

Директору филиала грузовых перевозок

ОО Грузинская железная дорога

Г-ну. Г. Гурамишвили

Дата: 13 апреля 2017г.

№ CR017

Листов: 1+ 3 / + 3 8

Уважаемый господин Гурамишвили!

По объявлению ОО Грузинская железная дорога, опубликованному в веб-сайте (<http://railway.ge>), в соответствии с письмами ПКБ ЦТ ОАО «РЖД» № Исх-405/ ПКБЦТ от 30 января 2017 года и №Исх-647/ПКБЦТ от 13 февраля 2017 года, мы разработали новую версию «Технико-экономическое обоснование эффективности электровоза ZEL1501» (в дальнейшем «ТЭО»), в которой внесены исправление и перерасчет.

Согласно Вашему требованию 13-го апреля 2017 года до 24 часов по местному времени Тбилиси мы отправляем ТЭО электронной почтой в три адреса как следующее: [Alexsi.koreli@railway.ge](mailto:Alexsi.koreli@railway.ge), [Mamuka.talakhadze@railway.ge](mailto:Mamuka.talakhadze@railway.ge), [Teimuraz.peradze@railway.ge](mailto:Teimuraz.peradze@railway.ge).

Приложение:

Технико-экономическое обоснование эффективности электровоза ZEL1501(версия от 13-го апреля 2017 года)

С уважением,

Фу Яньпин

Зам.начальника центра зарубежной деятельности

CRRC ООО «Чжучжоуской электровозостроительной компанией»

CRRC ZHUZHOU LOCOMOTIVE CO., LTD.

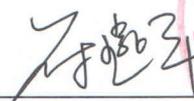




# ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

## ЭЛЕКТРОВОЗ МАГИСТРАЛЬНЫЙ ГРУЗОВОЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА ZEL1501

Заместитель начальника центра зарубежной деятельности  
CRRC ООО «Чжучжоуская электровозостроительная компания»

  
Фу Яньпин

«13» 04 2017 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	2
1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ .....	4
1.1. Технические характеристики электровозов .....	4
1.2. Тяговые характеристики электровозов .....	5
1.3. Характеристики системы ремонта локомотивов .....	6
1.4. Характеристики участка обращения .....	6
2. ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОВОЗОВ .....	9
2.1. Организация движения поездов и тяговые расчеты .....	9
2.2. Количество пар поездов .....	9
2.3. Годовой линейный пробег .....	9
2.4. Потребный парк поездных локомотивов .....	10
2.5. Коэффициент учета роста производительности локомотива .....	12
2.6. Коэффициент учета изменения срока службы .....	12
2.7. Грузооборот на участке .....	13
2.8. Годовая программа ремонтов .....	13
2.9. Удельный расход электроэнергии .....	14
2.10. Локомотиво-часы чистого движения .....	15
3. ОЦЕНКА СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗАТРАТ .....	16
3.1. Затраты на плановое техническое обслуживание и ремонт .....	16
3.2. Затраты на неплановые ремонты .....	17
3.3. Затраты на электроэнергию на тягу поездов .....	17
3.4. Затраты на оплату труда локомотивных бригад .....	18
3.5. Затраты на содержание верхнего строения пути .....	19
3.6. Затраты на экипировочные материалы .....	20
3.7. Сопутствующие единовременные затраты, связанные с внедрением техники в эксплуатацию .....	20
4. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ .....	21
4.1. Расчет полезного эффекта .....	21
4.2. Расчет лимитной цены .....	24
4.3. Расчет чистого дисконтированного дохода и срока окупаемости .....	26
4.4. Расчет внутренней нормы доходности .....	27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	29
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	30

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящее технико-экономическое обоснование магистрального грузового электровоза постоянного тока ZEL1501 (далее — новый электровоз) подготовлено для включения в комплект документации CRRC ООО «Чжучжоуская электровозостроительная компания» (далее — производитель), связанной с выражением интереса АО «Грузинская Железная Дорога» по приобретению 45 грузовых электровозов. В данном документе учтены обновленные исходные данные, размещенные в сети Интернет на сайте АО «Грузинская железная дорога», а именно по адресам:

[http://railway.ge/?web=0&action=page&p\\_id=818&lang=rus](http://railway.ge/?web=0&action=page&p_id=818&lang=rus)

<http://railway.ge/files/tender/prilojenie3.xlsx>

<http://railway.ge/files/tender/prilojenie4.xls>

Все используемые в документе технические характеристики нового электровоза соответствуют редакции технических требований «Электровоз магистральный постоянного тока грузовой для Грузии» утвержденной АО «Грузинская Железная Дорога» от 15 августа 2014 г. и согласованной с Проектно-конструкторским бюро локомотивного хозяйства – филиала ОАО «Российские железные дороги» (ПКБ ЦТ ОАО «РЖД»).

В качестве базового варианта электровоза, используемого для сравнения, принят электровоз серии ВЛ10/ВЛ11.

Технико-экономическое обоснование выполнено в соответствии с:

- Методическими рекомендациями по обоснованию эффективности инноваций на железнодорожном транспорте [1];
- Методическими рекомендациями по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте [2];
- Методикой определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта [3];

- Регламентом определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта [4];
- Методическими указаниями по определению технико-экономической эффективности новых и усовершенствованных электровозов [5];
- Правилами тяговых расчетов для поездной работы [6].

# 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

## 1.1. Технические характеристики электровозов

Основные технические характеристики базового варианта электровоза и нового электровоза приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Технические характеристики базового и нового электровозов.

№ п/п	Показатель	Значение	
		базовый	новый
1	2	3	4
1	Номинальное напряжение на токоприемнике, В	3 000	3 000
2	Ширина колеи, мм	1 520	1 520
3	Осевая формула	$2 \times (2_0 - 2_0)$	$2 \times (2_0 - 2_0)$
4	Номинальная нагрузка от одной колесной пары на рельсы, т	23	24,5
5	Сцепная масса с 0,67 запаса песка, т	184	196
6	Номинальный диаметр колесной пары по кругу катания, мм	1 250	1 250
7	Конструкционная скорость, км/ч	100	120
8	Мощность продолжительного режима, кВт	4 600	9 600
9	Сила тяги продолжительного режима, кН	331	580
10	Скорость продолжительного режима, км/ч	51.2	55
11	Мощность часового режима, кВт	5 360	9 600
12	Сила тяги часового режима, кН	387	580
13	Скорость часового режима, км/ч	48.7	55
14	Тип тягового двигателя	коллекторный последовательного возбуждения	асинхронный
15	Срок службы	33	40
16	Коэффициент технической готовности, %	89.8	95
17	Стоимость 1 электровоза, доллары США	3,150,000	5,950,000

Характеристики базового электровоза предоставлены АО «Грузинская Железная Дорога».

Как видно из таблицы 1.1 основное преимущество нового электровоза по сравнению с базовым состоит в использовании асинхронного тягового электродвигателя, что позволяет достичь более высокой мощности и силы тяги при прочих равных условиях.

## 1.2. Тяговые характеристики электровозов

Тяговые характеристики электровозов приведены на рисунке 1.1. При этом следует отметить, что тяговая характеристика базового варианта электровоза представлена только ограничением по сцеплению и характеристикой параллельного (П) соединения тяговых электродвигателей при режиме ослабления поля ОПЗ.

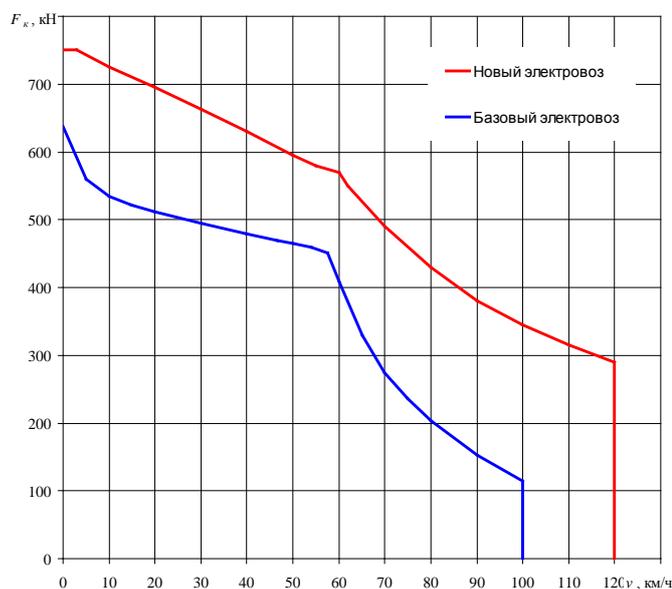


Рисунок 1.1 – Тяговые характеристики электровозов.

Как видно из рисунка 1.1, тяговая характеристика нового электровоза имеет более высокие значения силы тяги по сравнению с характеристикой базового электровоза при одинаковых скоростях движения, то есть позволяет водить поезд большей массы. Кроме того, расчетная скорость движения для

базового электровоза  $v_P^B$  составляет 48.7 км/ч [6], а для нового электровоза

расчетная скорость  $v_P^H$  составляет 55 км/ч.

### 1.3. Характеристики системы ремонта локомотивов

Для электровоза базового варианта и нового электровоза используется планово-предупредительная система ремонтов. Нормы межремонтных пробегов приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Нормы межремонтных пробегов электровозов.

Базовый		Новый	
Вид ремонта	Периодичность	Вид ремонта	Периодичность
1	2	3	4
КР-2	12 лет (2 100 тыс. км)	КР	12 лет (2 400 тыс. км.)
КР-1	6 лет (700 тыс. км)	СР	6 лет (1 200 тыс. км.)
ТР-3	3 года (350 тыс. км)	ТР-3	—
ТР-2	1.5 года (175 тыс. км)	ТР-2	3 года (600 тыс. км.)
ТР-1	2 месяца (25 тыс. км)	ТР-1	1 год (200 тыс. км.)
ТО-3	1 месяц (12.5 тыс. км)	ТО-3	6 месяцев (100 тыс. км)
ТО-2	48 часов	ТО-2	360 часов (10 тыс. км)

Периодичность ремонтов электровозов ZEL1501 определена на основании многолетних опытов по эксплуатации, обслуживанию и ремонту разных серий локомотивов производства CRRC ООО «Чжучжоуская электровозостроительная компания», а также с учетом их экономической целесообразности и фактической надежности оборудования. Следует отметить, что для нового электровоза предусмотрено всего 6 видов технического обслуживания и ремонта, не предусмотрен ремонт в объеме ТР-3.

Срок службы электровоза базового варианта составляет 33 года. Срок службы нового электровоза составляет 40 лет или 8 млн. км пробега в зависимости от того, что наступит раньше.

### 1.4. Характеристики участка обращения

В качестве участка обращения электровозов принят условный участок железной дороги, характеристики которого соответствуют участку Гардабани

– Тбилиси – Батуми с лимитирующим участком Хашури – Харагаули. На данном участке эксплуатируются электровозы серии ВЛ10 (ВЛ11).

Организация движения поездов на рассматриваемом участке следующая:

– на всем протяжении участка, за исключением лимитирующего участка поезд следует с одним электровозом в голове;

– в четном направлении лимитирующего участка поезд следует с подталкивающим электровозом;

– в нечетном направлении лимитирующего участка поезд следует двойной тягой с подталкивающим электровозом.

Характеристики участка приведены в таблицах 1.3 и 1.4.

Таблица 1.3 – Характеристики участка обращения электровозов.

№ п/п	Показатель	Значение	
		четное направление	нечетное направление
1	2	3	4
1	Длина участка (Гардабани – Тбилиси – Батуми) $L_{уч}$ , км	385	385
2	Среднестатистическая масса поезда $Q_{СТ}$ , т	2 696	2 129
3	Объем перевозок по направлениям $\sum Q$ , т.	7 823 000	6 177 000
4	Среднегодовой пробег локомотивов эксплуатируемого парка, км.	8 543 556	
5	Среднее время простоя в основном депо и пункте оборота $t_{Д}$ , час	7.2	

Таблица 1.4 – Характеристики участка обращения электровозов.

№ п/п	Показатель	Значение	
		базовый	новый
1	2	3	4
1	Инвентарный (потребный) парк электровозов $M_{П}$ , ед.	36	определяется на основании расчетов
2	Среднегодовой линейный пробег инвентарного парка электровозов $\sum ML$ , км	8 543 556	определяется на основании расчетов
3	Затраты на проведение неплановых ремонтов, доллары США	57 000	57 000 (принимаются равными, как и для базового варианта)

№ п/п	Показатель	Значение	
		базовый	новый
1	2	3	4
4	Годовой фонд рабочего времени локомотивной бригады, ч.	2 055	определяется на основании расчетов
5	Среднее время оборота локомотива, ч	28.42	определяется на основании расчетов
6	Коэффициент, учитывающий соотношение массы поезда нетто к массе брутто	1	1
7	Коэффициент, учитывающий кратность тяги на участке Гардабани — Хашури	1	определяется на основании расчетов (п. 2.1)
8	Коэффициент, учитывающий кратность тяги на участке Хашури-Зестафони	2.58	определяется на основании расчетов (п. 2.1)
9	Коэффициент, учитывающий кратность тяги на участке Зестафони-Батуми	1	определяется на основании расчетов (п. 2.1)
10	Коэффициент, учитывающий неравномерность движения, $K_d$	1.15	1.15
11	Расходная ставка на 1 ткм брутто, учитывающая долю зависящих от размера грузооборота расходов по текущему содержанию главных путей и отчисления от амортизации строения пути $e_{ткм}$ , доллары США	0.0039	0.0039

На основании информации, приведенной в таблицах 1.3 и 1.4, можно рассчитать и другие показатели, характеризующие процесс эксплуатации электровозов.

## 2. ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

### 2.1. Организация движения поездов и тяговые расчеты

На основании технических характеристик нового электровоза, а так же плана и профиля пути, весовых характеристик поездов на участке при условии их неизменности, после проведения тяговых расчетов установлено, что для организации движения поездов возможно использование только 1 электровоза в голове каждого поезда. Таким образом, коэффициент, учитывающий кратность тяги равен 1.

### 2.2. Количество пар поездов

Количество поездов на участке определяется объемом перевозок и средним весом поезда. С учетом характеристик участка обращения, приведенных в таблице 1.3 (строки 2 и 3), количество поездов в сутки:

$$n_{rp} = \frac{r_{rp} \cdot 10^6}{365 \cdot Q_{cp} \cdot \gamma} = \frac{14 \cdot 10^6}{365 \cdot 3250 \cdot 1} = 11.8 \quad (2.1)$$

Где,  $r_{rp} = 14$  -трафик направления нагрузки, миллион тонн

$Q_{cp} = \frac{3500 + 3000}{2} = 3250$  -средний вес поезда локомотивов, тонн

$\gamma = 1$  -масса нетто и вес брутто поездов

### 2.3. Годовой линейный пробег

Среднегодовой линейный пробег новых локомотивов определяется на основании размеров движения поездов по участку с учетом коэффициента кратности тяги (в соответствии с пунктом 2.1 принят равным 1), а именно:

$$\sum ML^H = 2 \cdot 365 \cdot L_p \cdot n = 2 \cdot 365 \cdot 385 \cdot 11.8 = 3,316,390 \text{ ЛОК.КМ.} \quad (2.2)$$

## 2.4. Потребный парк поездных локомотивов

Потребный парк поездных локомотивов определяется длиной участка

обращения локомотивов  $L_p$ , расчетной скоростью  $v_p$ , коэффициентом

участковой скорости  $\beta_{уч}$  и коэффициентом неравномерности движения  $K_n$ :

$$M_n = \frac{K_T \cdot K_n}{(1 - \alpha_n) \cdot 24} \cdot \left( \frac{2 \cdot L_p}{V_{уч}} + t_n \right) \cdot n_{г.п.} =$$

$$\frac{1 \cdot 1.15}{(1 - 0.05) \cdot 24} \cdot \left( \frac{2 \cdot 353.4}{42.6} + 7.2 \right) \cdot 11.8 = 14.16 \quad (2.3)$$

Где

$K_T = 1$  - коэффициент, учитывающий кратность тяги на участке Батуми-Гардабани;

$K_n = 1.15$  - коэффициент, учитывающий неравномерность движения;

$\alpha_n = 0.05$  - доля неисправных локомотивов, зависящая от величины межремонтных пробегов, времени простоя локомотива на плановых и неплановых ремонтах;

$V_{уч}$  - участковая скорость, km/h;

по результатам моделирования, техническая скорость нового локомотива на линии-42.6 km/h;

$t_n = 7.2$  - среднее время простоя в основном депо и в пункте оборота.

