедших в подвижной состав и вышедших из него пассажиров. Часто одновременно регистрируется и наполнение проходящих поездов. Данный метод более трудоемкий по сравнению с методом регистрации наполнения поездов и требует большего количества счетчиков, но значительно точнее и обеспечивает возможность получения более полного объема сведений.

Метод регистрации пассажирообмена внутри поездов заключается в подсчете количества вошедших в поезд и вышедших из поезда пассажиров

счетчиками, находящимися внутри вагонов. По фиксируемым параметрам и методике обработки результатов наблюдений этот метод аналогичен системе автоматического контроля наполнения поездов поездными датчиками. В результате обработки материалов наблюдений определяют наполнение вагонов пассажирами на каждом перегоне, объем транспортной работы, объем пассажироперевозок, среднюю длину поездов.

Таким образом, глазомерные методы обследования пассажироперевозок позволяют определить наполнение подвижного состава по участкам сети, пассажирооборот остановочных пунктов, построить картограммы пассажиропотоков, дать оценку качества пассажироперевозок, регулярности движения и др. Принципиальным и неустранимым недостатком всех глазомерных счетных методов обследования пассажироперевозок является их неспособность оценки транспортной сети и маршрутной схемы по критерию трудности сообщения в целевых корреспонденциях населения и другим критериям оптимизации.

Табличные методы обследования основаны на опросе пассажиров о станции назначения в момент посадки. Данные опроса заносят в маршрутную таблицу связи. Счетчики с маршрутными таблицами связи располагаются в вагонах поезда у всех входных и выходных дверей. Тем самым фиксируется количество вошедших пассажиров на всех остановочных пунктах, длина маршрутных поездов; может быть найден объем пассажироперевозок, объем транспортной работы, средняя длина поездки. Кроме того, по тем же материалам могут быть найдены пассажиропотоки на всех перегонах транспортной сети, наполнение поездов, пассажирооборот остановочных пунктов.

Талонные методы обследования, подобно табличным, требуют расположения счетчиков в поездах у всех входных и выходных дверей. Входящим пассажирам счетчик выдает талон, отмечая предварительно в нем номер остановочного пункта входа. При выходе пассажир отдает талон этому же или другому счетчику, который отмечает в нем номер остановочного пункта выхода. На конечной станции маршрута талоны передаются станцииному инспектору обследования в конверте, на котором указывают номер поезда, название конечной станции маршрута, время начала и окончания рейса. В результате обработки данных талонов получают таблицы поездов пассажиров, данные о наполнении поездов по перегонам, пассажиропотоки, коэффициент неравномерности пассажиропотока по длине маршрутов и др.

В принципе талонные и табличные методы обследования пассажиропотоков равноценны, но предпочтительнее табличные, так как они связаны с обработкой меньшего количества первичных документов (одна маршрутная таблица связи заменяет сотни талонов).

Анкетные методы обследования основываются на использовании анкеты с рядом вопросов, на которые опрашиваемое лицо должно дать ответы. Форма анкеты, характер и количество содержащихся в ней вопросов опре-

деляются объемом и характером информации, которую хотят получить для решения тех или иных транспортных задач. Однако во всех случаях анкета должна быть по возможности простой, а содержащиеся в ней вопросы – предельно конкретными, позволяющими дать на них быстрый и однозначный ответ. Анкетные данные дают возможность получать большое количество разнообразных сведений.

Основной характерной особенностью неавтоматизированных методов обследования пассажироперевозок является ручной сбор информации о пассажироперевозках с последующей ручной или машинной обработкой результатов обследований. Все они характеризуются трудоемкой стадией сбора информации и требуют привлечения к обследованиям большого количества счетчиков, но, тем не менее, являются в настоящее время основными методами натурального обследования пассажироперевозок.

Выбор методов обследования пассажироперевозок определяется экономическими соображениями. Метод обследования должен соответствовать поставленным целям и задачам и обеспечивать получение нужных данных с минимальными затратами. Для решения сложных вопросов развития сети, связанных с большими капитальными затратами, нужно применять достаточно широкие обследования, всесторонне обосновывающие целесообразность и наиболее приемлемый вариант решения задачи. Для решения менее сложных вопросов оптимизации пассажироперевозок нужно использовать соответственно менее трудоемкие обследования, ограничивать их во времени и по охвату сети.

2.1.2 Планирование обследования

С целью снижения трудоемкости проведения натурального обследования пассажироперевозок на действующих маршрутах города необходимо предварительно осуществить *планирование эксперимента*. Планирование включает определение условий и порядка проведения опытов, а также необходимого их количества. Под опытом понимается единичное измерение, например, регистрация времени прибытия, отправления и населенности одного троллейбуса в одной точке учета (остановочном пункте, перекрестке или др.).

В процессе выполнения курсовой работы студенты осуществляют разовое выборочное натурное обследование пассажироперевозок, т. е. обследование некоторой части перевозок в условиях ограничения времени проведения эксперимента и на определенном участке транспортной сети.

Важной частью планирования эксперимента является правильный выбор обследуемой части пассажироперевозок, которую принято называть *выборочной совокупностью*, из общего их количества – *генеральной совокупности*. Правильный выбор подразумевает определение порядка формирования и необходимого количества элементов (опытов) выборочной совокупности.

Существуют следующие методы формирования выборочной совокупности:

случайный, механический, типический и серийный. Собственно *случайный метод* заключается в непреднамеренном отборе элементов генеральной совокупности для исследования. Обычно это реализуется с помощью таблиц случайных чисел. Недостатком этого способа является то, что при проведении отбора нужно иметь перечень всех единиц генеральной совокупности.

Механический метод производится из равных по количеству элементов групп, на которые предварительно разбита генеральная совокупность. Из каждой группы выбирают только одну единицу.

Типический метод заключается в отборе элементов случайным или механическим способом из типических (одинаковых по признакам) групп, на которые разбивается генеральная совокупность. Данный метод является наиболее адекватным, потому что в выборочную совокупность обязательно включаются элементы с различными признаками.

Серийный метод подразумевает отбор из генеральной совокупности не отдельных элементов, а целых серий (групп) и обследование в выбранных сериях всех без исключения элементов. При отборе сериями возникает большая вероятность попадания в выборочную совокупность элементов с близкими характеристиками и плохого отражения признаков всей генеральной совокупности. Однако этот метод довольно часто используется в инженерной практике при проведении разовых обследований, например, натуральных обследований пассажироперевозок глазомерными или опросными методами.

Результаты анализа выборочной совокупности можно распространить на всю генеральную совокупность только с некоторыми допущениями. Эти допущения будут характеризоваться значениями ошибок наблюдения, которые можно разделить на две группы:

- *ошибки регистрации*, заключающиеся в неточностях подсчетов, обусловленные недостаточной квалификацией наблюдателей;
- *ошибки репрезентативности* – расхождения между значениями показателей генеральной и выборочной совокупности в одинаковых условиях проведения экспериментов.

Значительные ошибки репрезентативности могут возникать из-за неправильного выбора порядка формирования выборочной совокупности и/или недостаточного количества элементов в ней.

Необходимое, по заданной степени достоверности результатов, количество элементов n в выборочной совокупности рассчитывается по формуле

$$n = \frac{Nt^2 p(1-p)}{N\alpha^2 + t^2 p(1-p)}, \quad (2.1)$$

где N – количество элементов в генеральной совокупности;
 t – критерий Стьюдента при заданной (допустимой) вероятности ошибки результатов;

p – доля выборочной совокупности в генеральной;
 α – допустимая вероятность ошибки результатов.

При проведении натурального обследования пассажироперевозок троллейбусами на действующих маршрутах информация о количестве элементов N в генеральной совокупности определяется по формуле

$$N = \sum_{i=1}^m R_i, \quad (2.2)$$

где m – количество обследуемых маршрутов;
 R_i – количество рейсов i -того маршрута в сутки.

Задание на обследуемые маршруты и время суток, в которое будет проводиться эксперимент, каждый студент получает от преподавателя. Количество рейсов i -того маршрута в сутки принимается согласно данным наряда на выпуск подвижного состава из депо или маршрутного расписания движения.

Допустимую вероятность ошибки результатов обследования обычно принимают равной 0,05 (5 %), но в целях ограничения времени эксперимента при выполнении курсовой работы значение этой величины может быть принято и большим. Рекомендуемое значение допустимой вероятности ошибки α в зависимости от количества элементов в генеральной выборке определяется по формуле

$$\alpha = 0,2252 - 0,0237 \ln(N). \quad (2.3)$$

Значение критерия Стьюдента $t_{(\alpha;v)}$ выбирается по приложению Б для двусторонней критической области при степени свободы

$$v = n - 1 \approx 29. \quad (2.4)$$

Доля p выборочной совокупности в генеральной определяется по формуле

$$p = \frac{n}{N}. \quad (2.5)$$

После подстановки формулы (2.5) в (2.1) и преобразования можно получить более простую формулу для определения необходимого количества элементов n в выборочной совокупности

$$n = N \left(1 - \frac{\alpha}{t} \sqrt{N} \right). \quad (2.6)$$

Если рассчитанное по формуле (2.6) значение n получается меньше 30, то необходимо принять его равным 30.

2.1.3 Порядок проведения натурального обследования

Для оценки качества эксплуатации троллейбусов на маршрутах необходимо иметь данные по интервалам движения, времени стоянки на остано-

вочных пунктах и наполняемости троллейбусов на перегонах обследуемых маршрутов. Эти данные студент получает в процессе проведения спланированного натурального обследования пассажироперевозок.

При проведении обследования группа студентов разбивается на подгруппы по 2–4 человека. Подгруппы размещаются в контрольных точках (остановочных пунктах или перекрестках) обследуемого участка транспортной сети города. Размещение подгрупп согласовывается с преподавателем.

Эксперимент всеми подгруппами начинается одновременно с заданного преподавателем времени. Формирование выборочной совокупности осуществляется путем серийного отбора – одной непрерывной серией. В течение серии отбора подгруппа студентов должна зарегистрировать данные $n + (4 \dots 6)$ троллейбусов. Данные по троллейбусам, находящимся в момент начала эксперимента между контрольными остановочными пунктами, при анализе будут отброшены. Запас при измерениях от 4 до 6 троллейбусов принимается для восполнения выборочной совокупности, чтобы в ней оказалось не менее n элементов.

В рабочих журналах (таблица 2.1) подгруппой регистрируются для каждого проезжающего троллейбуса следующие данные: номер маршрута; бортовой номер, модель троллейбуса; линия контактной сети (путь) при двух параллельных линиях на перегоне; время прибытия и отправления с остановочного пункта; наполнение троллейбуса при прибытии и отпращивании.

