

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«ЕДИНАЯ ДИРЕКЦИЯ СТРОЯЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ»**

В реестре членов саморегулируемых организаций:
СРО-П-025-15092009; СРО-И-046-23072019

Заказчик: ООО «МОВИСТА РЕГИОНЫ Ярославль»

«О создании и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры
и технологически связанных с ними транспортных средств,
обеспечивающих деятельность, связанную с перевозками
пассажиров транспортом общего пользования, в муниципальном
образовании городской округ город Ярославль в Ярославской области»

**7 этап: «Строительство системы электроснабжения северного участка
трамвайного пути, от разворотного круга «Больница № 9» (29-я линия) -
путепровод № 2 в районе
ул. Выставочная – разворотный круг ул. Блюхера»**

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Раздел 3. Технологические и конструктивные решения линейного объекта.
Искусственные сооружения.
Часть 1. Тяговый электрический расчет.

0484ГП.09-7-ТКР1

Том 3.1

Изм.	№ док	Подп.	Дата

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«ЕДИНАЯ ДИРЕКЦИЯ СТРОЯЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ»**

В реестре членов саморегулируемых организаций:
СРО-П-025-15092009; СРО-И-046-23072019

Заказчик: ООО «МОВИСТА РЕГИОНЫ Ярославль»

«О создании и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры
и технологически связанных с ними транспортных средств,
обеспечивающих деятельность, связанную с перевозками
пассажиров транспортом общего пользования, в муниципальном
образовании городской округ город Ярославль в Ярославской области»

**7 этап: «Строительство системы электроснабжения северного участка
трамвайного пути, от разворотного круга «Больница № 9» (29-я линия) -
путепровод № 2 в районе
ул. Выставочная – разворотный круг ул. Блюхера»**

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Раздел 3. Технологические и конструктивные решения линейного объекта.
Искусственные сооружения.
Часть 1. Тяговый электрический расчет.

0484ГП.09-7-ТКР1
Том 3.1

Изм.	№ док	Подп.	Дата

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Директор по проектированию

Ю.В. Трунов

Главный инженер проекта

Е.В. Рагулин

2024



Общество с ограниченной ответственностью
«КомплектЭнергоСнаб»
Регистрационный номер члена СРО
9705082922-20230530-1152,
дата регистрации от 30 мая 2023г.

Заказчик: ООО «МОВИСТА РЕГИОНЫ Ярославль»

«О создании и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры
и технологически связанных с ними транспортных средств,
обеспечивающих деятельность, связанную с перевозками
пассажиров транспортом общего пользования, в муниципальном
образовании городской округ город Ярославль в Ярославской области»

**7 этап: «Строительство системы электроснабжения северного участка
трамвайного пути, от разворотного круга «Больница № 9» (29-я линия) -
путепровод № 2 в районе
ул. Выставочная – разворотный круг ул. Блюхера»**

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Раздел 3. Технологические и конструктивные решения линейного объекта.

Искусственные сооружения.

Часть 1. Тяговый электрический расчет.

0484ГП.09-7-ТКР1

Том 3.1

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Москва 2024 г.



Общество с ограниченной ответственностью
«КомплектЭнергоСнаб»
Регистрационный номер члена СРО
9705082922-20230530-1152,
дата регистрации от 30 мая 2023г.

Заказчик: ООО «МОВИСТА РЕГИОНЫ Ярославль»

«О создании и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры
и технологически связанных с ними транспортных средств,
обеспечивающих деятельность, связанную с перевозками
пассажиров транспортом общего пользования, в муниципальном
образовании городской округ город Ярославль в Ярославской области»

**7 этап: «Строительство системы электроснабжения северного участка
трамвайного пути, от разворотного круга «Больница № 9» (29-я линия) -
путепровод № 2 в районе
ул. Выставочная – разворотный круг ул. Блюхера»**

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Раздел 3. Технологические и конструктивные решения линейного объекта.
Искусственные сооружения.
Часть 1. Тяговый электрический расчет.

0484ГП.09-7-ТКР1
Том 3.1

Изм. № подл	
Подп. и дата	
Взам. инв. №	

Генеральный директор

А.Г. Васильев

Главный инженер проекта

В.Н. Бурда

Москва 2024 г.

Содержание тома

Обозначение	Наименование	Примечание
<u>Текстовая часть</u>		
	Содержание тома	2
	Заверение проектной организации	3
	1 Исходные данные и нормативная документация	4
	2 Тяговые расчёты	5

[illegible]

Заверение проектной организации

Проектная документация по объекту: «О создании и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры и технологически связанных с ними транспортных средств, обеспечивающих деятельность, связанную с перевозками пассажиров транспортом общего пользования, в муниципальном образовании городской округ город Ярославль в Ярославской области» «7 этап: «Строительство системы электроснабжения северного участка трамвайного пути, от разворотного круга «Больница № 9» (29-я линия) – путепровод № 2 в районе ул. Выставочная – разворотный круг ул. Блюхера»» находящегося по адресу: Россия, Ярославская область, г. Ярославль разработана в соответствии с техническими регламентами, государственными нормами, правилами, стандартами, исходными данными, заданием на проектирование, а также техническими условиями и требованиями, выданными органами государственного надзора (контроля) и заинтересованными организациями при согласовании исходно-разрешительной документации; предусматривает мероприятия, обеспечивающие конструктивную надежность, взрывопожарную и пожарную безопасность объекта, защиту населения и устойчивую работу объекта в чрезвычайных ситуациях, защиту окружающей природной среды при его эксплуатации и отвечает требованиям Градостроительного Кодекса Российской Федерации.

Инженерные изыскания выполнены в полном объеме, соответствуют нормативным документам и достаточны для разработки проектной документации.

Главный инженер проекта

Бурда В.Н.

Взам.инв. №	
Подп. и дата.	
Изм.	
Кол.уч.	
Лист	
№ док	
Подпись	
Дата	
Разраб.	
Н.Контр.	
Проверил	
Инд. № подл.	

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док	Подпись	Дата
Разраб.		Лепунин			11.23
Н.Контр.		Дульский			11.23
Проверил		Бурда			11.23

0484ГП.09-7-ТКР1

Заверение проектной
организации

Стадия	Лист	Листов
П	1	

1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И НОРМАТИВНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Нормативная документация, использованная в разделе

- ПУЭ 7-е издание.
 - СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89».
 - СП 98.13330.2018 «Трамвайные и троллейбусные линии. Актуализированная редакция СНиП 2.05.09-90»
 - ГОСТ Р 55647-2018 «Провода контактные из меди и её сплавов для электрифицированных железных дорог. Технические условия».
 - ГОСТ 839-2019 «Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия».
 - ГОСТ 31996-2012 «Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия».
 - ГОСТ 16772-77 «Трансформаторы и реакторы преобразовательные. Общие технические условия».
 - ГОСТ 18142.1-85 «Выпрямители полупроводниковые мощностью свыше 5 кВт».
 - «Нормы и правила проектирования систем электроснабжения трамваев и троллейбусов».
- Утв. министерством жилищно-коммунального хозяйства РСФСР 12.01.1983

Исходные данные для тягового и электрического расчёта

В качестве основных исходных данных для тяговых и электрических расчётов использованы:

- план и профиль пути проектируемой линии;
- места расположения остановок;
- тяговые характеристики и расчётная масса трамвайного вагона;
- максимальные скорости движения вагонов на линии;
- размеры движения по линии в час интенсивного движения;

Методика расчёта

Наиболее часто для расчёта систем тягового электроснабжения городского транспорта используют метод равномерно распределённой нагрузки или обобщённый аналитический метод. Эти методы предполагают использование для расчётов нескольких коэффициентов, которые определялись опытным путём. Для современного подвижного состава эти коэффициенты отсутствуют. Кроме того современный подвижной состав обладает в 1,3 – 1,5 раза большей удельной мощностью. Из-за этого его электропотребление становится очень

Инв. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №						0484ГП.09-7-ТКР1	Лист
									1
			Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.		

Моделирование выполнено в два этапа. На первом этапе производится тяговый расчёт, в ходе которого определяется время хода по линии, а также зависимость потребляемого вагоном тока от пути или от времени. Тяговый расчёт позволяет определить электропотребление вагона с учётом фактического влияния профиля пути, заданной скорости сообщения, ограничений скорости, длин перегонов.

2 ТЯГОВЫЕ РАСЧЁТЫ

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A}{1 + \gamma} \cdot (f_{\text{K}} - w - b_{\text{T}}),$$

B - удельная тормозная сила, Н/кН.

Продольный профиль, план линии, а также расположение остановочных пунктов приняты в соответствии с решениями соответствующих разделов. В соответствии с указаниями письма №164 от 05.06.2023 качестве расчётного вагона выбран четырёхосный вагон 71-628, с мощностью. двигателей 4×72 кВт. Основные технические характеристики вагона приведены в таблице 2.1

Взам.инв.№	Подп. и дата.	сопротивление движению и, соответственно, средний потребляемый ток вагона. Значительное влияние на расход энергии также оказывают остановки. Максимальная реализуемая мощность двигателей вагона определяет максимальный потребляемый ток.					
		Продольный профиль, план линии, а также расположение остановочных пунктов приняты в соответствии с решениями соответствующих разделов. В соответствии с указаниями письма №164 от 05.06.2023 качестве расчётного вагона выбран четырёхосный вагон 71-628, с мощностью. двигателей 4×72 кВт. Основные технические характеристики вагона приведены в таблице 2.1					
Инв. № подл.							Лист 2
	Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	

Таблица 2.1 – Основные характеристики расчётного вагона

В тяговых расчётах масса вагона была принята равной 32,9 т, что соответствует загрузке вагона с плотностью 5 чел./м². Максимальная сила тяги (44,1 кН) принята исходя из ограничения максимального ускорения при пуске. Характеристики приведены для номинального напряжения на токоприёмнике, равного 550 В. Связь потребляемого тока и мощности вагона с учётом КПД тягового электропривода описывается выражением, А:

где $P_{\max}$ - максимальная мощность тяговых двигателей вагона, кВт;

 $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение, кВ;

$\eta_{\text{д}}$ - КПД тягового электродвигателя вагона, о.е.;

 $\eta_{\text{тпд}}$ - КПД тягового преобразователя вагона, о.е.

Инв. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №

						0484ГП.09-7-ТКР1
Изм.	Колуч	Лист	№лжк	Подп.	Дата	

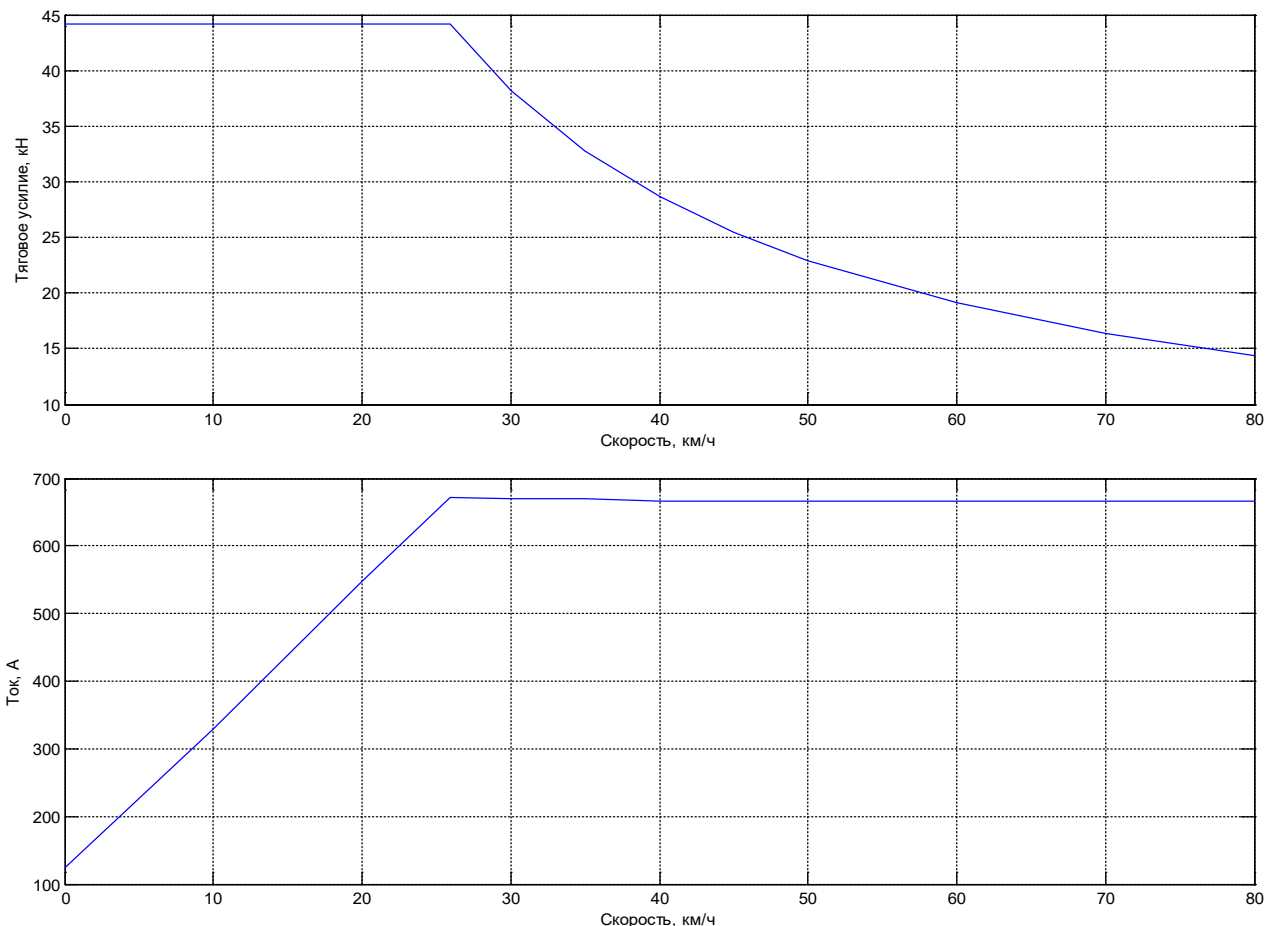


Рисунок 2.1 – Предельные тяговая и токовая характеристики вагона

Для определения основного удельного сопротивления движению вагона, Н/кН, под током (w'_o) и на выбеге (w'_{ox}) в тяговом расчёте использованы типовые формулы:

$$w'_o = 4,5 + 0,00278 \cdot V^2;$$

$$w'_{ox} = 5,0 + 0,0031 \cdot V^2,$$

Дополнительное сопротивление движению от кривых, Н/кН, определено по формуле:

$$w'_k = \frac{500}{R},$$

где R - радиус кривой, м;

Ток собственных нужд вагона с учётом мощности собственных нужд принят равным 46 А.

Максимальная скорость движения в тяговых расчётах для прямых и кривых радиусом 401 м и более принята равной 60 км/ч. Максимальные скорости вагонов в кривых меньшего радиуса:

В кривых радиусом 50 м и менее – 15 км/ч;

В кривых радиусом 51 – 75 м – 20 км/ч;

В кривых радиусом 76 – 100 м – 25 км/ч;

В кривых радиусом 101 – 200 м – 30 км/ч;

Инв. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №							Лист
			0484ГП.09-7-ТКР1						
			Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	

В кривых радиусом 201 – 300 м – 40 км/ч;

В кривых радиусом 301 – 400 м – 50 км/ч;

На стрелочных переводах при движении по прямому направлению – 20 км/ч, при движении с отклонением – 15 км/ч. На глухих пересечениях трамвайных путей и железнодорожных путей – 15 км/ч. На спусках крутизной от 30 до 50 ‰ – 25 км/ч. На трамвайной сети города Ярославль для тягового расчёта были выделены три расчётных участка:

- от конечной станции «ул. Блюхера» до узла на Ленинградском пр.;
- от конечной станции «Больница №9» через узлы на Ленинградском пр. и на пр. Октября/ул. Чкалова до конечной станции «ул. Чкалова».
- от узла на пр. Октября/ул. Чкалова до конечной станции ул. Свердлова (Бутусовский парк).