$L_p = 385 - 31.6 = 353.4$  km, включая 31.6 km чрезвычайно сложная участки, где

подталкивающий локомотив нужен и количество локомотивов составляет

$$M_n = \frac{K_T \cdot K_n}{(1 - \alpha_n) \cdot 24} \cdot \left( \frac{2 \cdot L_p}{V_{уч}} + t_n \right) \cdot n_{г.п.} =$$

$$\frac{1.5 \cdot 1.15}{(1 - 0.05) \cdot 24} \cdot \left( \frac{2 \cdot 31.6}{42.6} + 1.2 \right) \cdot 11.8 = 2.40 \quad (2.5)$$

Где

$K_T = 1.5$ , коэффициент занимает 1.5 из-за подталкивающего локомотива.

В соответствии с пунктом 4.2 в Приложении -Описание тяговых расчетов, на лимитирующем участке Харагаули-Лихи при в случае как вес поезда превышает 2188т. требует использовать подталкивающий электровоз для толкача. В целях достижения оптимальной эффективности движения, рекомендуем добавлять подталкивающий электровоз при объеме груза более 1770т. Таким образом коэффициент, учитывающий кратность тяги рассчитан 1.5.

t, время простоя когда дабовлять подталкивающий электровоз, 1.2 час.

Таким образом, для заданных размеров движения потребный парк новых электровозов составит  $14.16+2.4=16.56\approx 17$  единиц.

<b>Наименование</b>	<b>Базовый</b>	<b>Новый</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Коэффициент учитывающий неравномерность движения	1.15	1.15
Коэффициент учитывающий кратность тяги	1.00	1.00
Доля неисправных локомотивов, зависящая от величины межремонтных пробегов, времени простоя локомотива на плановых и внеплановых ремонтах	0.10	0.05
Длина расчетного участка в км	385	385
Длина расчетного участка в км (туда, обратно)	770	770
Техническая скорость	40.31	42.6
Среднее время простоя в основном депо и в пункте оборота	3.6	3.6
Простой локомотива в пунктах оборота и перецепки на сложной участки	1.2	1.2
Объем перевозок в груженом направлении, т	14 000 000	14 000 000
Количество дней в году	365	365
Средний вес поезда, т	2413	3250
Соотношение массы поезда нетто к массе брутто	1.00	1.00
<b>Итого потребный парк</b>	<b>36</b>	<b>17</b>

## 2.5. Коэффициент учета роста производительности локомотива

Коэффициент учета роста производительности нового локомотива рассчитывается по соотношению потребных парков базового и нового подвижного состава при выполнении одинаковой перевозочной работы. Расчет потребного парка новых локомотивов приведен в пункте 2.4.

$$k_{\Pi} = \frac{M_{\Pi}^G}{M_{\Pi}^H} = \frac{36}{17} = 2.12 \quad (2.6)$$

## 2.6. Коэффициент учета изменения срока службы

Коэффициент учета изменения срока службы нового подвижного состава по сравнению с базовой моделью определяется как:

$$K_{Д} = \frac{\frac{1}{T^B} + E_H}{\frac{1}{T^H} + E_H}, \quad (2.7)$$

где  $T^B$  и  $T^H$  — сроки службы базового и нового локомотива;

$E_H$  — нормативный коэффициент экономической эффективности (норма дисконта).

Значение  $E_H$  определяется многими факторами. Для дальнейших расчетов примем его величину в соответствии с условиями конкурсной документации,

то есть  $E_H = 0,1$ . Тогда:

$$K_D = \frac{\frac{1}{33} + 0,1}{\frac{1}{40} + 0,1} = 1,042 \quad (2.8)$$

## 2.7. Грузооборот на участке

Грузооборот — экономический показатель работы транспорта, равный произведению массы перевозимого за определённое время груза на расстояние перевозки. Для рассматриваемого участка его величина определяется как:

$$\begin{aligned} \sum Q L &= (\sum Q_{ГОД}^{ЧЕТ} + \sum Q_{ГОД}^{НЕЧ}) \cdot L_{УЧ} = \\ &= (7\,823\,000 + 6\,177\,000) \cdot 385 = 5,39 \cdot 10^9 \text{ т} \cdot \text{км}. \end{aligned} \quad (2.9)$$

## 2.8. Годовая программа ремонтов

Количество ремонтов  $K$ -го вида за год эксплуатации определяется как:

$$N_K = \frac{\sum ML}{L_K} - \sum_{i=1}^{K-1} N_i, \quad (2.10)$$

где  $\sum_{i=1}^{K-1} N_i$  — суммарное число ремонтов, имеющих большие объемы;

$L_K$  — норма межремонтного пробега до ремонта  $K$ -го вида.

Результаты расчетов приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчетов годовой программы ремонтов электровозов.

Вид ремонта	Количество ремонтов
1	2
КР	1.045
СР	1.045
ТР-3	—
ТР-2	2.811
ТР-1	11.242
ТО-3	16.863
ТО-2	303.534

### 2.9. Удельный расход электроэнергии

Удельный расход электроэнергии — показатель, определяемый как отношение общего количества израсходованной электроэнергии к освоенному за год объему перевозок, то есть:

$$a = \frac{A}{\sum QL}. \quad (2.11)$$

По результатам расчета и моделирования на основе существующих данных линии ж.д., средний расход на электроэнергию электровоза составляет 159.6 кв·ч/104т·км. Детали расчета и результаты с.м. в Приложении <<Описание тяговых расчетов>> к настоящему ТОО.

Сравнительная таблица приведена как следующее:

Показатель	Базовой электровоз	Новый электровоз
1	2	3
Длины участки, км	385	385
Годовой объем перевозок в груженом направлении, т	14,000,000	14,000,000
Средний расход электроэнергии электровоза Кв.ч/10 <sup>4</sup> т.км	342.8	159.6

kW·h	$184.77 \cdot 10^6$	$85.97 \cdot 10^6$
Годовой общий расход электроэнергии кв.ч		

## 2.10. Локомотиво-часы чистого движения

Локомотиво-часы чистого движения — годовой фонд времени работы локомотивов на участке, который определяется как частное от деления годового пробега локомотивов на расчетную скорость:

$$\sum MT = \frac{\sum ML}{v_p} \quad (2.12)$$

Для базового варианта локомотиво-часы чистого движения составят:

$$\sum MT^G = \frac{8,543,556}{40.31} = 211,946 \text{ лок}\cdot\text{ч} \quad (2.13)$$

Для нового электровоза локомотиво-часы чистого движения составят:

$$\sum MT^H = \frac{3,316,390}{42.6} = 77,850 \text{ лок}\cdot\text{ч} \quad (2.14)$$

### 3. ОЦЕНКА СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗАТРАТ

#### 3.1. Затраты на плановое техническое обслуживание и ремонт

Для оценки величины затрат на техническое обслуживание и ремонт использованы стоимости выполнения данных видов работ, предоставленные АО «Грузинская железная дорога». Для нового электровоза принято допущение, что для ремонта одного и того же объема себестоимость совпадает с базовым вариантом. В действительности эта величина будет несколько меньше за счет использования более современного и ремонтпригодного оборудования, а так же средств диагностирования.

Таблица 3.1 – Себестоимости ремонтов электровозов.

Вид ремонта	Стоимость единицы ремонта, дол.США	Количество ремонтов за срок службы (33 г) на один электровоз	Стоимость единицы ремонта, дол.США	Стоимость за один год на 36 электровозов, дол.США	Стоимость за срок службы (33 г) на 36 электровозов
1	2	3	4	5	6
КР-2	720,000	2	1,440,000	1,570,909	51,840,000
КР-1(КР)	450,000	3	1,350,000	1,472,727	48,600,000
СР(ТР-3)	54,946	5	274,730	299,705	9,890,280
ТР-2	3,200	11	35,200	38,400	1,267,200
ТР-1	1,750	177	309,750	337,909	11,151,000
ТО-3	960	198	190,080	207,360	6,842,880
ТО-2	240	5,626	1,350,240	1,472,989	48,608,640
ИТОГО			4,950,000	<b>5,400,000</b>	<b>178,200,000</b>

Годовые затраты на выполнение плановых видов ремонтов электровозов базового варианта составляют:  $(4,950,000 \times 36) \div 33 = 5,400,000$  долларов США. Результаты расчета годовых затрат на выполнение ремонтов нового электровоза приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Затраты на выполнение годовой программы ремонтов.

Вид ремонта	Стоимость единицы ремонта, дол.США	Количество ремонтов за срок службы (40 г) на один электровоз	Стоимость единицы ремонта, дол.США	Стоимость за один год на 17 электровозов,	Стоимость за срок службы (40 г) на 17 электровозов
-------------	------------------------------------	--	------------------------------------	---	--

				дол. США	
1	2	3	4	5	6
КР-2	1,200,000	3	3,600,000	1,530,000	61,200,000
КР-1(КР)	500,000	3	1,500,000	637,500	25,500,000
СР(ТР-3)	-	-	-	0	0
ТР-2	20,000	7	140,000	59,500	2,380,000
ТР-1	2,000	26	52,000	22,100	884,000
ТО-3	800	40	32,000	13,600	544,000
ТО-2	50	880	44,000	18,700	748,000
ИТОГО			5,368,000	2,281,400	91,256,000

Таким образом, при использовании нового электровоза годовые затраты на проведение технических обслуживаний и ремонтов для заданных условий эксплуатации снижаются на 3.12 млн. долларов США.

### 3.2. Затраты на неплановые ремонты

Будем считать, что для рассматриваемых вариантов электровозов величина затрат на неплановые ремонты составляет одинаковую величину (таблица 1.4, строка 3).

### 3.3. Затраты на электроэнергию на тягу поездов

Годовой расход электроэнергии на тягу поездов определяется как:

$$A = a \cdot \sum QL \quad (3.1)$$

Стоимость 1 кВт·электроэнергии принята равной 0,042 доллара США.

Результаты расчета представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Годовые затраты на электроэнергию на тягу поездов.

Базовый		Новый		Абсолютный эффект, доллары США
$A^B$ , тыс. кВт·ч	Затраты, доллары США	$A^H$ , тыс. кВт·ч	Затраты, доллары США	
	2	4	5	6
$184.77 \cdot 10^6$	$7.76 \cdot 10^6$	$85.97 \cdot 10^6$	$3.61 \cdot 10^6$	$4.15 \cdot 10^6$

Таким образом, при использовании нового электровоза годовые затраты на электроэнергию на тягу поездов для заданных условий эксплуатации снижаются на 4.15 млн. долларов США.

Замечание: данные потребления энергии для нового электровоза является фактическим положением моделирования линии, подробные посмотрите Приложение-Описание о тяговых расчетах.

Из-за ограничения тока (низкий ток) контактных сетей всей линии, злеткровоз не даёт полный эффект, что приводит к повышению затрат на электроэнергию, поэтому эти данные только результаты моделирования, фактическое потребление энергии зависит от фактической линии эксплуатационных результатов.

### 3.4. Затраты на оплату труда локомотивных бригад

Оплату труда локомотивных бригад осуществляется пропорционально отработанному ей времени. Время работы локомотивной бригады определяется временем движения локомотива по участку и временем простоя локомотивов на основных и промежуточных станциях. Стоимость бригадо-часа указана в конкурсной документации и составляет 5,57 доллара США. Исходя из этого можно рассчитать годовые затраты на оплату труда локомотивных бригад (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Годовые затраты на оплату труда локомотивных бригад.

Базовый		Новый		Абсолютный эффект, доллары США
$\sum MT^B$ , лок·ч	Затраты, доллары США	$\sum MT^H$ , лок·ч	Затраты, доллары США	
1	2	3	4	5
211,946	1,180,539	77,850	433,624	746,915

Таким образом, при использовании нового электровоза годовые затраты на оплату труда локомотивных бригад для заданных условий эксплуатации снижаются на 0.75 млн. долларов США.

### 3.5. Затраты на содержание верхнего строения пути

Технические характеристики нового электровоза, а именно показатели динамических качеств, не хуже чем у базового электровоза. Следовательно расходы на содержание верхнего строения пути не увеличатся. В то же время эта составляющая эксплуатационных затрат определяется методом расходных ставок в зависимости от грузооборота как:

$$I_{mk\acute{o}p} = \sum QL \cdot e_{mk} \quad (3.2)$$

Величина расходной ставки  $e_{mk}$  учитывает долю зависящих от размеров грузооборота расходов по текущему содержанию главных путей и отчисления на амортизацию верхнего строения пути и включает расходы по текущему содержанию и ремонту рельсов, шпал и балласта. Тогда затраты на содержание верхнего строения пути составят:

$$I_{mk\acute{o}p} = 14 \cdot 10^6 \cdot 385 \cdot 0.0039 = 21\,021\,000 \quad (3.3)$$

Таким образом, затраты на содержание верхнего строения пути будут составлять 21,021 млн. долларов США в год.

### **3.6. Затраты на экипировочные материалы**

Экипировка нового электровоза песком выполняется при проведении ТО-2, поэтому затраты на экипировочные материалы учтены в затратах на техническое обслуживание и ремонт.

### **3.7. Сопутствующие единовременные затраты, связанные с внедрением техники в эксплуатацию**

К сопутствующим затратам относятся затраты:

- на обучение ремонтного и обслуживающего персонала (в случае, если эти расходы не включены в контрактную стоимость объекта);
- на оборудование деповской и заводской ремонтной базы, в том числе затраты на приобретение дополнительных испытательных и ремонтных комплексов, диагностической и поверочной аппаратуры, специального инструмента, расширение имеющихся площадей и т. п.

В соответствии с коммерческим предложением CRRC ООО «Чжучжоуская электровозостроительная компания» для АО «Грузинская Железная Дорога» все перечисленные составляющие затрат учтены в цене на электровоз, поэтому в данном случае их можно принять равными 0.