Таблица 2.1 – Примерный вид рабочего журнала при проведении обследования пассажироперевозок глазомерным методом

Номер		Номер модель троллейбуса	Путь	Контрольный пункт (название) ¹⁾		Наполнение троллейбуса, в баллах B_{ij} , при	
опыта j	маршрута			время прибытия, ч:мин:с	время отправления, ч:мин:с	прибытия	отпращивании
1	4	<u>1253</u> АКСМ201	2 ²⁾	10:35:15	10:36:00	3	4
2	21	<u>1130</u> ЗиУ-9	1	10:46:18	10:46:18 ³⁾	2,5	2,5

¹⁾ В скобках указать наименование контрольного пункта, например, остановочный пункт «Вокзал».
²⁾ Первый путь – ближний к тротуару.
³⁾ При проезде перекрестка без остановки время отпращивания и время прибытия одинаковы.

Вышеперечисленные данные регистрируют подгруппы, находящиеся во всех контрольных точках, включая конечные точки обследуемых участков.

Время прибытия троллейбуса на контрольный пункт и отпращивания с него регистрируется соответственно по времени окончания торможения и начала движения, а не по времени открытия-закрытия дверей. Возможна ситуация, когда остановочный пункт занят подвижными единицами и троллейбус останавливается до него, но не открывает дверей, а после делает

подъезд к остановочному пункту. В этом случае время прибытия регистрируется после окончания подъезда троллейбуса к остановочному пункту, т. е. перед моментом открытия дверей.

При обследовании пассажироперевозок на перекрестке в графы «время прибытия» и «время отправления» для проезжающих без остановки троллейбусов записывается одинаковое время.

Наполнение троллейбуса заносится в рабочий журнал в баллах, в соответствии с балльной системой, представленной в таблице 2.2. В таблице 2.1 студент может указывать баллы не только в виде целого значения, но и в виде десятичной дроби с точностью до десятых.

Для качественного проведения обследования студент должен очень ответственно отнестись к сбору исходных данных. На данном этапе наблюдается максимальное количество ошибок. Время прибытия и отправления троллейбусов на контрольный пункт должно регистрироваться студентами по часам с секундомером. Незадолго до начала проведения обследования необходимо сравнить показания на часах всех подгрупп и при необходимости отрегулировать их на одно и то же время.

Таблица 2.2 – Балльная система наполнения троллейбуса

Балл В	Описание	Наглядное представление
1	80 % пассажиров занимают сидячие места	Пассажиры занимают большую часть мест для сидения
2	Заняты все сидячие места и не более 20 % стоячих	Заполнено большинство сидячих мест. В салоне видны отдельно стоящие силуэты
3	Заняты все сидячие места и не более 50 % стоячих	Умеренное скопление на накопительных площадках, в проходах видны отдельные силуэты
4	Заняты все сидячие места и не более 75 % стоячих	Не полностью заполнены накопительные площадки, в проходах пассажиры стоят в один ряд
5	Салон заполнен полностью	Нет просвета, не все желающие пассажиры могут войти в троллейбус

2.1.4 Разработка плана обследуемого участка сети

Наглядное представление об обследуемом участке транспортной сети можно получить при помощи упрощенного плана. План предусматривает изображение участка городской транспортной сети с соблюдением пропорций между его элементами. Рекомендуется план участка чертить на формате А3 в масштабах 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000.

На упрощенном плане должны быть нанесены:

- контур проезжей части со всеми ответвлениями;
- остановочные пункты;
- разметка полос движения в каждом направлении;
- контактная сеть (обозначается двумя сплошными линиями);
- светофорное регулирование;

- знаки начала и окончания участка ограничения максимальной скорости;
- другие знаки, влияющие на режим движения транспортного потока и, в том числе, троллейбусов.

Пример упрощенного плана участка и его отдельных элементов приведен в приложении В.

Рекомендуемые условные графические обозначения и изображения основных элементов плана транспортной сети приведены в приложении Г.

В процессе предварительного этапа проведения натурного обследования студент должен собрать всю необходимую информацию для разработки плана обследуемого участка транспортной сети.

Для всех светофоров, находящихся на обследуемом участке, необходимо зарегистрировать длительности полных циклов переключения и горения разрешённой (зелёной) фазы для рассматриваемого направления движения в течение одного цикла.

2.2 Первичная обработка результатов обследования

2.2.1 Заполнение таблицы исходных данных

Данные, полученные студентом при натурном обследовании, заносятся в таблицу исходных данных по образцу таблицы 2.3.

Таблица 2.3 – Пример таблицы исходных данных

Номер		Номер модель троллейбуса	Путь	Начальный контрольный пункт (название)		Конечный контрольный пункт (название)		Наполнение троллейбуса $H_{(j)}$, пас.
				время прибытия, ч:мин:с	время отправления, ч:мин:с	время прибытия, ч:мин:с	время отправления, ч:мин:с	
опыта j	маршрута							
1	4	<u>1253</u> АКСМ 201	2	10:35:15	10:36:00	10:38:14	10:38:25	88
2	21	<u>1130</u> 3иУ-9	1	10:46:18	10:46:18	10:48:16	10:49:00	47
СУММА								135

Время прибытия и отправления с другого контрольного пункта исследуемого студентом перегона необходимо переписать у подгруппы, проводившей на нем эксперимент.

Значения графы «Наполнение троллейбуса» в таблице 2.3 рассчитываются по формуле

$$H_{(j)} = \frac{H_{(j)}^{\max}}{5} B_{(j)}, \quad (2.7)$$

где $H_{(j)}^{\max}$ – вместимость троллейбуса, пас.;

$B_{(j)}$ – балл наполнения троллейбуса при от отправлении с начального контрольного пункта или прибытия на конечный контрольный пункт.

Для более точного определения наполнения троллейбусов рекомендуется

в формулу (2.7) подставлять среднее значение балла, рассчитанного по данным при отправлении с начального контрольного пункта (прибытии на конечный контрольный пункт).

Значения *вместимости троллейбусов* (наибольшего наполнения из расчета 5 чел./м²) приведены в приложении Д.

2.2.2 Определение интервалов прибытия, отправления и стоянки троллейбусов на контрольном пункте

На основании данных таблицы 2.3 студент рассчитывает интервалы прибытия, отправления и стоянки троллейбусов для контрольного пункта, на котором проводился эксперимент.

Интервал прибытия $\Delta t_{пр(j)}$, с,

$$\Delta t_{пр(j)} = t_{пр(j)} - t_{пр(j-1)}, \quad (2.8)$$

где $t_{пр(j)}$ – время прибытия j -го троллейбуса на контрольный пункт, с;

$t_{пр(j-1)}$ – время прибытия предыдущего j -му троллейбуса, с.

Интервал отправления $\Delta t_{отп(j)}$, с,

$$\Delta t_{отп(j)} = t_{отп(j)} - t_{отп(j-1)}, \quad (2.9)$$

где $t_{отп(j)}$ – время отправления j -го троллейбуса с контрольного пункта, с;

$t_{отп(j-1)}$ – время отправления троллейбуса, предыдущего j -му, с.

Интервал стоянки $\Delta t_{ст(j)}$, с,

$$\Delta t_{ст(j)} = t_{отп(j)} - t_{пр(j)}. \quad (2.10)$$

Результаты расчетов по формулам (2.8) – (2.10) рекомендуется представить в табличном виде (таблица 2.4).

Т а б л и ц а 2.4 – Пример таблицы интервалов прибытия, отправления и стоянки

Номер		Контрольный пункт (название)		Интервал, с		
опыта j	маршрута	время прибытия, ч:мин:с	время отправления, ч:мин:с	прибытия $\Delta t_{пр(j)}$	отправления $\Delta t_{отп(j)}$	стоянки $\Delta t_{ст(j)}$
1	4	10:35:15	10:36:00	–	–	45
2	21	10:46:18	10:46:18	663	618	0
СУММА				663	618	45

2.2.3 Определение ходовой скорости и скорости сообщения троллейбусов на контролируемом перегоне

Для перегона между начальным и конечным контрольными пунктами рассчитывается ходовая скорость и скорость сообщения троллейбусов.

Ходовая скорость троллейбуса – средняя скорость движения его по перегону. Ходовая скорость $v_{сх(j)}$, м/с, рассчитывается по формуле

$$v_{сх(j)} = \frac{L}{t_{сх(j)}}, \quad (2.11)$$

где L – длина перегона, м;

$t_{сх(j)}$ – время хода j -го троллейбуса по перегону, с;

$$t_{сх(j)} = t_{пр(j)}^к - t_{отп(j)}^н, \quad (2.12)$$

где $t_{пр(j)}^к$ – время прибытия j -го троллейбуса на конечный контрольный пункт, с;

$t_{отп(j)}^н$ – время отправления j -го троллейбуса с начального контрольного пункта, с.

Режим движения троллейбуса на перегоне с учетом стоянки на остановочном пункте для пассажирообмена и перекрестках характеризует *скорость сообщения*.

Скорость сообщения $v_{сб(j)}$, м/с,

$$v_{сб(j)} = \frac{L}{t_{сх(j)} + \Delta t_{ст(j)}}. \quad (2.13)$$

Результаты расчетов ходовой скорости и скорости сообщения рекомендуется представить в табличном виде (таблица 2.5).

Т а б л и ц а 2.5 – Пример таблицы ходовой скорости и скорости сообщения

Номер опыта j	Контрольный пункт		Время хода $t_{сх(j)}$, с	Интервал стоянки $\Delta t_{ст(j)}$, с	Скорость	
	время прибытия на конечный, ч:мин:с	время отправления с начального, ч:мин:с			ходовая $v_{сх(j)}$	сообщения $v_{сб(j)}$
1	10:38:14	10:36:00	134	45	8,19	6,13
2	10:48:16	10:46:18	118	0	9,31	9,31
СУММА			252	45	17,50	15,44

2.3 Анализ регулярности движения троллейбусов

2.3.1 Анализ интервалов прибытия, отправления и стоянки

Интервалы прибытия, отправления и стоянки троллейбусов зависят от множества факторов (погодные условия, пассажирообмен на остановочных пунктах, интенсивность движения транспорта, наличие помех движению и т. д.), поэтому эти величины можно считать случайными и непрерывными. Анализ случайных величин осуществляется методами математической статистики и для большинства практических задач ограничивается точечными и интервальными оценками. К *точечным оценкам* относятся: математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение и др. *Интервальная оценка* – это интервал значений, в который с заданной вероятностью попадает исследуемая величина.

