

## ПЕРЕРАСЧЕТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОВОЗА

### 1 Введение

В соответствии с методикой определения жизненного цикла электровоза и экономической эффективности и остальными документами, выпущенными ГЖД в своем официальном сайте в апреле текущего года, настоящим предоставляем новые расчеты технико-экономического обоснования электровозов ZEL1501.

### 2 Основание для расчета

При расчете технико-экономического обоснования были использованы следующие документы:

№	Наименование документа	Примечание
1	Методико определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта	Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от «27» декабря 2007 г. № 2459р
2	Приложение №2 (danarti_1_2) Исходные параметры для расчёта технико-экономического обоснования	Исходные данные по базовым электровозам серии ВЛ10/ВЛ11
3	Приложение №2А (2а danarti_2_2а)	Характеристика участка обращения Батуми-Гардабани  (Подробный спрямленный профиль пути с обозначением ограничений максимальной скорости) для четного и нечетного направления)
4	IEC 60300—3—3 Менеджмент надежности. Оценка стоимости жизненного цикла. Руководство по применению.	Международная электротехническая комиссия

---

### **3 Расчет технико-экономического обоснования эффективности электровоза**

#### **3.1 Технические характеристики электровоза серии ZEL1501**

- ✧ Электровоз имеет более большую тяговую силу при трогании и продолжительную мощность, и отличается превосходной тяговой характеристикой. Сила тяги при трогании электровоза серии ZEL1501 (752кН) превышает электровозы ВЛ10/ВЛ 11 (613кН) на 147кН. Мощность на вале – 1200 кВт, общая мощность – 9600кВт. При одной и той же скорости, тяговая сила продолжительного режима увеличена на 78%, чем у электровозов ВЛ10/ВЛ11. Пропуская способность железных линиях будет увеличена на 20% без необходимости изменения расписания движения поездов.
- ✧ Максимальная эксплуатационная скорость электровоза ZEL1501 (120км/ч) превышает электровозы ВЛ10/ВЛ11 на 20%, что увеличивает пропускную способность железных дорог и отвечает потребностям развития высокоскоростой тяжеловесной перевозки в ближайшие годы для Грузии.
- ✧ Для приводной системы применены новейший фазовый модуль IGBT в 6,5кВ типа водяного охлаждения и переменный тяговой электродвигатель с большой мощностью. Один тяговой двигатель питается от одного модуля IGBT, осуществляет по-осное регулирование.
- ✧ Тормозная система отдает приоритет рекуперативному торможению, что позволит возвращать тормозную энергию обратно в сеть. Резистивное торможение применяется и тормозная энергия потребляется только при насыщенной сети. Таким образом, электровоз ZEL1501 более энергосберегающий по сравнению с электровозами ВЛ10/ВЛ11.
- ✧ На электровозе ZEL1501 применяется современная микропроцессорная сетевая система управления согласно стандарту TCN. Новая микропроцессорная сетевая система управления может реализовать контроль за состояниями, защиту от неисправности и функцию -дисплей, упростить управление, уменьшать трудоемкость машинистов и повышать безопасность перевозки.
- ✧ В кабине машиниста предусмотрена индивидуальная кондиционерная система. По требованиям клиента в электровозе ZEL1501 возможно предусмотреть необходимые средства для бытовой нужды при эксплуатации на большое расстояние и долгое время.
- ✧ Электровоз разработан в соответствии с международными стандартами и

конструкторской концепцией о модуляризации, интеграции, стандартизации и сериализации, что значительно уменьшит количество отказов, обеспечит локомотивной бригаде удобный доступ и уменьшит время на обслуживание.

### 3.2 Технический сравнительный анализ

3.2.1 Технические параметры электровозов ВЛ10/ВЛ11 и электровозов ZEL1501 представлены в таблице 1:

Таблица 1 Технические параметры

№	Наименование	Ед.изм.	Электровоз ВЛ10/ВЛ11	Электровоз ZEL1501
1	номинальная нагрузка от колесной пары на рельсы,	кН (тс)	225(23)	240(25)
2	масса электровоза с 0,67 запаса песка	т	184	192
3	конструкционная скорость, не меньше	км/ч	100	120
4	мощность в продолжительном режиме на валах тяговых электродвигателей (ТЭД), не меньше	кВт	4,600	9,600
5	сила тяги в продолжительном режиме, не меньше	кН(тс)	314	580
6	скорость в продолжительном режиме, не меньше	км/ч	51.2	55
7	мощность в часовом режиме на валах ТЭД, не меньше	кВт	5,360	9,600
8	сила тяги в часовом режиме, не меньше	кН(тс)	387	580
9	скорость в часовом режиме, не меньше	км/ч	48.7	55
10	КПД в продолжительном режиме, не меньше	%	86	86
11	диаметр колеса по кругу катания при новых бандажах	мм	1,250	1,250
12	минимальный радиус кривых, при следовании со скоростью до 10 км/ч	м	125	125