## 4. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

### 4.1. Расчет полезного эффекта

Полезный эффект  $\mathcal{E}_\Pi$  нового локомотива представляет стоимостную оценку изменения его потребительских свойств по сравнению с базовой техникой, оказывающих влияние на показатели производительности, надежности и долговечности, использования рабочей силы, сырья, материалов, топлива, качество перевозочного процесса, экологические и социальные показатели. Расчет полезного эффекта осуществляется по формуле:

$$\mathcal{E}_\Pi = C_B \cdot (K_\Pi \cdot K_D - 1) + \Delta LCC' + \mathcal{E}_C + \mathcal{E}_K + \mathcal{E}_\mathcal{E}, \quad (4.1)$$

где  $C_B = 3\,150\,000$  дол.США – цена единицы базового локомотива;

$K_\Pi = 2.12$  – коэффициент учета роста производительности локомотива;

$K_D = 1.042$  – коэффициент учета изменения срока службы нового локомотива по сравнению с базовой моделью;

$\Delta LCC'$  – экономия СЖЦ при использовании новой техники по сравнению с базовой без учета прямых инвестиций в приобретение техники и амортизационных начислений в составе годовых эксплуатационных расходов. Величина экономии СЖЦ определяется как:

$$\Delta LCC' = \sum_{t=1}^T \Delta I'_t \cdot \alpha_t \pm \sum_{t=0}^T \Delta K'_t \cdot \alpha_t, \quad (4.2)$$

где  $\Delta I'_t$  – изменение годовых эксплуатационных расходов потребителя при использовании им нового электровоза в расчете на объем работы, выполняемой новым электровозом за расчетный период.

Годовые эксплуатационные расходы потребителя определяются исходя из прямых материальных и трудовых затрат, а также расходов на содержание и эксплуатацию новых локомотивов. В целях сопоставимости расчетов годовые текущие эксплуатационные расходы при использовании новых локомотивов по сравнению с базовыми рассчитываются на одинаковый годовой объем работы, выполняемой новыми локомотивами.

В состав годовых эксплуатационных расходов не включаются амортизационные отчисления.

$\Delta K_t' = 0$  – изменение сопутствующих капитальных вложений потребителя за срок службы при использовании нового электровоза взамен базового в расчете на объем работы, производимой новым электровозом.

В состав сопутствующих капитальных вложений включаются единовременные затраты, необходимые для функционирования нового электровоза.

Поскольку полезный эффект является базой для расчета предельного уровня цен, в составе единовременных затрат не учитываются затраты на приобретение нового электровоза.

$\alpha_t = \frac{1}{(1 + E_H)^t}$  – коэффициент дисконтирования;

$\mathcal{E}_K = 0$  – эффект от изменения качества перевозок;

$\mathcal{E}_C = 0$  – социальный эффект.

$\mathcal{E}_\varepsilon = 0$  – экологический эффект.

Результаты расчета составляющих эксплуатационных расходов, полученные в разделе 3, приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты расчетов составляющих эксплуатационных расходов, доллары США.

Составляющая затрат	Базовый	Новый	$\Delta M$
1	2	3	4

Составляющая затрат	Базовый	Новый	$\Delta И$
1	2	3	4
Затраты на плановое техническое обслуживание и ремонт	5,400,000	2,281,400	3,118,600
Затраты на неплановые ремонты	57,000	57,000	0
Затраты на электроэнергию на тягу поездов	7,760,000	3,610,000	4,150,000
Затраты на оплату труда локомотивных бригад	1,180,539	433,624	746,915
Затраты на содержание верхнего строения пути	21,021,000	21,021,000	0
Затраты на экипировочные материалы	0	0	0
<b>ИТОГО</b>	<b>35,418,539</b>	<b>27,403,024</b>	<b>8,015,515</b>

Для выполнения дальнейших расчетов примем значения  $\Delta K_t'$ ,  $\mathcal{E}_k$ ,  $\mathcal{E}_c$  и  $\mathcal{E}_\mathcal{E}$  равными нулю.

Тогда экономия стоимости жизненного цикла составит:  $\Delta LCC' = 86,222,540$  доллара США на потребный для заданных размеров движения парк электровозов.

Год	Коэффициент дисконтирования	Изменение годовых эксплуатационных расходов	Дисконтированное изменение годовых эксплуатационных расходов
1	1	8,015,515.00	8,015,515.00
2	0.909090909	8,015,515.00	7,286,831.82
3	0.826446281	8,015,515.00	6,624,392.56
4	0.751314801	8,015,515.00	6,022,175.06
5	0.683013455	8,015,515.00	5,474,704.59
6	0.620921323	8,015,515.00	4,977,004.18
7	0.56447393	8,015,515.00	4,524,549.25
8	0.513158118	8,015,515.00	4,113,226.59
9	0.46650738	8,015,515.00	3,739,296.90
10	0.424097618	8,015,515.00	3,399,360.82
11	0.385543289	8,015,515.00	3,090,328.02
12	0.350493899	8,015,515.00	2,809,389.10
13	0.318630818	8,015,515.00	2,553,990.10
14	0.28966438	8,015,515.00	2,321,809.18
15	0.263331254	8,015,515.00	2,110,735.62
16	0.239392049	8,015,515.00	1,918,850.56
17	0.217629136	8,015,515.00	1,744,409.60
18	0.197844669	8,015,515.00	1,585,826.91

19	0.17985879	8,015,515.00	1,441,660.83
20	0.163507991	8,015,515.00	1,310,600.75
21	0.148643628	8,015,515.00	1,191,455.23
22	0.135130571	8,015,515.00	1,083,141.12
23	0.122845974	8,015,515.00	984,673.75
24	0.111678158	8,015,515.00	895,157.95
25	0.101525598	8,015,515.00	813,779.95
26	0.092295998	8,015,515.00	739,799.96
27	0.083905453	8,015,515.00	672,545.42
28	0.076277684	8,015,515.00	611,404.92
29	0.069343349	8,015,515.00	555,822.65
30	0.063039409	8,015,515.00	505,293.33
31	0.057308553	8,015,515.00	459,357.57
32	0.052098685	8,015,515.00	417,597.79
33	0.047362441	8,015,515.00	379,634.36
34	0.043056764	8,015,515.00	345,122.14
35	0.039142513	8,015,515.00	313,747.40
36	0.035584103	8,015,515.00	285,224.91
37	0.032349184	8,015,515.00	259,295.37
38	0.029408349	8,015,515.00	235,723.06
39	0.026734863	8,015,515.00	214,293.70
40	0.024304421	8,015,515.00	194,812.45
Итого			86,222,540.47

Исходя из этого полезный эффект составит:

$$\mathcal{E}_n = 36 \times 3,150,000 \times (2.12 \times 1.042 - 1) + 86,222,540 = 223,327,676 \text{ долларов США}$$

#### 4.2. Расчет лимитной цены

Лимитная цена нового электровоза определяется на стадии проектирования в целях оценки экономической и социальной целесообразности разработки новой продукции с заданными технико-экономическими параметрами, ограничения роста затрат на ее производство и обеспечения относительного удешевления на единицу конечного полезного результата (эффекта).

Лимитная цена выражает предельно допустимый уровень цены новой техники, определяемый на основе стоимостной оценки улучшения ее

потребительских свойств, при котором обеспечивается относительное удешевление выполняемой ею функции.

Лимитная цена определяется потребителем (заказчиком) на основе расчета прогнозной величины полезного эффекта и не может служить основанием для установления оптовых цен на продукцию предприятий, производящих новый подвижной состав и сложные технические системы для железнодорожного транспорта, которые рассчитываются по статьям затрат в соответствии с конкретными условиями производства. Лимитная цена определяет тот предельный уровень стоимости новой техники, при котором потребителю (железнодорожному транспорту) обеспечивается минимальный полезный эффект по сравнению с заменяемой техникой или аналогом.

Лимитная (предельная) цена  $C_{Л}$  определяется по формуле:

$$C_{Л} = C_{Б} \cdot K_{М} + Э_{П} \cdot K_{Э}, \quad (4.4)$$

$K_{М}$  – коэффициент, учитывающий моральный износ базовой техники, который принимается по экспертной оценке на уровне 0,8 — 0,9 для технических средств, находящихся в производстве более 20 лет;

$K_{Э}$  – коэффициент учета полезного эффекта в цене нового (модернизированного) технического средства, который дифференцируется в зависимости от новизны, значения и особенностей производства и применения новой (модернизированной) машины.

Коэффициент  $K_{Э}$  учитывает коммерческий интерес и потребителя, и производителя техники. Поэтому в каждом конкретном случае его величина может корректироваться по договоренности сторон. При отсутствии необходимых данных коэффициент  $K_{Э}$ , по сложившейся практике, может быть принят равным 0,7.

Исходя из полученных ранее данных, лимитная цена на новый электровоз составляет:

$$\begin{aligned} ЦЛ &= 36 \cdot 3,150,000 \cdot 0,8 + 223,327,676 \cdot 0,7 \\ &= 247,017,102 \text{ долларов США} \end{aligned}$$

#### 4.3. Расчет чистого дисконтированного дохода и срока окупаемости

Эффективность применения нового электровоза оценивается показателями, отражающими соотношение затрат и получаемых результатов от эксплуатации.

Основными показателями, характеризующими эффективность применения новой техники являются чистый дисконтированный доход (интегральный экономический эффект) и срок окупаемости затрат, связанных с приобретением новых локомотивов.

Чистый дисконтированный доход рассчитывается на основе сопоставления денежных потоков экономии эксплуатационных расходов и капитальных вложений на приобретение новых локомотивов по следующей формуле:

$$ЧДД = \sum_{t=1}^T \Delta И'_t \cdot \alpha_t - K \cdot \alpha_t, \quad (4.5)$$

где  $K = 5,950,000$  долларов США – стоимость закупки 1 нового электровоза.

Годовой экономический эффект определяется как разность между суммой затрат соответствующего года и капитальных вложений с последующим приведением по фактору времени – дисконтированием. Накопленная сумма годовых эффектов, приведенных к ценности в начальном периоде представляет собой интегральный эффект.

Одновременно может быть рассчитан срок окупаемости затрат на приобретение новых локомотивов, представляющий собой временной интервал, за пределами которого все затраты окупаются результатами.

Для рассматриваемого электровоза в результате расчетов по вышеприведенным формулам получено графическое изображение изменения чистого дисконтированного дохода для заданных размеров движения на участке, приведенное на рисунке 4.1.

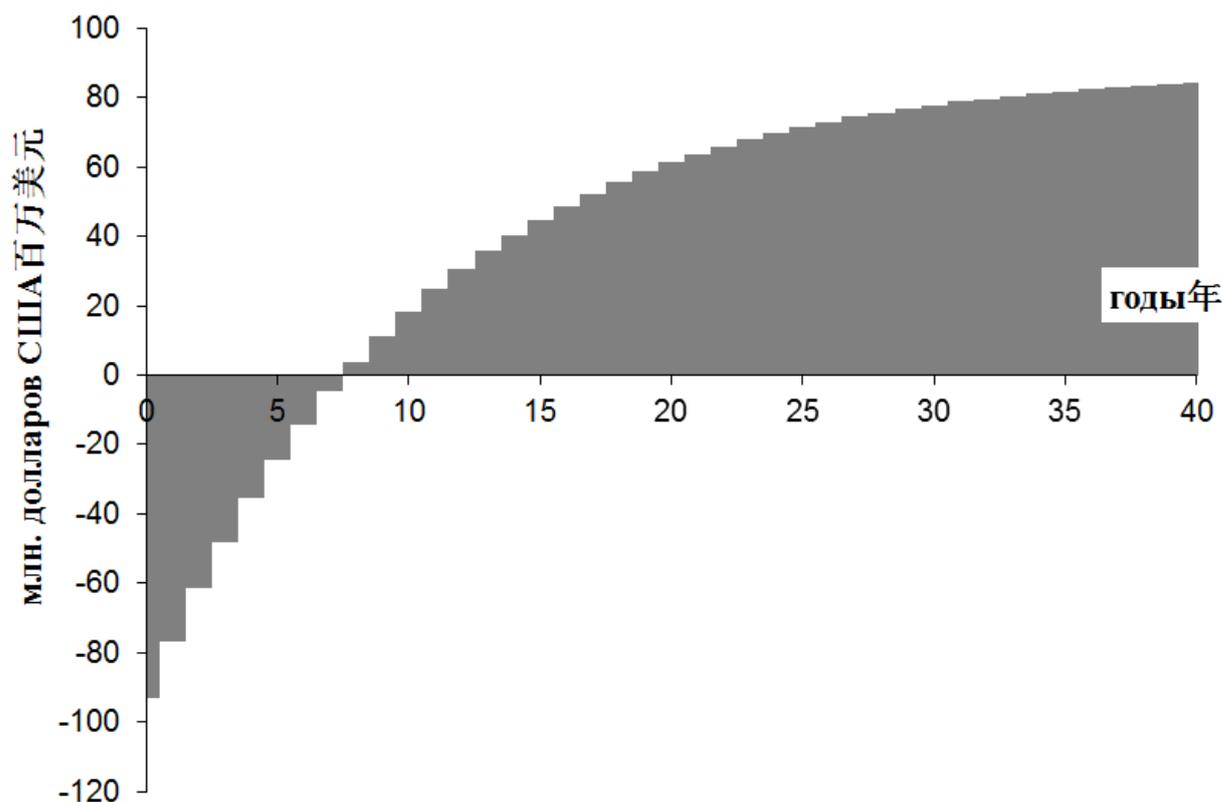


Рисунок 4.1 – Изменение чистого дисконтированного дохода.

Как видно из рисунка 4.1 срок окупаемости капитальных вложений в приобретение 1 нового электровоза составляет 7.6 года. Источником покрытия инвестиционных затрат является экономия эксплуатационных расходов. Чистый дисконтированный доход составляет 84.21 млн. долларов США. В расчете на 1 электровоз это значение составляет 4.95 млн. долларов США.

#### 4.4. Расчет внутренней нормы доходности

Внутренняя норма доходности – это процентная ставка, при которой чистый дисконтированный доход равен 0. Чистый дисконтированный доход

рассчитывается на основании потока платежей, дисконтированного к настоящему времени. Внутренняя норма доходности определяет максимально приемлемую ставку дисконта, при которой можно инвестировать средства без каких-либо потерь для собственника. Расчет внутренней нормы доходности проекта предполагает решение системы уравнений, количество которых определяется этапами планирования (в данном случае годами, количество которых соответствует сроку службы нового электровоза). Поэтому определение этой величины возможно с использованием финансовых калькуляторов. В результате расчетов получено значение 7.92 %.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В технико-экономическом обосновании приведены расчеты количественных и качественных показателей использования локомотивов ВЛ11 и ZEL1501, на основании которых были оценены составляющие эксплуатационных затрат и определены экономические показатели эффективности использования электровозов ZEL1501.

Все расчеты проведены из условия постоянства объема перевозок на участке железной дороги.

В результате расчетов установлено, что применение электровозов ZEL1501 вместо электровозов ВЛ11 позволяет сократить требуемый парк электровозов на 17 единиц при условии обеспечения существующих размеров движения.

При этом достигается годовая экономия эксплуатационных расходов по следующим составляющим затрат:

Составляющая затрат	ВЛ11	ZEL1501	Годовая экономия
Затраты на плановое техническое обслуживание и ремонт	5.40 млн. \$	2.28 млн. \$	3.12 млн. \$
Затраты на электроэнергию на тягу поездов	7.76 млн. \$	3.61 млн. \$	4.15 млн. \$
Затраты на оплату труда локомотивных бригад	1.18 млн. \$	0.43 млн. \$	0.75 млн. \$
<b>ИТОГО</b>	<b>14.34 млн. \$</b>	<b>6.32 млн. \$</b>	<b>8.02 млн. \$</b>

На основании этих расчетов, а так же учитывая стоимость базового электровоза в размере 3.15 млн. долларов США и стоимость нового электровоза в размере 5.95 млн. долларов США получены следующие экономические показатели для заданных размеров движения:

- Экономия стоимости жизненного цикла: 86.22 млн. долларов США;
- Полезный эффект: 223.33 млн. долларов США;
- Лимитная цена электровоза: 247.02 млн. долларов США;
- Чистый дисконтированный доход: 84.21 млн. долларов США;
- Срок окупаемости: 7.6 года;
- Внутренняя норма доходности: 7.92 %.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Методические рекомендации по обоснованию эффективности инноваций на железнодорожном транспорте. Утверждены Департаментом технической политики МПС РФ № ЦТех О-11 26.04.1999 г.
2. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте. М. 1998. Утверждены указанием МПС РФ № В-1024у от 31.08.1998 г.
3. Методика определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» № 2459р от 27.12.2007 г.
4. Регламент определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта. Введен распоряжением Президента ОАО «РЖД» В. И. Якунина № 509р от 17.03.2008 г.
5. Методические указания по определению технико-экономической эффективности новых и усовершенствованных электровозов. М.: «Транспорт», 1986 г.
6. Правила тяговых расчетов для поездной работы. М.: «Транспорт», 1985 г.