Математическое ожидание – это среднее арифметическое значений, полученных в процессе эксперимента. Эта величина рассчитывается по формулам:

– для интервалов прибытия $M[\Delta t_{\text{пр}}]$, с,

$$M[\Delta t_{\text{пр}}] = \frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^k \Delta t_{\text{пр}(j)}; \quad (2.14)$$

– для интервалов отправления $M[\Delta t_{\text{отп}}]$, с,

$$M[\Delta t_{\text{отп}}] = \frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^k \Delta t_{\text{отп}(j)}; \quad (2.15)$$

– для интервалов стоянки $M[\Delta t_{\text{ст}}]$, с,

$$M[\Delta t_{\text{ст}}] = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \Delta t_{\text{ст}(j)}, \quad (2.16)$$

где k – количество опытов.

Среднее квадратическое отклонение – величина, характеризующая рассеяние значений случайной величины от среднего. Рассчитывается по формулам:

– для интервалов прибытия $\sigma[\Delta t_{\text{пр}}]$, с,

$$\sigma[\Delta t_{\text{пр}}] = \sqrt{\frac{1}{k-2} \sum_{j=1}^k (\Delta t_{\text{пр}(j)} - M[\Delta t_{\text{пр}}])^2}; \quad (2.17)$$

– для интервалов отправления $\sigma[\Delta t_{\text{отп}}]$, с,

$$\sigma[\Delta t_{\text{отп}}] = \sqrt{\frac{1}{k-2} \sum_{j=1}^k (\Delta t_{\text{отп}(j)} - M[\Delta t_{\text{отп}}])^2}; \quad (2.18)$$

– для интервалов стоянки $\sigma[\Delta t_{\text{ст}}]$, с,

$$\sigma[\Delta t_{\text{ст}}] = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^k (\Delta t_{\text{ст}(j)} - M[\Delta t_{\text{ст}}])^2}. \quad (2.19)$$

Интервальная оценка исследуемой величины осуществляется путем расчета абсолютной предельной ошибки:

– для интервалов прибытия $\Delta[\Delta t_{\text{пр}}]$, с,

$$\Delta[\Delta t_{\text{пр}}] = t_{(0,025;k-2)} \sqrt{\frac{\sigma[\Delta t_{\text{пр}}]^2}{k-1} \left(1 - \frac{k-1}{N}\right)}; \quad (2.20)$$

– для интервалов отправления $\Delta[\Delta t_{\text{отп}}]$, с,

$$\Delta[\Delta t_{\text{отп}}] = t_{(0,025;k-2)} \sqrt{\frac{\sigma[\Delta t_{\text{отп}}]^2}{k-1} \left(1 - \frac{k-1}{N}\right)}; \quad (2.21)$$

– для интервалов стоянки $\Delta[\Delta t_{\text{ст}}]$, с,

$$\Delta[\Delta t_{\text{ст}}] = t_{(0,025;k-1)} \sqrt{\frac{\sigma[\Delta t_{\text{ст}}]^2}{k} \left(1 - \frac{k}{N}\right)}. \quad (2.22)$$

Значения коэффициентов Стьюдента $t_{(\alpha;v)}$ выбираются по приложению Б для односторонней критической области.

Доверительные интервалы для интервалов прибытия, отправления и стоянки троллейбусов на контрольном пункте соответственно равны:

$$M[\Delta t_{\text{пр}}] - \Delta[\Delta t_{\text{пр}}] \leq M[\Delta t_{\text{пр}}] \leq M[\Delta t_{\text{пр}}] + \Delta[\Delta t_{\text{пр}}], \quad (2.23)$$

$$M[\Delta t_{\text{отп}}] - \Delta[\Delta t_{\text{отп}}] \leq M[\Delta t_{\text{отп}}] \leq M[\Delta t_{\text{отп}}] + \Delta[\Delta t_{\text{отп}}], \quad (2.24)$$

$$M[\Delta t_{\text{ст}}] - \Delta[\Delta t_{\text{ст}}] \leq M[\Delta t_{\text{ст}}] \leq M[\Delta t_{\text{ст}}] + \Delta[\Delta t_{\text{ст}}]. \quad (2.25)$$

Для наглядного представления рассеяния значений интервалов прибытия, отправления и стоянки троллейбусов используют гистограмму (рисунок 2.1).

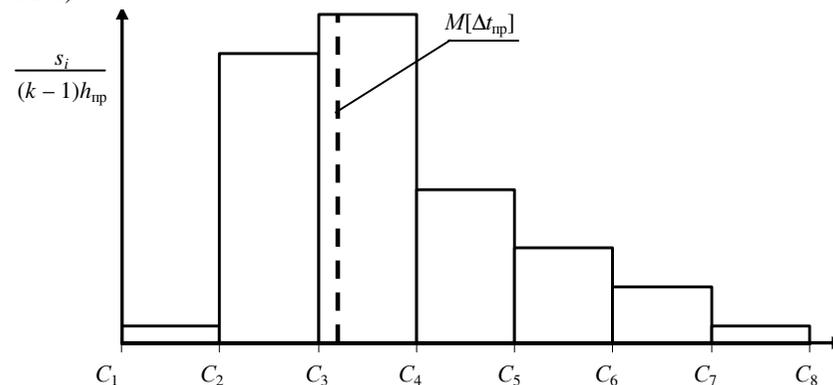


Рисунок 2.1 – Пример гистограммы интервалов прибытия

Построение гистограммы начинается с расчета количества q интервалов группировки по формуле Стерджесса [5]:

– для интервалов прибытия и отправления

$$q_{\text{пр}} = q_{\text{отп}} = 1 + 3,322 \lg(k-1); \quad (2.26)$$

– для интервалов стоянки

$$q_{\text{ст}} = 1 + 3,322 \lg k. \quad (2.27)$$

Расчетное значение q округляется до ближайшего большего целого числа. Значение интервала группировки для интервалов прибытия $h_{\text{пр}}$, с,

$$h_{\text{пр}} = \frac{\Delta t_{\text{пр}}^{\max} - \Delta t_{\text{пр}}^{\min}}{q_{\text{пр}}}, \quad (2.28)$$

где $\Delta t_{\text{пр}}^{\max}$ – максимальное значение интервала прибытия, с;
 $\Delta t_{\text{пр}}^{\min}$ – минимальное значение интервала прибытия, с.
 Границы интервалов группировки:

$$C_i \leq \Delta t_{\text{пр}(j)} < C_{i+1}, \quad i = \overline{1, q_{\text{пр}}}, \quad (2.29)$$

$$C_i = \Delta t_{\text{пр}}^{\min} + (i - 1)h_{\text{пр}}. \quad (2.30)$$

В каждом интервале группировки подсчитывается количество попавших в него экспериментальных значений интервалов прибытия – частота s_i . Значение $\Delta t_{\text{пр}}^{\max}$ включается в последний интервал группировки.

Расчеты для построения гистограммы представляются по образцу таблицы 2.6.

Т а б л и ц а 2.6 – Пример таблицы расчетов для построения гистограммы

Границы интервалов	$[C_1, C_2)$	$[C_2, C_3)$...	$[C_q, C_{q+1})$
Частоты s_i	s_1	s_2	...	s_q
Высота прямоугольников	$\frac{s_1}{(k-1)h_{\text{пр}}}$	$\frac{s_2}{(k-1)h_{\text{пр}}}$...	$\frac{s_q}{(k-1)h_{\text{пр}}}$
$\frac{s_i}{(k-1)h_{\text{пр}}}$				

Гистограммы для интервалов отправления и стоянки строятся по аналогичному алгоритму. На гистограммах наносятся линии математического ожидания.

2.3.2 Анализ ходовой скорости и скорости сообщения

Математическое ожидание ходовой скорости $M[v_{\text{cx}}]$, м/с, и скорости сообщения $M[v_{\text{cc}}]$, м/с, рассчитывается соответственно по формулам:

$$M[v_{\text{cx}}] = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k v_{\text{cx}(j)}, \quad (2.31)$$

$$M[v_{\text{cc}}] = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k v_{\text{cc}(j)}. \quad (2.32)$$

Построение гистограмм ходовой скорости и скорости сообщения осуществляется по описанному в п. 2.3.1 алгоритму.

Среднее квадратическое отклонение ходовой скорости $\sigma[v_{\text{cx}}]$, м/с, и скорости сообщения $\sigma[v_{\text{cc}}]$, м/с, рассчитывается соответственно по формулам:

$$\sigma[v_{\text{cx}}] = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^k (v_{\text{cx}(j)} - M[v_{\text{cx}}])^2}, \quad (2.33)$$

$$\sigma[v_{\text{cc}}] = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^k (v_{\text{cc}(j)} - M[v_{\text{cc}}])^2}. \quad (2.34)$$

Коэффициент вариации – величина, равная доле рассеяния случайной величины относительно среднего значения. Эта оценка для ходовой скорости $v[v_{\text{cx}}]$, м/с, и скорости сообщения $v[v_{\text{cc}}]$, м/с, рассчитывается соответственно по формулам:

$$v[v_{\text{cx}}] = \frac{\sigma[v_{\text{cx}}]}{M[v_{\text{cx}}]}, \quad (2.35)$$

$$v[v_{\text{cc}}] = \frac{\sigma[v_{\text{cc}}]}{M[v_{\text{cc}}]}. \quad (2.36)$$

По результатам расчета точечных оценок ходовой скорости и скорости сообщения троллейбусов на контролируемом перегоне студент должен сделать вывод о равномерности движения и вероятных причинах его нарушения.

2.3.3 Определение интенсивности движения

Интенсивность движения – количество транспортных средств, проходящих через поперечное сечение дороги или полосы движения в единицу времени (ч, сут, год).

Средняя интенсивность движения троллейбусов $I_{\text{п}}^{\text{cp}}$, трол./ч, на контролируемом перегоне

$$\frac{3600}{M[\Delta t_{\text{пр}}] + \Delta[\Delta t_{\text{пр}}]} \leq I_{\text{п}}^{\text{cp}} \leq \frac{3600}{M[\Delta t_{\text{пр}}] - \Delta[\Delta t_{\text{пр}}]}. \quad (2.37)$$

2.3.4 Определение пассажиропотока перегона

Пассажиропоток перегона $\Pi_{\text{п}}$, трол./ч, рассчитывается по формуле

$$\Pi_{\text{п}} = I_{\text{п}}^{\text{cp}} N^{\text{cp}}, \quad (2.38)$$

где N^{cp} – среднее наполнение троллейбусов на перегоне, пас.;

$$N^{\text{cp}} = \frac{\sum_{j=1}^k H_{(j)}}{k}. \quad (2.39)$$

2.3.5 Определение пропускной способности сечения перегона

Пропускная способность – характеристика транспортных магистралей, определяющая их предельные возможности пропуска транспортного потока, и численно равная максимальной интенсивности движения.