На участке от конечной станции «ул. Блюхера» до узла на Ленинградском пр. счёт километров принят идёт от кольца «ул. Блюхера» в соответствии с проектной документацией. На участке от конечной станции «Больница №9» до границы работ Этапа 2 счёт километров принят в соответствии с решениями раздела 0484ГП.09-2-ТКР1-гч (листы 1.1 – 1.8 и 2.1 – 2.5), далее, на участках Этапов 3 и 4 этот счёт километров продолжен до узла на пр. Октября-ул. Чкалова и далее до конечной станции «ул. Чкалова». Это сделано для удобства выполнения тяговых и последующих электрических расчётов, так как основная масса вагонов по этим участкам будет следовать до конечной станции «ул. Чкалова». На участке от конечной станции «ул. Свердлова» до узла на пр. Октября/ул. Чкалова счёт километров принят от конечной станции «ул. Свердлова».

Результаты тягового расчёта в направлении «туда» и «обратно» для первого участка представлены в таблицах 2.2 и 2.3, для второго участка в таблицах 2.4 и 2.5, для третьего – в таблицах 2.6 и 2.7. При расчётах времени сообщения время стоянки на промежуточных остановках принято равным 24 с. Графические результаты тягового расчёта для участка от конечной станции «Больница №9» до конечной станции «ул. Чкалова» в направлениях «туда» и «обратно» представлены на рисунках 2.2 – 2.5.

Инв. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №	«обратно» представлены на рисунках 2.2 – 2.5.					
						0484ГП.09-7-ТКР1	Лист	
							5	
Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата			

Таблица 2.2 – Результаты тягового расчёта по участку КС «ул. Блюхера» – узел на Ленинградском пр. в направлении «туда»

Перегон	Коорд., км	Длина, км	Время хода, мин	Расход ЭЭ, кВт·ч	
				Потребл.	Рекуп.
Перрон приб. – Перр. отпр. КС «ул. Блюхера»	0,070	0,130	0,721	0,767	-0,024
Перрон отпр. «Ул. Блюхера» – Школа	0,269	0,199	0,650	0,941	-0,214
Школа – к-тр «Октябрь»	0,887	0,618	1,137	1,531	-0,334
К-тр «Октябрь» – Ул. Е. Колесовой	1,415	0,528	1,059	1,459	-0,417
Ул. Е. Колесовой – Обл. ДКБ	2,200	0,785	1,497	1,819	-0,297
Обл. ДКБ – узел. Ленинградский пр.	2,833	0,633	1,247	1,618	-0,381
Перрон приб. КС – узел. Ленинградский пр.	–	2,893	6,310	8,135	-1,667
То же с учётом стоянок	–	2,893	8,310	8,978	-1,667

Таблица 2.3 – Результаты тягового расчёта по участку КС «ул. Блюхера» – узел на Ленинградском пр. в направлении «обратно»

Перегон	Коорд., км	Длина, км	Время хода, мин	Расход ЭЭ, кВт·ч	
				Потребл.	Рекуп.
Узел. Ленинградский пр. – Обл. ДКБ	2,215	0,618	1,311	1,838	-0,273
Обл. ДКБ – Ул. Е. Колесовой	1,430	0,785	1,406	1,973	-0,219
Ул. Е. Колесовой – К-тр «Октябрь»	1,017	0,413	0,795	1,475	-0,324
К-тр «Октябрь» – Школа	0,300	0,717	1,446	2,197	-0,327
Школа – Ул. Блюхера, перрон прибытия	0,040	0,260	0,563	1,160	-0,387
Узел. Ленинградский пр. – ул. Блюхера	–	2,793	5,521	8,643	-1,530
То же с учётом стоянок	–	2,793	7,121	9,318	-1,530

Таблица 2.4 – Результаты тягового расчёта по участку КС «Больница №9» – КС «ул. Чкалова» в направлении «туда»

Перегон	Коорд., км	Длина, км	Время хода, мин	Расход ЭЭ, кВт·ч	
				Потребл.	Рекуп.
КС Больница №9 – 14-й микрорайон	0,517	0,541	1,281	1,969	-0,426
14-й микрорайон – Ленинградский пр.	0,903	0,386	0,758	1,390	-0,414
Ленинградский пр. – ТРК Альтаир	1,153	0,250	0,576	1,080	-0,390
ТРК Альтаир – Волгоградская ул.	1,543	0,390	1,588	1,332	-0,105
Волгоградская ул. – 11-й микрорайон	2,218	0,675	1,512	2,190	-0,493
11-й микрорайон – К-тр. Победа	2,764	0,546	0,990	1,512	-0,348
К-тр. Победа – Ул. Панина	3,095	0,331	0,803	1,277	-0,525
Ул. Панина – Депутатская	3,552	0,457	0,843	1,259	-0,434
Депутатская – Пр. Дзержинского	3,759	0,207	0,513	0,938	-0,363
Пр. Дзержинского – Ул. Урицкого	4,434	0,675	1,591	2,119	-0,499
Ул. Урицкого – Ул. Е.Колесовой	5,254	0,820	1,816	2,539	-0,538
Ул. Е.Колесовой – Трам. депо	5,892	0,638	1,473	1,974	-0,447
Трам. депо – ТРЦ «Омега»	7,121	1,229	2,478	2,949	-0,648
ТРЦ «Омега» – ТРЦ «Рио»	7,930	0,809	1,421	1,735	-0,287
ТРЦ «Рио» – Лакокраска	9,006	1,076	2,334	3,346	-0,703
Лакокраска – НИИМСК	9,548	0,542	0,963	1,547	-0,344
НИИМСК – ЯМЗ	10,559	1,011	1,952	2,819	-0,532
ЯМЗ – Обл. онк. б-ца.	11,435	0,876	1,739	2,844	-0,809

Взам.инв. №	
Подп. и дата.	
Инв. № подл.	

						0484ГП.09-7-ТКР1		Лист
Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата			6

Обл. онк. б-ца. – Ул. Чехова	12,290	0,855	1,901	2,830	-0,711
Ул. Чехова – Ул. Белинского	12,891	0,601	1,083	1,597	-0,294
Ул. Белинского – Ул. Жукова	13,448	0,557	0,978	1,501	-0,350
Ул. Жукова – Ул. Добрынина	13,858	0,410	0,813	1,410	-0,355
Ул. Добрынина – Ул. Юности	14,279	0,421	0,803	1,392	-0,426
Ул. Юности – КС «ул. Чкалова»	14,578	0,299	0,800	1,161	-0,353
КС «Больница №9» – КС «ул. Чкалова»	–	14,601	31,004	44,709	-10,796
То же с учётом стоянок	–	14,601	40,204	48,589	-10,796

Таблица 2.5 – Результаты тягового расчёта по участку КС «Больница №9» – КС «ул. Чкалова»
в направлении «обратно»

Перегон	Коорд., км	Длина, км	Время хода, мин	Расход ЭЭ, кВт·ч	
				Потребл.	Рекуп.
КС «Ул. Чкалова» – Ул. Юности	14,307	0,395	1,567	1,609	-0,119
Ул. Юности – Ул. Добрынина	13,903	0,403	0,759	1,454	-0,358
Ул. Добрынина – Ул. Жукова	13,481	0,423	0,817	1,456	-0,420
Ул. Жукова – Ул. Белинского	12,923	0,558	0,981	1,639	-0,313
Ул. Белинского – Ул. Чехова	12,345	0,578	1,054	1,623	-0,322
Ул. Чехова – Обл. онк. б-ца.	11,450	0,894	1,891	2,737	-0,499
Обл. онк. б-ца. – ЯМЗ	10,533	0,918	1,753	3,188	-0,866
ЯМЗ – НИИМСК	9,502	1,030	1,863	2,532	-0,458
НИИМСК – Лакокраска	8,953	0,549	0,998	1,574	-0,314
Лакокраска – ТРЦ «Рио»	7,927	1,026	1,848	3,101	-0,841
ТРЦ «Рио» – ТРЦ «Омега»	7,094	0,833	1,505	2,382	-0,369
ТРЦ «Омега» – Трам. депо	5,945	1,149	2,134	3,555	-0,673
Трам. депо – Ул. Е. Колесовой	5,227	0,717	1,621	2,214	-0,400
Ул. Е. Колесовой – Ул. Урицкого	4,350	0,877	1,889	2,647	-0,508
Ул. Урицкого – Пр. Дзержинского	3,848	0,502	1,333	2,035	-0,503
Пр. Дзержинского – Депутатская	3,467	0,381	0,741	1,472	-0,349
Депутатская – Ул. Панина	3,070	0,397	0,759	1,541	-0,294
Ул. Панина – Ктр. Победа	2,675	0,395	0,911	1,624	-0,344
Ктр. Победа – 11-й микрорайон	2,069	0,606	1,066	1,684	-0,287
11-й микрорайон – Волгоградская ул.	1,500	0,569	1,311	1,791	-0,316
Волгоградская ул. – ТРК Альтаир	1,195	0,305	1,318	1,282	-0,044
ТРК Альтаир – Ленинградский пр.	0,861	0,334	1,059	1,492	-0,309
Ленинградский пр. – 14-й микрорайон	0,550	0,311	0,651	1,356	-0,449
14-й микрорайон – Больница №9	-0,215	0,765	2,299	2,882	-0,593
КС «Ул. Чкалова» – КС «Больница №9»	–	14,916	32,125	48,871	-9,949
То же с учётом стоянок	–	14,916	41,325	52,750	-9,949

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата
Ив. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №			

0484ГП.09-7-ТКР1

Лист

7

Таблица 2.6 – Результаты тягового расчёта по участку КС «ул. Свердлова» – узел на пр. Октября/ул. Чкалова в направлении «туда»

Перегон	Коорд., км	Длина, км	Время хода, мин	Расход ЭЭ, кВт·ч	
				Потребл.	Рекуп.
Ул. Свердлова (перр. отпр.) – Пл. К. Маркса	0,802	0,762	1,913	3,070	-0,756
Пл. К.Маркса – Б-ца им. Соловьёва	1,194	0,392	1,120	1,618	-0,448
Б-ца им. Соловьёва – узел. пр. Октября	1,400	0,206	0,721	0,827	-0,137
Ул. Свердлова – узел. пр. Октября	–	1,360	3,754	5,515	-1,340
То же с учётом стоянок	–	1,360	4,554	5,853	-1,340

Таблица 2.7 – Результаты тягового расчёта по участку КС «ул. Свердлова» – узел на пр. Октября/ул. Чкалова в направлении «обратно»

Перегон	Коорд., км	Длина, км	Время хода, мин	Расход ЭЭ, кВт·ч	
				Потребл.	Рекуп.
Узел. пр. Октября – Б-ца им. Соловьёва	1,238	0,162	0,684	0,499	-0,059
Б-ца им. Соловьёва – Пл. К. Маркса	0,803	0,435	1,114	1,574	-0,397
Пл. К. Маркса – Ул. Свердлова (перр. приб.)	0,070	0,733	1,871	2,851	-0,802
Ул. Свердлова (перр. приб.) – Перр. отпр.	-0,217	0,288	1,141	1,255	-0,111
Узел. пр. Октября – Ул. Свердлова	–	1,617	4,810	6,179	-1,369
То же с учётом стоянок	–	1,617	5,610	6,516	-1,369

Инв. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №							Лист	
			Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1	

Инв. №подл.	Подп. и дата.	Взам.инв. №

Изм.	Колуч	Лист	№док	Подп.	Дата

0484ГП.09-7-ТКР1

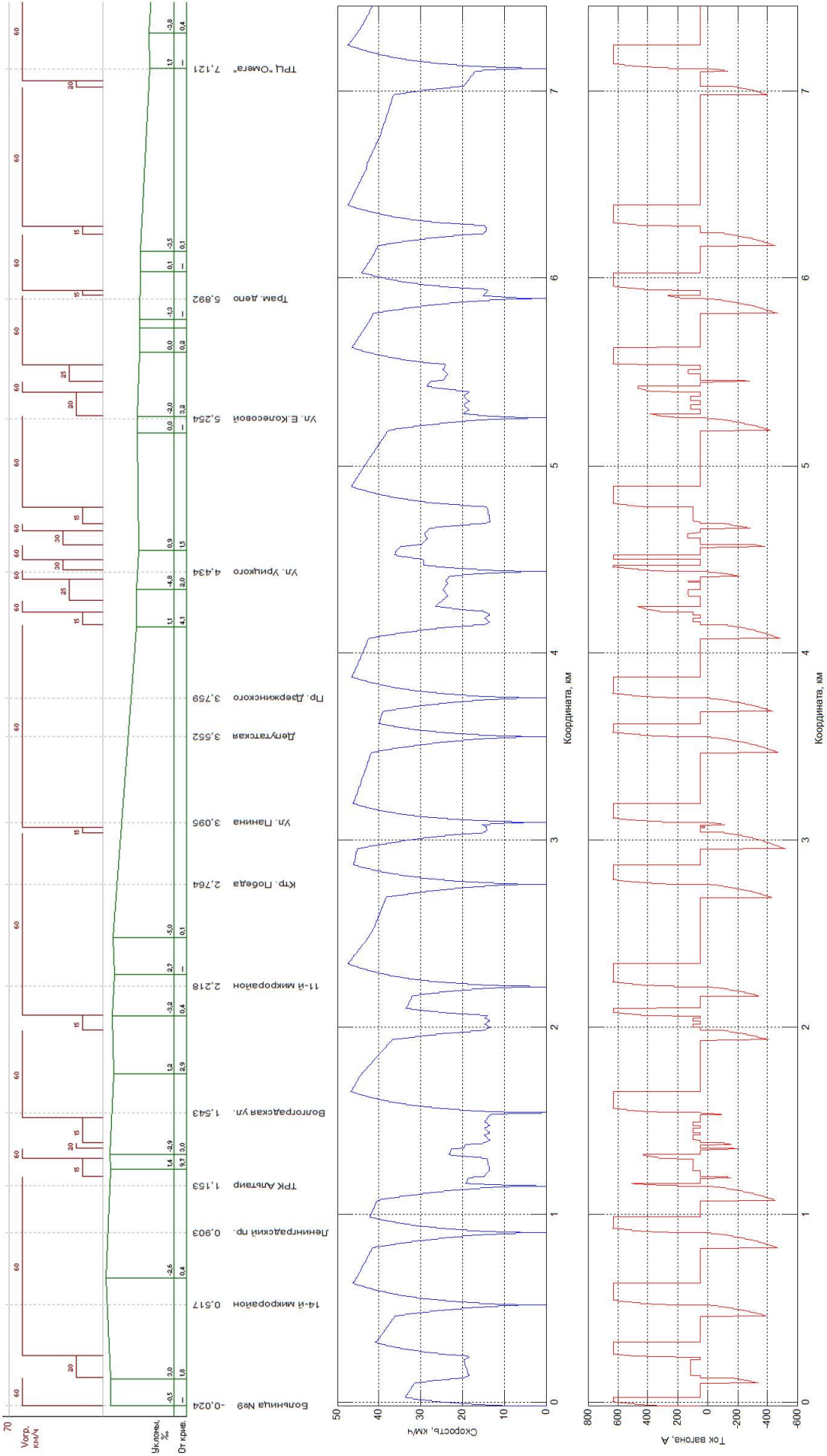


Рисунок 2.2 – График скорости и потребляемого тока 4-осного вагона при движении в направлении «туда» (→) (часть I)