---

Приложение:

## **Описание о тяговых расчетах**

### **Электровоз серии ZEL1501**

## Оглавление

<b>1. ЦЕЛИ И ТРЕБОВАНИЯ.....</b>	<b>2</b>
<b>2. ОСНОВНАЯ ГИПОТЕЗА ТЯГОВЫХ РАСЧЕТОВ.....</b>	<b>3</b>
<b>3. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>4. РАСЧЕТЫ ОСНОВНЫХ ФОРМУЛ И АНАЛИЗ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ .....</b>	<b>7</b>
4.1 ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА .....	7
4.2 АНАЛИЗ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ .....	10

## Описание о тяговых расчетах локомотива серии ZEL1501 для Грузии

### 1. Цели и требования

Согласно просьбе Грузинской железной дороги по тяговым расчетам, проверить тяговые способности локомотива серии ZEL1501, предлагаемого эксплуатировать на пути «Tbilisi Railway Bypass Project», провести тяговые расчеты и предоставить рабочие характеристики в нижеследующем:

1) С учетом характеристик предлагаемого локомотива, максимально допустимая общая масса грузового поезда в этапе трогания,

2) С учетом характеристик предлагаемого локомотива, продольного сечения и местности пути, максимально допустимая общая масса грузового поезда при продолжительном движении,

3) При движении в различных участках время движения, замедления и ускорения грузового поезда,

4) Методы, используемые для тяговых расчетов

При проведении тяговых расчетов, необходимо рассмотреть нижеследующие условия:

1) грузовой поезд движется на спроектированных двух путях по двум направлениям продольного сечения, включая максимальный ограничительный подъем - 28,5%.

2) Рельс с отверстием типа R-65

3) Диапазон напряжения 2700В-4000В

4) Диаметр колеса 1205 мм

5) Полная загрузка четырехосного грузового поезда с подшипником качения,

6) Нужно рассмотреть кривую сопротивления грузового поезда и локомотива,

7) Максимальная допустимая скорость грузового поезда 80 км/ч

## 2. Основная гипотеза тяговых расчетов

Согласно фактическим требованиям заказчика и состоянию продольного сечения, предусматривать нижеследующие гипотезы при проверке тяговых расчетов локомотива:

1) Рельсы в хороших условиях, без учета рельса с отверстием:

2) При расчете максимально допустимой общей массы грузового поезда в условиях продолжительном движении, предположить, что соответствующий подъем является бесконечной прямой линией,

3) Согласно размеру ограничения тока провести отдельно рассчитать по 5-и частей пути из-за разного ограничения тока между станциями.

4) Тяговые характеристики локомотива определяется при полуизношенном колеса, диаметр которого составляет 1210 мм, таким образом, все расчеты основаны на диаметр колес 1210 мм.

5) Формула для расчета сопротивления проистекает от стандарта ТВ/Т 1407 — 1998 «Правила тяговых расчетов поезда»(стандартная колея) и результатов испытания на восьмиосный локомотив серии НХД1.

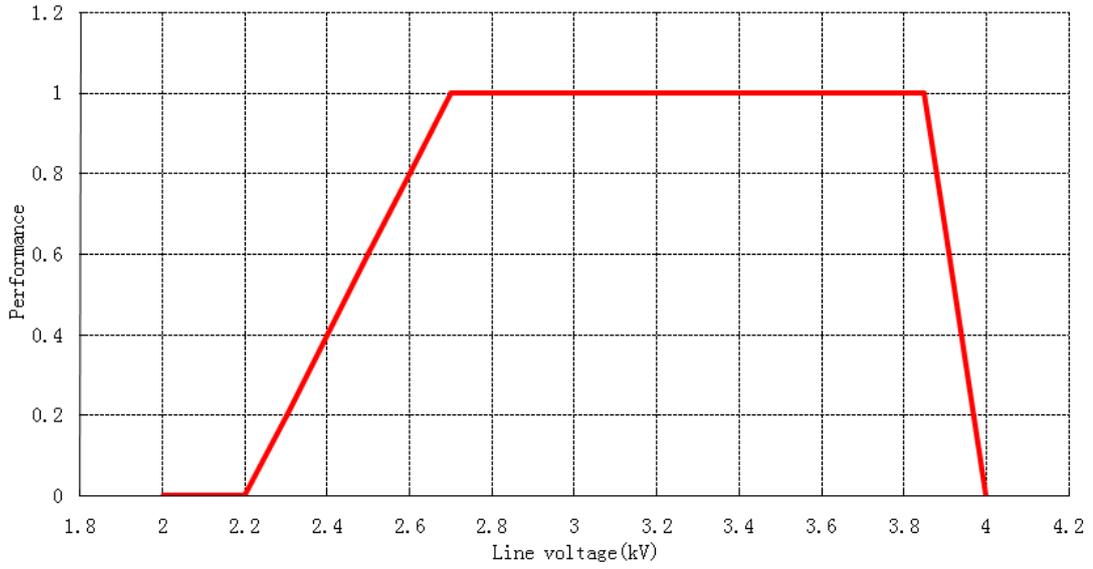
### 3. Основные технические параметры

Основные технические параметры для восьмиосного магистрального грузового электровоза с переменным приводом серии ZEL1501, предлагаемого для Грузии, заключаются в следующем:

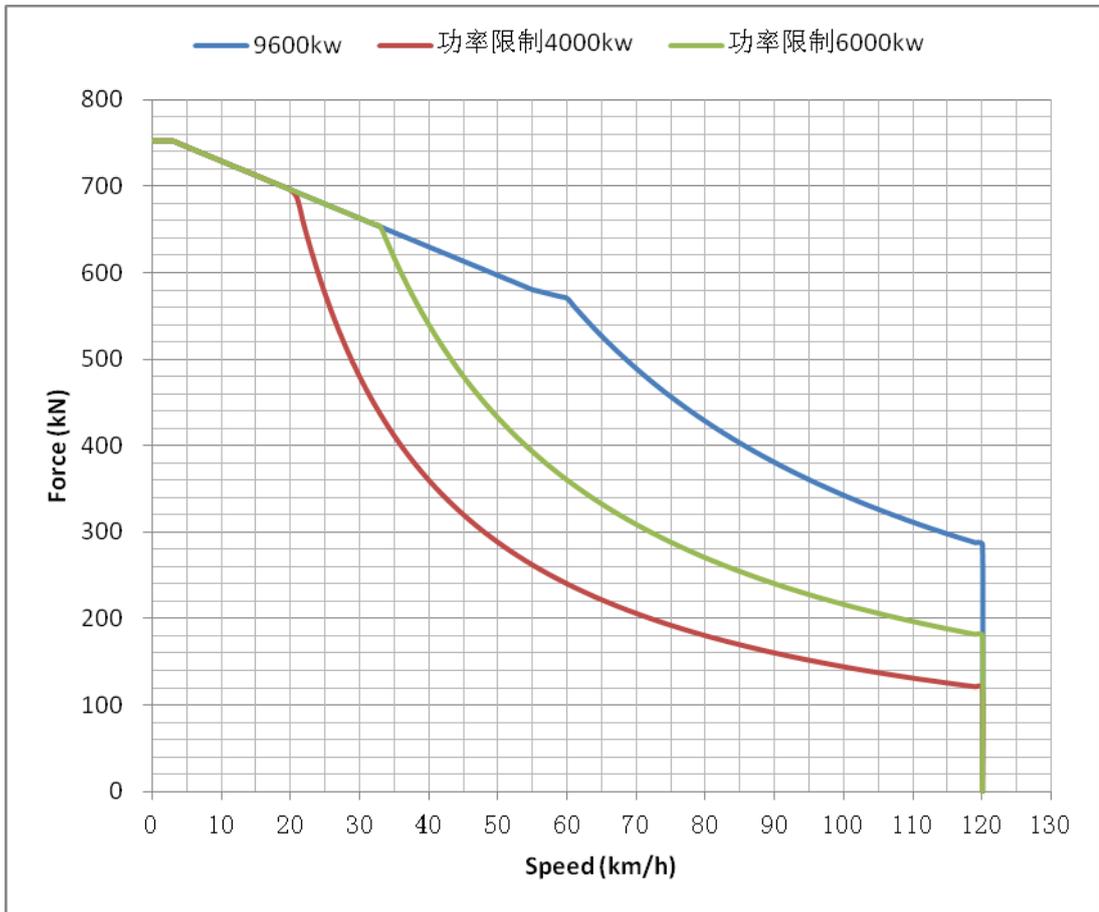
Назначение локомотива	Грузовой локомотив
Колея	1520мм
Формула колесных пар	2 ×(2о-2о)
Система тока	DC 3000В
Продолжительная тяговая мощность на ободу колеса	9600 кВт
Мощность рекуперативного торможения на ободу колеса локомотива(в продолжительном режиме)	2×3800 кВт
Мощность реостатного торможения локомотива(в продолжительном режиме)	2×2800 кВт
Нагрузка на ось	25 т
Общая масса локомотива	Менее 2 х 100 т
Тяговая сила при трогании	752 кН
Тяговая сила в продолжительной точке	580 кН
Скорость длительного режима	55 км/ч
Диапазон скоростей при постоянной мощности тяги	60 км/ч ~ 120 км/ч.
Вид электродинамического торможения	Рекуперативное торможение + реостатное торможение
Диапазон скоростей при постоянной мощности	78 ~ 120 км/ч.

рекуперативного торможения	
Диапазон скоростей при постоянной мощности реостатного торможения	58 ~ 120 км/ч.
Максимальная сила электродинамического торможения	350 кН
Максимальная эксплуатационная скорость	120 км/ч
Тяговая сила при максимальной скорости локомотива	285 кН
Диаметр колеса (новое/полуизношенное/изношенное)	1250/1210/1170мм

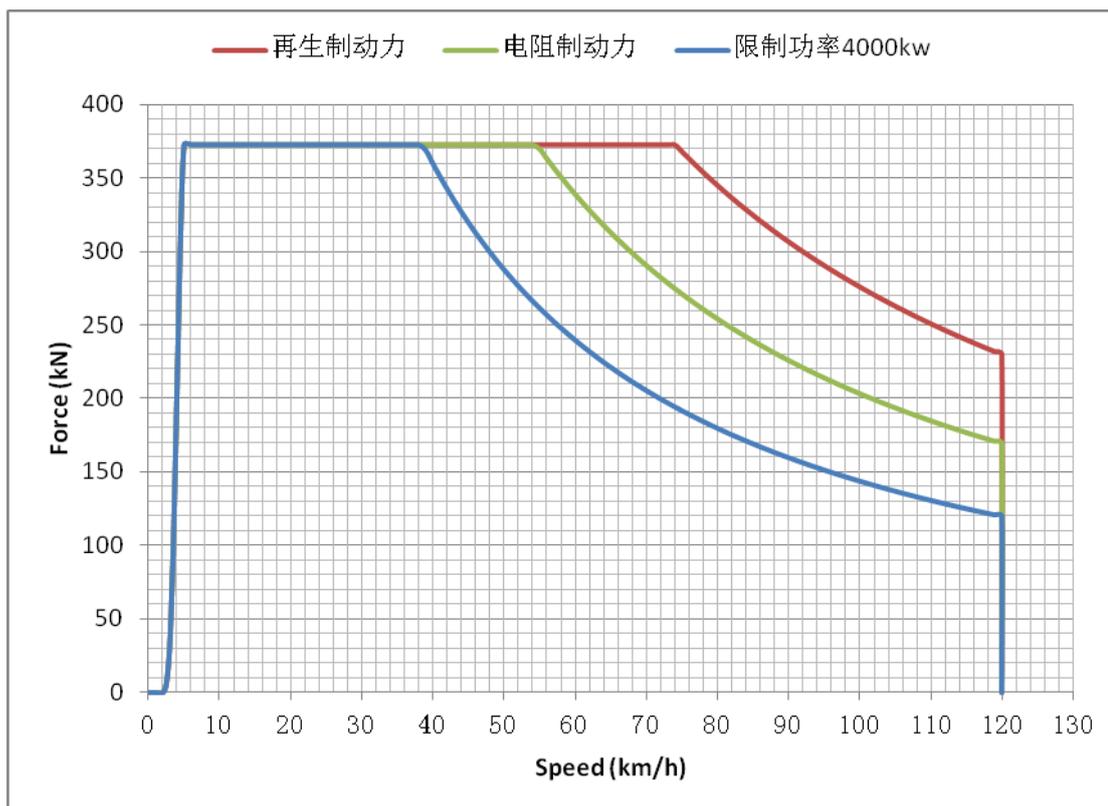
В диапазоне напряжения в контактной сети от 2,7 кВ до 3,85 кВ мощность локомотива на ободу колеса составляет 9600 кВт, в диапазоне напряжения в контактной сети от 2,7 кВ до 2,2 кВ мощность локомотива на ободу колеса - с линейным спадом с 9600 кВт до нуля, в диапазоне напряжения в контактной сети от 3,85 кВ до 4,0 кВ мощность локомотива на ободу колеса - с линейным спадом с 9600 кВт до нуля.



Процент функционирования мощности - напряжение в контактной сети



Тяговые характеристики локомотива



Характеристики рекуперативного торможения и реостатного торможения

#### 4. Расчеты основных формул и анализ нагрузочной способности

Тяговые расчеты в настоящем документе производится согласно требованиям расчета, характеристикам и вышеизложенным гипотезам для восьмиосного магистрального грузового электровоза с переменным приводом серии ZEL1501 , предлагаемого для Грузии.