Проектная пропускная способность сечения перегона $I_{\text{п}}^{\text{np}}$, трол./ч, при однородном транспортном потоке рассчитывается по формуле [4]

$$I_{\text{п}}^{\text{np}} = \frac{3600}{t_{\text{п}} + v_{\text{cx}}/(2b) + (l_{\text{п}} + l_6)/v_{\text{cx}}}, \quad (2.40)$$

где t_p – время реакции водителя, с; принимается равным 1,5 с;
 b – среднее замедление при торможении, м/с^2 ;
 l_n – длина подвижной единицы, м;
 l_6 – расстояние между подвижными единицами в транспортном потоке, обеспечивающее безопасность движения, м.

Согласно формуле (2.40) пропускная способность перегона зависит от ходовой скорости подвижных единиц. Общий вид этой зависимости представлен на рисунке 2.2. С ростом скорости транспортного потока пропускная способность сечения перегона сначала резко возрастает, достигая максимума при некотором значении ходовой скорости. Это значение скорости называют *оптимальной ходовой скоростью* v_{cx}^{opt} по критерию максимума пропускной способности. Увеличение скорости транспортного потока свыше оптимального значения приводит к снижению пропускной способности. Это обусловлено значительным увеличением тормозного пути подвижных единиц и разрежением транспортного потока.

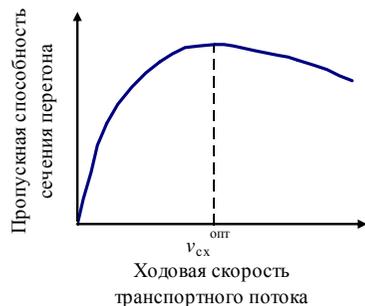


Рисунок 2.2– Зависимость пропускной способности сечения перегона от скорости

Оптимальная ходовая скорость v_{cx}^{opt} , м/с, по критерию максимума пропускной способности определяется по формуле [4]

$$v_{cx}^{opt} = \sqrt{2b(l_n + l_6)}. \quad (2.41)$$

Значения l_n , l_6 и b принимаются согласно таблицам А.1 и А.2 (см. приложение А).

В курсовой работе студент рассчитывает проектную и фактическую пропускные способности сечения перегона по формуле (2.40) при v_{cx}^{opt} и $M[v_{cx}]$ по исходным данным таблицы А.1 (см. приложение А). Необходимо сравнить полученные значения пропускных способностей между собой и со значением I_n^{cp} и пояснить полученные результаты сравнений.

2.3.6 Определение пропускной способности остановочного пункта

При расчете теоретической пропускной способности остановочного пункта принимают, что троллейбусы проезжают его сечение равномерно с минимально допустимым интервалом времени между ними $\Delta t_{оп}^{min}$, с,

$$\Delta t_{оп}^{min} = t_T + t_{од} + t_{пв} + t_{зд} + t_{осв}, \quad (2.42)$$

где t_T – время торможения перед остановочным пунктом, с;
 $t_{од}$ – время, затрачиваемое на открывание дверей, с; $t_{од}$ принимается равным от 1,5 до 2 с;

$t_{пв}$ – время, затрачиваемое на пассажирообмен (посадку и высадку пассажиров), с;

$t_{зд}$ – время, затрачиваемое на закрывание дверей, с; $t_{зд}$ принимается равным от 2 до 3 с;

$t_{осв}$ – время, затрачиваемое на освобождение подвижной единицей остановочного пункта, с.

Время торможения t_T , с, при подъезде троллейбуса к остановочному пункту определяется из интервала безопасности между троллейбусами l_6 (см. приложение А) по формуле

$$t_T = \sqrt{\frac{2l_6}{b}}. \quad (2.43)$$

Время $t_{пв}$, затрачиваемое на пассажирообмен, с,

$$t_{пв} = \frac{\rho_{оп} N^{cp} t_{пас} k_{нд}}{n}, \quad (2.44)$$

где $\rho_{оп}$ – средний коэффициент пассажирообмена остановочного пункта;

$t_{пас}$ – время, затрачиваемое на посадку или высадку одного пассажира, с; $t_{пас}$ принимается равным от 0,9 до 1,2 с/пас.;

$k_{нд}$ – коэффициент неравномерности посадки и высадки пассажиров по дверям подвижного состава; $k_{нд}$ принимается равным 1,2;

n – количество дверей для входа и выхода пассажиров;

$$\rho_{оп} = \frac{(A_{вых} + A_{вх})}{N^{cp}}, \quad (2.45)$$

где $A_{вых}$ – среднее количество пассажиров, выходящих из подвижного состава на остановочном пункте, пас.;

$A_{вх}$ – среднее количество пассажиров, входящих в подвижной состав на остановочном пункте, пас.

Значения $A_{вых}$ и $A_{вх}$ принимаются согласно заданию по таблице А.2 (см. приложение А).

Время $t_{осв}$, затрачиваемое на освобождение подвижной единицей остановочного пункта, с,

$$t_{осв} = \sqrt{\frac{2l_6}{a}}, \quad (2.46)$$

где a – ускорение троллейбуса при разгоне, м/с^2 .

Значение ускорения троллейбуса при разгоне a принимается согласно таблице А.2 (см. приложение А).

Теоретическая пропускная способность остановочного пункта $I_{ост}^{max}$, трол./ч,

$$I_{ост}^{max} = \frac{3600}{\Delta t_{оп}^{min}} k_p \epsilon_0, \quad (2.47)$$

где k_p – коэффициент рассредоточения остановочного пункта; для одиночного остановочного пункта k_p равен 1, для сдвоенного – 2 и т. д.;
 ε_0 – коэффициент снижения пропускной способности за счет взаимных помех движения транспортных средств; для сдвоенных остановочных пунктов ε_0 рекомендуется принимать от 0,6 до 0,75, для строенных – до 0,67.

2.3.7 Определение пропускной способности перекрёстков

Перекрёстками называют пересечения транспортных линий на одном уровне. Движение через перекрёсток может быть регулируемым (светофорное регулирование) или нерегулируемым.

Пропускная способность регулируемых перекрёстков $I_{пер}^{max}$, трол./ч,

$$I_{пер}^{max} = \frac{3600}{\Delta t_{пер}^{min}} \frac{t_3}{T_{ц}}, \quad (2.48)$$

где t_3 – длительность горения разрешённой (зелёной) фазы для рассматриваемого направления движения, с;

$T_{ц}$ – продолжительность цикла светофорного регулирования, с;

$\Delta t_{оп}^{min}$ – разрешённый интервал времени движения троллейбусов по перекрестку, с;

$$\Delta t_{оп}^{min} = \frac{l_{п} + l_{б}}{v_{пер}}, \quad (2.49)$$

где $v_{пер}$ – разрешённая скорость движения троллейбусов на перекрёстке согласно требованиям Правил технической эксплуатации [6], м/с.

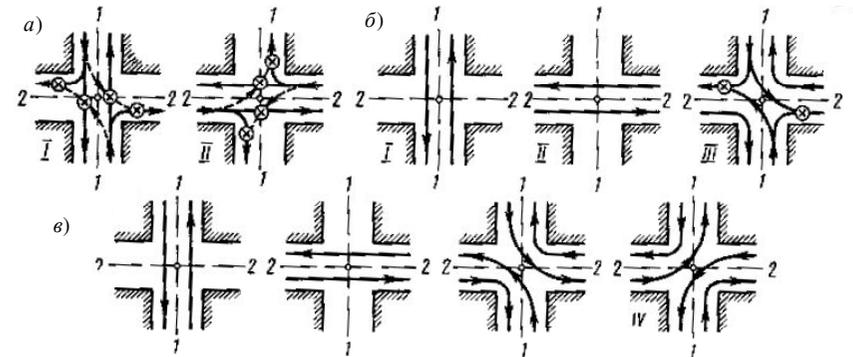
Значения $v_{пер}$ приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Разрешенная скорость движения троллейбусов

Характеристика транспортного участка	Скорость движения, м/с, не более
На спусках от 40 до 50 ‰	11,1
На спусках свыше 50 до 70 ‰	9,7
На спусках свыше 70 до 90 ‰	8,3
На железнодорожных переездах, при прохождении воздушных пересечений контактной сети	5,6
При прохождении кривых малого радиуса (до 70 м)	4,2
При прохождении воздушных стрелок контактной сети	2,8
При проезде мест скопления пешеходов	1,4

Основное влияние на пропускную способность перекрёстка оказывает продолжительность цикла светофорного регулирования $T_{ц}$ и доля в ней разрешённого сигнала t_3 . Желательно, чтобы $T_{ц}$ было возможно меньше, а t_3 больше и соответствовало интенсивности движения для рассматриваемого направления.

В зависимости от типа перекрёстка и принятой организации движения на нём циклы регулирования могут быть и простейшими двухтактными и сложными многотактными с дополнительными секциями. На рисунке 2.3 показаны схемы для четырёхстороннего перекрёстка двухтактного (а), трёхтактного (б) и четырёхтактного (в) регулирования.



а – двухтактное, б – трёхтактное, в – четырёхтактное регулирование

Рисунок 2.3 – Схемы движения через перекрёсток при различных схемах светофорного регулирования

Для двухтактного светофорного регулирования продолжительность цикла $T_{ц}^{2т}$, с,

$$T_{ц}^{2т} = t_{3I} + t_{жI} + t_{3II} + t_{жII}, \quad (2.50)$$

где t_{3I} – продолжительность горения «зеленой» фазы в направлении 1 – 1 (прямо 1 – 1, правый поворот 1 – 2 и левый 1 – 2 по методу «просачивания»), с;

$t_{жI}$ – продолжительность горения «желтой» фазы в направлении 1 – 1, с;

t_{3II} – продолжительность горения «зеленой» фазы в направлении 2 – 2 (прямо 2 – 2, правый поворот 2 – 1 и левый поворот 2 – 1 по методу «просачивания»), с;

$t_{жII}$ – продолжительность горения «желтой» фазы в направлении 2 – 2, с.

Левый поворот по методу «просачивания» осуществляется в свободные промежутки между транспортными средствами, движущимися прямо. Двухтактный цикл, в связи со своей простотой, обеспечивает максимальную пропускную способность перекрёстка. Однако во избежание «пробок» его можно применять лишь при небольшом проценте левоповоротного движе-

ния. При таком цикле имеет место сравнительно высокий коэффициент аварийности, связанный с большим количеством конфликтных точек в местах «просачивания».

Для трёхтактной схемы светофорного регулирования продолжительность цикла $T_{ц}^{3т}$, с,

$$T_{ц}^{3т} = t_{зI} + t_{жI} + t_{зII} + t_{жII} + t_{зIII} + t_{жIII}, \quad (2.51)$$

где $t_{зI}$ – продолжительность горения «зеленой» фазы в направлении 1 – 1 (прямо 1 – 1), с;

$t_{жI}$ – продолжительность горения «желтой» фазы в направлении 1 – 1, с;

$t_{зII}$ – продолжительность горения «зеленой» фазы в направлении 2 – 2 (прямо 2 – 2), с;

$t_{жII}$ – продолжительность горения «желтой» фазы в направлении 2 – 2, с;

$t_{зIII}$ – продолжительность горения «зеленой» фазы для поворотов (правый поворот 1 – 2, левый поворот 1 – 2 и правый поворот 2 – 1), с;

$t_{жIII}$ – продолжительность горения «желтой» фазы для поворотов, с.