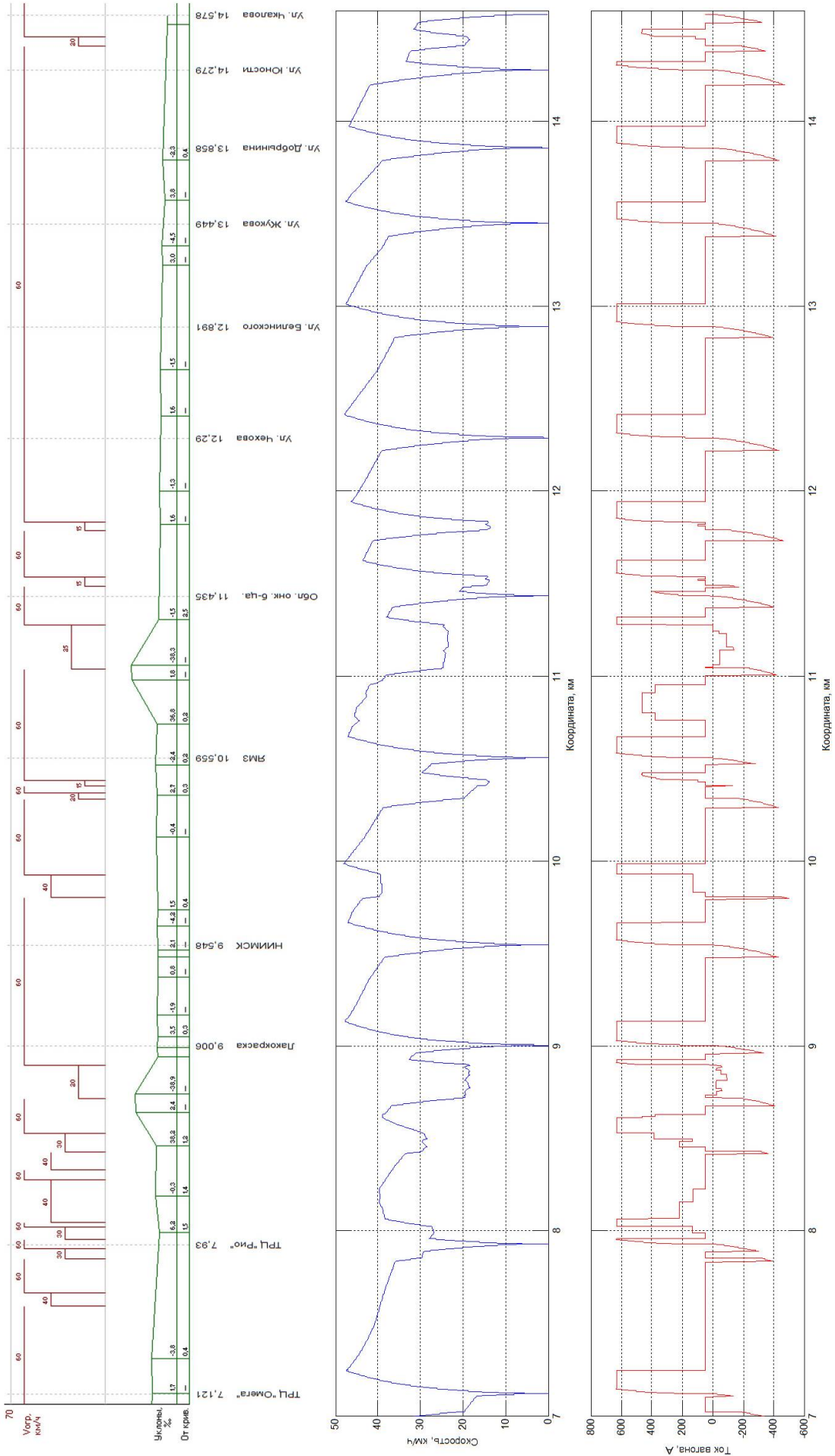


Рисунок 2.3 – График скорости и потребляемого тока 4-осного вагона при движении в направлении «туда» (→) (часть II)

Ив. №подл.	Подп. и дата.	Взам.инв. №

Изм.	Копуч	Лист	№док	Подп.	Дата

0484ГП.09-7-ТКР1

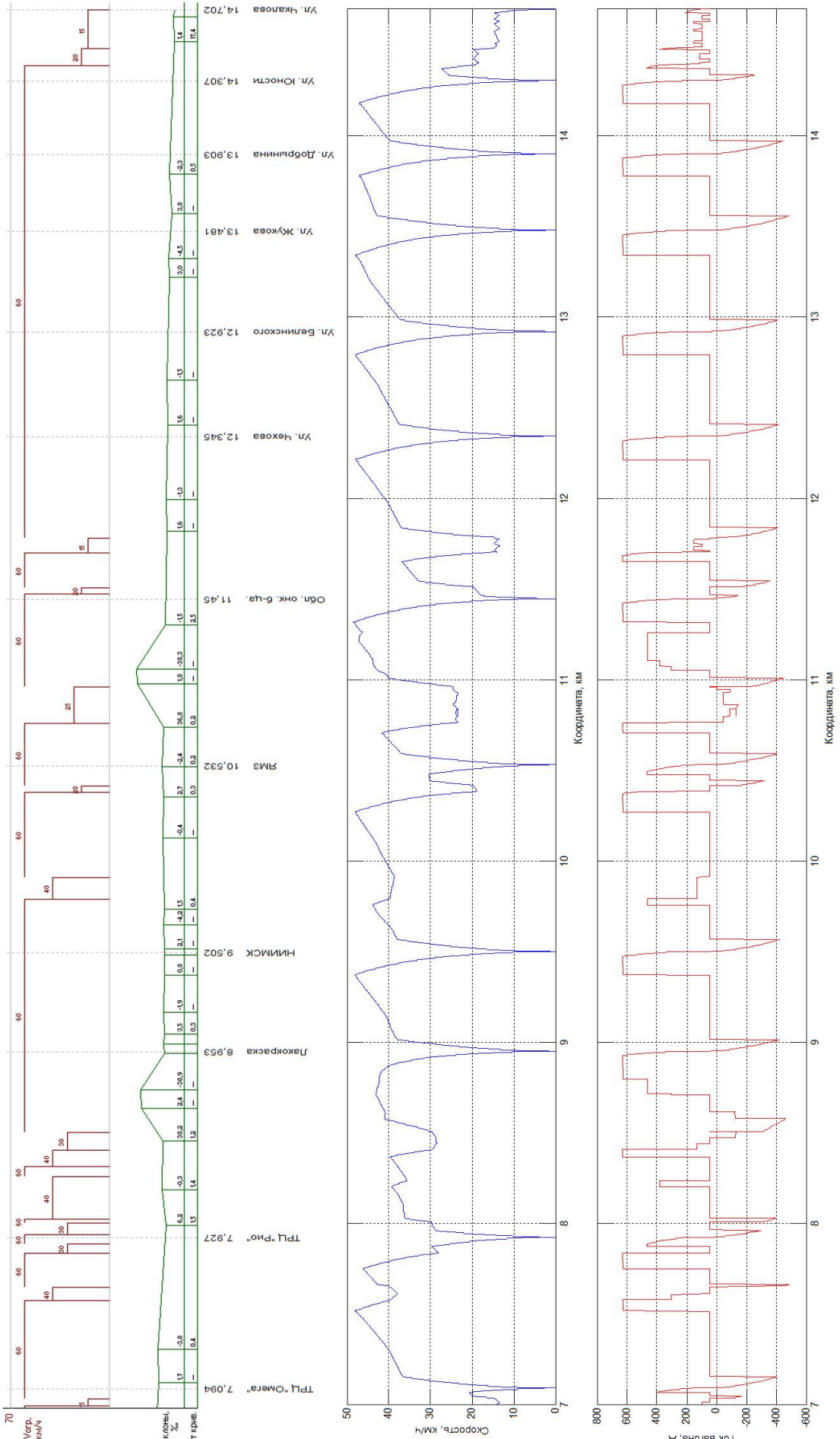


Рисунок 2.4 – График скорости и потребляемого тока 4-осного вагона при движении в направлении «обратно» (←) (часть

Ив. №подл.	Подп. и дата.	Взам.инв. №

Изм.	Копуч	Лист	№дож	Подп.	Дата

0484ГП.09-7-ТКР1

Лист
12

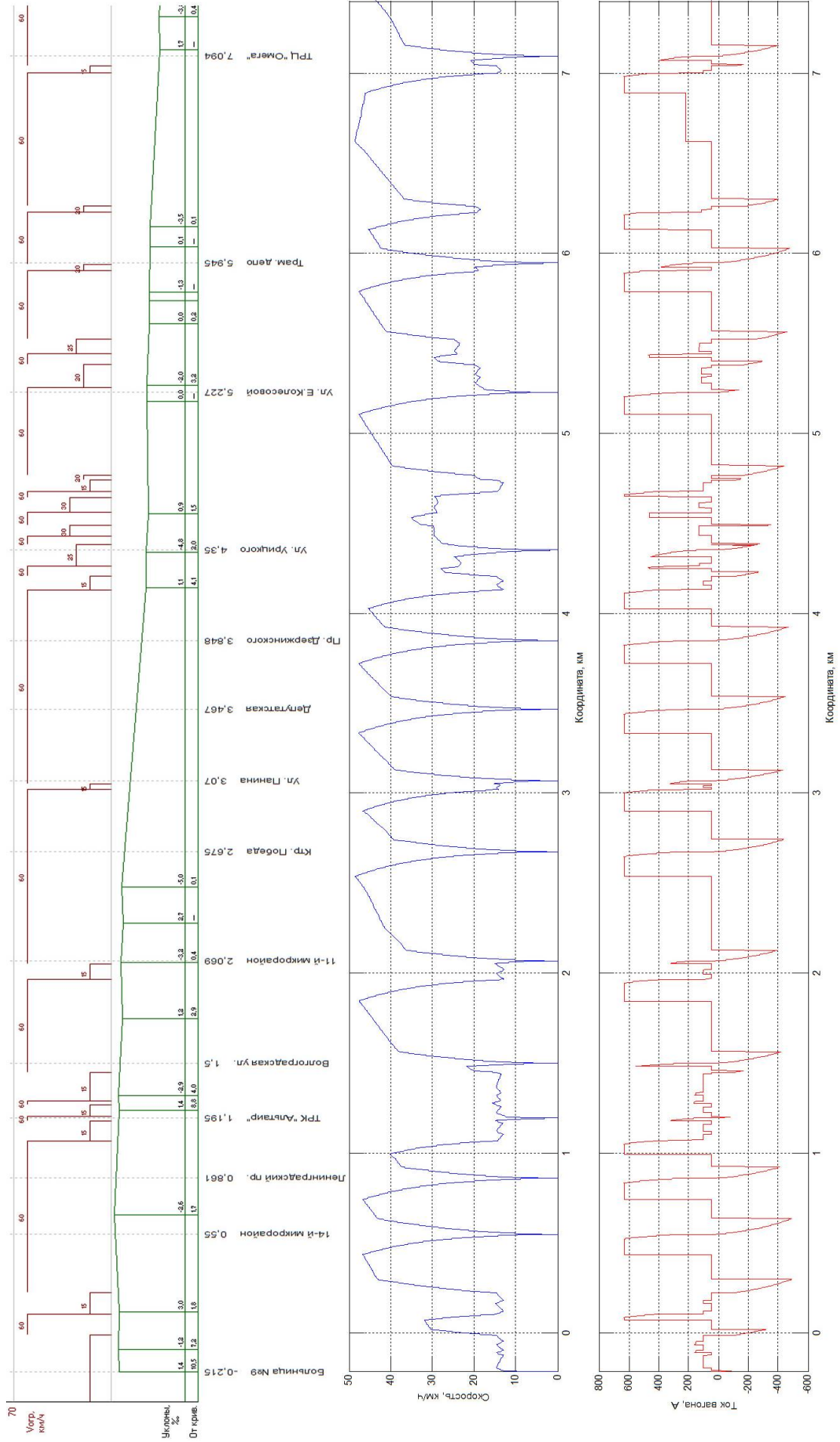


Рисунок 2.5 – График скорости и потребляемого тока 4-осного вагона при движении в направлении «обратно» (←) (часть

3 РАСЧЁТНЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ДВИЖЕНИЯ ТРАМВАЕВ

Перспективные размеры движения вагонов на линии по различным маршрутам приняты в соответствии с исходными данными ЯрГЭТ (ответ на запрос ЕДСО–133Я от 31.05.2023) и приведены в таблице 3.1. Нумерация маршрутов в таблице принята существующая.

Таблица 3.1 – Перспективные параметры маршрутов движения трамваев

№ маршрута	Узловые точки маршрута на проектируемом участке	Средний интервал движения, мин
1	КС ул. Свердлова – узел пр. Октября-ул. Чкалова – КС ул. Чкалова	5,0
5	КС ул. Чкалова – узел пр. Октября-ул. Чкалова – узел Ленинградский пр. – КС Больница №9	6,5
6	КС ул. Чкалова – узел пр. Октября-ул. Чкалова – узел Ленинградский пр. – КС ул. Блюхера	30,0
7	КС ул. Свердлова – узел пр. Октября-ул. Чкалова – узел Ленинградский пр. – разворотное кольцо ул. Волгоградская	6,5

На основании данных таблицы 3.1 определены результирующие интервалы по каждому из расчётных участков. Список расчётных участков и результирующие средние интервалы движения на них представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Интенсивность движения по участкам

Участок	Маршруты	Средний интервал, мин
КС ул. Блюхера – узел Ленинградский пр.	6	30,00
КС Больница №9 – разворотное кольцо ул. Волгоградская	5	6,50
Разворотное кольцо ул. Волгоградская – узел Ленинградский пр.	5, 7	3,25
Узел Ленинградский пр. – узел пр. Октября-ул. Чкалова	5, 6, 7	2,93
Узел пр. Октября-ул. Чкалова – КС ул. Чкалова	1, 5, 6	2,58
Узел пр. Октября-ул. Чкалова – КС ул. Свердлова	1, 7	2,83

Расчётные графики движения были составлены с использованием генератора случайных чисел. Средний интервал был задан в качестве математического ожидания случайной величины. Отклонения от среднего интервала были определены с использованием нормального закона распределения. Стандартное отклонение случайной величины было выбрано таким образом, чтобы максимальное отклонение от расписания составляло 1 – 2 минуты (как это допускают ПТЭ трамвая).