##### 4.1 Основные формулы для расчета

Тяговые расчеты в настоящем документе производится в соответствии с ТВ/Т 1407 — 1998 «Правила тяговых расчетов поезда», расчетным коэффициентом силы сцепления в тяговом режиме, установленном в тендерном документе по технической спецификации, основные формулы для расчета приведены ниже:

- 1) расчетный коэффициент силы сцепления локомотива:  $\mu=0.316+4.6/(50+6v)-0.0006v$
- 2) сопротивление поезда  $W$ :  $W=W_0+W_i$
- 3) сопротивление поезда на прямом пути  $W_0$ :  $W_0 = (PW_0'+QW_0'') \times 9.81 \times 10^{-3}$
- 4) сопротивление движению локомотива  $W_0'$  ( по HXD1 25T ) :  
 $W_0'=1.40+0.0038V+0.0003V^2$  ( N/kN )
- 5) основное сопротивление единицы грузового поезда с подшипником качения  $W_0''$ :  $W_0''=0.92+0.0048V+0.0001251V^2$  ( N/kN )
- 6) основное сопротивление единицы при трогании:
- $W_0'=5$  ( N/kN ) ( локомотив )
- $W_0'=3,5$  ( N/kN ) ( грузовой поезд )
- 7) сопротивление поезда на подъеме  $W_i$ :  $W_i=(M_p + M_g) \times i \times 100 \times 9.81 \times 10^{-3}$  ( kN )
- 8) сопротивление дополнительной единицы на кривой  $W_R$ :  $W_R=600/R$  ( N/kN )
- 9) ограничительная масса поезда при трогании на ограничительном подъеме  $M_g$

$$M_g \leq \frac{F_q - M_p (w_q' + i_q) \cdot g \cdot 10^{-3}}{(w_q' + i_q) \cdot g \cdot 10^{-3}}$$

- 10) тяговая масса локомотива при постоянной скорости движения поезда на ограничительном подъеме  $M_{gl}$

$$M_{gl} = \frac{F_c - M_p (w_0' + i_x) \cdot g \cdot 10^{-3}}{(w_0' + i_x) \cdot g \cdot 10^{-3}}$$

В вышеизложенных формулах название физических величин, символы

и единицы измерения приведены ниже:

Номер	Символы	Название физических величин	Единицы измерения
1.	$\mu$	Расчетный коэффициент силы сцепления локомотива	
2.	$W_0$	Основное сопротивление единицы поезда при движении	N/kN
3.	$W_0'$	Основное сопротивление единицы локомотива при движении	N/kN
4.	$W_0''$	Основное сопротивление единицы подвижного состава при движении	N/kN
5.	$W_q'$	Основное сопротивление единицы локомотива при трогании, $W_q' = 5$	N/kN
6.	$W_q''$	Основное сопротивление единицы грузового поезда при трогании, $W_q'' = 3.5$	N/kN
7.	$W_i$	Сопротивление поезда на подъеме	kN

8.	$i_q$	При расчете на участке трогания добавить подъем в виде ‰	
9.	$i_x$	Руководящий подъем в виде ‰	
10.	$g$	Ускорение силы тяжести	$m/s^2$
11.	$F_q$	Максимальная тяговая сила при трогании	kN
12.	$F_g$	Тяговая сила при максимальной скорости локомотива	kN
13.	$F_c$	Продолжительная тяговая сила локомотива	kN
14.	$M_p$	Расчетный вес локомотива	t
15.	$M_g$	Тяговая масса	t

## 4.2 Анализ нагрузочной способности

1) анализ максимально допустимой массы грузового поезда

В соответствии с формулой (9) один локомотив буксирует грузовой поезд на ограничительном подъеме 28,5‰, расчет ограничительной массы при трогании под буксированием одного локомотива приведен ниже:

Руководящий подъе	Ограничительная масса грузового поезда
28,5‰	≤2188t

2) анализ максимально допустимой массы грузового поезда при продолжительном движении

В соответствии с формулой (10) один локомотив буксирует грузовой поезд на ограничительном подъеме 28,5‰ с постоянной скоростью движения, параметры для расчета приведены ниже:

$F_c$	580
$M_p$	200
$W_0'$	2,52
$i_x$	28,5
$W_0''$	1,56
$g$	9,81

полученная от расчета максимальная масса грузового поезда при буксировке одного локомотива, что находится в продолжительном движении на ограничительном подъеме:

Руководящий подъем	Ограничительная масса грузового поезда
28,5‰	≤1770t

### 3) Расчет время движения грузового поезда

Согласно требованиям расчета, максимальная эксплуатационная скорость грузового поезда ограничатся до 80 км/ч.

Учитывает, что путь, использованный для расчета, является частью пути для соединения магистрального пути, и на заданной точке старта и заданной конечной точке не предусматривается станция, на точке старта расчетного участка скорость поезда начинается с нуля, в расчетном участке и конечной точке поезд не остановится.

Электродинамическое торможение предлагаемого локомотива серии ZEL1501 имеет 2 способа: рекуперативное торможение и реостатное торможение, при моделирующем расчете только рассматривается рекуперативное торможение.

Грузовой поезд для расчета является китайским популярным поездом серии С64, параметры которого приведены ниже:

车辆类型	C64	闸瓦类型	中磷闸瓦
轴承类型	滚动轴承	换算闸瓦压力	(500kPa) (600kPa)
换 长	1.2	空 车	160 160
自 重	20.6	重 车	250 280
载 重	60		
运行的单位基本阻力			
空车	2.23	+	0.0053 * V + 0.000675 * V <sup>2</sup>
重车	0.92	+	0.0048 * V + 0.000125 * V <sup>2</sup>
			新建

По данным продольного сечения пути, предоставленного заказчиком, в нижеизложенном рисунке показан пример установки расчетных параметров:

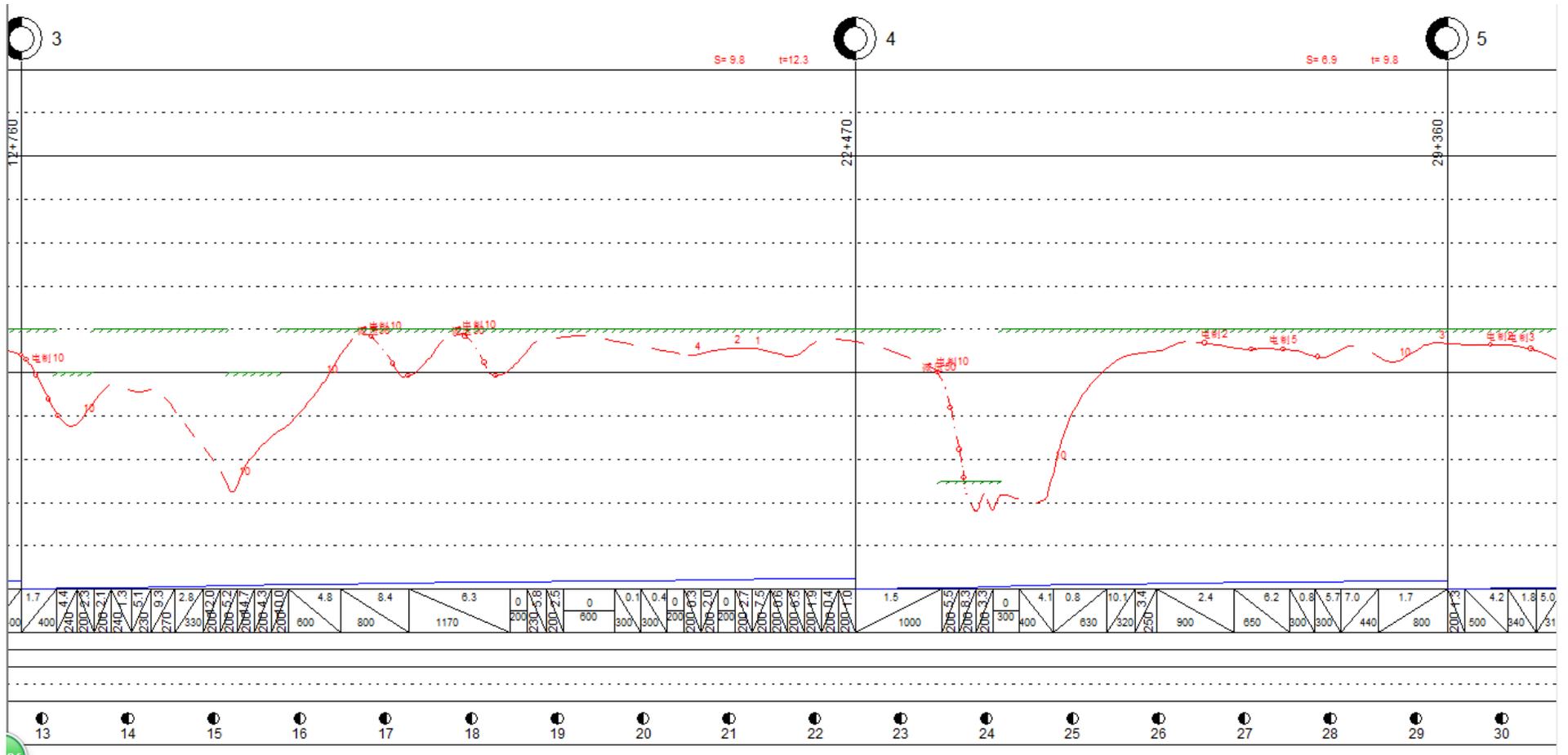
а) На участке Батуми-Самтредиа1, один локомотив движется, из-за максимального ограничения тока пути в диапазоне 1100-1500А, ограничение мощности локомотива 4000кВт.

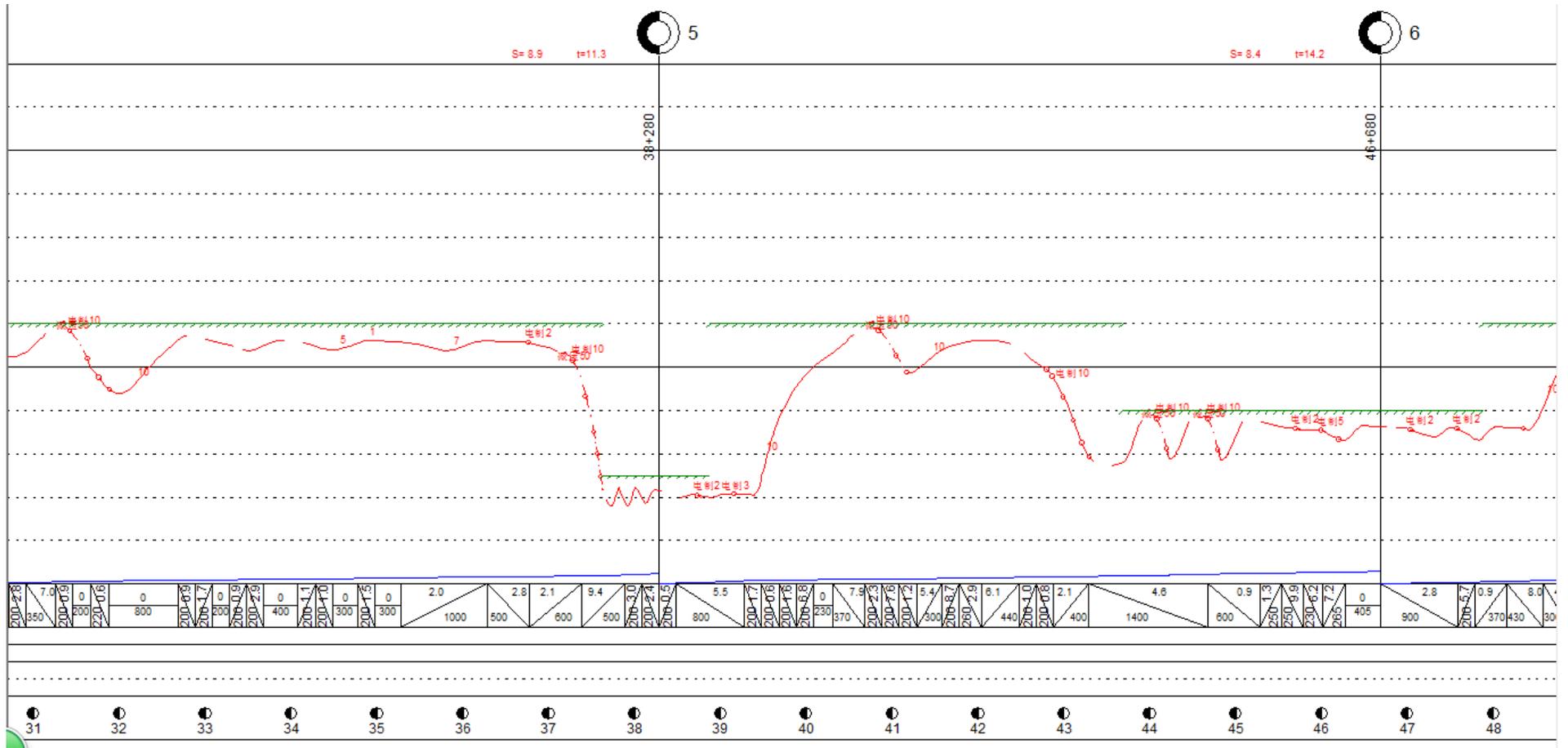
Общая масса поезда 3500т, средние расходы на энергию, 10 тыс.т.км: 77,2кВт.ч, количество электричества рекуперативного торможения 850кВт.ч, расходы на время и энергию приведены ниже:

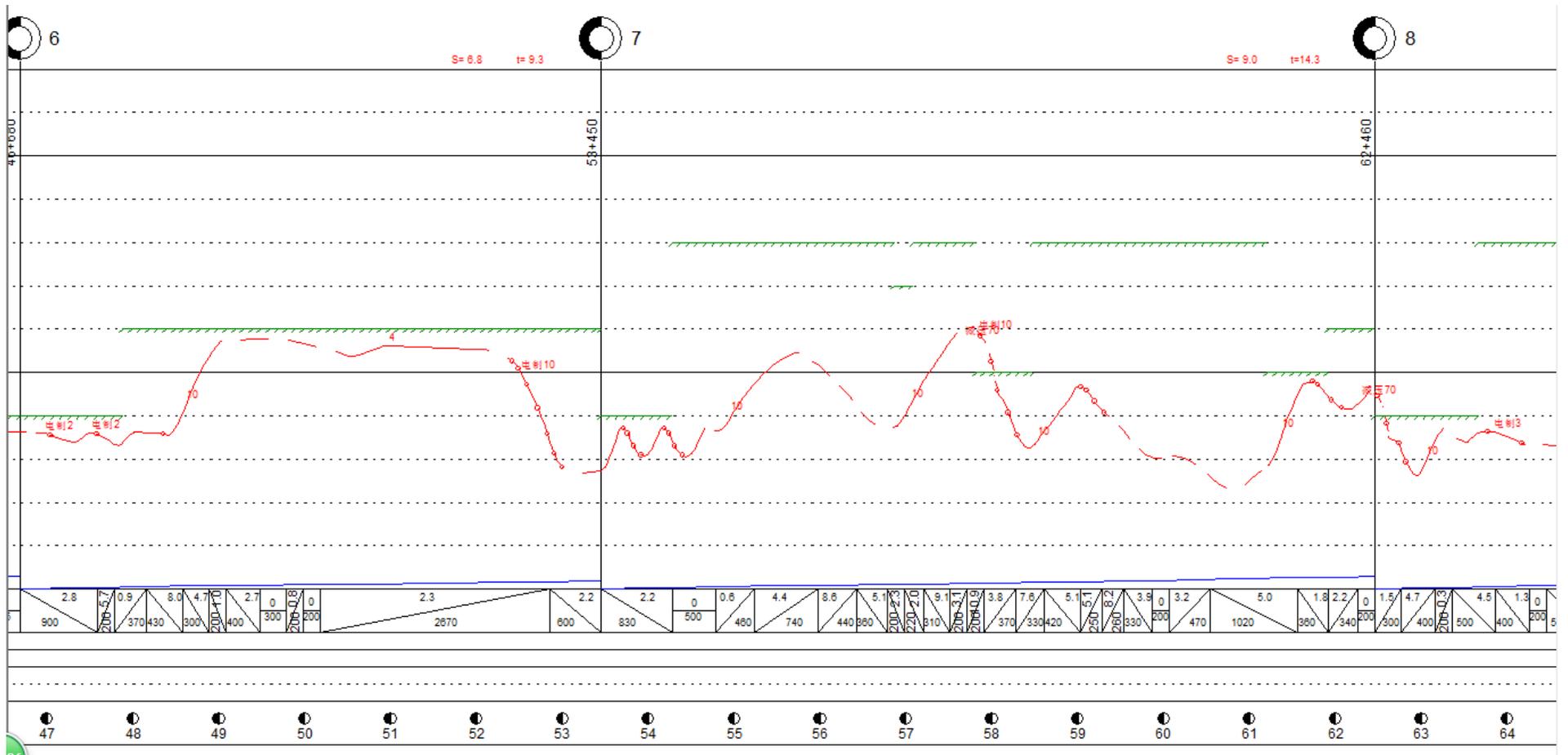
Станция отправления	Станция назначения	Время (ч)	Средняя скорость (км/ч)	Расходы на энергию (кВт.ч)
Батуми	Махинджаури	00:13:44	24,7	166
Махинджаури	Чакви	0:08:47	48,5	214
Чакви	Кобулети	0:12:24	47,0	337
Кобулети	Очхамури	0:11:12	36,9	268
Очхамури	Натанеби	0:11:30	46,5	208
Натанеби	Уреки	0:14:31	34,7	262
Уреки	Супса	0:09:28	42,9	133
Супса	Джумати	0:13:07	41,2	256