Схема допускает левые повороты только с главных направлений.

Для четырёхтактного регулирования продолжительность цикла $T_{ц}^{4т}$, с,

$$T_{ц}^{4т} = t_{зI} + t_{жI} + t_{зII} + t_{жII} + t_{зIII} + t_{жIII} + t_{зIV} + t_{жIV}, \quad (2.52)$$

где $t_{зI}$ – продолжительность горения «зеленой» фазы в направлении 1 – 1 (прямо 1 – 1), с;

$t_{жI}$ – продолжительность горения «желтой» фазы в направлении 1 – 1, с;

$t_{зII}$ – продолжительность горения «зеленой» фазы в направлении 2 – 2 (прямо 2 – 2), с;

$t_{жII}$ – продолжительность горения «желтой» фазы в направлении 2 – 2, с;

$t_{зIII}$ – продолжительность горения «зеленой» фазы для левого поворота 1 – 2 и правого поворота 2 – 1, с;

$t_{жIII}$ – продолжительность горения «желтой» фазы для первого этапа поворотов, с;

$t_{зIV}$ – продолжительность горения «зеленой» фазы для правого поворота 1 – 2 и левого поворота 2 – 1, с;

$t_{жIV}$ – продолжительность горения «желтой» фазы для второго этапа поворотов, с.

Четырёхтактный цикл обеспечивает развязку транспортных потоков по всем направлениям, причём без конфликтных точек (см. рисунок 2.3). Его недостаток – большая длительность и, следовательно, низкая пропускная способность.

2.3.8 Заключение по пропускной способности обследуемого участка сети

После расчета пропускной способности отдельных элементов обследуемого участка сети необходимо сопоставить их между собой, определить элементы и основные причины, ограничивающие пропускную способность сечений обследуемого участка.

2.4 Определение количества троллейбусов, одновременно находящихся на перегоне

2.4.1 Построение графика исполненного движения

На основании данных таблицы 2.3 строится фрагмент исполненного графика движения (см. приложение Е). На графике по оси абсцисс откладывается текущее время эксперимента, по оси ординат – расстояние в масштабе между начальным остановочным пунктом (НОП) и конечным остановочным пунктом (КОП). Проводятся две оси, параллельные оси абсцисс, пересекающие ось ординат в точках остановочных пунктов. На этих осях откладывается время прибытия и время отправления на каждом остановочном пункте.

2.4.2 Построение диаграммы количества троллейбусов, одновременно находящихся на перегоне

По построенному графику исполненного движения *методом сечения* строится диаграмма количества троллейбусов n_0 , одновременно находящихся на перегоне (см. приложение Е). Для этого проводятся секущие (линии, перпендикулярные оси времени) по точкам отправления троллейбусов с НОП и прибытия на КОП. По количеству ниток исполненного графика, пересекаемых секущей, откладывается на диаграмме число троллейбусов n_0 .

2.5 Расчет расхода электроэнергии троллейбусами

2.5.1 Диаграмма движения троллейбуса на перегоне

Движение троллейбуса между двумя остановочными пунктами можно представить упрощенным циклом (рисунок 2.4), включающим следующие составляющие: пуск, движение под током по естественной характеристике двигателя, выбег, торможение.

Пуском называется режим регулируемого изменения скорости подвижного состава от нуля до скорости v_n . Регулирование заключается в поддержании постоянной силы тяги троллейбуса путем регулирования тока в цепи якоря принудительным способом.

В момент достижения подвижным составом скорости v_n принудительное регулирование скорости прекращается, электропривод работает по своей *естественной электромеханической характеристике*, т. е. переходит в ре-

жим движения под током. В данном режиме регулирование скорости движения продолжается, но с увеличением скорости подвижного состава ток в цепи электродвигателя и, следовательно, сила тяги уменьшаются, что приводит к резкому снижению интенсивности разгона.

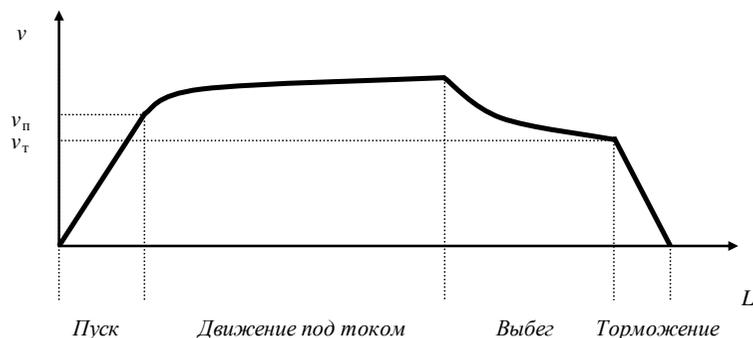


Рисунок 2.4 – Упрощенная диаграмма движения троллейбуса на перегоне

Обязательное условие режимов пуска и движения под током – наличие тока в цепи якоря, поэтому эти два режима часто объединяют в один – режим тяги.

Если в некоторый момент тяги отключить питание от электродвигателя, то подвижной состав будет продолжать двигаться поступательно с уменьшением скорости под действием запасенной кинетической энергии. Этот режим принято называть *выбегом*. Чем меньше доля выбега в цикле движения троллейбуса по перегону, тем больше его ходовая скорость. Однако в режиме выбега не расходуется электроэнергия, так как электродвигатель отключен от контактной сети и торможение начинается с меньшей скорости, чем при движении троллейбуса под током.

Режим торможения – это изменение скорости подвижного состава до полной остановки путем преобразования его кинетической энергии в тепловую или электрическую в тормозных средствах. В большинстве существующих моделей троллейбусов для полной их остановки используются *механические тормоза*, главной частью которых является фрикционная пара, осуществляющая выше описанное преобразование энергий в процессе трения. При этом происходит износ трущихся поверхностей, а торможение с высоких скоростей приводит к значительному расходу материалов, поэтому рациональным является использование выбега подвижного состава или применение на высоких скоростях *электрического реостатного торможения*. Последнее заключается в переключении тягового двигателя в режим генератора и рассеяния вырабатываемой им энергии в тормозных реостатах.

2.5.2 Работа на преодоление основного сопротивления движению

Основное сопротивление движению троллейбуса – суммарное сопротивление, обусловленное трением в подшипниках подвижного состава, трением качения и скольжения колес по дороге, деформацией дорожного полотна и трением воздушных масс о наружные поверхности подвижного состава при отсутствии ветра. Значение основного сопротивления движению определяется по эмпирическим формулам для режимов [7]:

– движения под током $w_{от}$, Н/кН,

$$w_{от} = 12 + 0,004v^2, \quad (2.53)$$

– движения без тока (выбег) $w_{ох}$, Н/кН,

$$w_{ох} = 16 + 0,004v^2, \quad (2.54)$$

где v – скорость движения троллейбуса, м/с.

С некоторыми допущениями работу по преодолению основного сопротивления движению A_o , Дж, можно определить по формуле

$$A_{o(j)} = (12 + 0,004v_{cx(j)}^2)G_{(j)}L, \quad (2.55)$$

где $G_{(j)}$ – фактический вес j -го троллейбуса, кН;

$$G_{(j)} = \frac{(M_{т(j)} + M_{п}n_{(j)})g}{1000}, \quad (2.56)$$

где $M_{т(j)}$ – снаряженная масса j -го троллейбуса (см. приложение Д), кг;

$M_{п}$ – расчетная масса одного пассажира, кг; $M_{п} = 70$ кг;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Результаты расчета по формулам (2.55) и (2.56) представляются в табличном виде (таблица 2.8).

Таблица 2.8 – Пример таблицы результатов расчета работы, затрачиваемой троллейбусом при движении по перегону

Номер опыта j	Троллейбус		Вес $G_{(j)}$, кН	Работа, Дж				
	Модель	Снаряженная масса $M_{т(j)}$, кг		$A_{o(j)}$	$A_{i(j)}$	$A_{п(j)}$	$A_{т(j)}$	$A_{\Sigma(j)} = A_{o(j)} + A_{i(j)} + A_{п(j)} + A_{т(j)}$
1	АКСМ 201	10515	163,6	2203790	359266	0	269923	2832978
2	ЗиУ-9	10050	130,9	1774570	287456	207802	279045	2548873
ИТОГО				3978359	646722	207802	548968	5381852

2.5.3 Работа на преодоление сопротивления от уклонов

При движении троллейбуса на уклоне возникает дополнительная сила F_i (рисунок 2.5). Сила F_i уменьшает потребление энергии при движении троллейбуса под уклон и увеличивает при движении на уклон.

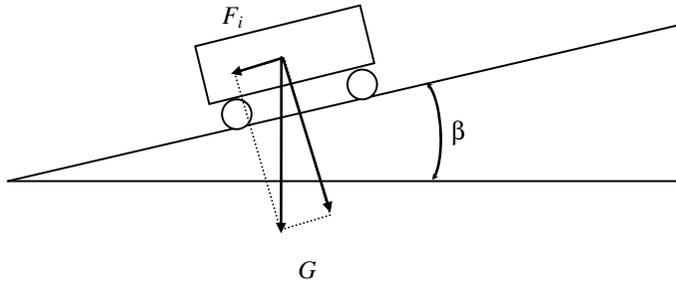


Рисунок 2.5 – Расчетная схема движения троллейбуса по уклону

Величина уклона i определяется как высота подъема, приходящаяся на 1000 м, и измеряется в промилях (тысячных долях).

Сила F_i , возникающая от уклона, кН,

$$F_i = G \sin\beta, \quad (2.57)$$

где β – угол продольного наклона проезжей части, рад.

При малых значениях β выполняется условие

$$\sin\beta \approx \text{tg}\beta. \quad (2.58)$$

Значение тангенса β

$$\text{tg}\beta = \frac{i}{1000}, \quad (2.59)$$

где i – уклон, ‰.

Дополнительное сопротивление при движении подвижного состава по уклону w_i , Н/кН,

$$w_i = i. \quad (2.60)$$

Работа $A_{i(j)}$, затрачиваемая при движении на уклон, Дж,

$$A_{i(j)} = iG_{(j)}L. \quad (2.61)$$

Значение уклона для расчетного перегона принимается согласно таблице А.2 (см. приложение А) по второй цифре шифра задания. Результаты расчета $A_{i(j)}$ представляются в курсовой работе в табличном виде (см. таблицу 2.8).