4 РАСЧЁТ СРЕДНЕЙ НАГРУЗКИ ТРОЛЛЕЙБУСНОГО ДВИЖЕНИЯ

При существующем размещении тяговых подстанций от подстанций №18, №13, №14, №9, №16, №11 и КТП помимо тяговой сети трамваев питается также и тяговая сеть троллейбуса. Поэтому для расчёта суммарной мощности тяговых подстанции, а также для точного учёта

Ив. №подл.	Подп. и дата.	Взам.инв. №							Лист	
			0484ГП.09-7-ТКР1							13
			Изм.	Копуч	Лист	№дож	Подп.	Дата		

Таблица 4.1 – Результаты расчёта пробегов троллейбусов с разбивкой по зонам питания тяговых подстанций

Тяговая подстанция	Маршруты	Протяженность маршрутов в зоне питания ТПС, км	Максимальная интенсивность движения, пар машин в час	Суммарн. часовый пробег, маш.·км
ТП18	3, 4	2,69	8,0	21,52
ТП13	7, 8	5,80	10,5	60,90
ТП14	7, 8	4,51	10,5	47,36
ТП9	3	5,56	3,5	72,81
	4	2,94	4,5	
	7	5,33	4,5	
	8	2,70	6,0	
ТП16	4, 8	3,93	10,5	41,27
ТП11	4, 8	1,83	10,5	30,98
	3	3,36	3,5	
КТП	4, 8	2,42	10,5	107,39
	13	2,66	13,0	
	5	4,74	10,0	

$$P_{\text{ср ттрол}} = A_{\text{туд}} \cdot \frac{L_{\text{м}}}{T_{\text{г}} \cdot \kappa_{\text{п}}},$$

K_{Π} - коэффициент, учитывающий потери энергии в тяговой сети.

Средняя мощность тяговых подстанций на питание троллейбусов приведена в таблице 4.2.

Взам. инв. №		T_r - продолжительность работы троллейбуса (1 час, т.к. рассматривается часовая интенсивность) κ_n - коэффициент, учитывающий потери энергии в тяговой сети. Коэффициент, учитывающий потери в тяговой сети, принят равным 0,85. Это значение соответствует допустимой потере напряжения в тяговой сети в нормальном режиме. Эта потеря напряжения равна 90 В, что составляет 15 % от номинального напряжения на шинах тяговых подстанций, равного 600 В. Средняя мощность тяговых подстанций на питание троллейбусов приведена в таблице 4.2.					
		Подп. и дата.		Инв. № подл.		0484ГП.09-7-ТКР1	Лист
14							
		Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата

Таблица 4.2 – Результаты расчёта средней мощности на тягу троллейбусов

Тяговая подстанция	Суммарный пробег на зоне питания ТПС, маш.·км	Средняя мощность на тягу, кВт
ТП18	21,52	25,32
ТП13	60,90	71,65
ТП14	47,36	55,72
ТП9	72,81	85,66
ТП16	41,27	48,55
ТП11	30,98	36,45
КТП	107,39	126,34

5 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ДЛЯ СУЩЕСТВУЮЩЕГО РАЗМЕЩЕНИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Выбор основных параметров системы тягового электроснабжения

Предварительный выбор сечения тяговой сети и питающих кабелей выполнен по падению напряжения. Как показывает практика, в тяговых сетях постоянного тока это наиболее чувствительный параметр. СП 98.13330.2018 нормируют среднее падение напряжения в тяговой сети за время потребления тока в нормальном режиме (не более 90 В) и максимальное падение напряжения в вынужденном режиме (не более 170 В). Исходя из этого, падения напряжения в тяговой сети были определены аналитическим методом. При аналитическом методе предполагается, что один из вагонов потребляет средний пусковой ток $I_{\text{ср}} \cdot \alpha$ (где α – отношение среднего тока за время движения в тяге к общему среднему току вагона на секции), а остальные вагоны равномерно распределены по секции и потребляют средний ток. При одностороннем питании формула для расчёта среднего падения напряжения (для нормального режима) имеет вид, В:

$$\Delta U_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{ср}} \cdot n \cdot r_o \cdot L}{3} \cdot \left(1 + \frac{1,5 \cdot \alpha - 1}{n} \right), \quad (5.1)$$

где $I_{\text{ср}}$ – средний ток одного вагона на секции, А;

n – среднее число вагонов на секции, шт;

r_o – удельное сопротивление тяговой сети, Ом/км;

L – длина секции, км;

α – отношение полного времени нахождения вагона на секции к времени

потребления им тока на тягу.

Коэффициент α определяется для каждой секции индивидуально по кривой тока вагона из тяговых расчётов (см. рисунки 2.2 – 2.5).

Максимальное падение напряжения (для вынужденных режимов) в конце секции одностороннего питания определяется соотношением, В:

Ив. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №							Лист
			0484ГП.09-7-ТКР1						
			15						
Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

$$\Delta U_{\max} = \frac{I_{\text{ср}} \cdot n \cdot r_o \cdot L}{2} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \alpha - 1}{n} \right). \quad (5.2)$$

Падение напряжения в питающих и отсасывающих линиях, В:

$$\Delta U_{\text{по}} = I_{\text{ср}} \cdot R_{\text{л}} \cdot (n - 1 + \alpha). \quad (5.3)$$

Аналитический метод плохо учитывает влияние рекуперации, но известно, что рекуперация способствует повышению среднего напряжения на токоприёмниках подвижного состава. Поэтому расчёт падений напряжения выполнен без учёта рекуперации.

В расчётах были приняты следующие сопротивления элементов тяговой сети согласно ГОСТ Р 55647-2018, ГОСТ 839-2019, ГОСТ 22483-2012:

- тяговая сеть 2МФ-100 и рельсы Р-65 (Т-62) – 0,1115 Ом/км;
- тяговая сеть 2(М-95+МФ-100) и рельсы Р-65 (Т-62) – 0,0578 Ом/км;
- алюминиевый питающий кабель сечением 800 мм² – 0,0367 Ом/км;

Для контактных проводов при расчётах сопротивления был учтён 15 % износ.

Сечение контактной подвески принято на всех участках кроме участка от д. 43 по ул. Чкалова до кольца на ул. Чкалова принято 2МФ-100. На упомянутом участке от д. 43 до кольца на ул. Чкалова дополнительно предусматривается подвеска двух токоведущих несущих тросов М-95.

Параметры питающих линий участка представлены в таблице 5.1. Координаты подключения приняты в той же системе в которой выполнялись и тяговые расчёты.

Таблица 5.1 – Параметры питающих и отсасывающих линий

Секция	Пит. линия			Отс. линия		
	Длина, км	Сечение, мм ²	Коорд. подкл., км	Длина, км	Сечение, мм ²	Коорд. подкл., км
Участок Больница №9 – ул. Чкалова						
Ф1802	0,81	800	0,10	0,81	800	0,10
Ф1304	1,30	800	2,37	1,30	800	2,37
Ф1303	0,66	800	3,02	0,66	800	3,02
Ф1305	0,79	800	3,24	0,79	800	3,24
Ф1401	0,70	800	5,22	0,70	800	5,22
Ф1402	0,09	800	5,80	0,09	800	5,80
Ф1404	0,56	800	6,20	0,56	800	6,20
Ф0901	0,09	800	8,22	0,05	800	8,26
Ф0906	0,09	800	8,26	0,05	800	8,26
Ф1604	0,08	800	9,65	0,10	800	9,65
Ф1603	0,24	800	9,80	0,10	800	9,65
Ф1107	0,50	800	11,64	0,34	800	11,75
Ф1106	0,34	800	11,75	0,34	800	11,75
Ф1101	0,60	800	12,30	0,60	800	12,30
Ф0303	0,80	800	12,81	0,68	800	12,69
Ф0304	1,35	800	13,34	1,35	800	13,34

Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата
Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата
Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата

0484ГП.09-7-ТКР1

Лист

16

Участок ул. Блюхера – узел Ленинградский пр.						
Ф1407	1,27	800	1,37	0,80	800	1,84
Ф1408	0,80	800	1,84	0,80	800	1,84
Участок ул. Свердлова – узел пр. Октября-ул. Чкалова						
Ф0101	0,52	800	0,10	0,50	800	0,10
Ф0107	1,20	800	0,70	0,50	800	0,70

Ниже представлен пример расчёта среднего падения напряжения для секции Ф0304. Из кривых токов вагонов в направлении туда и обратно получено среднее значение коэффициента $\alpha = 3,44$. Среднее значение тока одного вагона – 135,97 А, среднее количество вагонов на секции при интервале движения 2,58 минуты – 3,45. Длина секции – 14,702 – 13,340 = 1,362 (км).

Среднее падение напряжения в секции:

$$\Delta U_{\text{ср601}} = \frac{135,97 \cdot 3,45 \cdot 0,1115 \cdot 1,362}{3} \cdot \left(1 + \frac{1,5 \cdot 2,63 - 1}{3,45} \right) = 44,02 \text{ (В)}.$$

В расчётах принято сечение линии 800 мм². Отсасывающая линия подключается несколько раньше, поэтому её длина уменьшена, но учтено сопротивление рельсов. Среднее падение напряжения в питающих и отсасывающих линиях:

$$\Delta U_{\text{по601}} = 135,97 \cdot [1,345 \cdot 0,0367 + 1,345 \cdot 0,0367] \cdot (3,45 - 1 + 2,63) = 68,19 \text{ (В)}.$$

Очевидно, что суммарное падение напряжения, равное 44,02+68,19 = 112,21 (В) превышает допустимое значение в 90 В. Трамвайный путь не секционируется, поэтому часть тока будет возвращаться по рельсам и по отсасывающей линии Ф0303. Совместный расчёт двух секций даёт падение напряжения 93,44 В. Но и это значение превышает 90 В. Для повышения напряжения предлагается использовать токоведущие несущие тросы М-95 по каждому пути. В этом случае падение напряжения составит 72,20 В. Полностью результаты расчёта потерь напряжения в тяговой сети представлены в таблице 4.2.

Таблица 5.2 – Результаты расчёта падений напряжения в тяговой сети после усиления

Секция	Начало, км	Конец, км	Длина, км	Сред. ток ПС, А	Сред. число ПС на секц.	α	ΔU , В	Примечание
Нормальный режим (доп. $\Delta U = 90$ В)								
Участок Больница №9 – ул. Чкалова								
Ф1802	-0,215	1,064	1,279	150,25	2,27	2,33	66,2	–
Ф1304	1,064	2,370	1,305	108,25	3,03	2,24	64,1	–
Ф1303	2,370	3,017	0,647	158,85	0,95	3,44	47,0	–
	3,017	3,237	0,219	106,48	0,63	3,48		–
Ф1305	3,237	4,300	1,063	144,90	1,89	3,02	62,9	–
Ф1401	4,300	5,220	0,920	134,66	1,51	2,25	30,6	–
Ф1402	5,220	5,800	0,580	104,81	1,08	2,51	14,2	–
	5,800	6,200	0,399	155,63	0,80	3,02		–
Ф1404	6,200	7,038	0,837	152,51	0,88	2,60	52,7	–

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																17

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1										Лист
																1

	7,038	7,158	0,120	87,77	0,58	3,91		–
Ф0901	7,158	8,260	1,101	133,68	1,59	2,99	30,0	–
Ф0906	8,260	8,994	0,734	154,82	1,15	3,11	22,1	–
Ф1604	8,994	9,800	0,806	143,09	1,39	3,62	28,0	–
Ф1603	9,800	10,662	0,862	135,49	1,42	2,77	24,8	–
Ф1107	10,662	11,643	0,980	149,86	1,66	3,14	47,0	–
Ф1106	11,644	11,749	0,105	210,40	0,16	1,57	25,2	–
	11,749	12,300	0,551	123,94	0,97	3,49		–
Ф1101	12,300	12,804	0,504	130,70	0,81	4,14	35,2	–
Ф0303	12,804	13,340	0,536	133,93	1,06	3,89	47,9	–
Ф0304	13,340	14,702	1,362	135,97	3,45	2,63	72,2	Усил. 2М-95
Участок ул. Блюхера – узел Ленинградский пр.								
Ф1407	-0,06	1,373	1,433	126,27	0,28	2,74	50,7	
Ф1408	1,373	1,837	0,464	126,71	0,09	3,01	38,1	
	1,837	2,833	0,996	122,52	0,17	3,18		
Участок ул. Свердлова – узел пр. Октября-ул. Чкалова								
Ф0101	-0,200	0,700	0,900	142,64	1,67	1,76	35,4	
Ф0107	0,700	1,350	0,649	127,12	1,88	2,82	52,1	
Вынужденный режим (доп. $\Delta U = 170$ В)								
Участок Больница №9 – ул. Чкалова								
Ф1802	-0,215	1,064	1,279	150,25	2,27	2,33	174,5	Пит. от Ф1304
Ф1304	1,064	2,370	1,305	108,25	3,03	2,24	119,3	Пит. от Ф1303
Ф1303	2,370	3,017	0,647	158,85	0,95	3,44	105,1	Пит. от Ф1305
	3,017	3,237	0,219	106,48	0,63	3,48		
Ф1305	3,237	4,300	1,063	144,90	1,89	3,02	109,6	Пит. от Ф1303
Ф1401	4,300	5,220	0,920	134,66	1,51	2,25	65,6	Пит. от Ф1401
Ф1402	5,220	5,800	0,580	104,81	1,08	2,51	89,1	Пит. от Ф1401
	5,800	6,200	0,399	155,63	0,80	3,02		
Ф1404	6,200	7,038	0,837	152,51	0,88	2,60	67,6	Пит. от Ф1402
	7,038	7,158	0,120	87,77	0,58	3,91		
Ф0901	7,158	8,260	1,101	133,68	1,59	2,99	58,1	Пит. от Ф0906
Ф0906	8,260	8,994	0,734	154,82	1,15	3,11	44,8	Пит. от Ф0901
Ф1604	8,994	9,800	0,806	143,09	1,39	3,62	58,6	Пит. от Ф1603
Ф1603	9,800	10,662	0,862	135,49	1,42	2,77	46,7	Пит. от Ф1604
Ф1107	10,662	11,643	0,980	149,86	1,66	3,14	79,6	Пит. от Ф1106
Ф1106	11,644	11,749	0,105	210,40	0,16	1,57	51,5	Пит. от Ф1107
	11,749	12,300	0,551	123,94	0,97	3,49		
Ф1101	12,300	12,804	0,504	130,70	0,81	4,14	83,1	Пит. от Ф1106
Ф0303	12,804	13,340	0,536	133,93	1,06	3,89	130,0	Пит. от Ф0304
Ф0304	13,340	14,702	1,362	135,97	3,45	2,63	132,8	Пит. от Ф0303
Участок ул. Блюхера – узел Ленинградский пр.								
Ф1407	-0,06	1,373	1,433	126,27	0,28	2,74	91,1	Пит. от Ф1407
Ф1408	1,373	1,837	0,464	126,71	0,09	3,01	90,5	Пит. от Ф1408
	1,837	2,833	0,996	122,52	0,17	3,18		
Участок ул. Свердлова – узел пр. Октября-ул. Чкалова								
Ф0101	-0,200	0,700	0,900	142,64	1,67	1,76	40,6	Пит. от Ф0107
Ф0107	0,700	1,350	0,649	127,12	1,88	2,82	127,7	Пит. от Ф0101

Схема расположения устройств электроснабжения представлена на рисунке 5.1.