13	Срок службы	год	33	40
----	-------------	-----	----	----

По сравнению с электровозом ВЛ10/ВЛ11 электровоз ZEL1501 имеет преимущество по техническим характеристикам конструкционной скорости, мощности в продолжительном режиме на валах тяговых электродвигателей, силы тяги в продолжительном режиме, скорости в продолжительном режиме и срока службы.

3.2.2 Периодичности выполнения технических обслуживаний и ремонтов электровоза ВЛ10/ВЛ11 и электровоза ZEL1501 представлены в таблице 2:

Таблица 2 - Периодичности выполнения технических обслуживаний и ремонтов

№	Вид ремонта	Ед.изм.	Электровоз ВЛ10/ВЛ11	Электровоз ZEL1501
1	Техническое обслуживание (ТО-2) 2	час/км	Не более 48/--	Не более 360/10,000
2	Техническое обслуживание (ТО-3) 3	мес/км	1 / 12 500	6/ 100,000
3	Текущий ремонт (ТР-1) 1	мес/км	2 / 25 000	12/ 200,000
4	Текущий ремонт (ТР-2) 2	год/км	1.5 / 175,000	3 / 600,000
5	Текущий ремонт (ТР-3) 3	год/км	3 / 350,000	
6	Капитальный ремонт 1 (КР-1)	лет/км	6 / 700,000	6 / 1,200,000
7	Капитальный ремонт 2 (КР-2)	лет/км	12/2,100 000	12/2,400,000

3.2.3 Количество ремонтов за срок службы электровозов ВЛ10/ВЛ11 и электровозов ZEL1501 представлено в таблице 3:

Таблица 3 Количество ремонтов за срок службы электровозов

№	Вид ремонта	Электровоз ВЛ10/ВЛ11	Электровоз ZEL1501
1	Техническое обслуживание 2 (ТО-2)	5544	880
2	Техническое обслуживание 3 (ТО-3)	196	40
3	Текущий ремонт 1 (ТР-1)	176	26

4	Текущий ремонт 2 (ТР-2)	11	7
5	Текущий ремонт 3 (ТР-3)	5	
6	Капитальный ремонт 1 (КР-1)	3	3
7	Капитальный ремонт 2 (КР-2)	2	3

По сравнению с электровозом серии ВЛ10/ВЛ11 электровоз серии ZEL1501 имеет более длительный срок службы, но общее количество ремонтов за срок службы меньше, чем электровоз серии ВЛ10/ВЛ11.

3.2.4 Показатели доповского процента неисправных локомотивов и коэффициента технической готовности локомотивов приведены в таблице 4:

Таблица 4 Показатели доповского процента неисправных локомотивов и коэффициента технической готовности локомотивов

№	Показатель	Ед.изм.	Электровоз ВЛ10/ВЛ11	Электровоз ZEL1501
1	Деповской процент неисправных локомотивов	%	10.2	5
2	Коэффициент технической готовности	%	89.8	95

Примечание:

- Согласно EN 50126-3 «Железные дороги. Технические требования и демонстрация надежности, эксплуатационной готовности, ремонтпригодности и безопасности (RAMS) - часть 3» коэффициент

технической готовности определяется по формуле: 
$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTR}$$

- Вышеуказанный коэффициент технической готовности электровозов ZEL1501 определяется с учетом минимального локомотивного парка – 20 электровозов.

3.2.5 Расчет парка электровозов для участка Батуы – Гардабани

При расчете потребного парка электровозов ZEL1501 принимаем участок Батуми-Тбилиси-Гардабани длиной 385 км. По данному участку обеспечивается грузооборот в объем 14 млн.тонн в год.