2.5.4 Работа, затраченная на нагрев пусковых реостатов

Скорость электрического подвижного состава с электроприводом постоянного тока определяется по выражению

$$v = \frac{U_d - IR}{C\Phi}, \quad (2.62)$$

где U_d – напряжение на двигателе, В;

I – ток в цепи якоря, А;

R – суммарное сопротивление цепи якоря, Ом;

C – машинная постоянная, В·с/(Вб·м);

Φ – магнитный поток главных полюсов, Вб.

Способ регулирования скорости движения троллейбуса принято называть *системой управления тяговым электроприводом*. В троллейбусах широкое применение нашли две системы управления тяговым электроприводом постоянного тока: контактно-реостатная и тиристорно-импульсная.

При *контактно-реостатной системе управления* скорость движения подвижного состава регулируется путем изменения сопротивления в цепи якоря. При разгоне троллейбуса последовательно выключаются секции пусковых реостатов, т. е. уменьшается их сопротивление до нуля, что приводит к увеличению скорости движения. Если допустить, что ток в цепи якоря в период пуска не изменяется по величине и движение троллейбуса равноускоренное, то потери энергии в пусковых реостатах равны полезной работе, затраченной на разгон троллейбуса. Последняя складывается из работы на преодоление сил сопротивления движению и кинетической энергии троллейбуса в конце разгона:

$$A_n^{\text{пол}} = (w_{\text{от}} + i)GL_n + \frac{M_{\text{пр}}v_n^2}{2}, \quad (2.63)$$

где L_n – путь, проезжаемый троллейбусом в период пуска, м;

$M_{\text{пр}}$ – приведенная масса, кг;

v_n – скорость в момент окончания пуска, м/с.

Значение L_n определяется по формуле

$$L_n = \frac{v_n^2}{2a}. \quad (2.64)$$

Приведенная масса – эквивалентная масса подвижного состава с массой M , совершающего поступательное движение с одновременным вращением некоторых его частей (колес, осей, шестерен и т. д.). Рассчитывается $M_{\text{пр}}$, кг, по формуле

$$M_{\text{пр}} = \frac{1000G}{g} (1 + \gamma), \quad (2.65)$$

где $(1 + \gamma)$ – коэффициент инерции вращающихся частей.

После замены в выражении (2.63) $w_{от}$ формулой (2.53) и подстановки формул (2.64) и (2.65):

$$A_{п}^{пол} = [12 + 0,004 \left(\frac{v_{п}}{\sqrt{3}} \right)^2 + i] G \frac{v_{п}^2}{2a} + \frac{1000G(1 + \gamma)v_{п}^2}{2g}. \quad (2.66)$$

После упрощения формулы (2.66) получим выражение для расчета работы $A_{п(j)}$, затраченной на нагрев пускорегулирующих реостатов, Дж,

$$A_{п(j)} = G_{(j)} v_{п}^2 \left(\frac{6 + 0,0007 v_{п}^2 + 0,5i}{a} + 51(1 + \gamma) \right). \quad (2.67)$$

Значение скорости $v_{п}$ находится в пределах от 5 до 7 м/с.

Значение коэффициента $(1 + \gamma)$ для троллейбуса принимается в пределах от 1,1 до 1,2.

Тиристорно-импульсная система управления – это регулирование скорости движения подвижного состава путем изменения подводимого напряжения $U_{д}$ к двигателю. Эта система является более энергоэффективной и в курсовой работе для троллейбусов с такой системой (см. приложение Г) можно допустить

$$A_{п(j)} = 0. \quad (2.68)$$

Результаты расчета $A_{п(j)}$ представляются в табличном виде (см. таблицу 2.8).

2.5.5 Работа сил торможения

Работа сил торможения при снижении скорости троллейбуса до нуля численно равна кинетической энергии подвижного состава в начальный момент торможения за вычетом работы, совершаемой силами сопротивления движению в пределах тормозного пути:

$$A_{т} = \frac{M_{пп} v_{т}^2}{2} - (w_{ок} + i) G L_{т}. \quad (2.69)$$

где $v_{т}$ – скорость в момент начала торможения, м/с;

$L_{т}$ – тормозной путь троллейбуса, м.

Значение $L_{т}$ определяется по формуле

$$L_{т} = \frac{v_{т}^2}{2b}. \quad (2.70)$$

После замены в выражении (2.69) $w_{ок}$ формулой (2.54) и подстановки формул (2.65) и (2.70)

$$A_{т} = \frac{1000G(1 + \gamma)v_{т}^2}{2g} - [16 + 0,004 \left(\frac{v_{т}}{\sqrt{3}} \right)^2 + i] G \frac{v_{т}^2}{2b}. \quad (2.71)$$

После упрощения формулы (2.71) и замены $v_{т}$ на $0,7v_{сх}$ получим выражение для расчета работы сил торможения $A_{т(j)}$, Дж,

$$A_{т(j)} = G_{(j)} V_{сх(j)}^2 \left(25(1 + \gamma) - \frac{3,92 + 0,0002 V_{сх(j)}^2 + 0,245i}{b} \right). \quad (2.72)$$

Значение замедления троллейбуса b принимается согласно таблице А.2 (см. приложение А) по второй цифре шифра задания. Результаты расчета $A_{т(j)}$ представляются в табличном виде (см. таблицу 2.8).

2.5.6 Расход электроэнергии на движение троллейбуса

Расход энергии на движение троллейбуса $W_{тяг(j)}$, кВт·ч,

$$W_{тяг(j)} = \frac{A_{о(j)} + A_{и(j)} + A_{п(j)} + A_{т(j)}}{3,6\eta_{т}} 10^{-6}, \quad (2.73)$$

где $\eta_{т}$ – средний КПД тягового электропривода подвижного состава.

Значение $\eta_{т}$ принимается равным 0,9.

Результаты расчета расхода электроэнергии на движение троллейбуса представляются в табличном виде (таблица 2.9).

Т а б л и ц а 2.9 – Пример таблицы результатов расчета электроэнергии и тока, потребляемых троллейбусом

Номер опыта j	Расход электроэнергии, кВт·ч			Среднее значение тока $I_{(j)}$, потребляемого троллейбусом, А
	на движение $W_{тяг(j)}$	на вспомогательные нужды $W_{вс(j)}$	на тяговой подстанции $W_{пс(j)}$	
1	0,87	0,15	1,15	45,7
2	0,79	0,13	1,04	46,8

2.5.7 Расход электроэнергии на вспомогательные нужды троллейбуса

Расход энергии на вспомогательные нужды троллейбуса $W_{вс(j)}$, кВт·ч,

$$W_{вс(j)} = W_{тяг(j)} k_{вс}, \quad (2.74)$$

где $k_{вс}$ – коэффициент расхода электроэнергии на собственные нужды подвижного состава.

Значение $k_{вс}$ принимается равным от 0,03 до 0,17. Меньшее значение коэффициента характерно для летнего периода, большее – для зимнего.

Результаты расчета $W_{вс(j)}$ представляются в табличном виде (см. таблицу 2.9).

2.5.8 Расход электроэнергии на тяговой подстанции

Расход энергии на тяговой подстанции $W_{пс(j)}$, кВт·ч,

$$W_{пс(j)} = \frac{W_{тяг(j)} + W_{вс(j)}}{\eta_{кс} \eta_{пс}}, \quad (2.75)$$

где $\eta_{кс}$ – средний КПД контактной сети; $\eta_{кс} = 0,93$;

$\eta_{пс}$ – средний КПД тяговой подстанции; $\eta_{пс} = 0,95$.

Результаты расчета $W_{пс(j)}$ представляются в табличном виде (см. таблицу 2.9).

2.5.9 Построение диаграммы тока в контактной сети

Среднее значение тока $I_{(j)}$, потребляемого троллейбусом на перегоне, А,

$$I_{(j)} = \frac{3,6(W_{\text{тяг}(j)} + W_{\text{вс}(j)})}{U_{\text{кв}} t_{\text{х}(j)}} \cdot 10^6, \quad (2.76)$$

где $U_{\text{кв}}$ – номинальное напряжение в контактной сети, В; $U_{\text{кв}} = 550$ В.

Результаты расчета $I_{(j)}$ представляются в табличном виде (см. таблицу 2.9).

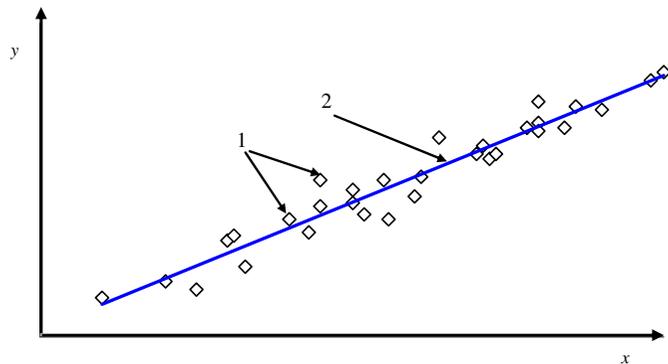
По рассчитанным значениям среднего потребляемого тока троллейбусами на перегоне строится диаграмма нагрузки тяговой подстанции. По оси y диаграммы откладывается значение среднего потребляемого троллейбусом тока с учетом одновременного нахождения троллейбусов на перегоне (см. приложение Е).

2.6 Определение взаимосвязи между показателями эксплуатации

2.6.1 Определение вида зависимости между показателями

Результаты натурального обследования пассажироперевозок необходимы как для оценки качества работы городского электрического транспорта на момент обследования, так и для прогнозирования изменения показателей эксплуатации на перспективу. Для осуществления перспективных прогнозов необходимо установить зависимости между средними значениями показателей эксплуатации городского транспорта – *регрессионные зависимости*.

Для определения общего вида зависимости показателя y от показателя x на плоскости $X - Y$ наносят все точки $(y_{(i)}; x_{(i)})$ – строят корреляционное поле (рисунок 2.6). На основании визуального анализа вида корреляционного поля выдвигается гипотеза о виде регрессии.



1 – точки корреляционного поля; 2 – регрессионная зависимость

Рисунок 2.6 – Построение регрессионной зависимости

В курсовой работе студент проверяет взаимосвязь между показателями эксплуатации согласно заданию по таблице А.3 (см. приложение А).