Джумати	Ланчхути	0:16:19	43,4	358
Ланчхути	Нигоити	0:08:34	46,9	171
Нигоити	Джапана	0:08:38	43,6	150
Джапана	Саджавахо	0:08:45	52,3	151
Саджавахо	Самтрedia 1	0:16:15	34,7	202
Итого	Общая длина 104,26 км	2:36:07	40,1	2876

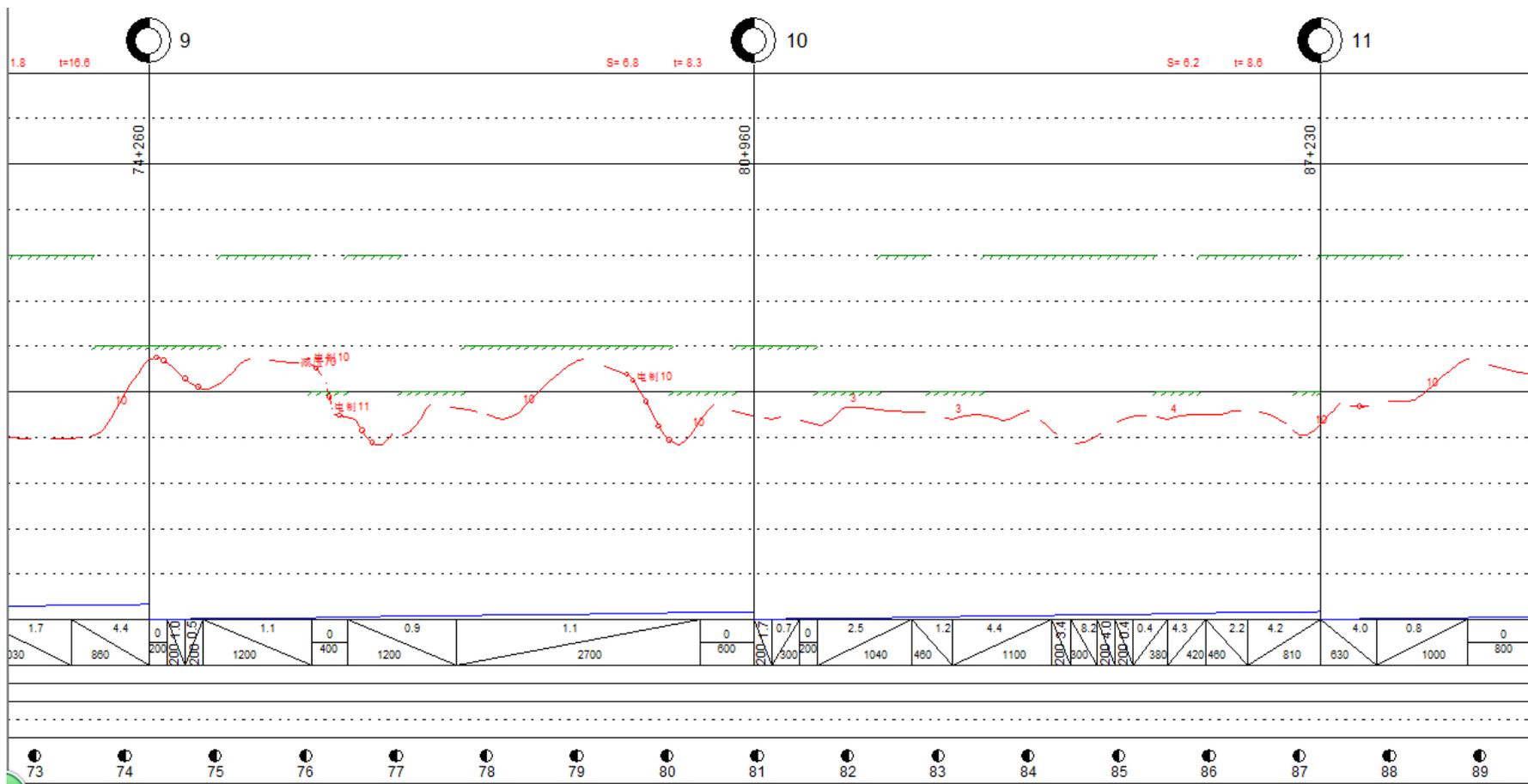






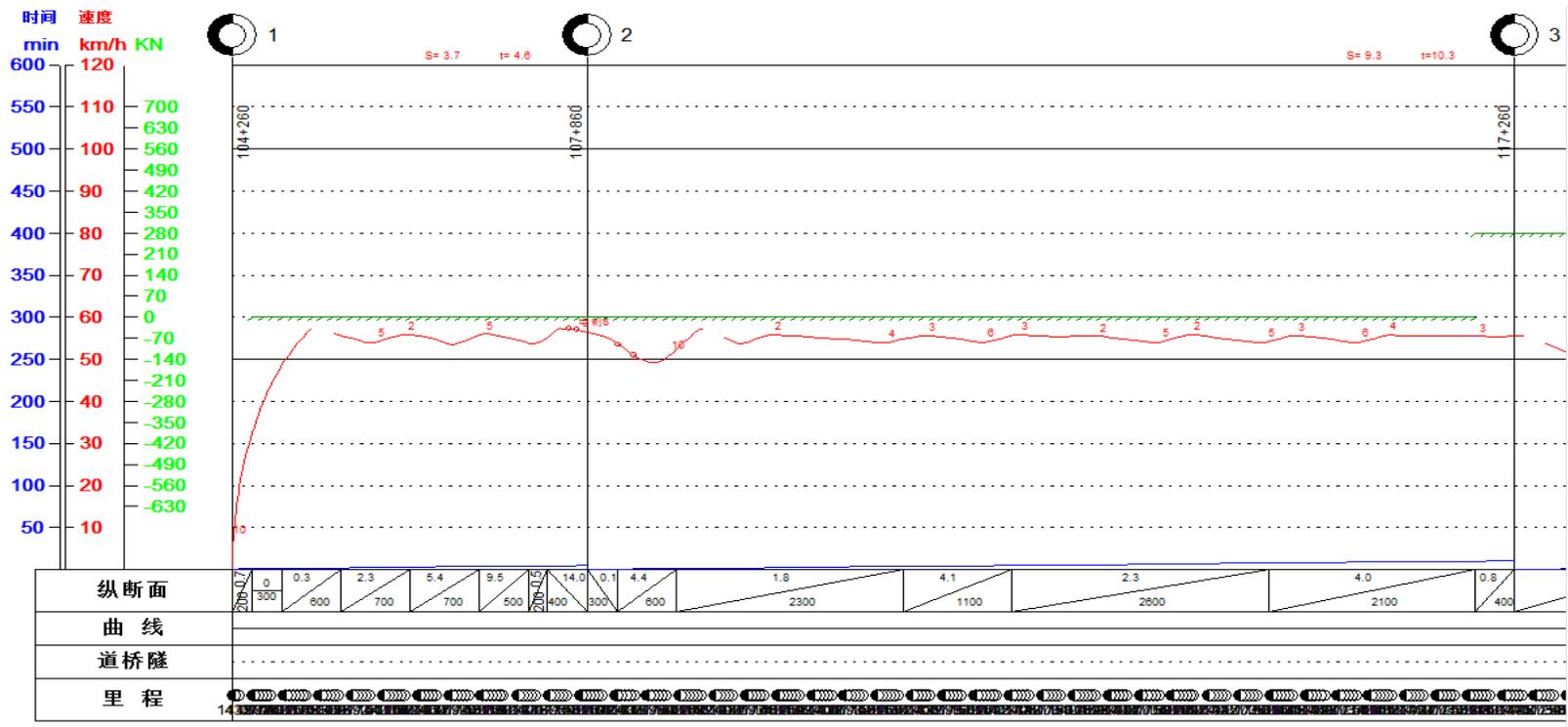






b) На участке Самтредиа 1-Аджамети, один локомотив движется, максимальное ограничение тока пути 2000А, ограничение мощности локомотива 6000кВт, средние расходы на энергию, 10 тыс.т.км: 123,0кВт.ч, количество электричества рекуперативного торможения 130кВт.ч.

Станция отправления	Станция назначения	Время (ч)	Средняя скорость (км/ч)	Расходы на энергию (кВт.ч)
Самтредиа 1	Самтредиа 2	0:04:33	45,6	252
Самтредиа 2	Копитнари	0:10:15	55,0	383
Копитнари	Мухиани	0:09:53	53,4	435
Мухиани	Броцеула	0:04:56	54,7	215
Броцеула	Риони	0:06:34	37,5	77
Риони	Аджамети	0:07:54	41,0	170
Итого	Общая длина 35,8 км	0:47:07	45,7	1542

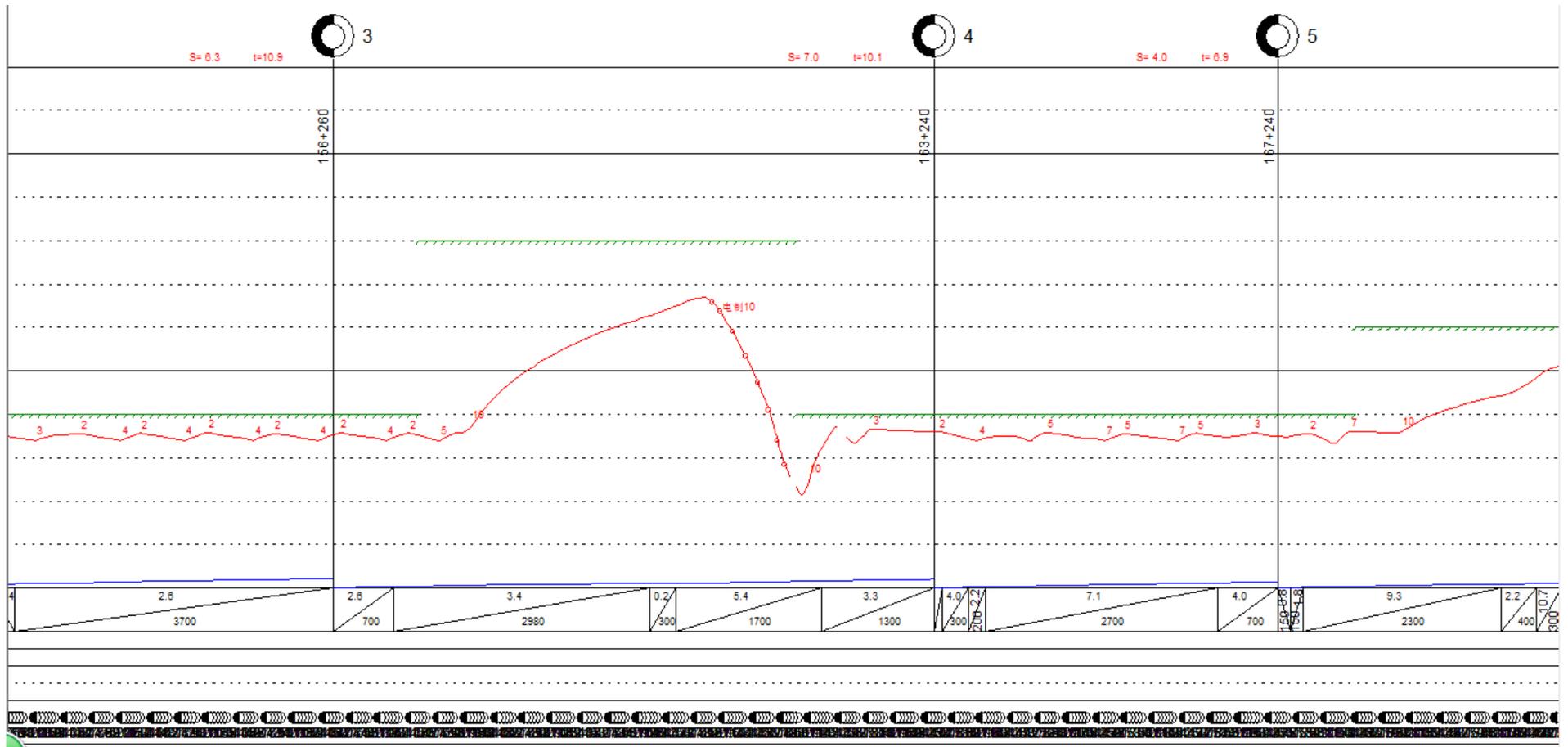


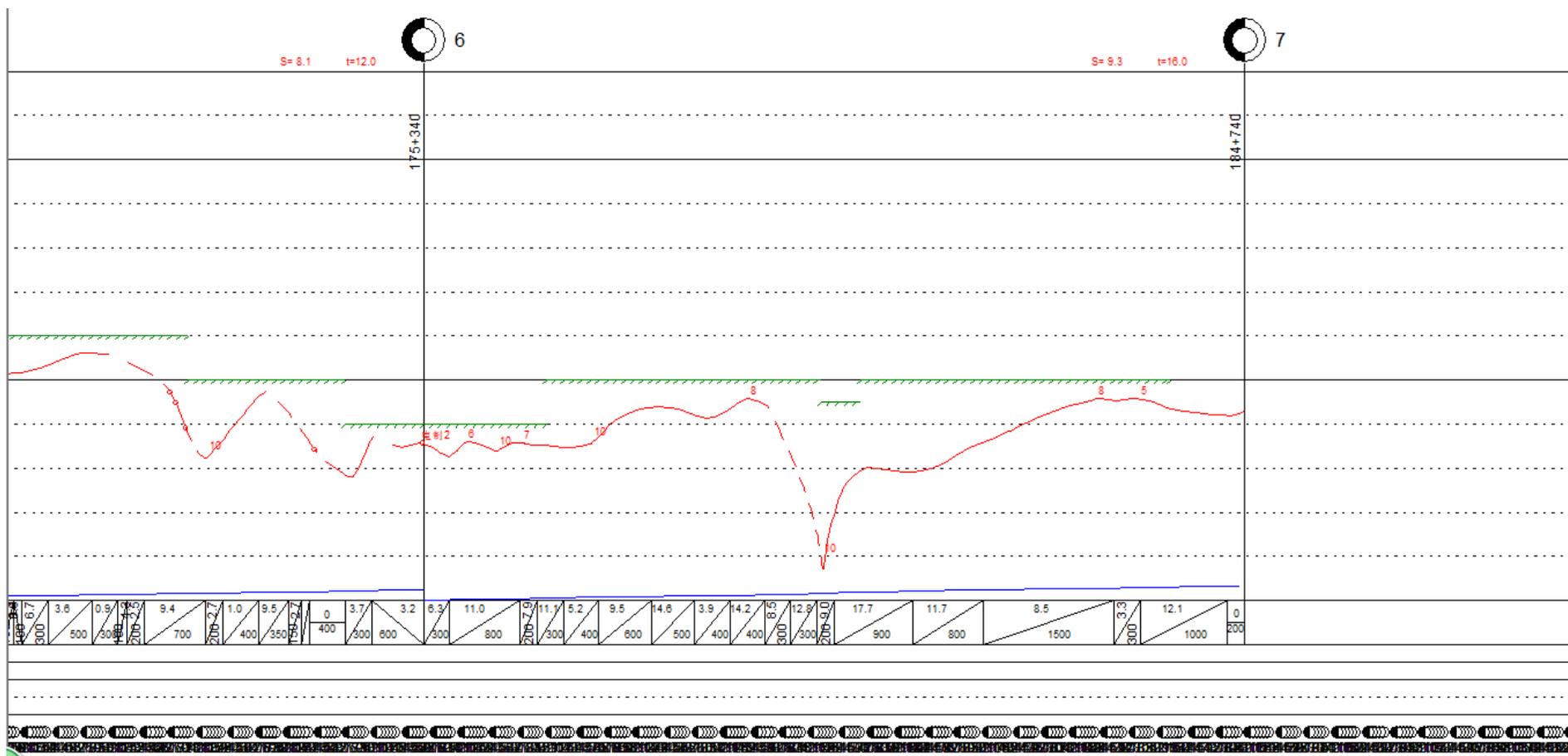


1100-1600А, ограничение мощности локомотива 4000кВт, средние расходы на энергию, 10 тыс.т.км: 171,2кВт.ч, количество электричества рекуперативного торможения 84кВт.ч.