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата
------	-------	------	-------	-------	------

0484ГП.09-7-ТКР1

Лист

18

Оборудование тяговых подстанций в этом варианте рассматривается существующее. Питание тяговых подстанций осуществляется по кабельной сети напряжением 6 – 10 кВ от городских трансформаторных подстанций с первичным напряжением 110 кВ, а также от ТЭЦ-2. Так как в полном сопротивлении кабельной сети 6 – 10 кВ значительна доля активного сопротивления, расчёт внутреннего эквивалентного сопротивления тяговых подстанций (ρ) выполнен с его учётом. Для расчёта были использованы следующие соотношения:

где X_a - приведенное к вторичной обмотке индуктивное сопротивление питающей энергосистемы и преобразовательного трансформатора, Ом;

R_a - приведенное к вторичной обмотке активное сопротивление питающей энергосистемы, и преобразовательного трансформатора, Ом;

γ_n - угол коммутации выпрямителя при номинальном токе, рад;

где U_c - среднее значение первичного напряжения, кВ;

X_c - эквивалентное реактивное сопротивление питающей энергосистемы, Ом;

U_2 - линейное напряжение вентильных обмоток, $U_2 = 0,475$ кВ;

$u_{кпр}$ - напряжение короткого замыкания преобразовательного трансформатора, %;

$n_{пр}$ - число параллельно работающих преобразовательных трансформаторов;

$S_{пр}$ - номинальная мощность первичной обмотки преобразовательного

где R_c - эквивалентное активное сопротивление питающей энергосистемы, Ом;

P_κ - мощность потерь короткого замыкания преобразовательного трансформатора, кВт.

$$\gamma_{\text{H}} = \arccos \left(1 - \frac{2 \cdot I_{d\text{HOM}} \cdot X_a}{\sqrt{2} \cdot U_{\gamma}} \right).$$

Результаты расчёта внутреннего сопротивления тяговых подстанций представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Эквивалентные параметры тяговых подстанций

Подстанция	Полное сопр. пит. сети, Ом	U_c , В	Количество в работе	Мощность преобр. тр-ра, кВА	Экв. сопр. ТПС ρ , Ом
ТП 18	0,587+j0,507	6,3	1	685	0,0346
ТП 13	0,307+j0,846	10,5	2	1385	0,0090
ТП 14	0,496+j0,511	6,3	2	1385	0,0140
ТП 9	0,162+j0,474	6,3	2	1385	0,0103
ТП 16	0,150+j0,416	6,3	2	692	0,0166
ТП 11	0,219+j0,571	6,3	1	1385	0,0175
ТП 3	0,261+j0,590	6,3	2	692	0,0186
КТП	0,353+j0,481	6,3	1	1385	0,0184

Расчёт загрузки проводов контактной подвески и питающих кабелей

Для расчёта загрузки проводов и кабелей необходимы значения токов контактной подвески и питающих линий. В свою очередь, эти токи рассчитаны методом равномерного сечения графика движения вагонов через малые интервалы времени (3 с.). В этих расчётах учитывается ток рекуперации, ибо он, протекая в обратном направлении, тоже производит тепловое действие. Параметры расчётных графиков движения представлены в разделе 3. Расчёты были выполнены для двух режимов: нормального и вынужденного. В вынужденном режиме рассматривается отключение одной из питающих линий и перенос нагрузки секции на смежную линию. Расчёт загрузки проводов и кабелей участков также выполнен для нормального и вынужденного режимов. Необходимость расчёта температур контактных проводов продиктовано тем, что максимальная плотность тока в 6,8 А/мм² в СП 98.13330.2018 принята исходя из установившейся температуры нагрева провода 95 °С, а в ГОСТ Р 55674-2018 эта температура снижена до 80 °С. Расчёты температур проводов контактной подвески были выполнены исходя из температуры окружающей среды, равной 35 °С, скорости ветра 1 м/с и интенсивности солнечного излучения 900 Вт/м². Так как питающие и отсасывающие кабели укрыты от воздействия прямых солнечных лучей, для них температура окружающей среды принята равной 30 °С. В расчётах также был учтён 20 % износ контактных проводов. Как уже было сказано выше, ГОСТ Р 55674-2018 установившаяся (усреднённая за 20 минут) температура медного контактного провода не должна превышать 80 °С. Длительно допустимая температура провода М-95 согласно ГОСТ 839-2019 – 80 °С. Для кабеля АСБ2л 1х800 (или иного кабеля с бумажной изоляцией) длительно допустимая температура жилы составляет 80 °С кВ, при перегрузке допускается до 105 °С.

В случае если и несущий трос (усиливающий провод), и контактный провод являются медными, расчёт температур контактной подвески можно вести по суммарному току. Перегрев провода (кабеля) относительно температуры окружающей среды за промежутки времени, °С.:

Инв. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №							Лист
			0484ГП.09-7-ТКР1						
			Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

$$\tau = \tau_{\infty} \cdot \frac{I^2}{I_{\infty}^2} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{T}} \right) + \tau_o \cdot e^{-\frac{\Delta t}{T}}, \tag{5.7}$$

где τ_{∞} - перегрев провода относительно температуры окружающей среды, возникающий при протекании по нему длительного допустимого тока I_{∞} , °С;

I - ток, протекающий по проводу в промежуток времени Δt , А;

T - постоянная времени нагрева провода, с;

τ_o - начальный перегрев провода, °С.

Для одиночного провода 2МФ-100 с учётом 20 % износа и указанных выше параметрах окружающей среды длительно допустимый ток составляет 901 А, постоянная времени нагрева – 236 с. Для подвески 2(МФ-100+М-95) – 1860 А, постоянная времени нагрева 210 с. Доля тока в одиночном контактном проводе для подвески 2МФ-100 составляет 0,5; в подвеске 2(МФ-100+М-95) доля тока в контактном проводе составляет 0,234. Для кабеля АСБ2л 1х800 длительно допустимый ток равен 1080 А, постоянная времени нагрева не менее 1200 с. Так как нагрев проводов пропорционален квадрату тока, в таблицах приведены среднеквадратичные (эффективные) токи. Эффективные токи за 80 минут (4 постоянных времени нагрева кабеля) в таблицах не приводится, так как они лишь незначительно меньше токов, усреднённых за 20 минут. На рисунке 5.2 в качестве примера представлены токи питающих линий Ф0303 и Ф0303 тяговой подстанции ТПЗ для нормального режима.

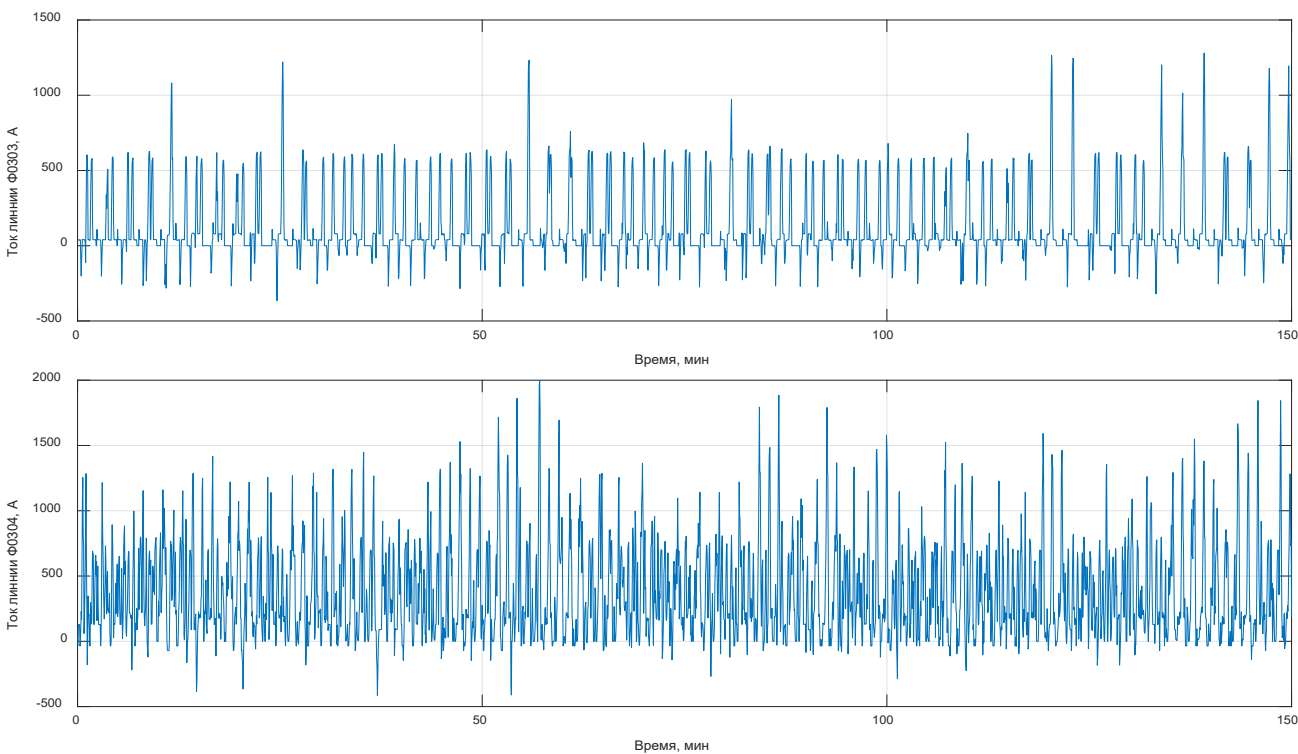


Рисунок 5.2 – Пример кривых токов питающих линий тяговой подстанции ТПЗ в нормальном режиме

Инв. № подл.	Подп. и дата.		Взам. инв. №

						0484ГП.09-7-ТКР1	Лист
							22
Изм.	Колуч	Лист	№дож	Подп.	Дата		

Появление отдельных выбросов тока на графиках обусловлено случайным совпадением пусков нескольких вагонов на секции. Для приведенных токов были рассчитаны их эффективные (среднеквадратичные) значения за период 1 и 20 минут. Результаты расчёта эффективных токов питающих линий и плотности тока в контактном проводе для нормального режима приведены в таблице 5.4. Как уже сказано выше, плотность тока рассчитывается по эффективному току, усреднённому за 20 минут. Очевидно, что в нормальном режиме плотность тока во всех секциях не превышает 5 А/мм². Результаты расчёта для вынужденных режимов приведены в таблице 5.5. При этом приводятся данные для наиболее неблагоприятного вынужденного режима. Результаты расчёта максимальных температур проводов и кабелей приведены в таблице 5.6. Данные расчёты выполнены только для наиболее тяжелого – вынужденного режима. В вынужденных режимах плотность тока в контактном проводе также не превышает допустимые 6,8 мм².

Таблица 5.4 – Результаты расчёта эффективных токов и плотности длительного тока в контактном проводе для нормального режима

Секция	Тип конт. подвески	Эфф. ток, А, усредненный за период		Плотность тока в КП, А/мм ²
		1 минута	20 минут	
Ф1802	2(М-95+МФ-100)	852	548	1,57
Ф1304	2(М-95+МФ-100)	754	461	1,33
Ф1303	2МФ-100	540	366	2,29
Ф1305	2МФ-100	676	422	2,64
Ф1401	2МФ-100	554	324	2,03
Ф1402	2МФ-100	498	353	2,21
Ф1404	2МФ-100	570	313	1,96
Ф0901	2МФ-100	500	302	1,89
Ф0906	2МФ-100	587	310	1,94
Ф1604	2МФ-100	573	322	2,01
Ф1603	2МФ-100	624	332	2,07
Ф1107	2МФ-100	619	386	2,41
Ф1106	2МФ-100	642	333	2,08
Ф1101	2МФ-100	411	222	1,39
Ф0303	2МФ-100	544	295	1,84
Ф0304	2(М-95+МФ-100)	958	597	1,71
Ф1407	2МФ-100	555	173	1,08
Ф1408	2МФ-100	281	134	0,84
Ф0101	2МФ-100	642	360	2,25
Ф0107	2МФ-100	573	351	2,20

Инв. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №							
			Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

0484ГП.09-7-ТКР1

Лист

23

Таблица 5.5 – Результаты расчёта эффективных токов и плотности длительного тока в контактном проводе для вынужденного режима

Секция	Тип конт. подвески	Режим	Эфф. ток, А, усредн. за период		Плотность тока в КП, А/мм ²
			1 минута	20 минут	
Ф1802	2(М-95+МФ-100)	Норм.реж	852	548	1,57
Ф1304	2(М-95+МФ-100)	Пит. Ф1802 от Ф1304	1316	912	2,62
Ф1303	2МФ-100	Пит. Ф1305 от Ф1303	1050	636	3,97
Ф1305	2МФ-100	Пит. Ф1303 от Ф1305	1047	637	3,98
Ф1401	2МФ-100	Пит. Ф1402 от Ф1401	1027	599	3,74
Ф1402	2МФ-100	Пит. Ф1401 от Ф1402	934	578	3,61
Ф1404	2МФ-100	Пит. Ф1402 от Ф1404	861	560	3,50
Ф0901	2МФ-100	Пит. Ф0906 от Ф0901	815	510	3,19
Ф0906	2МФ-100	Пит. Ф0901 от Ф0906	813	509	3,18
Ф1604	2МФ-100	Пит. Ф1603 от Ф1604	889	497	3,11
Ф1603	2МФ-100	Пит. Ф1604 от Ф1603	897	501	3,13
Ф1107	2МФ-100	Пит. Ф1106 от Ф1107	917	567	3,54
Ф1106	2МФ-100	Пит. Ф1107 от Ф1106	907	563	3,52
Ф1101	2МФ-100	Пит. Ф1106 от Ф1101	715	433	2,71
Ф0303	2МФ-100	Пит. Ф0304 от Ф0303	1213	815	5,09
Ф0304	2(М-95+МФ-100)	Пит. Ф0303 от Ф0304	1162	755	2,17
Ф1407	2МФ-100	Пит. Ф1408 от Ф1407	564	230	1,44
Ф1408	2МФ-100	Пит. Ф1407 от Ф1408	592	237	1,48
Ф0101	2МФ-100	Пит. Ф0107 от Ф0101	986	644	4,02
Ф0107	2МФ-100	Пит. Ф0101 от Ф0107	952	612	3,83

Таблица 5.6 – Результаты расчёта максимальных установившихся температур проводов и кабелей

Секция	20-мин. эфф. ток, А	Тип конт. подвески	$t_{уст}$ конт. провода, °С	Сечение кабеля, мм ²	$t_{уст}$ кабеля, °С
Ф1802	548	2(М-95+МФ-100)	48,2	800	39,1
Ф1304	912	2(М-95+МФ-100)	57,1	800	64,3
Ф1303	636	2МФ-100	66,7	800	44,1
Ф1305	637	2МФ-100	66,8	800	44,1
Ф1401	599	2МФ-100	64,9	800	41,9
Ф1402	578	2МФ-100	63,9	800	40,8
Ф1404	560	2МФ-100	63,0	800	39,8
Ф0901	510	2МФ-100	60,5	800	37,3
Ф0906	509	2МФ-100	60,4	800	37,2
Ф1604	497	2МФ-100	59,8	800	36,7
Ф1603	501	2МФ-100	60,0	800	36,8
Ф1107	567	2МФ-100	63,3	800	40,2
Ф1106	563	2МФ-100	63,1	800	40,0
Ф1101	433	2МФ-100	56,6	800	33,8
Ф0303	815	2МФ-100	75,7	800	56,3
Ф0304	755	2(М-95+МФ-100)	53,3	800	51,9
Ф1407	230	2МФ-100	46,5	800	27,5
Ф1408	237	2МФ-100	46,8	800	27,6
Ф0101	644	2МФ-100	67,2	800	44,5
Ф0107	612	2МФ-100	65,6	800	42,7

Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата
Ив. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №			

0484ГП.09-7-ТКР1

Лист

24

Таблица 5.7 – Результаты расчёта загрузки преобразовательных агрегатов в нормальном режиме

Тяговая подстанция	I _{d ном} , А	Макс. эфф. ток, А, усредненный за время				Коэффициенты загрузки, усреднённые за время		
		мгнов.	1 мин.	5 мин.	30 мин.	1 мин. (≤2,0)	5 мин. (≤1,5)	30 мин. (≤1,0)
ТП 18	1000	1818	910	727	575	0,91	0,73	0,57
ТП 13	4000	3924	2147	1669	1489	0,54	0,42	0,37
ТП 14	4000	2715	1235	1022	895	0,31	0,26	0,22
ТП 9	4000	2001	1047	778	698	0,26	0,19	0,17
ТП 16	2000	2021	1023	762	602	0,51	0,38	0,30
ТП 11	2000	2611	1173	858	727	0,59	0,43	0,36
ТП 3	2000	2739	1162	849	733	0,58	0,42	0,37
КТП	2000	2440	1282	990	906	0,64	0,49	0,45

Уставка быстродействующей токовой защиты тяговой сети трамвайной линии, А, должна согласно п. 8.3 СП 98.13330.2018 должна удовлетворять условию (при обращении одиночных вагонов):

где $I_{\text{ср}}$ - средний расчётный ток участка контактной сети, А;

Для токовременных защит ток срабатывания определяется выражением:

Так как по результатам электрического расчёта доступны значения максимальных токов питающих линий, то принято решение использовать для расчётов эти значения. В результате, формула (5.8) для выбора уставки приобретает следующий вид:

где $I_{p.\max}$ - максимальный рабочий ток фидера, А;

Так как максимальные рабочие токи всех фидеров обычно больше, чем их удвоенный средний ток плюс 1000 А, то требования п. 8.3 СП 98.13330.2018 при этом выполняются.