2.6.2 Регрессионный анализ линейной зависимости

Если по внешнему виду корреляционного поля выдвигается гипотеза о линейной регрессии между исследуемыми показателями (см. рисунок 2.6), то зависимость представляется следующим выражением:

$$y = c_1 + c_2 x, \quad (2.77)$$

где c_1, c_2 – постоянные коэффициенты;

$$c_1 = \bar{y} - c_2 \bar{x}, \quad (2.78)$$

$$c_2 = \frac{\sum_{i=1}^m [(x_{(i)} - \bar{x})(y_{(i)} - \bar{y})]}{\sum_{i=1}^m (x_{(i)} - \bar{x})^2}, \quad (2.79)$$

где m – количество пар $(y_{(i)}; x_{(i)})$ анализируемых показателей;

\bar{y}, \bar{x} – средние арифметические значения показателей y и x соответственно;

$$\bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{(i)}, \quad (2.80)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_{(i)}. \quad (2.81)$$

2.6.3 Корреляционный анализ

Зависимость между показателями эксплуатации троллейбусов, полученная в результате регрессионного анализа, может быть ошибочной. Ошибка обусловлена неправильным первоначальным выбором вида зависимости по форме корреляционного поля. Устранить субъективные предпочтения исследователя к определенному виду зависимости и доказать правильность выбранной гипотезы или опровергнуть ее возможно путем проведения *корреляционного анализа* – расчета характеристики, показывающей тесноту связи между двумя случайными величинами или случайными величинами и регрессионной зависимостью.

Тесноту линейной зависимости между двумя случайными величинами характеризует *коэффициент корреляции r* , который рассчитывается по формуле

$$r = \frac{\sum_{i=1}^m [(x_{(i)} - \bar{x})(y_{(i)} - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{(i)} - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^m (y_{(i)} - \bar{y})^2}}. \quad (2.82)$$

При r равном нулю не существует линейной связи между величинами. Крайние значения плюс единица и минус единица коэффициента корреляции соответствуют линейной функциональной зависимости между двумя показателями эксплуатации троллейбусов. Примерная характеристика связи при других значениях этого коэффициента приведена в таблице 2.10. Знак при r указывает на положительную или отрицательную (обратную) зависимость.

Т а б л и ц а 2.10 – Характеристика коэффициента корреляции

Значение модуля коэффициента корреляции		Степень связи
от	до	
0,00	0,20	Связи нет
0,20	0,50	Слабая связь
0,50	0,75	Средняя связь
0,75	0,95	Сильная связь
0,95	1,00	Функциональная связь

2.6.4 Проверка взаимосвязи по уровню значимости

Коэффициент корреляции сам является случайной величиной, так как для различных выборок из одной и той же генеральной совокупности может принимать различные значения. Поэтому необходимо определить, при каком *уровне значимости* (вероятности принять линейную регрессию при фактическом отсутствии связи между величинами) коэффициент корреляции и, следовательно, регрессионная связь являются адекватными.

Проверка коэффициента корреляции осуществляется по критерию t , который рассчитывается по формуле

$$t = r \sqrt{\frac{m-2}{1-r^2}}. \quad (2.83)$$

Найденное по формуле (2.83) значение t сравнивается с критическим значением $t_{\alpha, \nu}$, выбранным по приложению Б для двусторонней критической области при $\alpha = 0,05$ и $\nu = m - 2$. Если значение t по абсолютной величине больше, чем критическое $t_{\alpha, \nu}$, то гипотеза о линейной зависимости двух показателей эксплуатации троллейбусов считается подтвержденной.

Список литературы

- ГОСТ 2.105–95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам. – Введ. 1.01.1997. – Мн.: ИПК Издательство стандартов, 1995. – 37 с.
- Р 50-77-88. Рекомендации. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения диаграмм.
- ПЗ-01 к СНБ 3.03.02-97. Проектирование сетей городского пассажирского транспорта. – Введ. 29.10.2001. – Мн.: Минстройархитектуры, 2002. – 63 с.
- Ефремов, И. С.** Теория городских пассажирских перевозок: учеб. пособие для вузов / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. А. Юдин. – М.: Высш. школа, 1980. – 535 с.
- Математическая статистика: лабораторный практикум / Г. Ю. Мишин [и др.]; под ред. В. С. Серёгиной. – Гомель: БелГУТ, 2001. – 60 с.
- Правила технической эксплуатации троллейбуса. – Введ. 03.09.1996. – Мн.: Типография концерна «Белинкоммаш», 1996. – 78 с.
- Байрыева, Л. С.** Электрическая тяга. Городской наземный транспорт: учебник для техникумов / Л. С. Байрыева, В. В. Шевченко. – М.: Транспорт, 1986. – 206 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

Исходные данные для курсовой работы

Таблица А.1 – Данные по первой цифре шифра

Вариант	Троллейбус	Приложение Д	$l_n, м$	l_b
1	ЗиУ-682Б (ЗиУ-9)		$0,5l_n$	
2	АКСМ-101		$0,5l_n$	
3	АКСМ-201-01		$0,5l_n$	
4	ЗиУ-682Б (ЗиУ-9)		$0,7l_n$	
5	АКСМ-101		$0,7l_n$	
6	АКСМ-201-01		$0,7l_n$	
7	ЗиУ-682Б (ЗиУ-9)		$1,0l_n$	
8	АКСМ-101		$1,0l_n$	
9	АКСМ-201-01		$1,0l_n$	
10	ЗиУ-682Б (ЗиУ-9)	$1,0l_n$		

Таблица А.2 – Данные по второй цифре шифра

Вариант	$A_{вх}$	$A_{вых}$	$b, м/с^2$	$a, м/с^2$	$i, \%_o$
1	$0,10H^{cp}$	$0,10H^{cp}$	1,0	1,2	1,0
2	$0,15H^{cp}$	$0,15H^{cp}$	1,3	1,4	1,5
3	$0,20H^{cp}$	$0,20H^{cp}$	1,5	1,7	2,0
4	$0,25H^{cp}$	$0,25H^{cp}$	1,5	1,7	2,5
5	$0,30H^{cp}$	$0,30H^{cp}$	1,3	1,5	3,0
6	$0,10H^{cp}$	$0,35H^{cp}$	1,0	1,2	-1,0
7	$0,15H^{cp}$	$0,10H^{cp}$	1,1	1,3	-1,5
8	$0,20H^{cp}$	$0,15H^{cp}$	1,2	1,4	-2,0
9	$0,25H^{cp}$	$0,20H^{cp}$	1,2	1,4	-2,5
10	$0,30H^{cp}$	$0,25H^{cp}$	1,1	1,3	-3,0

Таблица А.3 – Данные по третьей цифре шифра

Вариант	Показатель	
	X	Y
1	Интервал стоянки	Средний потребляемый ток
2	Интервал движения	Средний потребляемый ток
3	Среднеходовая скорость	Средний потребляемый ток
4	Скорость сообщения	Средний потребляемый ток
5	Наполнение	Средний потребляемый ток
6	Интервал стоянки	Ходовая скорость
7	Скорость сообщения	Ходовая скорость
8	Наполнение	Ходовая скорость
9	Интервал движения	Скорость сообщения
10	Наполнение	Скорость сообщения

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

Критические точки распределения Стьюдента

Степени свободы ν	Уровень значимости α ,							
	односторонняя критическая область (двусторонняя критическая область)							
	0,2 (0,4)	0,1 (0,2)	0,05 (0,1)	0,025 (0,05)	0,01 (0,02)	0,005 (0,01)	0,001 (0,002)	0,0005 (0,001)
1	1,376	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	318,29	636,58
2	1,061	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	22,328	31,600
3	0,978	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,214	12,924
4	0,941	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610
5	0,920	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,894	6,869
6	0,906	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959
7	0,896	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,785	5,408
8	0,889	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501	5,041
9	0,883	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781
10	0,879	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144	4,587
11	0,876	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,025	4,437
12	0,873	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,930	4,318
13	0,870	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852	4,221
14	0,868	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787	4,140
15	0,866	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733	4,073
16	0,865	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686	4,015
17	0,863	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646	3,965
18	0,862	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,610	3,922
19	0,861	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,579	3,883
20	0,860	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552	3,850
21	0,859	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,527	3,819
22	0,858	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505	3,792
23	0,858	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,485	3,768
24	0,857	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,467	3,745
25	0,856	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,450	3,725
26	0,856	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,435	3,707
27	0,855	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,421	3,689
28	0,855	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,408	3,674
29	0,854	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,396	3,660
30	0,854	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,385	3,646
40	0,851	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,307	3,551
50	0,849	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678	3,261	3,496
60	0,848	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,232	3,460
70	0,847	1,294	1,667	1,994	2,381	2,648	3,211	3,435
80	0,846	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639	3,195	3,416
90	0,846	1,291	1,662	1,987	2,368	2,632	3,183	3,402
100	0,845	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626	3,174	3,390
150	0,844	1,287	1,655	1,976	2,351	2,609	3,145	3,357
200	0,843	1,286	1,653	1,972	2,345	2,601	3,131	3,340
500	0,842	1,283	1,648	1,965	2,334	2,586	3,107	3,310
∞	0,842	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,090	3,290

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(рекомендуемое)

Пример плана участка транспортной сети

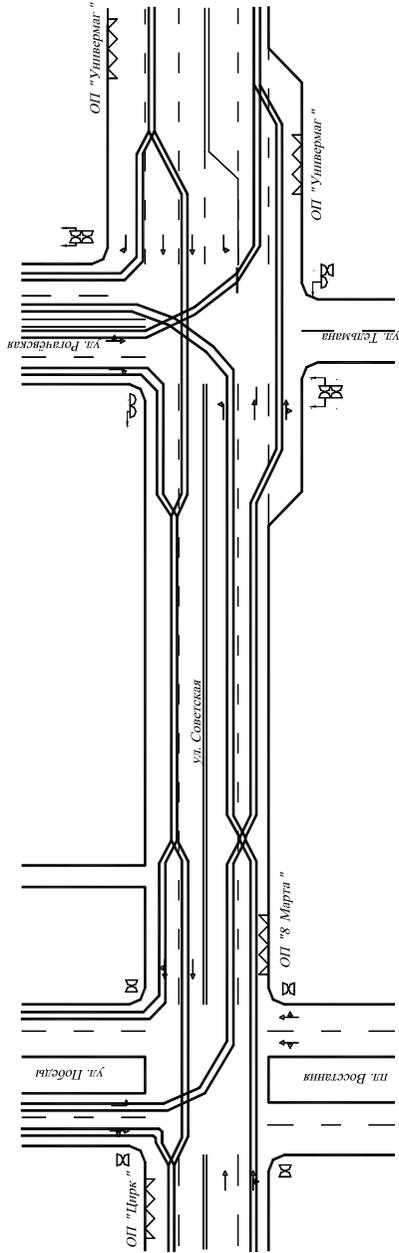


Рисунок В.1 – План участка транспортной сети между остановочными пунктами «8 Марта» и «Универмаг»

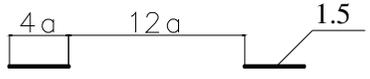
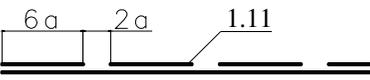
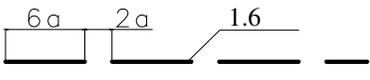
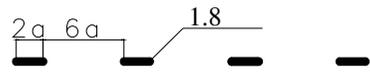
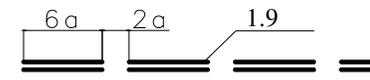
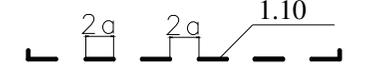
ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(рекомендуемое)