Станция отправления	Станция назначения	Время (ч)	Средняя скорость (км/ч)	Расходы на энергию (кВт.ч)
Аджамети	Свири	0:17:29	34,0	408
Свири	Аргвета	0:10:51	34,8	171
Аргвета	Зестафони	0:09:52	42,4	392
Зестафони	Шорапани	0:06:53	34,9	256
Шорапани	Дзирула	0:12:50	37,9	552
Дзирула	Харагаули	0:15:29	36,4	979
Итого	Общая длина 44,68 км	1:13:16	36,7	2733



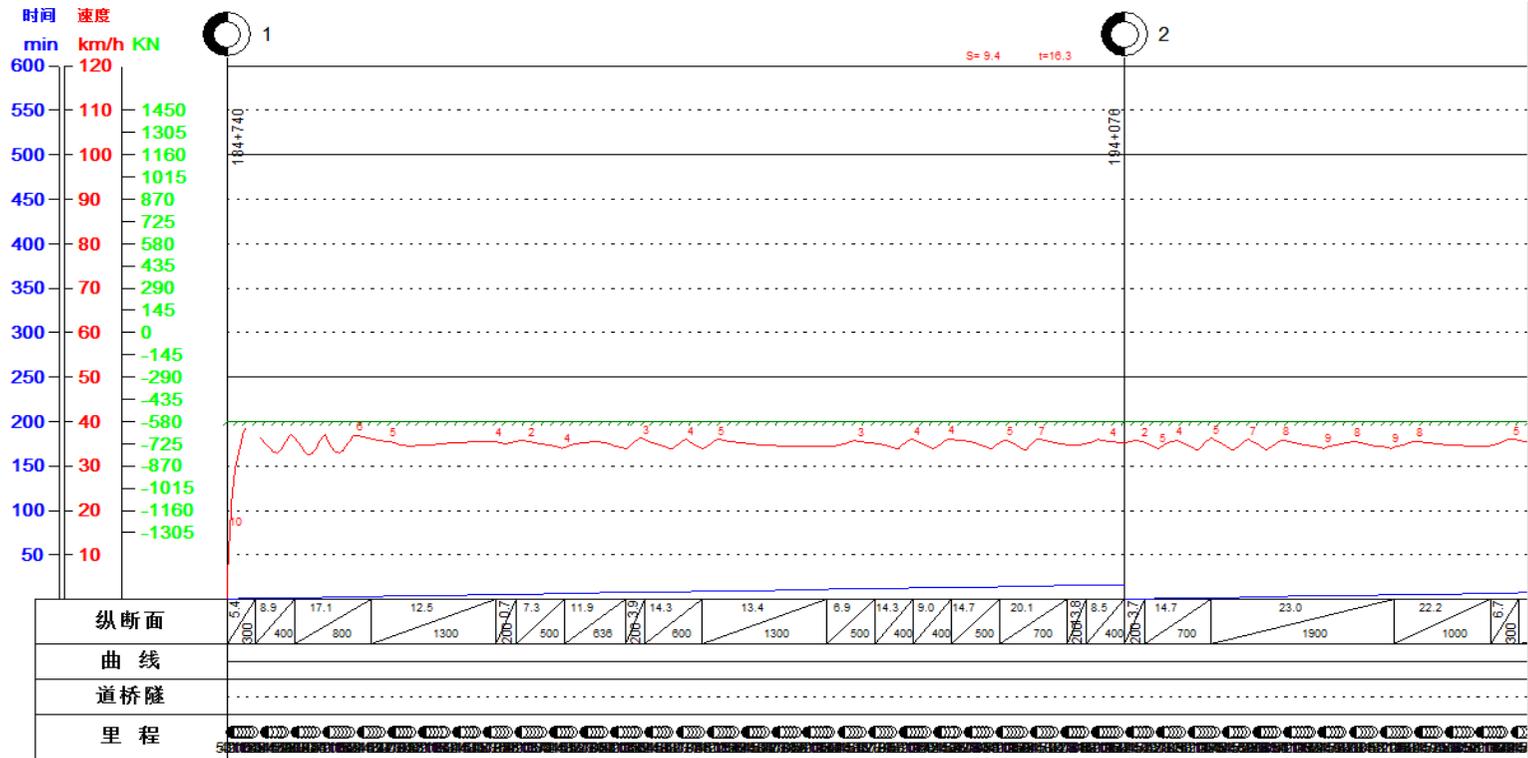


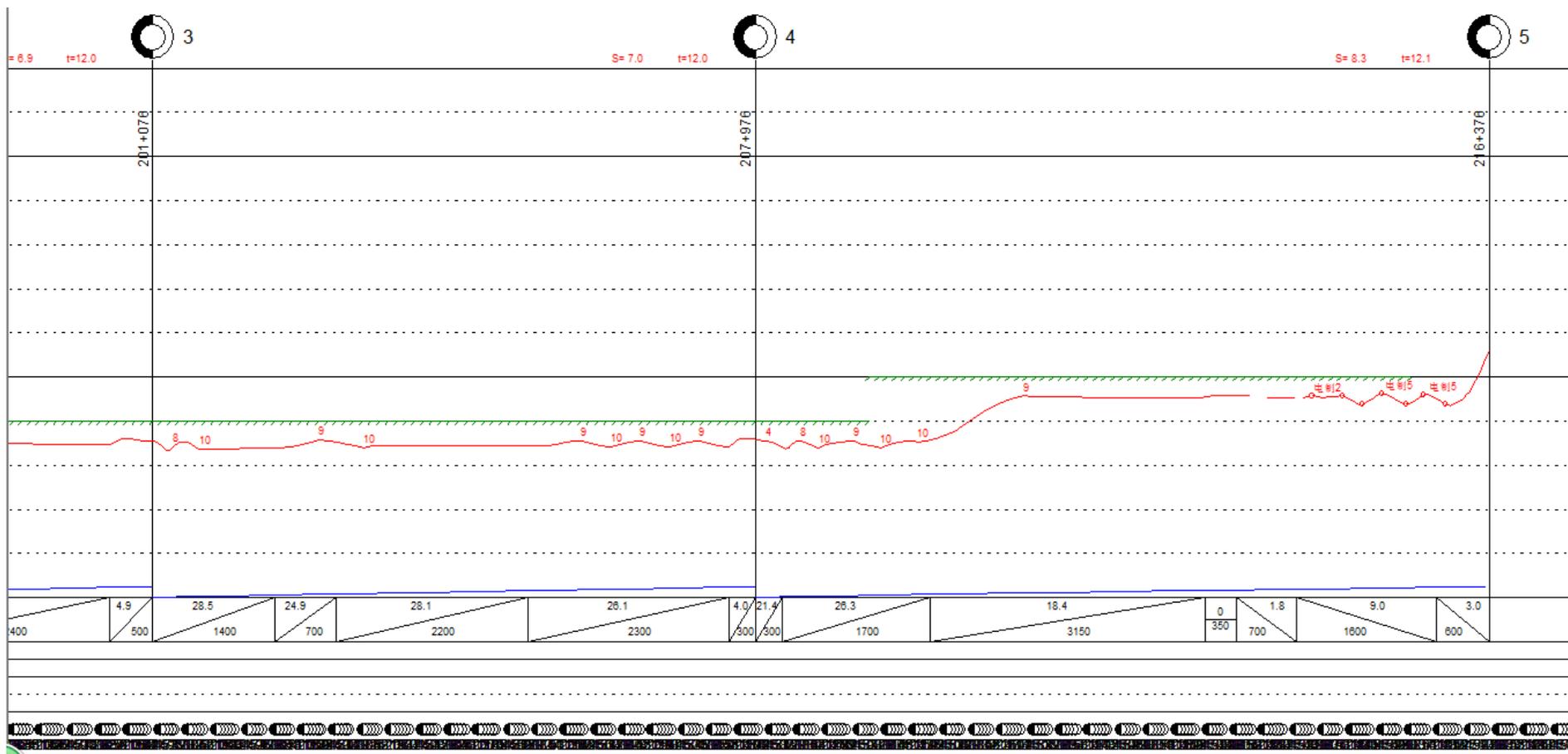


d) На участке Харагаули-Лихи, максимальный подъем пути 28,5‰, максимальное ограничение тока пути 4500А, для буксировки требуется два локомотива по системы многих единиц, ограничение мощности локомотива каждого

локомотива 4000кВт, средние расходы на энергию, 10 тыс.т.км: 489,5кВт.ч, количество электричества рекуперативного торможения 87кВт.ч.

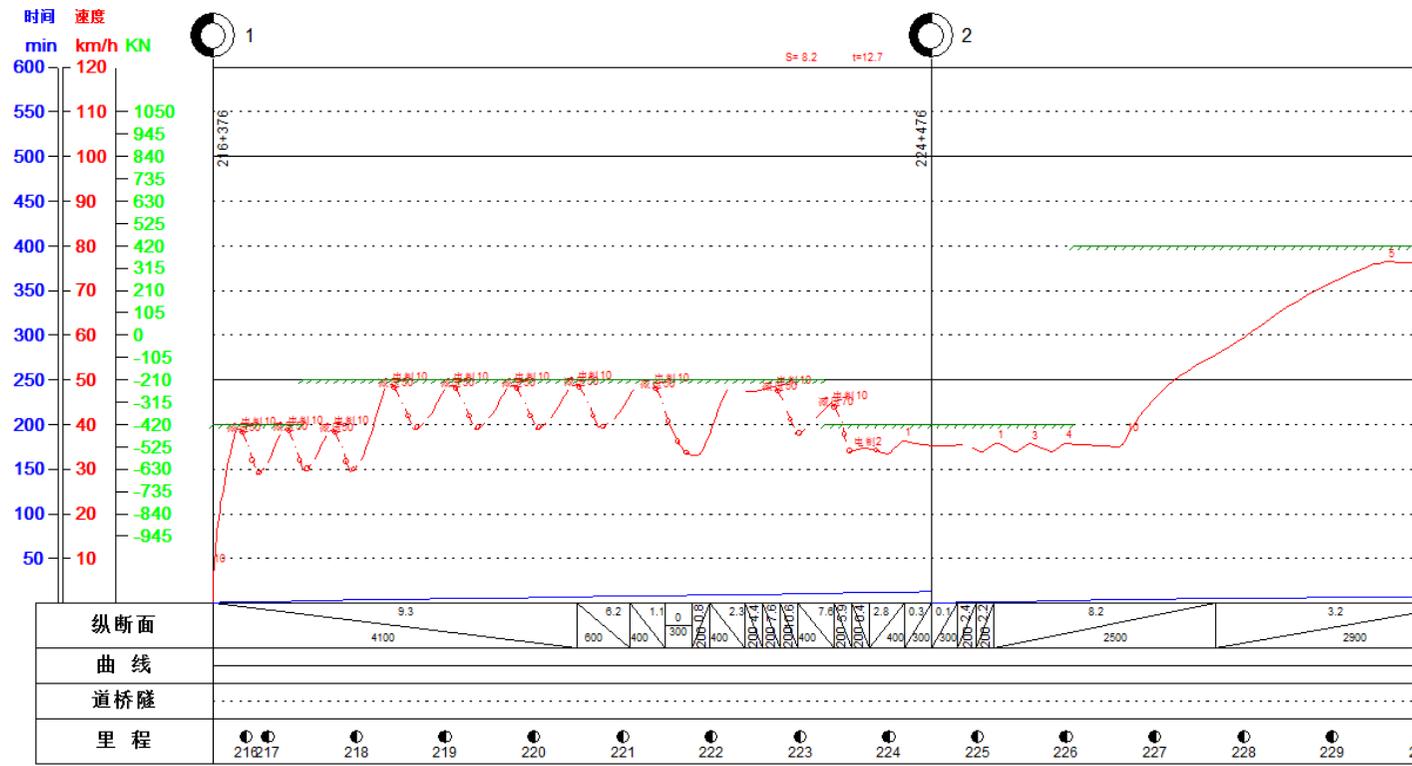
Станция отправления	Станция назначения	Время (ч)	Средняя скорость (км/ч)	Расходы на энергию (кВт.ч)
Харагаули	Марелиси	0:16:17	34,4	1217
Марелиси	Молити	0:12:02	34,9	1315
Молити	Ципа	0:12:00	34,5	1768
Ципа	Лихи	0:12:04	41,8	1188
Итого	Общая длина 31,636 км	0:52:28	36,5	5531