Взам.инв.№

Подп. и дата.

Ив. № подл.

В случае, когда максимальный рабочий ток превышает минимальный ток короткого замыкания в дополнение к максимальной токовой вводятся токовременная защита – токовая защита с выдержкой времени.

Минимальный ток короткого замыкания, А:

$$I_{\text{к. min}} = \frac{U_{\text{хх.пс}} \cdot (1 - 0,05) - U_{\text{д}}}{\rho + R_{\text{п}} + R_{\text{о}} + (r_{\text{кк}} + r_{\text{п}}) \cdot l_{\text{к}}}, \quad (5.11)$$

где $U_{\text{хх.пс}}$ - напряжение холостого хода на шинах подстанции, $U_{\text{хх.пс}} = 650$ В;

0,05 - коэффициент, учитывающий возможное снижение питающего напряжения;

$U_{\text{д}}$ - падение напряжения на дуге в месте КЗ, принято равным 60 В;

ρ - эквивалентное внутреннее сопротивление тяговой подстанции, Ом;

$R_{\text{п}}, R_{\text{о}}$ - сопротивление питающей и отсасывающей линии, Ом;

$r_{\text{кк}}, r_{\text{п}}$ - удельное сопротивление тяговой сети и рельсового пути, Ом/км;

$l_{\text{к}}$ - расстояние до точки короткого замыкания, км.

Эквивалентное сопротивление тяговых подстанций представлено в таблице 5.3. Сопротивление питающих и отсасывающих линий определено с учётом удельного сопротивления питающих кабелей. Для кабеля сечением 800 мм² это сопротивление равно 0,0367 Ом/км. Удельное сопротивление тяговой сети 2МФ-100 с рельсами Р-65 (Т-62) – 0,1115 Ом/км (с учётом 15 % износа провода), тяговой сети 2(МФ-100+М-95) – 0,0578 Ом/км. Длины питающих и отсасывающих линий, а также длины секций приняты в соответствии с данными таблицы 5.1. Результаты расчёта максимальных рабочих токов для нормального и вынужденных режимов работы системы тягового электроснабжения приведены в таблице 5.8. Результаты расчёта минимальных токов коротких замыканий приведены в таблице 5.9.

Ниже приведен пример расчёта минимального тока короткого замыкания в нормальном режиме на секции Ф1802 вблизи секционного изолятора (СИ) на 1,064 км с использованием соотношения (5.10). Секция получает питание по питающей и отсасывающей линии длиной 0,8 км.

$$I_{\text{к. min}} = \frac{650 \cdot (1 - 0,05) - 60}{0,0346 + 0,0294 + 0,0294 + 0,0578 \cdot (1,064 - 0,215)} = 3328 \text{ (А)}.$$

Результаты выбора уставок токовых защиты фидерных выключателей приведены в таблице 5.10.

Инв. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №							Лист	
Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1				27

Таблица 5.8 – Максимальные рабочие токи питающих линий

Питающая линия	Макс. рабочий ток в норм. режиме, А	Макс. рабочий ток в вын. режиме, А	$I_{\text{раб. max}} + 300, \text{ А}$
Ф1802	1577	1577	1877
Ф1304	1527	1999	2299
Ф1303	1235	1910	2210
Ф1305	1280	1280	1580
Ф1401	1224	1236	1536
Ф1402	1181	1897	2197
Ф1404	1247	1251	1551
Ф0901	1140	1630	1930
Ф0906	1141	1623	1923
Ф1604	1198	1557	1857
Ф1603	1290	1583	1883
Ф1107	1236	1251	1551
Ф1106	1263	1858	2158
Ф1101	1072	1074	1374
Ф0303	1224	2132	2432
Ф0304	1843	2158	2458
Ф1407	765	1131	1431
Ф1408	640	1049	1349
Ф0101	1292	1759	2059
Ф0107	1280	1927	2227

Таблица 5.9 – Минимальные токи короткого замыкания по питающим линиям

Питающая линия	$I_{\text{кз. min}}, \text{ А}$	Место КЗ	$I_{\text{кз. min}}, \text{ А}$	Место КЗ
Ф1802	—	—	3328	Секц. Ф1802, СИ 2,37 км
Ф1304	2361	Секц. Ф1802, КСт -0,22 км	3121	Секц. Ф1303, СИ 3,24 км
Ф1303	2705	Секц. Ф1304, СИ 1,06 км	2767	Секц. Ф1305, СИ 4,30 км
Ф1305	3386	Секц. Ф1303, СИ 3,37 км	2989	Секц. Ф1305, СИ 4,30 км
Ф1401	3720	Секц. Ф1401, СИ 4,30 км	3561	Секц. Ф1402, СИ 6,20 км
Ф1402	2968	Секц. Ф1401, СИ 4,30 км	3241	Секц. Ф1404, СИ 7,16 км
Ф1404	3392	Секц. Ф1402, СИ 5,22 км	3443	Секц. Ф1404, СИ 7,16 км
Ф0901	4002	Секц. Ф0901, СИ 7,16 км	5673	Секц. Ф0906, СИ 8,99 км
Ф0906	4003	Секц. Ф0901, СИ 7,16 км	5711	Секц. Ф0906, СИ 8,99 км
Ф1604	5762	Секц. Ф1604, СИ 8,99 км	4086	Секц. Ф1603, СИ 10,66 км
Ф1603	4671	Секц. Ф1604, СИ 8,99 км	4400	Секц. Ф1603, СИ 10,66 км
Ф1107	3517	Секц. Ф1107, СИ 10,66 км	4585	Секц. Ф1106, СИ 12,30 км
Ф1106	3407	Секц. Ф1107, СИ 10,66 км	3482	Секц. Ф1101, СИ 12,80 км
Ф1101	4311	Секц. Ф1106, СИ 12,30 км	4966	Секц. Ф1101, СИ 12,80 км
Ф0303	—	—	2579	Секц. Ф0304, КСт 14,70 км
Ф0304	3135	Секц. Ф0303, КСт 12,80 км	2833	Секц. Ф0304, КСт 14,70 км
Ф1407	2202	Секц. Ф1407, КСт -0,06 км	2206	Секц. Ф1408, узел 1,84 км
Ф1408	1961	Секц. Ф1407, КСт -0,06 км	3034	Секц. Ф1408, узел 1,84 км
Ф0101	—	—	2837	Секц. Ф0107, узел 1,35 км
Ф0107	2994	Секц. Ф0101, КСт -0,20 км	3522	Секц. Ф0107, узел 1,35 км

Ив. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №	

						0484ГП.09-7-ТКР1	Лист
							28
Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата		

Таблица 5.10 – Результаты выбора уставок токовых защит выключателей питающих линий

Питающая линия	$I_{\text{раб. max}} + 300, \text{ А}$	$0,9 I_{\text{кз. min}}, \text{ А}$	$I_{\text{кз. min}} / 1,3, \text{ А}$	$I_{\text{уст}}, \text{ А}$
Ф1802	1877	2995	2560	2000
Ф1304	2299	2125	1816	2300 / 1800 – 15 с
Ф1303	2210	2435	2081	2300
Ф1305	1580	2690	2299	2300
Ф1401	1536	3205	2739	2300
Ф1402	2197	2671	2283	2300
Ф1404	1551	3053	2609	2300
Ф0901	1930	3602	3078	2300
Ф0906	1923	3603	3079	2300
Ф1604	1857	3677	3143	2300
Ф1603	1883	3960	3385	2300
Ф1107	1551	3165	2705	2300
Ф1106	2158	3066	2621	2300
Ф1101	1374	3880	3316	2300
Ф0303	2432	2321	1984	2500 / 1900 – 15 с
Ф0304	2451	2550	2179	2500 / 2100 – 10 с
Ф1407	1431	1982	1694	1900
Ф1408	1349	1765	1508	1700
Ф0101	2059	2553	2182	2300
Ф0107	2227	2695	2303	2300

Для питающих линий Ф1304, Ф0303 и Ф0304 помимо максимальной токовой защиты без выдержки времени необходимо предусмотреть токовременную защиту.

6 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ДЛЯ НОВОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Выбор основных параметров системы тягового электроснабжения

Все выражения для расчёта представлены в разделе 5 и далее повторно не приводятся. В необходимых случаях даётся ссылка на таблицу или формулу из раздела 5. Новые тяговые подстанции трамвая размещаются на разворотных кольцах ТРК Альтаир, ул. Елены Колесовой, Завод «Автодизель», Республиканский проезд, а также на территории трамвайного депо и в районе пересечения ул. Блюхера и ул. Е. Колесовой (ТПм4). Сечение контактной подвески принято на всех участках кроме участка по ул. Чкалова от ул. Чехова до кольца на ул. Чкалова. На упомянутом участке от ТПм-6 до конечной станции на ул. Чкалова и конечной станции сл. Свердлова дополнительно предусматривается подвеска двух токоведущих несущих тросов М-95. Для обеспечения требуемого уровня напряжения на токоприёмнике на участке по ул. Чкалова требуется использование кабельных линий увеличенного сечения (1200 мм^2 алюминиевая жила или 800 мм^2 медная жила). Удельное сопротивление алюминиевого кабеля сечением 1200 мм^2 принято равным $0,0247 \text{ Ом/км}$. Параметры питающих линий участка

Взам. инв. №		Подп. и дата.		Инв. № подл.							0484ГП.09-7-ТКР1					Лист
																29
						Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата					

представлены в таблице 6.1. Координаты подключения питающих линий здесь приняты в той же системе, в которой выполнялись и тяговые расчёты.

Таблица 6.1 – Параметры питающих и отсасывающих линий

Секция	Пит. линия			Отс. линия		
	Длина, км	Сечение, мм ²	Коорд. подкл., км	Длина, км	Сечение, мм ²	Коорд. подкл., км
Участок Больница №9 – ул. Чкалова						
Фм0101	0,60	800	0,85	0,60	800	0,85
Фм0102	0,10	800	1,35	0,10	800	1,35
Фм0103	0,75	800	2,00	0,75	800	2,00
Фм0201	0,90	800	3,90	0,90	800	3,90
Фм0202	0,10	800	4,74	0,10	800	4,74
Фм0203	0,10	800	4,74	0,10	800	4,74
Фм0301	0,15	800	6,20	0,15	800	6,20
Фм0302	0,40	800	6,45	0,15	800	6,20
Фм0303	1,25	800	7,25	1,25	800	7,25
Фм0501	1,18	800	9,30	1,18	800	9,30
Фм0502	0,40	800	10,10	0,10	800	10,40
Фм0503	0,10	800	10,41	0,10	800	10,41
Фм0601	0,10	800	11,19	0,10	800	11,19
Фм0602	0,31	800	11,40	0,10	800	11,19
Фм0603	1,23	1200	12,30	1,23	1200	12,30
Фм0604	1,80	1200	13,34	1,80	1200	13,34
Участок ул. Блюхера – узел Ленинградский пр.						
Фм0401	0,50	800	1,37	0,10	800	1,84
Фм0402	0,10	800	1,84	0,10	800	1,84
Участок ул. Свердлова – узел пр. Октября – ул. Чкалова						
Фм0606	0,75	800	1,30	0,75	800	1,30
Фм0605	1,35	800	0,70	1,35	800	0,70

Результаты расчёта падений напряжения выполнены по выражениям (5.1) – (5.3) и представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Результаты расчёта падений напряжения в тяговой сети после усиления

Секция	Начало, км	Конец, км	Длина, км	Сред. ток ПС, А	Сред. число ПС на секц.	α	ΔU , В	Примечание
Нормальный режим (доп. $\Delta U = 90$ В)								
Участок Больница №9 – ул. Чкалова								
Фм0101	-0,215	0,850	1,065	152,32	1,70	2,11	36,7	–
Фм0102	0,850	1,350	0,499	107,49	1,53	2,16	15,7	–
	1,350	2,000	0,650	118,48	1,25	2,43		
Фм0103	2,000	3,000	1,000	137,73	1,75	3,21	48,5	–
Фм0201	3,000	3,900	0,900	138,50	1,98	3,44	60,1	–
Фм0202	3,900	4,740	0,839	117,88	1,57	2,20	17,3	–
Фм0203	4,740	5,390	0,650	122,61	1,14	2,53	14,2	–
Фм0301	5,390	6,200	0,810	153,23	1,24	2,86	26,7	–
Фм0302	6,200	7,038	0,837	152,51	0,88	2,60	58,0	–
	7,038	7,250	0,211	120,66	0,68	3,60		

Инв. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №							Лист
									30
			Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1