№	Показатель	Ед.изм.	ВЛ10/ВЛ11	ZEL1501
1	Длина участка	км		
	Батуми-Гардабани		385	385
	Гардабани-Батуми		385	385
2	Объем перевозок в год на	млн. т	14	14

	участке по направлениям четное/нечетное			
	Батуми-Гардабани		6.177	6.177
	Гардабани-Батуми		7.823	7.823
3	Средняя масса поезда нетто и брутто для четного и нечетного направления	т		
	Батуми-Гардабани		2,129	2,129
	Гардабани-Батуми		2,696	2,696
4	Среднее время оборота локомотива для четного и нечетного направления	ч		
	Батуми-Гардабани		14.21	12.94
	Гардабани-Батуми		14.21	11.94
5	Среднее время простоя в основном депо и в пункте оборота	ч		
	Батуми		3.6	3.6
	Гардабани		3.6	3.6

Таблица 5 Потребный парк электровозов

№	Наименование	Парк электровозов ВЛ10/ВЛ11	Новый парк электровозов ZEL1501
1	Среднесуточное количество электровозов, находящихся в эксплуатации	-	9
2	Оперативный резерв электровозов (неравномерность перевозок)	-	1
3	Подталкивающие электровозы	-	0
4	Электровозы в ожидании работы (в «горячем» запасе)	-	1
5	Электровозы, находящиеся на ТО и ТР	3.7	1
	ИТОГО, лок.	36	12

---

### 3.3 Экономический сравнительный анализ

#### 3.3.1 Понятие стоимости жизненного цикл

При приобретении подвижного состава потребитель уделяет внимание не только безопасности, надежности и ремонтпригодности за срок службы, но и экономичности подвижного состава. Стоимость жизненного цикл включается в себя как издержки на приобретение, так и расходы на эксплуатацию и обслуживания за срок службы. Поставщику следует представить продукцию с высшей экономической эффективностью для удовлетворения заказчика.

#### 3.3.2 Стоимости жизненного цикла

Стоимость жизненного цикла (Life Cycle Cost – LCC) - совокупные издержки потребителя на приобретение и использование техники за срок ее службы.

#### 3.3.3 Стадии жизненного цикла электровоза

электровоз имеет шесть стадий жизненного цикла: выработка концепций и определений, опытно-конструкторские работы, изготовление технического средства, внедрение технического средства в эксплуатацию с проведением сопутствующих мероприятий по обучению персонала, дооснащению ремонтной базы и т.п., эксплуатация и техническое обслуживание, изъятие (ликвидация, утилизация).

Для потребителя затраты первых - четырех стадий опосредованно выражены в первоначальной стоимости электровоза— цене приобретения, и так общая СЖЦ электровоза разделяется на две основные части:

- ✧ затраты, связанные с приобретением;
- ✧ затраты, связанные с владением и утилизацией

#### 3.3.4 Формула для расчета СЖЦ электровоза

Согласно пункту 3.2.3 и «Методике определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта», утвержденной ОАО «РЖД», СЖЦ электровоза определяется по формуле:

$$\text{СЖЦ (LCC)} = C_{\text{пр}} + \sum_{t=1}^T (I_t + \Delta K_t - L_t) \cdot \alpha_t$$

где  $C_{\text{пр}}$  - цена приобретения объекта,

$I_t$  - годовые эксплуатационные расходы,

$\Delta K_t$  - сопутствующие единовременные затраты, связанные с внедрением

---

техники в эксплуатацию,

$L_t$  - ликвидационная стоимость объекта,

$a_t$  - коэффициент дисконтирования;

$I$  - текущий год эксплуатации

$T$  - конечный год эксплуатации,

Годовые эксплуатационные расходы  $I_t$ , сопутствующие единовременные затраты, связанные с внедрением техники в эксплуатацию и ликвидационная стоимость объекта  $L_t$  являются затратами, связанные с владением и утилизацией.

### 3.3.5 Элементы при расчете СЖЦ настоящего проекта

Согласно формуле в пункте 3.2.4 и с учетом конкретных условий настоящего проекта в состав СЖЦ электровоза включаются:

- ✧ Цена приобретения объекта Цпр была указана в тендерной документации;
- ✧ Годовые эксплуатационные расходы  $I_t$  в основном включают:
  - Затраты на энергоресурсы, главным образом затраты на электроэнергию
  - Затраты на ТО и ремонт, включая плано-предупредительные и внеплановые ТО и ремонты
  - Затраты на содержание эксплуатационного персонала
  - Затраты на чистку, мойку и расходные материалы подвижного состава (эти расходы включены в затраты на ТО и ремонты)
- ✧ Сопутствующие единовременные затраты, связанные с внедрением техники в эксплуатацию  $\Delta K_t$  составляет 0, в начале эксплуатации и после ввода в эксплуатацию не требуется модернизации сооружений, как линия, дорога, контактная сеть, депо и т.д.
- ✧ Ликвидационная стоимость подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта определяется на конечном этапе их использования. В ее состав входят затраты на вывод из эксплуатации и утилизацию: средства, получаемые от вторичного использования запасных частей и металлолома, затраты, связанные с демонтажем оборудования, не подлежащих ремонту сменных частей и деталей, затраты на транспортировку и прочие затраты. Ликвидационная стоимость, рассчитываемая на конечной стадии эксплуатации подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта (по истечении



20-40 и более лет), с учетом дисконтирования, как правило, является величиной достаточно малой и при определении СЖЦ ее можно не учитывать.