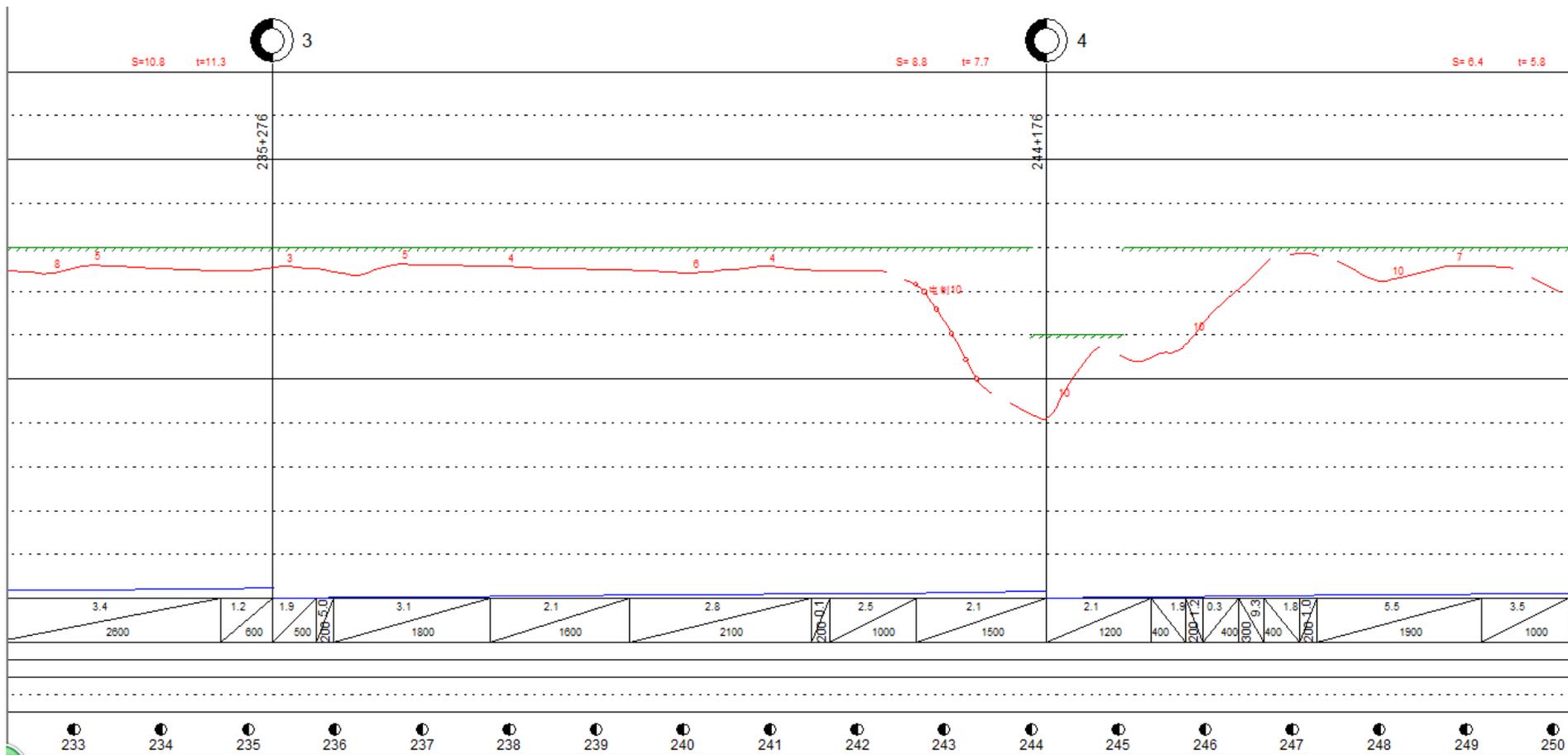


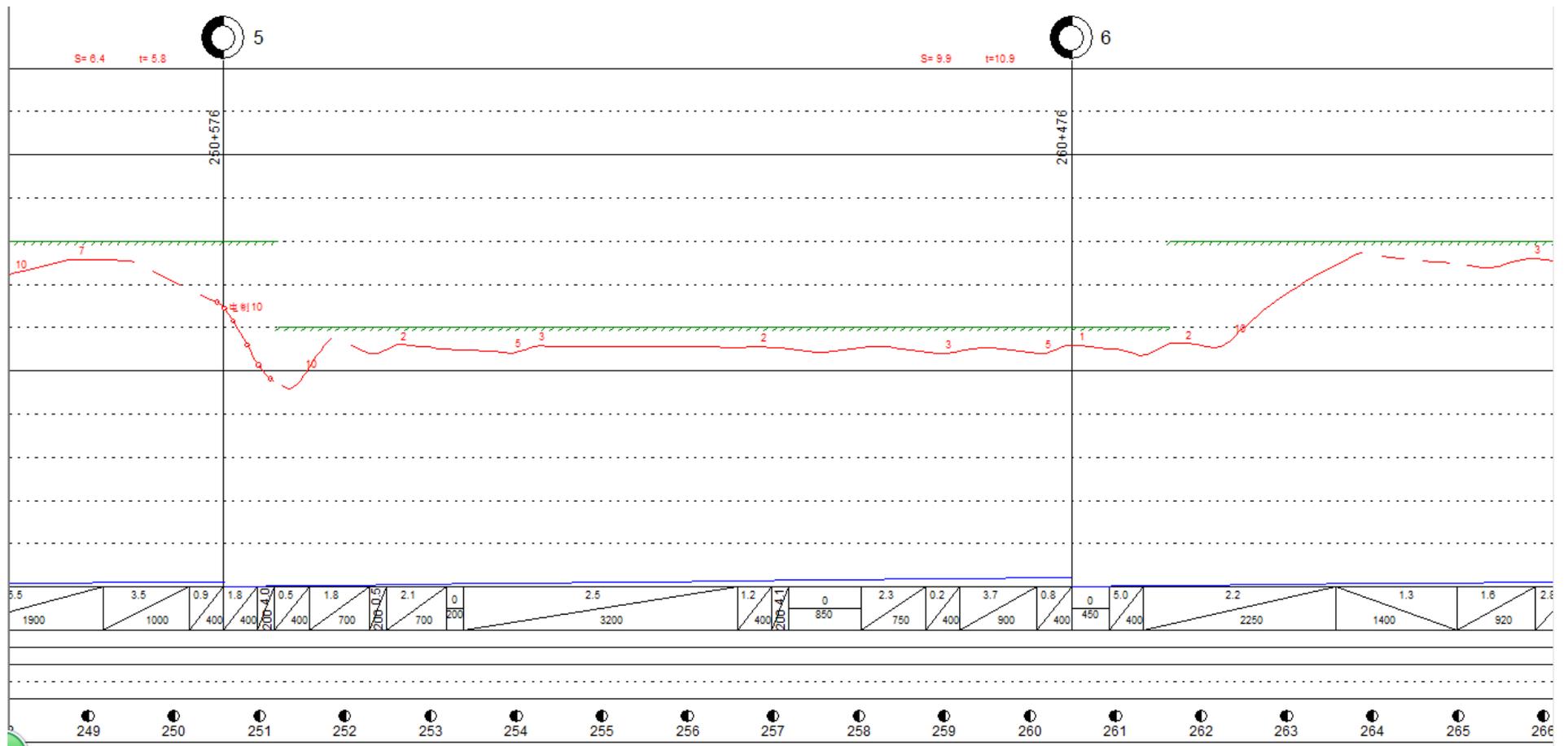


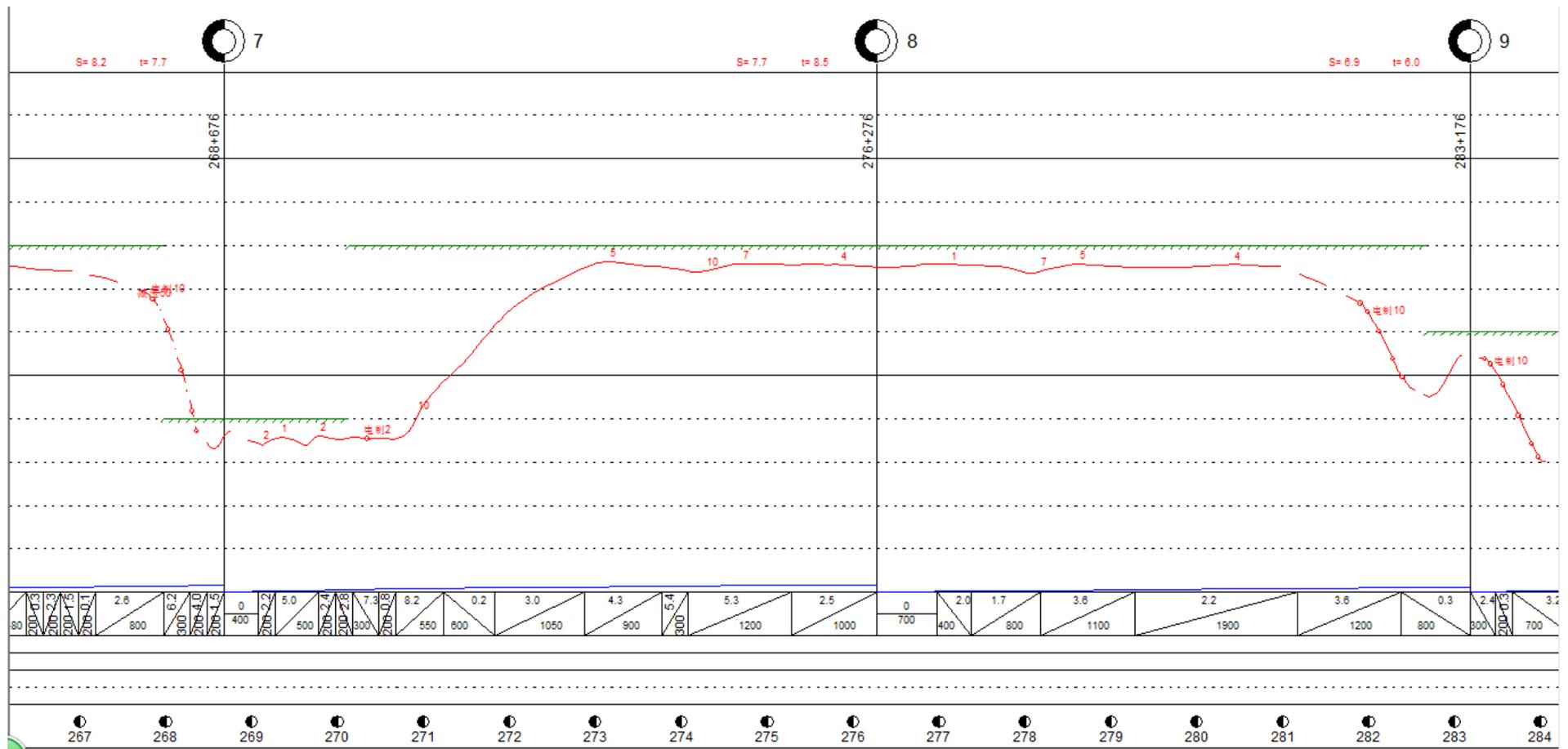
б) На участке Лихи-Гардабани, максимальное ограничение тока пути 2000А, ограничение мощности каждого локомотива 6000кВт, средние расходы на энергию, 10 тыс.т.км: 129,2кВт.ч, количество электричества рекуперативного торможения 1378кВт.ч.

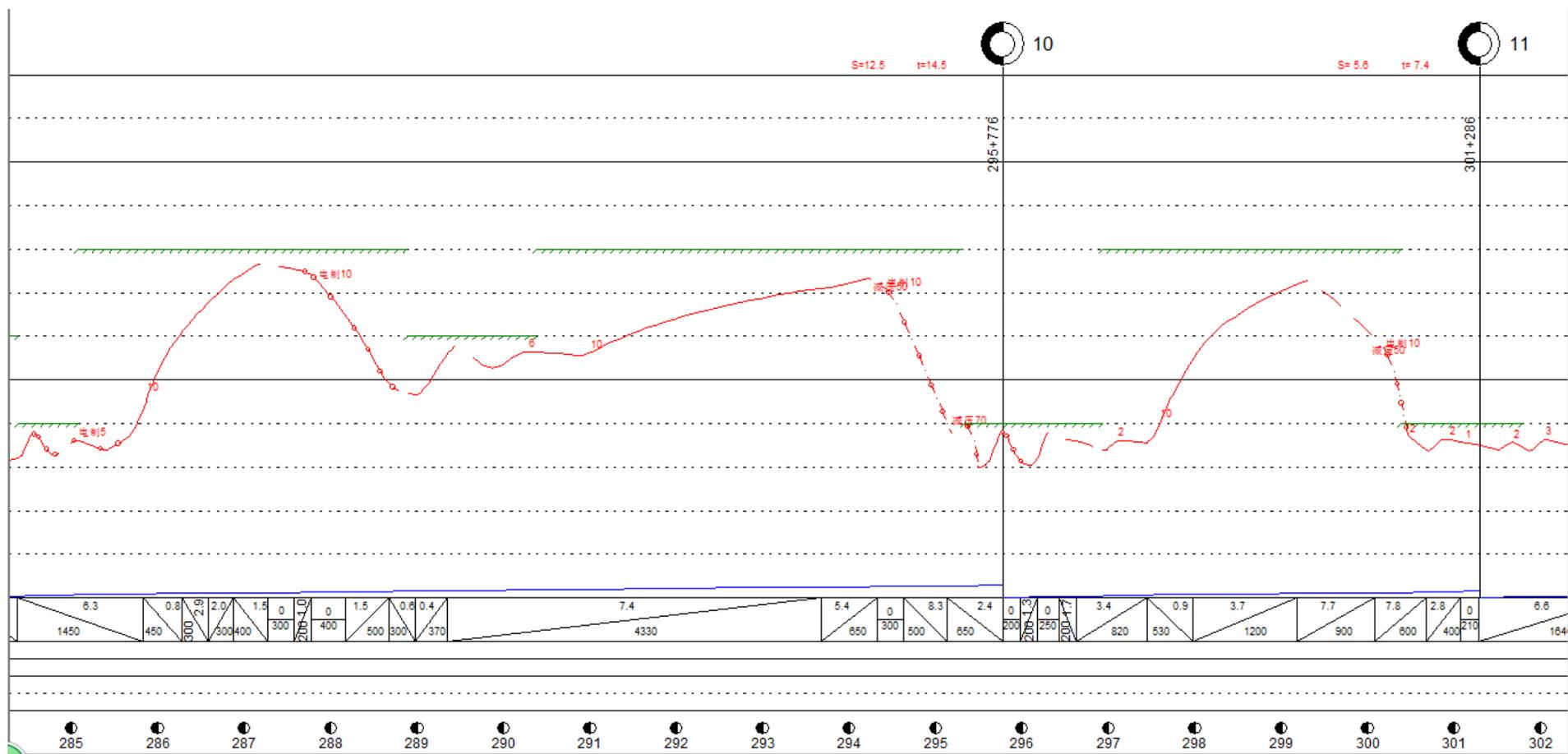
Станция отправления	Станция назначения	Время (ч)	Средняя скорость (км/ч)	Расходы на энергию (кВт.ч)
Лихи	Хашури	0:12:46	38,1	192
Хашури	Гоми	0:11:16	57,5	743
Гоми	Агара	0:08:05	66,1	471
Агара	Караели	0:05:50	65,8	285
Караели	Скра	0:11:04	53,6	360
Скра	Гори	0:08:23	58,7	348
Гори	Уплисцихе	0:08:31	53,5	503
Уплисцихе	Гракали	0:06:26	64,4	357
Гракали	Каспи	0:14:11	53,3	
Каспи	Кавтисхеви	0:07:50	42,2	349
Кавтисхеви	Ксани	0:09:59	60,2	525
Ксани	Дзегви	0:05:31	52,2	130
Дзегви	Мцхета	0:08:03	49,9	312
Мцхета	Загес	0:09:13	52,2	355
Загес	Авчала	0:03:28	52,5	111
Авчала	Тб.товар.	0:10:10	46,6	347
Тб.товар.	Тб.пасс.	0:03:27	40,0	36
Тб.пасс.	Тб.узлов.	0:11:19	34,5	278
Тб.узлов.	Тб.сорт.	0:06:52	35,0	194
Тб.сорт.	Вели	0:09:42	31,5	400
Вели	Гачиани	0:08:45	37,9	367
Гачиани	Рустави	0:13:55	40,0	289
Рустави	Гардабани	0:17:36	29,3	329
Итого	Общая длина 166,683 км	3:31:01	47,4	7695











Г) Средняя скорость движения в эксплуатационном участке составляет 42,6 км/ч, общие расходы на энергию: 20377 кВт, средние расходы на энергию, 10 тыс.т.км: 159,6 кВт.ч, количество электричества рекуперативного торможения

2529 кВт.ч.

**Примечание: настоящий отчет по тяговым расчетам является теоретическими расчетами на основании гипотетических условий только для выбора тягового тоннажа поезда.**