Фм0303	7,250	8,450	1,200	120,76	1,94	3,09	57,6	—
Фм0501	8,450	9,300	0,850	154,28	1,61	3,27	59,0	—
Фм0502	9,300	10,100	0,800	143,11	1,20	2,79	28,1	—
Фм0503	10,100	10,800	0,700	148,22	1,27	3,16	12,8	—
Фм0601	10,800	11,400	0,600	158,52	0,75	3,09	13,2	—
Фм0602	11,400	11,749	0,349	139,97	0,93	2,77	45,3	—
	11,749	12,300	0,551	123,94	0,97	3,49		
Фм0603	12,300	13,340	1,040	132,48	1,87	3,99	57,7	Усил. 2М-95
Фм0604	13,340	14,702	1,362	135,97	3,45	2,63	81,3	Усил. 2М-95
Участок ул. Блюхера – узел Ленинградский пр.								
Фм0401	-0,06	1,373	1,433	126,27	0,28	2,74	36,6	—
Фм0402	1,373	1,837	0,464	126,71	0,09	3,01	24,7	—
	1,837	2,833	0,996	122,52	0,17	3,18		—
Участок ул. Свердлова – узел пр. Октября-ул. Чкалова								
Фм0605	-0,200	0,700	0,900	142,64	1,67	1,76	41,0	—
Фм0606	0,700	1,350	0,649	127,12	1,88	2,82	35,8	—
Вынужденный режим (доп. $\Delta U = 170$ В)								
Участок Больница №9 – ул. Чкалова								
Фм0101	-0,215	0,850	1,065	152,32	1,70	2,11	79,2	Пит. от Фн0102
Фм0102	0,850	1,350	0,499	107,49	1,53	2,16	70,3	Пит. от Фн0101
	1,350	2,000	0,650	118,48	1,25	2,43		
Фм0103	2,000	3,000	1,000	137,73	1,75	3,21	106,5	Пит. от Фн0102
Фм0201	3,000	3,900	0,900	138,50	1,98	3,44	125,3	Пит. от Фн0202
Фм0202	3,900	4,740	0,839	117,88	1,57	2,20	32,4	Пит. от Фн0201
Фм0203	4,740	5,390	0,650	122,61	1,14	2,53	27,5	Пит. от Фн0202
Фм0301	5,390	6,200	0,810	153,23	1,24	2,86	53,1	Пит. от Фн0302
Фм0302	6,200	7,038	0,837	152,51	0,88	2,60	65,7	Пит. от Фн0301
	7,038	7,250	0,211	120,66	0,68	3,60		
Фм0303	7,250	8,450	1,200	120,76	1,94	3,09	134,5	Пит. от Фн0302
Фм0501	8,500	9,300	0,850	154,28	1,61	3,27	128,2	Пит. от Фн0501
Фм0502	9,300	10,100	0,800	143,11	1,20	2,79	57,0	Пит. от Фн0503
Фм0503	10,100	10,800	0,700	148,22	1,27	3,16	46,1	Пит. от Фн0502
Фм0601	10,800	11,400	0,600	158,52	0,75	3,09	41,2	Пит. от Фн0602
Фм0602	11,400	11,749	0,349	139,97	0,93	2,77	86,7	Пит. Фн0603 от Фн0602
	11,749	12,300	0,551	123,94	0,97	3,49		
Фм0603	12,300	13,340	1,040	132,48	1,87	3,99	128,9	Пит. от Фн0602
Фм0604	13,340	14,702	1,362	135,97	3,45	2,63	143,0	Пит. от Фн0603
Участок ул. Блюхера – узел Ленинградский пр.								
Фм0401	-0,06	1,373	1,433	126,27	0,28	2,74	77,5	Пит. от Фн0402
Фм0402	1,373	1,837	0,464	126,71	0,09	3,01	71,8	Пит. от Фн0401
	1,837	2,833	0,996	122,52	0,17	3,18		
Участок ул. Свердлова – узел пр. Октября-ул. Чкалова								
Фм0606	-0,200	0,700	0,900	142,64	1,67	1,76	85,9	Пит. от Фн0605
Фм0605	0,700	1,350	0,649	127,12	1,88	2,82	110,1	Пит. от Фн0602

Схема расположения устройств электроснабжения представлена на рисунке 6.1. Принятые в расчётах внутренние сопротивления тяговых подстанций представлены в таблице 6.3.

Ив. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №							Лист
									31
			Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	

0484ГП.09-7-ТКР1

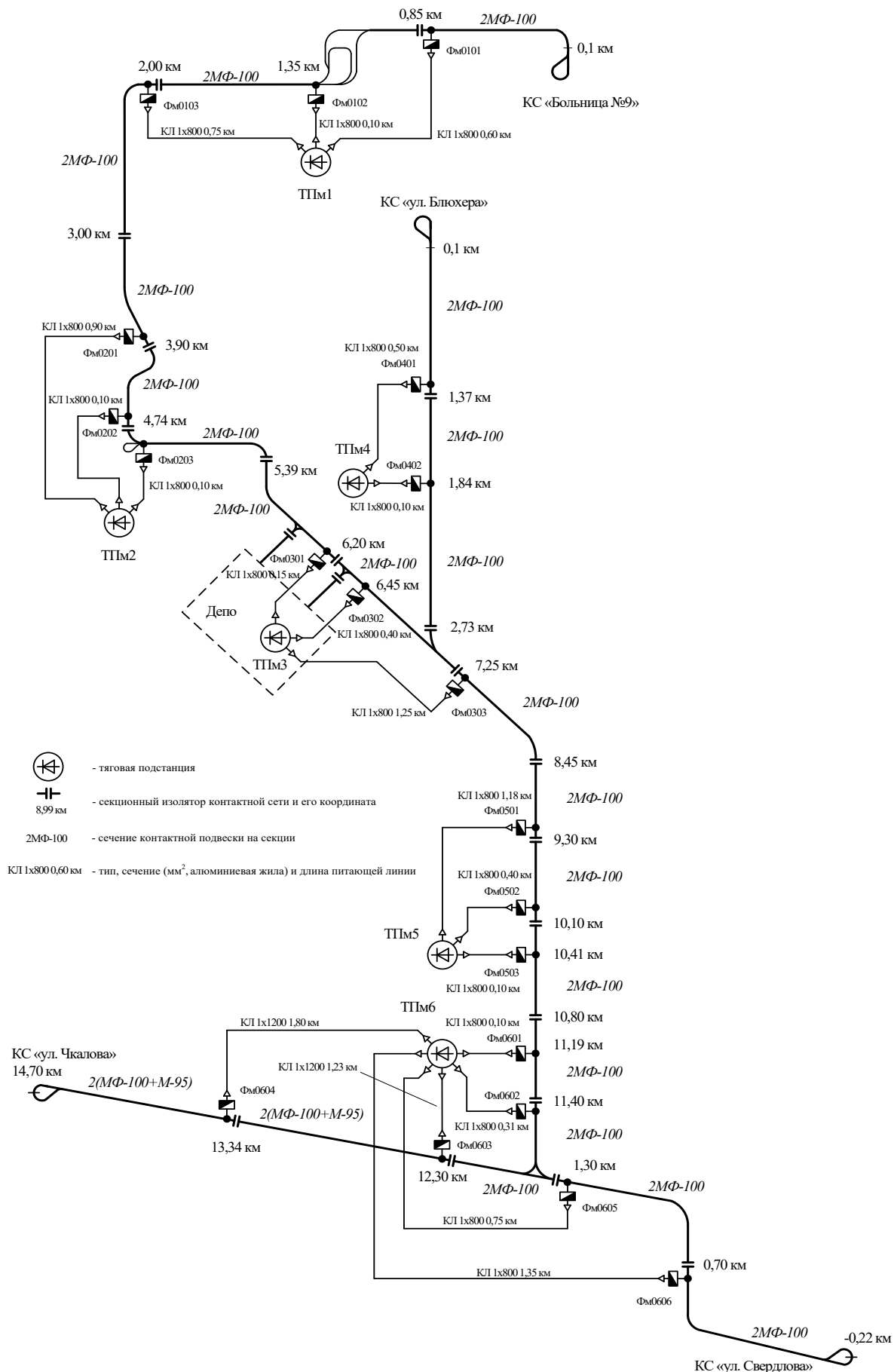


Рисунок 6.1 – Схема расположения устройств электроснабжения при новых подстанциях

Взам. инв. №		Подп. и дата.		Инв. № подл.		0484ГП.09-7-ТКР1						Лист	
												32	
Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата								

Рисунок 6.1 – Схема расположения устройств электроснабжения при новых подстанциях

Таблица 6.3 – Эквивалентные параметры тяговых подстанций

Расчёт загрузки проводов контактной подвески и питающих кабелей

Инв. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №

						0484ГП.09-7-ТКР1	Лист
							33
Изм.	Колуч	Лист	№док	Подп.	Дата		

Таблица 6.4 – Результаты расчёта эффективных токов и плотности длительного тока в контактном проводе для нормального режима

Секция	Тип конт. подвески	Эфф. ток, А, усредненный за период		Плотность тока в КП, А/мм ²
		1 минута	20 минут	
Фм0101	2МФ-100	627	393	2,46
Фм0102	2МФ-100	980	440	2,75
Фм0103	2МФ-100	590	387	2,42
Фм0201	2МФ-100	611	413	2,58
Фм0202	2МФ-100	425	258	1,61
Фм0203	2МФ-100	501	251	1,57
Фм0301	2МФ-100	518	325	2,03
Фм0302	2МФ-100	624	351	2,19
Фм0303	2МФ-100	579	313	1,96
Фм0501	2МФ-100	693	376	2,35
Фм0502	2МФ-100	674	354	2,21
Фм0503	2МФ-100	433	244	1,52
Фм0601	2МФ-100	383	198	1,24
Фм0602	2МФ-100	791	492	3,07
Фм0603	2(М-95+МФ-100)	660	391	1,12

Инв. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №

						0484ГП.09-7-ТКР1	Лист
							34
Изм.	Колуч	Лист	№док	Подп.	Дата		

Фм0604	2(М-95+МФ-100)	1049	652	1,87
Фм0401	2МФ-100	521	162	1,01
Фм0402	2МФ-100	273	128	0,80
Фм0606	2МФ-100	534	333	2,08
Фм0605	2МФ-100	660	364	2,27

Таблица 6.5 – Результаты расчёта эффективных токов и плотности длительного тока в контактном проводе для вынужденного режима

Секция	Тип конт. подвески	Режим	Эфф. ток, А, усредн. за период		Плотность тока в КП, А/мм ²
			1 минута	20 минут	
Фм0101	2МФ-100	Пит. Фм0102 от Фм0101	1212	716	4,47
Фм0102	2МФ-100	Пит. Фм0101 от Фм0102	1511	703	4,39
Фм0103	2МФ-100	Пит. Фм0102 от Фм0103	1608	724	4,52
Фм0201	2МФ-100	—	611	413	2,58
Фм0202	2МФ-100	Пит. Фм0201 от Фм0202	829	605	3,78
Фм0203	2МФ-100	Пит. Фм0202 от Фм0203	716	428	2,67
Фм0301	2МФ-100	Пит. Фм0302 от Фм0301	929	541	3,38
Фм0302	2МФ-100	Пит. Фм0303 от Фм0302	929	564	3,52
Фм0303	2МФ-100	—	579	313	1,96
Фм0501	2МФ-100	—	693	376	2,35
Фм0502	2МФ-100	Пит. Фм0501 от Фм0502	1065	631	3,94
Фм0503	2МФ-100	Пит. Фм0502 от Фм0503	878	466	2,91
Фм0601	2МФ-100	Пит. Фм0602 от Фм0601	813	529	3,31
Фм0602	2МФ-100	Пит. Фм0603 от Фм0602	1231	791	4,94
Фм0603	2(М-95+МФ-100)	Пит. Фм0604 от Фм0603	1414	985	2,83
Фм0604	2(М-95+МФ-100)	Пит. Фм0603 от Фм0604	1489	967	2,78
Фм0401	2МФ-100	Пит. Фм0402 от Фм0401	521	214	1,34
Фм0402	2МФ-100	Пит. Фм0401 от Фм0402	593	230	1,44
Фм0606	2МФ-100	Пит. Фм0605 от Фм0606	964	616	3,85
Фм0605	2МФ-100	Пит. Фм0606 от Фм0605	938	609	3,81

Таблица 6.6 – Результаты расчёта максимальных установившихся температур проводов и кабелей

Секция	20-мин. эфф. ток, А	Тип конт. подвески	$t_{уст}$ конт. провода, °С	Сечение кабеля, мм ²	$t_{уст}$ кабеля, °С
Фм0101	716	2МФ-100	70,8	800	49,2
Фм0102	703	2МФ-100	70,1	800	48,3
Фм0103	724	2МФ-100	71,1	800	49,7
Фм0201	413	2МФ-100	55,6	800	33,0
Фм0202	605	2МФ-100	65,2	800	42,3
Фм0203	428	2МФ-100	56,4	800	33,6
Фм0301	541	2МФ-100	62,0	800	38,8
Фм0302	564	2МФ-100	63,1	800	40,0
Фм0303	313	2МФ-100	50,6	800	29,6
Фм0501	376	2МФ-100	53,8	800	31,7
Фм0502	631	2МФ-100	66,5	800	43,8
Фм0503	466	2МФ-100	58,2	800	35,2
Фм0601	529	2МФ-100	61,4	800	38,2
Фм0602	791	2МФ-100	74,5	800	54,5

Ив. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №							Лист	
									35	

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата
------	-------	------	-------	-------	------

0484ГП.09-7-ТКР1

ФМ0603	985	2(М-95+МФ-100)	58,8	1200	44,6
ФМ0604	967	2(М-95+МФ-100)	58,4	1200	43,9
ФМ0401	214	2МФ-100	45,7	800	27,2
ФМ0402	230	2МФ-100	46,5	800	27,5
ФМ0606	616	2МФ-100	65,8	800	42,9
ФМ0605	609	2МФ-100	65,4	800	42,5

Расчёт загрузки преобразователей тяговых подстанций

Загрузка преобразовательных агрегатов определена по эффективным токам тяговой подстанции. На рисунке 6.3 в качестве примера представлен график суммарного выпрямленного тока тяговой подстанции ТПм5.

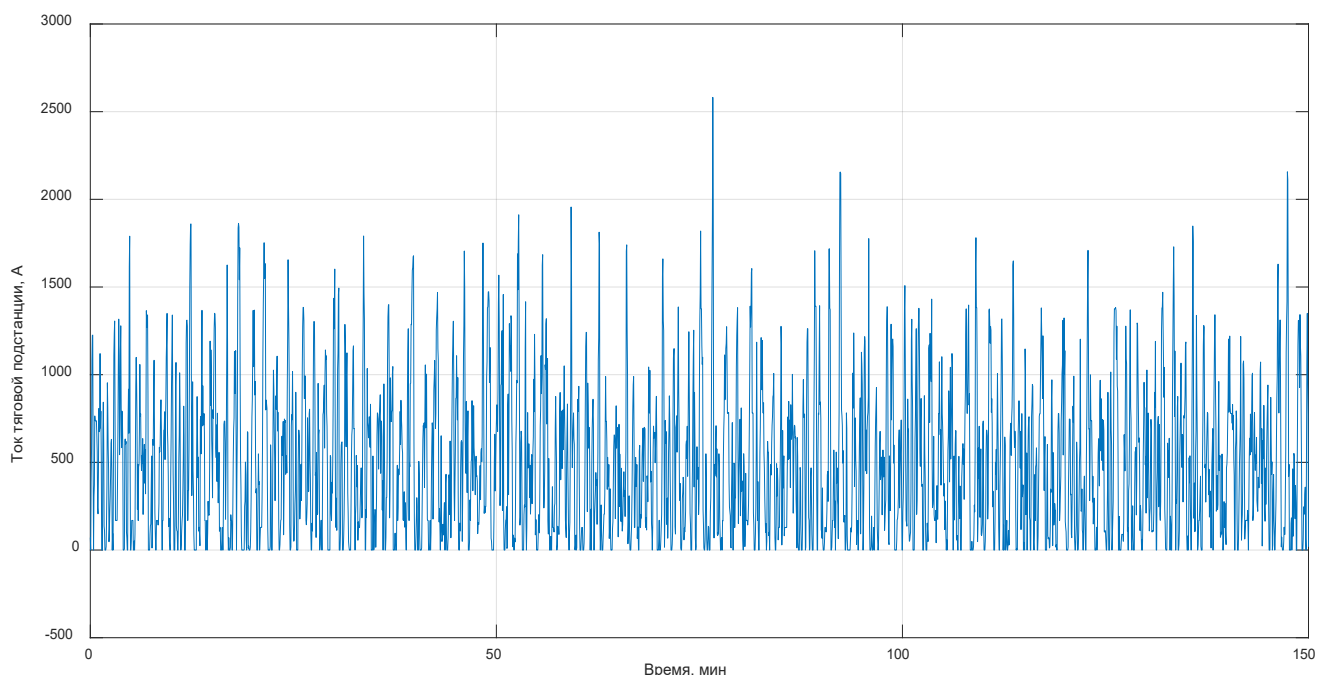


Рисунок 6.3 – Суммарный ток тяговой подстанции ТПм5

Результаты расчёта коэффициентов загрузки (отношения эффективного тока нагрузки $I_{d\text{эфф}}$, усредненного за указанный период, к суммарному номинальному току преобразователей подстанции $I_{d\text{ном}}$) преобразовательных агрегатов в нормальном режиме приведены в таблице 6.7. Состав и номинальная мощность включенных агрегатов был указан в таблице 6.3.