Условные графические обозначения и изображения
элементов плана транспортной сети

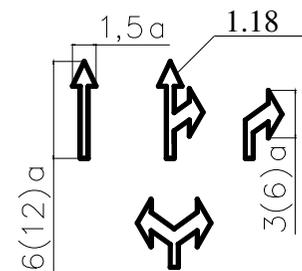
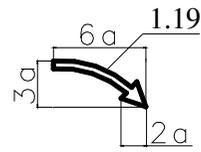
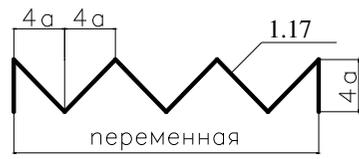
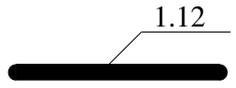
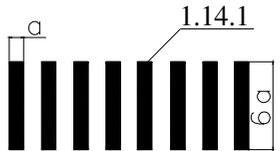
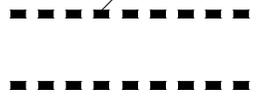
Таблица Г.1

Наименование	Обозначение и изображение
1 Автомобильная дорога	 Толщина линии 0,75 мм
2 Путь железнодорожный колеи 1520 мм	
3 Направление движения транспорта	
4 Подземный переход	
5 Дорожная разметка	
5.1 Разметка для разделения транспортных потоков	
5.2 Разметка края проезжей части на автомагистралях	

Продолжение таблицы Г.1

Наименование	Обозначение и изображение
5.3 Разметка для разделения транспортных потоков при четырех полосах движения и более	
5.4 Разметка для разделения транспортных потоков при двух или трех полосах движения	
5.5 Разметка для ограничения маневрирования	
5.6 Разметка приближения к месту ограничения маневрирования	
5.7 Разметка границ полос движения в пределах перекрестка	
5.8 Разметка границы между полосой разгона (торможения) и основной полосой движения	
5.9 Разметка границ полос с реверсивным движением	
5.10 Разметка мест, где стоянка транспортных средств запрещена (желтого цвета)	

Продолжение таблицы Г.1

Наименование	Обозначение и изображение
5.11 Разметка разрешенных на перекрестке направлений движения по полосам	
5.12 Разметка приближения к месту, где уменьшается число полос движения в данном направлении	
5.13 Разметка мест остановок транспортных средств общего пользования и стоянок такси	
5.14 Разметка места остановки у знака «СТОП», перед светофором или железнодорожным переездом	
5.15 Разметка перехода:	
а) нерегулируемого	
б) регулируемого	

Продолжение таблицы Г.1

Наименование	Обозначение и изображение
6 Дорожные знаки 6.1 Опора дорожного знака: а) на одной стойке б) на двух стойках	
6.2 Знак предупреждающий	
6.3 Знаки приоритета	
6.4 Знак запрещающий или предписывающий	
7 Светофор	
8 Контактная сеть	

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(рекомендуемое)

Технические характеристики троллейбусов



Рисунок Д.1 – Внешний вид троллейбуса ЗиУ-682Б (ЗиУ-9)

Таблица Д.1 – Технические характеристики троллейбуса ЗиУ-682Б (ЗиУ-9)

Наименование характеристики	Размерность	Значение
Габариты (длина x ширина x высота)	мм	11888 x 2500 x 3347
Вместимость	чел.	93
Мест для сидения	чел.	32
Снаряженная масса	кг	10050
Система управления тяговым приводом	–	Контакторно-реостатная



Рисунок Д.2 – Внешний вид троллейбуса АКСМ-101

Таблица Д.2 – Технические характеристики троллейбуса АКСМ-101

Наименование характеристики	Размерность	Значение
Габариты (длина x ширина x высота)	мм	12360 x 2500 x 3160
Вместимость	чел.	114
Мест для сидения	чел.	30
Снаряженная масса	кг	10893
Система управления тяговым приводом	–	Контакторно-реостатная



Рисунок Д.3 – Внешний вид троллейбуса АКСМ-201-01

Т а б л и ц а Д.3 – Технические характеристики троллейбуса АКСМ-201-01

Наименование характеристики	Размерность	Значение
Габариты (длина x ширина x высота)	мм	11850 x 2500 x 3400
Вместимость	чел.	110
Мест для сидения	чел.	28
Снаряженная масса	кг	10445
Система управления тяговым приводом	–	Контакторно-реостатная



Рисунок Д.4 – Внешний вид троллейбуса АКСМ-201

Т а б л и ц а Д.4 – Технические характеристики троллейбуса АКСМ-201

Наименование характеристики	Размерность	Значение
Габариты (длина x ширина x высота)	мм	11750 x 2500 x 3300
Вместимость	чел.	110
Мест для сидения	чел.	28
Снаряженная масса	кг	10515
Система управления тяговым приводом	–	Тиристорно-импульсная



Рисунок Д.5 – Внешний вид троллейбуса АКСМ-213

Т а б л и ц а Д.5 – Технические характеристики троллейбуса АКСМ-213

Наименование характеристики	Размерность	Значение
Габариты (длина x ширина x высота)	мм	17906 x 2500 x 3187
Вместимость	чел.	175
Мест для сидения	чел.	41
Снаряженная масса	кг	16500
Система управления тяговым приводом	–	Тиристорно-импульсная



Рисунок Д.6 – Внешний вид троллейбуса АКСМ-221

Т а б л и ц а Д.6 – Технические характеристики троллейбуса АКСМ-221

Наименование характеристики	Размерность	Значение
Габариты (длина x ширина x высота)	мм	12160 x 2500 x 3220
Вместимость	чел.	100
Мест для сидения	чел.	25
Снаряженная масса	кг	12250
Система управления тяговым приводом	–	Тиристорно-импульсная



Рисунок Д.7 – Внешний вид троллейбуса АКCM-321

Т а б л и ц а Д.7 – Технические характеристики троллейбуса АКCM-321

Наименование характеристики	Размерность	Значение
Габариты (длина x ширина x высота)	мм	11755 x 2500 x 3666
Вместимость	чел.	115
Мест для сидения	чел.	29
Снаряженная масса	кг	11180
Система управления тяговым приводом	–	Асинхронный привод



Рисунок Д.8 – Внешний вид троллейбуса АКCM-333

Т а б л и ц а Д.8 – Технические характеристики троллейбуса АКCM-333

Наименование характеристики	Размерность	Значение
Габариты (длина x ширина x высота)	мм	18000 x 2500 x 3500
Вместимость	чел.	162
Мест для сидения	чел.	39
Снаряженная масса	кг	18150
Система управления тяговым приводом	–	Асинхронный привод



Рисунок Д.9 – Внешний вид троллейбуса МА3-103Т

Т а б л и ц а Д.9 – Технические характеристики троллейбуса МА3-103Т

Наименование характеристики	Размерность	Значение
Габариты (длина x ширина x высота)	мм	12160 x 2500 x 3220
Вместимость	чел.	100
Мест для сидения	чел.	25
Снаряженная масса	кг	11700
Система управления тяговым приводом	–	Тиристорно-импульсная

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
(рекомендуемое)

Пример построения графиков

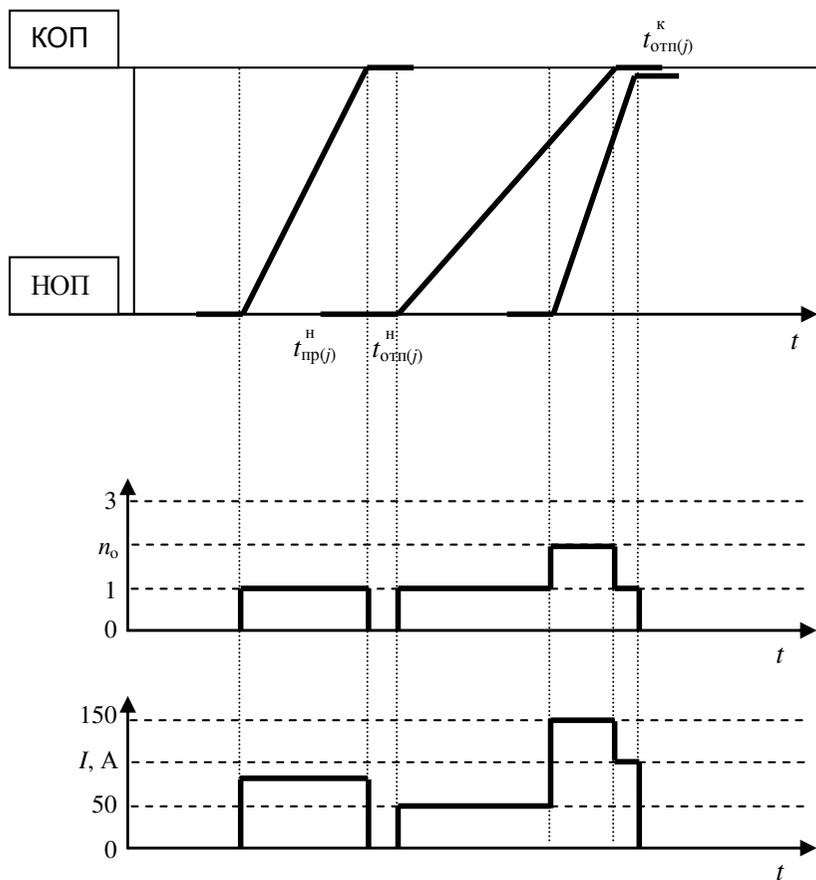


Рисунок Е.1 – График исполненного движения (вверху), диаграмма количества троллейбусов, одновременно находящихся на перегоне (в центре), диаграмма тока в контактной сети (внизу)

Учебное издание

ЕВДАСЕВ Игорь Сергеевич
ДОРОЩУК Дмитрий Викторович
БАЛЮК Юрий Алексеевич

**Анализ показателей эксплуатации
городского электрического транспорта**

Учебно-методическое пособие по курсовому проектированию

Редактор Н. А. Дашкевич
Технический редактор В. Н. Кучерова
Фотографии предоставил С. С. Семченков

Подписано в печать 18.03.2006 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 3,02. Уч.-изд. л. 2,89. Тираж 100 экз.
Зак. № . Изд. № 4296.

Редакционно-издательский отдел УО «БелГУТ», 246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.
ЛИ № 02330/0133394 от 19.07.2004 г.

Типография УО «БелГУТ», 246022, г. Гомель, ул. Кирова, 34.
ЛП № 02330/0148780 от 30.04.2004 г.