3.3.6 Цены приобретения электровозов серии ВЛ10/ВЛ11 и электровоза серии ZEL1501 представлены в таблице 6:

Таблице 6 Цены приобретения электровозов

№	Наименование	Ед.изм	Электровоз ВЛ10/ВЛ11	Электровоз ZEL1501
1	Стоимость на приобретение локомотивного парка	дол.США	93,600,000	76,800,000
2	Распределенная стоимость на приобретение локомотивного парка в год за срок службы	дол.США	2,836,364	1,920,000
Для расчета цены приобретения применены:				
1	Цена приобретения одного электровоза	дол.США/лок.	2,600,000	6,400,000
2	Локомотивный парк	лок.	36	12
3	Срок службы	годы	33	40

Стоимость на приобретение новых электровозов сокращается на 16,800,000 дол.США по сравнению с приобретением электровозов ВЛ10/ВЛ11, также распределенная стоимость на приобретение в год сокращается на 916,364 дол.США.

3.3.7 Затраты на электроэнергию для электровозов серии ВЛ10/ВЛ11 и электровоза серии ZEL1501 представлены в таблице 7:

Таблица 7 затраты на электроэнергию

№	Наименование	Ед.изм	ЭлектровозВЛ 10/ВЛ11	ЭлектровозZEL 1501
1	Затраты на электроэнергию в год	тыс. дол.США	3,780	2,190
1.1	Затраты на электроэнергию в год в нечетном направлении	тыс. дол.США	1,668	1,111
1.2	Затраты на электроэнергию в год в четном направлении	тыс. дол.США	2,112	1,079
Для расчета затрат на электроэнергию учитены:				

1	Удельный расход электроэнергии в нечетном направлении	кВт-ч/10 <sup>4</sup> т-км бр.	166.98	111.3
2	Удельный расход электроэнергии в четном направлении	кВт-ч/10 <sup>4</sup> т-км бр.	166.98	85.3
3	Объем перевозок в год на участке по направлениям четное/нечетное	млн. т.	14	14
3.1	Объем перевозок в год в нечетном направлении	млн. т.	6.177	6.177
3.2	Объем перевозок в год в четном направлении	Млн. т.	7.823	7.823
4	Длина участка	км	385	385
5	Общий расход электроэнергии в расчете на объем перевозок в год	кВт-ч	90,002,220	52,159,877
5.1	Расход электроэнергии в расчете на объем перевозок в нечетном направлении в год	кВт-ч	39,710,265	26,468,754
5.2	Расход электроэнергии в расчете на объем перевозок в четном направлении в год	кВт-ч	50,291,955	25,691,123
6	Стоимость электроэнергии за кВт-ч	дол.США	0.042	

Примечание:

- Расчет расходов электроэнергии для электровоза серии ZEL1501 проводится на основе идеального режима работы. Фактические значения расхода электроэнергии зависят от состояния линии, операции машиниста и т.д. и могут быть отличаться от вышеуказанных значений.

По результатам анализа, экономия годовых эксплуатационных расходов на электроэнергию по парку электровозов составит 1,590 тыс. дол. США.

3.3.8 Расходы на ТО и ремонты электровозов серии ВЛ10/ВЛ11 и электровозов серии ZEL1501 приведены в таблице 8:

Таблица 8 Расходы на ТО и ремонт электровозов

№	Расходы	Ед.изм.	Электровоз ВЛ10/ВЛ11	Электровоз ZEL1501
1	Расходы на ТО и ремонт одного электровоза (33лет/40 лет)	дол.США	5,343,000	7,528,960
2	Годовые расходы ТО и ремонт одного электровоза	дол.США	161,909.1	188,224.0
3	Годовые расходы на ТО и ремонт по парку электровозов	дол.США	5,828,727.3	2,258,688.0
Стоимость проведения единицы технического обслуживания, текущих, среднего, капитального ремонтов электровозов в соответствии с установленными видами ремонт:				
1	ТО - 2	дол.США	1,518,280	168,960
2	ТО - 3	дол.США	208,276	102,400
3	ТР - 1	дол.США	340,141	665,600
4	ТР - 2	дол.США	42,372	1,120,000
5	ТР - 3	дол.США	293,931	
6	КР-1	дол.США	1,500,000	1,632,000
7	КР - 2	дол.США	1,440,000	3,840,000

Экономия годовых расходов на ТО и ремонт парка электровоза годовых эксплуатационных расходов на электроэнергию по парку электровозов составит 3,570,039 дол. США.

3.3.9 Оплата локомотивных бригад для электровозов серии ВЛ10/ВЛ11 и электровоза серии ZEL1501 представлены в таблице 9:

Допустим, что оба электровозы серии ВЛ10/ВЛ11 и ZEL1501 осуществляют перевозки по плану эксплуатации и имеют одинаковое среднее время простоя в основном депо и в пункте оборота:

Таблица 9 Оплата локомотивных бригад

№	Расходы	Ед.изм.	ВЛ10/ВЛ11	ZEL1501
1	Годовая оплата локомотивных бригад на парк локомотивов с учетом ЕСН	дол.США	1,897,259.5	1,660,936.5

При расчете оплаты локомотивных бригад учтены:				
1	Годовой фонд рабочего времени локомотивных бригад на парк локомотивов	ч	82,474.8	72,201.8
2	Стоимость бригадо-часа локомотивной бригады с учётом ЕСН	дол.США	5.57	5.57
3	Число локомотивных бригад, обслуживающих 1 электровоз с учетом больничных и отпусков	Чел.	4.13	4.13
4	Годовой количество в направлениях туда и обратно		2902	2902
5	Среднее время в направлениях туда и обратно	ч	28.42	24.88

По результатам анализа, экономия годовой оплаты локомотивных бригад на парк электровозов составит 236,323 дол. США.

Примечание:

- При расчете оплаты локомотивных бригад на парк локомотивов ВЛ10/ВЛ11 не учитываются оплаты локомотивных бригад, обслуживающих подталкивающих локомотивов, т.е. фактическая экономия годовой оплаты локомотивных бригад больше, чем 236,323 дол. США.

3.3.10 Годовые эксплуатационные расходы для электровозов серии ВЛ10/ВЛ11 и электровоза серии ZEL1501 представлены в таблице 10:

Таблица 10 Годовые эксплуатационные расходы

Показатели	Значение показателей по парку электровозов, дол. США	
	ВЛ10/ВЛ11	ZEL1501
Годовые эксплуатационные расходы на:		
- электроэнергию	3,780,000	2,190,000
- техническое обслуживание и ремонт	5,828,727	2,258,688
- оплату локомотивных бригад	1,897,259.5	1,660,936.5
<b>Итого</b>	<b>11,505,986.50</b>	<b>6,109,624.50</b>

Экономия годовых эксплуатационных расходов на парк:	5,396,362
---	-----------

3.3.11 Сводные данные о стоимости жизненного цикла для электровозов серии ВЛ10/ВЛ11 и электровоза серии ZEL1501 представлены в таблице 11

С учетом разных сроков службы электровоза серии ВЛ10/ВЛ11 и электровоза серии ZEL1501 и с целью сравнения допустим, что расчет и сравнение стоимости данных двух электровозов проводятся по сроку 40 лет.

Так же допустим, что:

- i) все расходы на приобретение электровоза пройдут в начале первого года;
- ii) все эксплуатационных расходов происходят в конце каждого года;

Таблица 11 Сводные данные о стоимости жизненного цикла (40 лет)

№	Наименование	Ед.изм.	ВЛ10/ВЛ11	ZEL1501
1	Стоимость на приобретение по парку электровозов (без НДС)	дол.США	93,600,000	76,800,000
2	Чистая текущая стоимость (NPV) за приобретения электровозов с учетом дисконтирования $i=0.1$	дол.США	93,600,000	76,800,000
3	Эксплуатационные расходы, с учетом дисконтирования $i=0.1$	дол.США	110,105,759.5	59,746,327.9
4	Стоимость жизненного цикла(33 лет/40 лет), с учетом дисконтирования $i=0.1$	дол.США	203,705,759.5	136,546,327.9
5	Распределенная годовая стоимость, с учетом дисконтирования $i=0.1$	дол.США	6,172,901.8	3,413,658.2
6	Стоимость жизненного цикла(40 лет/40 лет), с учетом дисконтирования $i=0.1$	дол.США	246,916,072.1	136,546,327.9

#### 4 Заключение

На основе вышеизложенног электровоз серии ZEL1501 имеет большие технические и экономические преимущество по сравнению с электровозом серии ВЛ10/ВЛ11.