Таблица 6.7 – Результаты расчёта загрузки преобразовательных агрегатов в нормальном режиме

Тяговая подстанция	$I_{d\text{ ном}}, \text{ А}$	Макс. эфф. ток, А, усредненный за время				Коэффициенты загрузки, усреднённые за время		
		мгнов.	1 мин.	5 мин.	30 мин.	1 мин. ($\leq 2,0$)	5 мин. ($\leq 1,5$)	30 мин. ($\leq 1,0$)
ТПм1	2000	3562	1621	1076	899	0,81	0,54	0,45
ТПм2	2000	2229	1002	776	665	0,50	0,39	0,33
ТПм3	2000	2189	1106	826	723	0,55	0,41	0,36
ТПм4	1000	1280	521	398	189	0,52	0,40	0,19
ТПм5	2000	2338	1118	808	657	0,56	0,40	0,33

Ив. №подл.	Подп. и дата.	Взам.инв. №
Изм.	Колуч.	Лист
№дож.	Подп.	Дата

0484ГП.09-7-ТКР1

Лист

36

ТПм6	2500	4310	2272	1890	1626	0,91	0,76	0,65
------	------	------	------	------	------	------	------	------

Расчёты показывают, что загрузка преобразовательных агрегатов не превышает допустимых значений.

Расчёт уставок защит тяговой сети

Расчёты параметров аварийных режимов выполнен по выражениям (5.9) – (5.11).

Эквивалентное сопротивление тяговых подстанций представлено в таблице 6.3. Сопротивление питающих и отсасывающих линий определено с учётом удельного сопротивления питающих кабелей. Для кабеля сечением 800 мм² это сопротивление равно 0,0367 Ом/км, а для кабеля сечением 1200 мм² – 0,0247 Ом/км. Удельное сопротивление тяговой сети 2МФ-100 с рельсами Р-65 (Т-62) – 0,1115 Ом/км (с учётом 15 % износа провода), тяговой сети 2(МФ-100+М-95) – 0,0578 Ом/км. Длины питающих и отсасывающих линий, а также длины секций приняты в соответствии с данными таблицы 6.1. Результаты расчёта максимальных рабочих токов для нормального и вынужденных режимов работы системы тягового электроснабжения приведены в таблице 6.8. Результаты расчёта минимальных токов коротких замыканий приведены в таблице 6.9.

Таблица 6.8 – Максимальные рабочие токи питающих линий

Питающая линия	Макс. рабочий ток в норм. режиме, А	Макс. рабочий ток в вын. режиме, А	$I_{\text{раб. max}} + 300, \text{ А}$
Фм0101	1290	2235	2535
Фм0102	1772	2185	2485
Фм0103	1369	2163	2463
Фм0201	1286	1286	1586
Фм0202	951	1729	2029
Фм0203	1055	1411	1711
Фм0301	1205	1567	1867
Фм0302	1300	1570	1870
Фм0303	1258	1259	1559
Фм0501	1280	1280	1580
Фм0502	1290	1842	2142
Фм0503	1108	1783	2083
Фм0601	816	1563	1863
Фм0602	1753	2289	2589
Фм0603	1290	2394	2694
Фм0604	1984	2548	2848
Фм0401	721	1052	1352
Фм0402	640	1036	1336
Фм0606	1223	1849	2149
Фм0605	1334	1911	2211

Ив. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №

						0484ГП.09-7-ТКР1	Лист
							37
Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата		

Таблица 6.9 – Минимальные токи короткого замыкания по питающим линиям

Питающая линия	$I_{\text{кз. min}}, \text{ A}$	Место КЗ	$I_{\text{кз. min}}, \text{ A}$	Место КЗ
Фм0101	3399	Секц. Фм0101, КСт -0,22 км	3283	Секц. Фм0101, КСт -0,22 км
Фм0102	2819	Секц. Фм0101, КСт -0,22 км	2690	Секц. Фм0103, СИ 3,00 км
Фм0103	3095	Секц. Фм0102, СИ 0,85 км	3412	Секц. Фм0103, СИ 3,00 км
Фм0201	3505	Секц. Фм0201, СИ 3,00 км	3814	Секц. Фм0202, СИ 4,74 км
Фм0202	2567	Секц. Фм0201, СИ 3,00 км	5831	Секц. Фм0203, СИ 5,39 км
Фм0203	4773	Секц. Фм0202, СИ 3,90 км	5831	Секц. Фм0203, СИ 5,39 км
Фм0301	4776	Секц. Фм0301, СИ 5,39 км	3885	Секц. Фм0302, СИ 7,25 км
Фм0302	3625	Секц. Фм0301, СИ 5,39 км	2141	Секц. Фм0303, СИ 8,45 км
Фм0303	—	—	2676	Секц. Фм0303, СИ 8,45 км
Фм0501	3322	Секц. Фм0501, СИ 8,45 км	—	—
Фм0502	2486	Секц. Фм0501, СИ 8,45 км	4434	Секц. Фм0503, СИ 10,80 км
Фм0503	3725	Секц. Фм0502, СИ 9,30 км	7934	Секц. Фм0503, СИ 10,80 км
Фм0601	8469	Секц. Фм0601, СИ 10,80 км	3816	Секц. Фм0602, СИ 12,30 км
Фм0602	5751	Секц. Фм0601, СИ 10,80 км	2903	Секц. Фм0603, СИ 13,34 км
Фм0603	—	—	2601	Секц. Фм0604, КСт 14,70 км
Фм0604	3536	Секц. Фм0603, СИ 13,34 км	3161	Секц. Фм0604, КСт 14,70 км
Фм0401	2600	Секц. Фм0401, КСт -0,06 км	2605	Секц. Фм0402, узел 1,84 км
Фм0402	2247	Секц. Фм0401, КСт -0,06 км	5924	Секц. Фм0402, узел 1,84 км
Фм0606	—	—	2513	Секц. Фм0605, КСт -0,20 км
Фм0605	3223	Секц. Фм0606, СИ 1,30 км	2776	Секц. Фм0605, КСт -0,20 км

Таблица 6.10 – Результаты выбора уставок токовых защит выключателей питающих линий

Питающая линия	$I_{\text{раб. max}} + 300, \text{ A}$	$0,9 I_{\text{кз. min}}, \text{ A}$	$I_{\text{кз. min}} / 1,3, \text{ A}$	$I_{\text{уст}}, \text{ A}$
ФМ0101	2535	2955	2525	2600
ФМ0102	2485	2421	2069	2500 / 2000 – 10 с
ФМ0103	2463	2786	2381	2500
ФМ0201	1586	3155	2696	2200
ФМ0202	2029	2310	1975	2200
ФМ0203	1711	4296	3672	2200
ФМ0301	1867	3497	2988	2000
ФМ0302	1870	1926	1647	1900
ФМ0303	1559	2408	2058	2000
ФМ0501	1580	2990	2555	2200
ФМ0502	2142	2237	1755	2200
ФМ0503	2083	3353	2865	2200
ФМ0601	1863	3434	2935	2000
ФМ0602	2589	2613	2233	2600
ФМ0603	2694	2341	2001	2700 / 2000 – 10 с
ФМ0604	2848	2845	2432	2900 / 2400 – 10 с
ФМ0401	1352	2340	2000	2000
ФМ0402	1336	2022	1728	2000

Инв. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №

						0484ГП.09-7-ТКР1	Лист
							38
Изм.	Колуч	Лист	№док	Подп.	Дата		

Фм0606	2149	2262	1933	2200
Фм0605	2211	2498	2135	2300

Для питающих линий Фм0102, Фм0603 и Фм0604 помимо максимальной токовой защиты без выдержки времени необходимо предусмотреть токовременную защиту.

7 РАСЧЁТ ПОТРЕБНОЙ МОЩНОСТИ НА ТЯГУ

Усреднённая потребляемая преобразовательными агрегатами при движении вагонов со средними интервалами, приведенными в таблице 3.2 и троллейбусов с интенсивностью движения по таблице 4.1, для существующих подстанций представлена в таблице 7.1. Потребная мощность, помимо нагрузки трамвайного и троллейбусного движения учитывает также нагрузку для питания стрелок на узлах и разворотных кольцах. Мощность была определена по кривой потребляемого тока тяговой подстанции (пример такой кривой дан на рисунке 5.3). Также в таблице отражены мощности нагрузок собственных нужд тяговых подстанций. Эти мощности приняты на основании данных проектов-аналогов. Суммарная активная мощность на тягу трамваев в этом варианте составляет 2305 кВт.

Таблица 7.1 – Результаты расчёта усреднённой активной мощности тяговых подстанций

Подстанция	Мощность на «тягу», кВт		Мощность СН, кВт	Суммарная мощность, кВт
	трамваев	троллейбусов		
ТП 18	204,29	25,32	20,00	249,61
ТП 13	447,38	71,65	20,00	539,03
ТП 13 (вын)*	674,33	71,65	20,00	765,98
ТП 14	380,97	55,72	20,00	456,69
ТП 9	198,52	85,66	20,00	304,18
ТП 16	213,08	48,55	20,00	281,63
ТП 11	291,20	36,45	20,00	347,65
ТП 3	325,06	0	20,00	345,06
КТП	237,18	126,34	20,00	383,52

*Для ТП 13 дополнительно указана мощность при питании секции Ф1802 в вынужденном режиме

Результаты расчёта мощности новых модульных тяговых подстанций, которые будут питать только трамвайное движение, представлены в таблице 7.2. Мощность тяговых подстанций также была определена по кривым потребляемого выпрямленного тока (пример кривой на рисунке 6.3). Мощность на тягу троллейбусов в эту таблицу не включается.

Таблица 7.2 – Результаты расчёта усреднённой активной мощности тяговых подстанций

Подстанция	Мощность на «тягу» трамваев, кВт	Мощность СН, кВт	Суммарная мощность, кВт
ТПм1	445,55	20,00	465,55
ТПм2	318,12	20,00	338,12
ТПм3	353,28	20,00	373,28
ТПм4	40,17	20,00	60,17

Инв. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №							Лист	
			Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1	

ТПм5	315,80	20,00	335,80
ТПм6	852,36	20,00	872,36

При использовании новых модульных тяговых подстанций суммарная их активная мощность на тягу трамваев составит 2328 кВт. Таким образом, можно сделать вывод, что мощности практически одинаковы. Несколько меньшая мощность в первом варианте обусловлена несколько меньшими потерями в тяговой сети и лучшим использованием энергии рекуперации (она может передаваться троллейбусам).

7 ВЫВОДЫ

При использовании существующих тяговых подстанций на модернизируемой трамвайной сети необходимо использовать контактную подвеску следующих сечений:

- на участке от конечной станции «Больница №9» до точки подключения питающей линии Ф1304 на каждом пути используется подвеска из контактного провода МФ-100 и токоведущего несущего троса (или усиливающего провода) М-95;

- на участке от точки подключения питающей линии Ф0304 и до конечной станции «Ул. Чкалова» на каждом пути также используется подвеска из контактного провода МФ-100 и токоведущего несущего троса (или усиливающего провода) М-95;

- на всей остальной сети на каждом пути достаточно применения одного контактного провода МФ-100.

Питающие и отсасывающие линии могут быть алюминиевым кабелем сечением 800 мм² с бумажной изоляцией. Ориентировочные длины кабельных линий представлены в таблице 5.1.

Мощность существующего оборудования тяговых подстанций достаточно для обеспечения нагрузки трамвайного и троллейбусного движения.

Для защиты тяговой сети от аварийных режимов используется максимальная токовая защита без выдержки времени. Дополнительно на питающих линиях Ф1304, Ф0303 и Ф0304 должна быть предусмотрена токовременная защита. Уставки защит представлены в таблице 5.10.

При использовании новых модульных тяговых подстанций их предлагается разместить на разворотных кольцах ТРК Альтаир (ТПм1), ул. Елены Колесовой (ТПм2), Завод «Автодизель» (ТПм5), Республиканский проезд (ТПм6), а также на территории трамвайного депо (ТПм3) и в районе пересечения ул. Блюхера и ул. Е. Колесовой (ТПм4).

Контактная подвеска должна иметь следующее сечение:

- на участке от точки подключения питающей линии Фм0603 (у дома 28/21 по ул. Чкалова) до конечной станции «ул. Чкалова» на каждом пути используется подвеска из

Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата	0484ГП.09-7-ТКР1	Лист
							40

Ив. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №	5.10.		
			При использовании новых модульных тяговых подстанций их предлагается разместить на разворотных кольцах ТРК Альтаир (ТПм1), ул. Елены Колесовой (ТПм2), Завод «Автодизель» (ТПм5), Республиканский проезд (ТПм6), а также на территории трамвайного депо (ТПм3) и в районе пересечения ул. Блюхера и ул. Е. Колесовой (ТПм4).		
			Контактная подвеска должна иметь следующее сечение: - на участке от точки подключения питающей линии Фм0603 (у дома 28/21 по ул. Чкалова) до конечной станции «ул. Чкалова» на каждом пути используется подвеска из		

контактного провода МФ-100 и токоведущего несущего троса (или усиливающего провода) М-95;

- на остальных участках достаточно применения одиночного контактного провода МФ-100 по каждому пути.

Питающие линии, кроме двух линий: Фм0603 и Фм0604, могут быть выполнены алюминиевым кабелем сечением 800 мм² с бумажной изоляцией. На линиях Фм0603 и Фм0604 из-за их значительно длины требуется применение алюминиевого кабеля сечением 1200 мм² (либо медного кабеля сечением 800 мм², либо сдвоенного алюминиевого кабеля сечением 2×625 мм²). Все кабели могут быть с бумажной изоляцией.

На новых модульных тяговых подстанциях следует предусмотреть по два преобразовательных агрегата с мостовой схемой выпрямления и номинальным выпрямленным током 2000 А для ТПм1, ТПм2, ТМм3, ТПм5, 2500 А для ТПм6 и 1000 А для ТПм4. Мощность первичной обмотки преобразовательных трансформаторов не менее 1342 кВА для ТПм1, ТПм2, ТМм3, ТПм5, не менее 1678 кВА для ТПм6 и не менее 672 кВА для ТПм4.

Для защиты тяговой сети от аварийных режимов используется максимальная токовая защита без выдержки времени. Дополнительно на питающих линиях Фм0102, Фм0603 и Фм0604 должна быть предусмотрена токовременная защита. Уставки защит представлены в таблице 6.10.

Помимо вышесказанного во всех вариантах необходимо предусмотреть следующие решения:

- поперечные электрические соединители проводов контактной сети;
- воздушные выводы контактной сети от питающих шкафов или настенных коробов выполнить гибкими проводами сечением 120 – 185 мм². Суммарный длительно допустимый ток проводов воздушного вывода должен быть не менее 20-минутного тока, указанного в таблицах 5.6 и 6.6 настоящего документа.

При заказе подвижного состава рекомендуется предусмотреть требование линейного снижения максимального потребляемого тока в диапазоне от 400 + 50 В до 400 В , вплоть до тока собственных нужд при минимальном рабочем напряжении 400 В. Эта опция позволит исключить недопустимые снижения напряжения при одновременном пуске двух и более вагонов в конце удалённых секций.

Инв. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №							0484ГП.09-7-ТКР1	Лист
										41
			Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата		